



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

METODOLOGIA PARA A COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Miguel Costa Santos Nepomuceno

Covilhã
2005

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior, financiada pelo subprograma Educação PRODEP III (Medida n.º 5/ Acção n.º 5.3 – Acções de Doutoramento, Ref. 5.3/C/185.009/01), sob orientação e co-orientação, respectivamente:

Prof. Doutor Luiz António Pereira de Oliveira

- Prof. Associado do Departamento de Engenharia Civil da U.B.I.;

Prof. Doutor Sérgio Manuel Rodrigues Lopes

- Prof. Associado com Agregação do Departamento de Engenharia Civil da F.C.T.U.C..

À minha Família

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho contou directa e indirectamente com a colaboração de diversas pessoas, a quem o autor deseja, desta forma, expressar o seu agradecimento.

Aos Srs. Professores Luiz A. P. Oliveira (Orientador científico deste trabalho) e Sérgio M. R. Lopes (Co-orientador científico), o autor expressa o seu agradecimento pela disponibilidade sempre demonstrada e apoio científico prestado. A ambos, o autor agradece a compreensão demonstrada face às adversidades que foram surgindo e as inextinguíveis palavras de permanente incentivo e confiança na realização deste trabalho.

À Universidade da Beira Interior o autor agradece, na pessoa do seu Magnífico Reitor, Sr. Professor Manuel J. dos Santos Silva, as condições materiais e humanas proporcionadas e que permitiram levar a bom termo o presente trabalho. A sua realização não teria sido possível sem a dispensa de serviço concedida ao abrigo do programa PRODEP III - Acções de Doutoramento.

O autor agradece também às empresas que, de forma gratuita, colaboraram neste trabalho mediante o fornecimento de alguns materiais: à empresa BETECNA o autor agradece o fornecimento das cinzas volantes; à COMITAL (Companhia Mineira de Talcos de Portugal) o autor agradece o fornecimento de fíler calcário; à empresa FUNDOMÁRMORE o fornecimento do fíler granítico, à empresa SIKA o fornecimento de superplastificantes e, finalmente, à pedreira BARTOLOMEU o fornecimento dos agregados.

O autor expressa ainda o seu agradecimento aos Srs. Albino Alves e Nuno Santos pela colaboração prestada na execução de alguns dos trabalhos laboratoriais, os quais não se teria conseguido executar com uma única pessoa.

A todos quantos, de algum modo, contribuíram para a concretização deste trabalho (amigos, colegas e funcionários da UBI) e que aqui não foram referidos, o autor agradece a atenção e dedicação de que foi alvo.

RESUMO ANALÍTICO

METODOLOGIA PARA A COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

No presente trabalho são revistos alguns dos principais métodos de estudo da composição de betões auto-compactáveis, com especial incidência nos métodos propostos por Okamura et al., pela JSCE, pelo CBI e pelo LCPC. São também abordados os aspectos relativos ao desenvolvimento, aos materiais constituintes, às propriedades do betão fresco e endurecido e ainda à produção e manuseamento do material.

A revisão efectuada permitiu observar que os métodos propostos por Okamura et al. e pela JSCE são os mais generalizados pela sua simplicidade, mas apresentam algumas limitações inerentes, associadas à dificuldade em otimizar e modelar as misturas com vista à obtenção de um qualquer valor médio especificado para a resistência à compressão do betão na fase de estudo da composição. Em resultado da apreciação efectuada, entendeu-se adequado investigar a possibilidade de se delinear uma nova abordagem ou introduzir novos parâmetros para o cálculo da composição dos betões auto-compactáveis que permitissem responder a algumas dessas limitações, admitindo como ponto de partida o método proposto por Okamura et al.. A proposta a desenvolver deveria assentar em procedimentos de cálculo expeditos, cuja primeira e fundamental abordagem seria suportada por ensaios em argamassas, como propôs Okamura.

Analisadas as propostas de diferentes autores, foi definido um intervalo de variação para cada um dos parâmetros que caracterizam o escoamento das argamassas (G_m e R_m), conducente à obtenção de betões auto-compactáveis. Para cada família de materiais finos (i.e., para cada associação de materiais finos), as dosagens de superplastificante e de água de amassadura que conduziram aos parâmetros G_m e R_m pretendidos, foram determinados por estudos experimentais em argamassas adoptando uma metodologia que difere ligeiramente daquela proposta por Okamura et al.. Foram introduzidos novos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) nas argamassas e de agregados grossos (V_m/V_g) nos betões e fizeram-se variar estes parâmetros abaixo e acima dos

valores correspondentes propostos por Okamura et al., por forma a avaliar uma possível optimização das misturas, principalmente através da redução do volume de pasta. Finalmente, foram analisados os parâmetros que melhor se adequaram ao controlo da resistência à compressão das argamassas e, indirectamente, ao controlo da resistência dos betões.

A análise efectuada foi direccionada unicamente para os betões do tipo finos (solução mais corrente) e apenas foram avaliados os aspectos físicos e mecânicos do seu comportamento. Foram efectuados estudos em argamassas e betões utilizando associações binárias e ternárias de materiais finos, que combinaram dois tipos de cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N) e quatro adições: fíler calcário, cinzas volantes, sílica de fumo e fíler granítico.

O fíler granítico utilizado, proveniente de desperdícios industriais, foi testado a título experimental como adição, com resultados promissores. Sob condições idênticas de escoamento, o fíler granítico revelou consumos de superplastificante idênticos àqueles obtidos com as cinzas volantes e fíler calcário (reconhecidamente úteis na produção de betões auto-compactáveis), enquanto que a sílica de fumo revelou consumos excessivos de superplastificante, quer em termos absolutos, quer comparativamente às restantes adições.

Os resultados obtidos foram satisfatórios e culminaram com a apresentação de uma proposta para o estudo do betão auto-compactável do tipo finos, a qual facilita a optimização da mistura e permite estimar, na fase de estudo da composição, a resistência à compressão do betão.

ABSTRACT

METHODOLOGY FOR SELF-COMPACTING CONCRETE MIX-DESIGN

Some of the main methods for self-compacting concrete mix design are reviewed in the present research work, with special focus on those proposed by Okamura research group, JSCE, CBI and LCPC. The aspects concerning to development, constituent materials, properties of fresh and hardened concrete and furthermore the production and handling of the material are also reviewed.

The bibliographic review have indicated that the methods proposed by Okamura research group and JSCE are the most generalized due to its simplicity, but they present some inherent limitations, associated to its difficulty on optimizing and modelling concrete mixtures in order to achieve a specified mean value for compressive strength defined on the mix design phase. As a result of that appreciation, it was considered adequate to investigate the possibility of outline a new approach or to introduce new parameters for the self-compacting concrete mix design that allow finding the answer for such limitations, considering, as a start point, the method proposed by Okamura research group. The new proposal should lay on an easy and swift procedure, which, for a start, should be supported by tests on mortar mixes, as proposed by Okamura research group.

After the examination of proposals by different authors, an interval of variation was defined for each of the parameters that characterized the flow behaviour of mortars (G_m and R_m), leading to self-compacting concrete mixes. For each family of fine particles, the proportions of superplasticizer and water content which lead to the wanted G_m and R_m parameters were determined by trial mixtures of mortar using a methodology that slightly differ from that proposed by Okamura research group. New parameters were introduced to quantify the proportions of fine aggregate (V_p/V_s) on mortars and to quantify the proportions of coarse aggregate (V_m/V_g) on concretes. Such parameters were changed to values lower and higher than those proposed by Okamura research group, in order to achieve an optimized mixture, namely by reducing the paste volume. Finally, the parameters that better

evaluate the mortars compressive strength and, indirectly, the concrete compressive strength were analysed.

The analysis done was directed to the powder type self-compacting concrete (the most common solution) and only the physical and mechanical aspects of its behaviour were analysed. Studies on mortar and concrete mixes were made using binary and ternary associations of powder materials which combine two types of cements (CEM I 42,5R and CEM II/B-L 32,5N) and four mineral additions: limestone powder, fly ash, silica fume and granite filler.

The granite filler that was used here, originating from a by-product of industry, was tested experimentally as a mineral addition, with promising results. Under identical flow behaviour properties, the granite filler has revealed identical needs of superplasticizer dosages as those of fly ash and limestone powder additions (recognised as advantageous for self-compacting concrete), while the silica fume has revealed overmuch needs of superplasticizer, either in absolute volume, or comparatively with other additions used.

The results obtained were satisfactory and ended with the presentation of a proposal for mix design of the type powder self-compacting concrete. This enables the optimization of mixes and, on the mix design phase, allows the estimation of the compressive strength of concrete.

ÍNDICE

	Pág.
CAPÍTULO 1 – Introdução	
1.1 – Generalidades	3
1.2 – Objectivos e justificação do tema proposto	14
1.3 – Organização do trabalho	17
CAPÍTULO 2 – Desenvolvimento do Betão Auto-Compactável	
2.1 – Generalidades	21
2.2 – O conceito de betão auto-compactável	23
2.3 – Classificação do betão auto-compactável	25
2.4 – Forma de obtenção da auto-compactabilidade em betões do tipo finos	26
2.5 – Vantagens do betão auto-compactável	31
2.6 – Desvantagens do betão auto-compactável	34
2.7 – Conclusões	34
CAPÍTULO 3 – Materiais Constituintes do Betão Auto-Compactável	
3.1 – Introdução	37
3.2 – Materiais finos	37
3.2.1 – Cimentos	38
3.2.2 - Adições tipo I - adições quase inertes	39
3.2.2.1 - Fíler calcário	39
3.2.2.2 - Fíler granítico	40
3.2.3 - Adições tipo II - adições pozolânicas ou potencialmente hidráulicas	41
3.2.3.1 - Escórias de alto-forno de elevada finura	41
3.2.3.2 - Cinzas volantes	42

3.2.3.3 – Sílica de fumo (microsílica)	43
3.3 - Adjuvantes	46
3.3.1 - Superplastificantes	46
3.3.2 - Agentes de viscosidade	49
3.4 - Agregados finos	55
3.5 - Agregados grossos	57
3.6 - Conclusões	59

CAPÍTULO 4 – Propriedades do Betão Auto-Compactável no Estado Fresco e Endurecido

4.1 – Introdução	65
4.2 – Propriedades do betão auto-compactável no estado fresco	65
4.2.1 - Generalidades	65
4.2.2 - Reologia	66
4.2.3 - Trabalhabilidade	70
4.2.3.1 - Capacidade de enchimento	70
4.2.3.2 - Resistência à segregação	72
4.2.3.3 - Capacidade de passagem	74
4.2.4 - Ensaio do betão fresco	76
4.2.4.1 - Ensaio de espalhamento (<i>Slump flow</i>)	77
4.2.4.2 - Ensaio de fluidez (Funil-V)	79
4.2.4.3 - Ensaio da “Caixa” ou da “Caixa-U”	81
4.2.4.4 - Ensaio da “Caixa-L”	86
4.3 - Propriedades do betão auto-compactável no estado endurecido	89
4.3.1 - Generalidades	89
4.3.2 - Resistência mecânica às tensões	90

	Pág.
4.3.3 - Deformação sob cargas	91
4.3.4 - Retracção	92
4.3.5 - Durabilidade	92
4.4 - Conclusões	93

CAPÍTULO 5 – Produção e Manuseamento do Material

5.1 – Introdução	99
5.2 – Produção do betão	100
5.2.1 - Amassadura	100
5.2.2 - Controlo da Produção	104
5.3 - Transporte do betão	107
5.4 - Recepção do betão em obra	108
5.5 - Colocação do betão	111
5.6 - Acabamento e cura	113
5.7 - Pressão de cofragem	114
5.8 - Conclusões	116

CAPÍTULO 6 – Métodos de Cálculo das Proporções da Mistura

6.1 – Introdução	121
6.2 - Método geral	124
6.3 - Modificações e desenvolvimentos do método geral	133
6.4 - Método proposto pela JSCE	139
6.5 - Método proposto pelo CBI	144
6.6 - Desenvolvimentos do método do CBI	153
6.7 - Método proposto pelo LCPC	158
6.8 - Conclusões	164

CAPÍTULO 7 – Descrição do Programa Experimental

7.1 – Introdução	173
7.2 - Selecção e caracterização dos materiais utilizados	174
7.2.1 - Generalidades	174
7.2.2 - Ligantes	174
7.2.3 - Adições minerais do tipo II	175
7.2.4 - Adições minerais do tipo I	176
7.2.5 - Agregados	181
7.2.5.1 - Generalidades	181
7.2.5.2 - Agregados finos	182
7.2.5.3 - Agregados grossos	182
7.2.6 - Adjuvantes	183
7.2.6.1 - Generalidades	183
7.2.6.2 - Superplastificante	183
7.2.7 - Água de amassadura	184
7.3 - Definição de curvas granulométricas de referência para os agregados	184
7.3.1 - Generalidades	184
7.3.2 - Curvas de referência para os agregados finos	185
7.3.3 - Curvas de referência para os agregados grossos	186
7.4 - Selecção das associações de materiais finos	186
7.5 - Estudos em argamassas	189
7.5.1 - Introdução	189
7.5.2 - Estudo da composição das argamassas	191
7.5.2.1 - Generalidades	191
7.5.2.2 - Cálculo das argamassas	193
7.5.2.3 - Folha de cálculo EXCEL para argamassas	197

	Pág.
7.5.3 - Avaliação das propriedades da argamassa no estado fresco	198
7.5.3.1 - Generalidades	198
7.5.3.2 - Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio	199
7.5.3.3 - Definição do comportamento reológico pretendido	201
7.5.3.4 - Procedimento adoptado para o acerto da reologia das misturas	204
7.5.3.5 - Ensaiois laboratoriais	210
7.5.3.5.1 - Generalidades	210
7.5.3.5.2 - Acondicionamento e medição dos materiais	211
7.5.3.5.3 - Procedimentos de amassadura	213
7.5.3.5.4 - Procedimentos de ensaio	216
7.5.3.5.4.1 - Ensaio de espalhamento	216
7.5.3.5.4.2 - Ensaio de fluidez	219
7.5.4 - Avaliação das propriedades da argamassa no estado endurecido	221
7.5.4.1 - Generalidades	221
7.5.4.2 - Produção e preparação de provetes para os ensaios de compressão	222
7.5.4.3 - Ensaiois de compressão	227
7.6 - Estudos em betões	230
7.6.1 - Introdução	230
7.6.2 - Estudo da composição dos betões	233
7.6.2.1 - Generalidades	233
7.6.2.2 - Cálculo dos betões	234
7.6.2.3 - Folha de cálculo EXCEL para betões	239
7.6.3 - Avaliação das propriedades dos betões no estado fresco	241
7.6.3.1 - Generalidades	241
7.6.3.2 - Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio	242
7.6.3.3 - Definição do comportamento reológico pretendido	247

	Pág.
7.6.3.4 - Procedimento adoptado no acerto da reologia das misturas	248
7.6.3.5 - Ensaio laboratoriais	249
7.6.3.5.1 - Generalidades	249
7.6.3.5.2 - Acondicionamento e medição dos materiais	250
7.6.3.5.3 - Procedimentos de amassadura	252
7.6.3.5.4 - Procedimentos de ensaio	253
7.6.3.5.4.1 - Ensaio de espalhamento	254
7.6.3.5.4.2 - Ensaio de fluidez	257
7.6.3.5.4.3 - Ensaio da Caixa-L	260
7.6.3.5.4.4 - Ensaio da Caixa	265
7.6.4 - Avaliação das propriedades do betão no estado endurecido	268
7.6.4.1 - Generalidades	268
7.6.4.2 - Produção e preparação de provetes para os ensaios de compressão	268
7.6.4.3 - Ensaio de compressão	270

CAPÍTULO 8 – Apresentação dos Resultados Obtidos

8.1 – Introdução	285
8.2 - Caracterização dos materiais utilizados	275
8.2.1 - Ligantes	275
8.2.2 - Adições minerais	277
8.2.3 - Agregados	279
8.2.4 - Adjuvantes	281
8.3 - Curvas de referência dos agregados	282
8.3.1 - Generalidades	282
8.3.2 - Curvas de referência para os agregados finos	282
8.3.3 - Curvas de referência para os agregados grossos	284

	Pág.
8.4 - Estudos em argamassas	286
8.4.1 - Generalidades	286
8.4.2 - Ensaio das argamassas nos estados fresco e endurecido	287
8.5 - Estudos em betões	291
8.5.1 - Generalidades	291
8.5.2 - Correções das misturas	293
8.5.3 - Ensaio dos betões no estado fresco	295
8.5.4 - Ensaio dos betões no estado endurecido	299
CAPÍTULO 9 – Discussão dos Resultados Obtidos no Estudo das Argamassas	
9.1 – Introdução	307
9.2 - Análise das misturas	309
9.2.1 - Generalidades	309
9.2.2 - Misturas binárias	310
9.2.3 - Misturas ternárias	319
9.3 - Correlação entre os parâmetros da composição das argamassas	327
9.3.1 - Generalidades	327
9.3.2 - Correlação entre os parâmetros “chave” da composição	327
9.3.3 - Parâmetros correlacionados com a resistência	342
9.3.3.1 - O parâmetro V_p/V_s	342
9.3.3.2 - O parâmetro W/C	349
9.3.3.3 - O parâmetro W/MC	356
9.3.3.4 - O parâmetro W/F	363
9.3.4 - A percentagem de substituição das adições	369
9.4 - Conclusões	373

	Pág.
CAPÍTULO 10 – Discussão dos Resultados Obtidos no Estudo dos Betões	385
10.1 – Introdução	385
10.2 - Propriedades dos betões no estado fresco	386
10.2.1 - Generalidades	386
10.2.2 - Propriedades reológicas	387
10.2.3 - Auto-compactabilidade	396
10.2.3.1 - Generalidades	396
10.2.3.2 - Relação entre a reologia e a auto-compactabilidade	398
10.2.3.3 - Influência dos parâmetros da mistura na auto-compactabilidade	418
10.2.3.3.1 - Generalidades	418
10.2.3.3.2 - O parâmetro MN	419
10.2.3.3.3 - A dosagem de agregados finos e grossos	431
10.2.3.3.4 - A dosagem de materiais finos	439
10.2.3.3.5 - As dosagens de água e de superplastificante	444
10.2.3.3.6 - O percentual de argamassa seca	453
10.2.3.3.7 - As curvas de referência do total de agregados da mistura	460
10.3 - Propriedades dos betões no estado endurecido	469
10.3.1 - Generalidades	469
10.3.2 - Parâmetros correlacionados com a resistência à compressão	470
10.3.3 - Relação entre a resistência dos betões aos 7 e 28 dias de idade	475
10.3.4 - Relação entre a resistência das argamassas e dos betões	477
10.4 - Conclusões	479
 CAPÍTULO 11 – Proposta para o Estudo da Composição de Betões	
Auto-compactáveis	
11.1 – Introdução	497

	Pág.
11.2 – Proposta	499
11.3 - Exemplo prático	518
CAPÍTULO 12 – Conclusões e Recomendações para Trabalhos Futuros	
12.1 – Introdução	531
12.2 - Conclusões	531
12.3 - Recomendações para trabalhos futuros	545
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	553
ANEXOS	
A.1 - Estudos em argamassas	
A.1.1 - Composição das argamassas que cumpriram os parâmetros reológicos	567
A.1.2 - Estudos reológicos das argamassas	607
A.1.3 - Resistência à compressão das argamassas que cumpriram os parâmetros reológicos	647
A.2 - Estudos em betões	
A.2.1 - Composição dos betões	661
A.2.2 - Estudos reológicos dos betões	719
A.2.3 - Resistência à compressão dos betões	723

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
2.1	Método para atingir a auto-compactabilidade 27
2.2	Formulação utilizada para atingir a auto-compactabilidade 28
2.3	Sistema racional de construção proposto por Ozawa 32
3.1	Influência das adições na dosagem de superplastificante 45
3.2	Influência das adições na resistência à compressão 46
3.3	Mecanismos que conferem resistência à segregação ao betão 51
3.4	Quantidades adsorvidas de superplastificante e de agentes de viscosidade nas partículas de cimento 51
3.5	Gama de proporções da mistura 53
3.6	Flutuação da quantidade unitária de água versus altura de enchimento 54
3.7	Flutuação da quant. unitária de água versus diâmetro de espalhamento 54
3.8	Flutuação da quantidade unitária de água versus tempo no Funil-V 54
3.9	Influência do tipo de agregado na auto-compactabilidade 56
3.10	Relação entre o módulo de finura e a razão limite V_s/V_m 56
3.11	Relação entre o volume absoluto unitário do agregado grosso e a taxa de escoamento do betão através das armaduras 58
3.12	Volume absoluto do agregado grosso versus velocidade relativa de escoamento 58
3.13	Volume aparente compactado do agregado grosso versus velocidade relativa de escoamento 59
4.1	Reómetro BTRHEOM (pormenor) 67
4.2	Reómetro BTRHEOM 67

	Pág.
4.3	Reómetro BML 67
4.4	Modelo de Bingham 68
4.5	Modelo de Herschel-Bulkley 68
4.6	Mecanismo de bloqueio pela formação de pontes 75
4.7	Ensaio de espalhamento 78
4.8	Medição do diâmetro 78
4.9	Funil-V (Japão) 80
4.10	Funil-V (Holanda) 80
4.11	Ensaio de fluidez (fase 1) 80
4.12	Ensaio de fluidez (fase 2) 80
4.13	Esquema do ensaio da Caixa-U 82
4.14	Avaliação da auto-compactabilidade na Caixa-U 82
4.15	Esquema de funcionamento do ensaio da Caixa 83
4.16	Dimensões do ensaio da Caixa 83
4.17	Ensaio da Caixa 84
4.18	Obstáculos da Caixa 84
4.19	Esquema de funcionamento do ensaio da Caixa-L 86
4.20	Dimensões da Caixa-L proposta pelo LCPC 87
4.21	Dimensões da Caixa-L proposta pelo CBI 88
5.1	Sequência de mistura com máxima eficiência para SP1, SP2 e SP3 102
5.2	Sequência de mistura com máxima eficiência para SP4 102
5.3	Estabilizador mecânico da humidade dos agregados finos 105
5.4	Esquema do ensaio de aceitação para todo o betão 110
5.5	Ensaio de aceitação para todo o betão 110
5.6	Medição da pressão de cofragem 115

	Pág.
6.1	Método geral proposto por Okamura et al. 124
6.2	Percentagem unit. do volume aparente de agregado grosso compactado excluindo o ar versus altura máxima de enchimento no ensaio da Caixa 127
6.3	Percentagem unit. do volume aparente de agregado grosso compactado excluindo o ar versus altura de enchimento no ensaio da Caixa 127
6.4	Relação entre V_s/V_m e a altura máxima de enchimento na Caixa 129
6.5	Dimensões dos ensaios de espalhamento e de fluidez para argamassas ... 130
6.6	Dimensões dos ensaios de espalhamento e de fluidez para betão 132
6.7	Relação entre S_p/p e a razão G_m/R_m 134
6.8	Relação entre G_m e R_m com V_w/V_p constante 135
6.9	Representação esquemática do método proposto pela JSCE 140
6.10	Volume de agregado grosso versus auto-compactabilidade 142
6.11	Método proposto pelo CBI 145
6.12	Distância inter-partículas (partículas esféricas) 147
6.13	Distância inter-partículas versus agregado grosso/ total de agregado 149
6.14	Razão volumétrica de bloqueio versus razão entre a abertura da malha da armadura e a dimensão das partículas 150
6.15	Distância inter-partículas versus dimensão média das partículas 154
6.16	Dimensões da Caixa-L usada no LCPC 161
6.17	Efeito de parede (fronteira) 161
6.18	Medição da profundidade de penetração do agregado 163
7.1	Analisador de partículas COULTER LS200 176
7.2	Imagem da zona de carga da fábrica da COMITAL em Soure (1) 177
7.3	Imagem da zona de carga da fábrica da COMITAL em Soure (2) 178
7.4	Processo de corte das rochas 179

	Pág.
7.5	Silo de decantação das lamas 179
7.6	Sistema de homogeneização das lamas 180
7.7	Sistema de separação dos finos 180
7.8	Sistema de recolha dos finos 181
7.9	Cone para o ensaio de espalhamento em argamassas 200
7.10	Funil-V para o ensaio de fluidez das argamassas 201
7.11	Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adoptados 202
7.12	Comportamento reológico das argamassas para Sp/p% constante 205
7.13	Comportamento reológico das argamassas para Vw/Vp constante 205
7.14	Alterações na reologia com o aumento de Vw/Vp mantendo Sp/p% c ^{te} 206
7.15	Alterações na reologia com o aumento de Sp/p% mantendo Vw/Vp c ^{te} 206
7.16	Alterações na reologia com o aumento de Vw/Vp mantendo Sp/p% c ^{te} 207
7.17	Alterações na reologia com o aumento de Sp/p% mantendo Vw/Vp c ^{te} 208
7.18	Alterações na reologia com a modificação concertada de Sp/p% e Vw/Vp .. 209
7.19	Armazenamento da Areia 01 212
7.20	Armazenamento da Areia 05 212
7.21	Sequência de mistura das argamassas proposta por Domone et al. 214
7.22	Sequência de amassadura adoptada neste trabalho 215
7.23	Misturadora adoptada neste trabalho 215
7.24	Pormenor da misturadora 216
7.25	Fase 1 do ensaio de espalhamento 217
7.26	Fase 2 do ensaio de espalhamento 217
7.27	Fase 3 do ensaio de espalhamento 218
7.28	Fase 3 do ensaio de espalhamento 218
7.29	Enchimento do Funil-V para argamassas 220
7.30	Escoamento da argamassa no Funil-V 220

	Pág.
7.31	Enchimento do molde para amostragem 223
7.32	Identificação dos provetes para o ensaio de compressão 223
7.33	Provete após descofragem 224
7.34	Tanques de cura 224
7.35	Corte dos provetes - vista 1 225
7.36	Corte dos provetes - vista 2 226
7.37	Corte dos provetes - vista 3 226
7.38	Provetes resultantes do corte 226
7.39	Identificação dos provetes 227
7.40	Polimento dos provetes 227
7.41	Medição das dimensões dos provetes 228
7.42	Ensaio à compressão das argamassas 228
7.43	Ensaio à compressão das argamassas - pormenor 229
7.44	Geometria de rotura dos provetes - vista 1 229
7.45	Geometria de rotura dos provetes - vista 2 229
7.46	Geometria de rotura dos provetes - vista 3 230
7.47	Ensaio de espalhamento para betão 243
7.48	Funil-V para o ensaio de fluidez do betão 244
7.49	Caixa para o ensaio de auto-compactabilidade do betão 245
7.50	Caixa-L para o ensaio de auto-compactabilidade do betão 246
7.51	Intervalo de variação definido para os parâmetros G_c e R_c 248
7.52	Exemplo dos materiais utilizados numa amassadura de betão 251
7.53	Sequência de amassadura adoptada para os betões 252
7.54	Betoneira misturadora utilizada na produção dos betões 253
7.55	Aspecto do betão após uma das amassaduras efectuadas 253
7.56	Preparação do ensaio de espalhamento: Fase 1 255

	Pág.
7.57	Preparação do ensaio de espalhamento: Fase 2 255
7.58	Enchimento do cone no ensaio de espalhamento 255
7.59	Levantamento do cone 256
7.60	Medição do diâmetro de espalhamento: Fase 1 256
7.61	Medição do diâmetro de espalhamento: Fase 2 256
7.62	Enchimento do Funil-V para betões: Fase 1 258
7.63	Enchimento do Funil-V para betões: Fase 2 258
7.64	Abertura da comporta no Funil-V 259
7.65	Preparação do ensaio com a Caixa-L 261
7.66	Enchimento da Caixa-L 261
7.67	Abertura da comporta na Caixa-L 262
7.68	Passagem do betão pelo obstáculo na Caixa-L: Fase 1 262
7.69	Passagem do betão pelo obstáculo na Caixa-L: Fase 2 263
7.70	Passagem do betão pelo obstáculo na Caixa-L: Fase 3 263
7.71	Medição para determinação da altura H1 na Caixa-L 264
7.72	Medição para determinação da altura H2 na Caixa-L 264
7.73	Mecanismo de descarga para limpeza da Caixa-L 265
7.74	Enchimento da Caixa: Fase 1 266
7.75	Enchimento da Caixa: Fase 2 266
7.76	Abertura da comporta da Caixa 267
7.77	Medição da altura da coluna de betão na Caixa 267
7.78	Mecanismo de descarga para limpeza da Caixa 268
7.79	Moldagem de provetes para o ensaio à compressão: Fase 1 269
7.80	Moldagem de provetes para o ensaio à compressão: Fase 2 269
7.81	Tanque de cura 270
7.82	Prensa utilizada no ensaio à compressão de betões 271

	Pág.
7.83	Rotura de um provete de betão à compressão 271
8.1	Diagrama cumulativo da fracção volumétrica (COULTER LS200) 278
8.2	Diagrama diferencial da fracção volumétrica (COULTER LS200) 278
8.3	Curvas granulométricas dos agregados 281
8.4	Curva de referência dos agregados finos 284
8.5	Curva de referência dos agregados grossos 286
9.1	Dosagem de água por metro cúbico de argamassa 310
9.2	Dosagem de superplastificante por metro cúbico de argamassa 311
9.3	Consumo de água em função de V_p/V_s para CEM II/B-L32,5N 312
9.4	Consumo de água em função de V_p/V_s para CEM I 42,5R 312
9.5	Consumo de superplastificante em função de V_p/V_s para CEM II/B-L32,5N 315
9.6	Consumo de superplastificante em função de V_p/V_s para CEM I 42,5R 315
9.7	Consumo de superplastificante função da dosagem de CEM II/B-L32,5N ... 317
9.8	Consumo de superplastificante em função da dosagem de CEM I 42,5R ... 317
9.9	Dosagens de superplastificante em função do consumo de cimento 318
9.10	Dosagens de superplastificante em função do consumo de cimento 319
9.11	Dosagens de água para as misturas ternárias 321
9.12	Dosagem de superplastificante para as misturas ternárias 323
9.13	Volume de água em percentagem do volume de finos 325
9.14	Volume de superplastificante em percentagem do volume de finos..... 325
9.15	Relação $f_{m,28}$ versus razão W/C 326
9.16	Relação $f_{m,28}$ versus razão W/MC 326
9.17	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.1 328
9.18	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.2 328

	Pág.
9.19	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.3 328
9.20	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.4 329
9.21	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.5 329
9.22	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.6 329
9.23	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.7 330
9.24	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.8 330
9.25	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.9 330
9.26	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.10 331
9.27	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.11 331
9.28	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.12 331
9.29	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.13 332
9.30	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.14 332
9.31	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.15 332
9.32	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.1 333
9.33	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.2 333
9.34	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.3 333
9.35	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.4 334
9.36	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.5 334
9.37	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.6 334
9.38	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.7 335
9.39	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.8 335
9.40	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.9 335
9.41	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.10 336
9.42	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.11 336
9.43	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.12 336
9.44	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.13 337

	Pág.
9.45	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.14 337
9.46	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.15 337
9.47	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para todas as famílias de argamassas 339
9.48	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM II/B-L32,5N 339
9.49	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM I 42,5R 339
9.50	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para todas as famílias de argamassas 340
9.51	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para as famílias com CEM II/B-L32,5N 340
9.52	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R 340
9.53	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A1 343
9.54	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A2 343
9.55	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A3 343
9.56	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A4 344
9.57	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A5 344
9.58	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A6 344
9.59	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A7 345
9.60	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A8 345
9.61	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A9 345
9.62	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A10 346
9.63	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A11 346
9.64	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A12 346
9.65	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A13 347
9.66	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A14 347
9.67	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para a família de argamassas A15 347
9.68	Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para todas as famílias de argamassas 348
9.69	Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A1 350
9.70	Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A2 350

	Pág.
9.71	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A3 350
9.72	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A4 351
9.73	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A5 351
9.74	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A6 351
9.75	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A7 352
9.76	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A8 352
9.77	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A9 352
9.78	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A10 353
9.79	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A11 353
9.80	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A12 353
9.81	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A13 354
9.82	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A14 354
9.83	Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A15 354
9.84	Relação fm,28 versus W/C para todas as famílias de argamassas 355
9.85	Relação fm,28 versus W/C para todas as famílias de argamassas 356
9.86	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A1 357
9.87	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A2 357
9.88	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A3 357
9.89	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A4 358
9.90	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A5 358
9.91	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A6 358
9.92	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A7 359
9.93	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A8 359
9.94	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A9 359
9.95	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A10 360
9.96	Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A11 360

	Pág.
9.97	Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A12 360
9.98	Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A13 361
9.99	Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A14 361
9.100	Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A15 361
9.101	Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para todas as famílias de argamassas 362
9.102	Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para todas as famílias de argamassas 363
9.103	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A1 364
9.104	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A2 364
9.105	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A3 364
9.106	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A4 365
9.107	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A5 365
9.108	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A6 365
9.109	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A7 366
9.110	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A8 366
9.111	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A9 366
9.112	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A10 367
9.113	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A11 367
9.114	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A12 367
9.115	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A13 368
9.116	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A14 368
9.117	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A15 368
9.118	Relação $f_{m,28}$ versus W/F para todas as famílias de argamassas 369
9.119	Relação f_{Ad} . vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filer calcário 371
9.120	Relação f_{Ad} . vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filer granítico 371
9.121	Relação f_{Ad} . vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes ... 371
9.122	Relação f_{Ad} . vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e filer calcário .. 372

	Pág.	
9.123	Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e fíler granítico	372
9.124	Relação f_{Ad} vs W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e cinzas volantes	372
10.1	Correcções das dosagens de água de amassadura e de superplastificante	389
10.2	Dosagens efectivas de água de amassadura por metro cúbico de betão	390
10.3	Dosagens efectivas de superplastificante por metro cúbico de betão	391
10.4	Propriedades reológicas da totalidade dos betões produzidos	392
10.5	Relação entre os parâmetros t e T50	394
10.6	Relação entre os parâmetros t e T40	395
10.7	Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H2/H1	400
10.8	Relação Gc vs Rc para MN=1,92	402
10.9	Relação Gc vs Rc para MN=1,82	402
10.10	Relação Gc vs Rc para MN=1,76	402
10.11	Relação Gc vs Rc para MN=1,68	402
10.12	Relação Gc vs Rc para MN=1,60	403
10.13	Relação Gc vs Rc para MN=1,56	403
10.14	Relação Gc vs Rc para MN=1,54	403
10.15	Relação Gc vs Rc para MN=1,44	403
10.16	Varição do parâmetro H2/H1 com o diâmetro de espalhamento	404
10.17	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,92	405
10.18	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,82	405
10.19	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,76	405
10.20	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,68	405
10.21	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,60	406
10.22	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,56	406
10.23	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,54	406

	Pág.
10.24	Relação H2/H1 vs Dm para MN=1,44 406
10.25	Modelo matemático para a auto-compactabilidade - Caixa-L 407
10.26	Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H 409
10.27	Relação Gc vs Rc para MN=1,92 410
10.28	Relação Gc vs Rc para MN=1,82 410
10.29	Relação Gc vs Rc para MN=1,76 410
10.30	Relação Gc vs Rc para MN=1,68 410
10.31	Relação Gc vs Rc para MN=1,60 411
10.32	Relação Gc vs Rc para MN=1,56 411
10.33	Relação Gc vs Rc para MN=1,54 411
10.34	Relação Gc vs Rc para MN=1,44 411
10.35	Variação do parâmetro H com o diâmetro de espalhamento 412
10.36	Relação H vs Dm para MN=1,92 413
10.37	Relação H vs Dm para MN=1,82 413
10.38	Relação H vs Dm para MN=1,76 413
10.39	Relação H vs Dm para MN=1,68 413
10.40	Relação H vs Dm para MN=1,60 414
10.41	Relação H vs Dm para MN=1,56 414
10.42	Relação H vs Dm para MN=1,54 414
10.43	Relação H vs Dm para MN=1,44 414
10.44	Modelo matemático para a auto-compactabilidade - Caixa 415
10.45	Relação entre os parâmetros H2/H1 e H com base nos registos efectuados 416
10.46	Relação entre os parâmetros H2/H1 e H com base nos modelos propostos 417
10.47	Relação entre os parâmetros H2/H1 e MN a partir dos registos efectuados 420
10.48	Relação entre os parâmetros H2/H1 e MN a partir do modelo matemático.. 421
10.49	Relação entre os parâmetros H2/H1, MN e Dm 422

	Pág.
10.50	Modelo matemático para a auto-compactabilidade - Caixa-L 422
10.51	Relação entre MN e H2/H1 quando Dm varia entre os 640 e 660 mm 424
10.52	Relação entre MN e H2/H1 quando Dm varia entre os 630 e 670 mm 424
10.53	Relação entre os parâmetros H e MN a partir dos registos efectuados 427
10.54	Relação entre os parâmetros H e MN a partir do modelo matemático 427
10.55	Relação entre os parâmetros H, MN e Dm 428
10.56	Modelo matemático para a auto-compactabilidade - Caixa 428
10.57	Relação entre MN e H quando Dm varia entre os 640 e 660 mm 429
10.58	Relação entre MN e H quando Dm varia entre os 630 e 670 mm 429
10.59	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=620 mm 432
10.60	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=630 mm 433
10.61	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=640 mm 433
10.62	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=650 mm 434
10.63	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=660 mm 434
10.64	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=670 mm 435
10.65	Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=680 mm 435
10.66	Relação entre H2/H1, Vs/Vm e $V_{ap}\%$ para Dm=650 mm 437
10.67	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=620 mm 441
10.68	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=630 mm 441
10.69	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=640 mm 442
10.70	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=650 mm 442
10.71	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=660 mm 442
10.72	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=670 mm 443
10.73	Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=680 mm 443
10.74	Valores de cálculo de W em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,60 446
10.75	Valores efectivos de W em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,60 446

	Pág.
10.76	Valores de cálculo de W em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,70 447
10.77	Valores efectivos de W em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,70 447
10.78	Valores de cálculo de W em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,80 447
10.79	Valores efectivos de W em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,80 447
10.80	Valores de cálculo de Sp em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,60 450
10.81	Valores efectivos de Sp em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,60 450
10.82	Valores de cálculo de Sp em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,70 450
10.83	Valores efectivos de Sp em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,70 450
10.84	Valores de cálculo de Sp em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,80 451
10.85	Valores efectivos de Sp em função de Vm/Vg para Vp/Vs=0,80 451
10.86	Relação entre a dosagem efectiva de Sp e o consumo de cimento 452
10.87	Relação entre a dosagem efectiva de Sp e o consumo de cimento 453
10.88	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 620 mm 457
10.89	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 630 mm 457
10.90	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 640 mm 457
10.91	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 650 mm 458
10.92	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 660 mm 458
10.93	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 670 mm 458
10.94	Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm= 680 mm 459
10.95	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,92 464
10.96	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,82 464
10.97	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,76 464
10.98	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,68 465
10.99	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,60 465
10.100	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,56 465
10.101	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,54 466

	Pág.
10.102	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,44 466
10.103	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN= 1,40 466
10.104	Curva de referência média do total de agregados da mistura 467
10.105	Relação entre o parâmetro MN e o total de agregados da mistura 468
10.106	Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base os valores de cálculo 471
10.107	Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base os valores efectivos 472
10.108	Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/MC tendo por base os valores de cálculo .. 474
10.109	Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/MC tendo por base os valores efectivos ... 474
10.110	Relação R7/R28 para diferentes famílias de betão 475
10.111	Relação entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade 476
10.112	Relação entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade 477
10.113	Relação entre a resistência à compressão das argamassas e dos betões... 478
11.1	Fluxograma para o estudo da composição do betão auto-compactável 500
11.2	Curva de referência dos agregados finos 503
11.3	Curva de referência dos agregados grossos 504
11.4	Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base os valores efectivos 505
11.5	Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário 506
11.6	Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e fíler granítico 506
11.7	Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes ... 507
11.8	Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e fíler calcário .. 507
11.9	Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e fíler granítico . 507
11.10	Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e cinzas volantes . 508
11.11	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM II/B-L32,5N 508
11.12	Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM I 42,5R 509
11.13	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para as famílias com CEM II/B-L32,5N 509

	Pág.
11.14	Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R 509
11.15	Relação entre (V_p/V_s) e a razão W/C para misturas com CEM II/B-L32,5N.. 511
11.16	Relação entre (V_p/V_s) e a razão W/C para misturas com CEM I 42,5R 511
11.17	Diagrama síntese para o estudo da composição das argamassas 512
11.18	Relação entre MN e H_2/H_1 quando D_m varia entre os 630 e 670 mm 514
11.19	Relação entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade 516
11.20	Diagrama síntese para o estudo da composição das argamassas 521

ANEXOS:

A.1	Estudos reológicos da argamassa A.1.60 609
A.2	Estudos reológicos da argamassa A.1.65 609
A.3	Estudos reológicos da argamassa A.1.70 610
A.4	Estudos reológicos da argamassa A.1.75 610
A.5	Estudos reológicos da argamassa A.1.80 611
A.6	Estudos reológicos da argamassa A.2.60 611
A.7	Estudos reológicos da argamassa A.2.65 612
A.8	Estudos reológicos da argamassa A.2.70 612
A.9	Estudos reológicos da argamassa A.2.75 613
A.10	Estudos reológicos da argamassa A.2.80 613
A.11	Estudos reológicos da argamassa A.3.60 614
A.12	Estudos reológicos da argamassa A.3.65 614
A.13	Estudos reológicos da argamassa A.3.70 615
A.14	Estudos reológicos da argamassa A.3.75 615
A.15	Estudos reológicos da argamassa A.3.80 616
A.16	Estudos reológicos da argamassa A.4.60 616
A.17	Estudos reológicos da argamassa A.4.65 617

	Pág.
A.18 Estudos reológicos da argamassa A.4.70	617
A.19 Estudos reológicos da argamassa A.4.75	618
A.20 Estudos reológicos da argamassa A.4.80	618
A.21 Estudos reológicos da argamassa A.5.60	619
A.22 Estudos reológicos da argamassa A.5.65	619
A.23 Estudos reológicos da argamassa A.5.70	620
A.24 Estudos reológicos da argamassa A.5.75	620
A.25 Estudos reológicos da argamassa A.5.80	621
A.26 Estudos reológicos da argamassa A.6.60	621
A.27 Estudos reológicos da argamassa A.6.65	622
A.28 Estudos reológicos da argamassa A.6.70	622
A.29 Estudos reológicos da argamassa A.6.75	623
A.30 Estudos reológicos da argamassa A.6.80	623
A.31 Estudos reológicos da argamassa A.7.60	624
A.32 Estudos reológicos da argamassa A.7.65	624
A.33 Estudos reológicos da argamassa A.7.70	625
A.34 Estudos reológicos da argamassa A.7.75	625
A.35 Estudos reológicos da argamassa A.7.80	626
A.36 Estudos reológicos da argamassa A.8.60	626
A.37 Estudos reológicos da argamassa A.8.65	627
A.38 Estudos reológicos da argamassa A.8.70	627
A.39 Estudos reológicos da argamassa A.8.75	628
A.40 Estudos reológicos da argamassa A.8.80	628
A.41 Estudos reológicos da argamassa A.9.60	629
A.42 Estudos reológicos da argamassa A.9.65	629
A.43 Estudos reológicos da argamassa A.9.70	630

	Pág.
A.44 Estudos reológicos da argamassa A.9.75	630
A.45 Estudos reológicos da argamassa A.9.80	631
A.46 Estudos reológicos da argamassa A.10.60	631
A.47 Estudos reológicos da argamassa A.10.65	632
A.48 Estudos reológicos da argamassa A.10.70	632
A.49 Estudos reológicos da argamassa A.10.75	633
A.50 Estudos reológicos da argamassa A.10.80	633
A.51 Estudos reológicos da argamassa A.11.60	634
A.52 Estudos reológicos da argamassa A.11.65	634
A.53 Estudos reológicos da argamassa A.11.70	635
A.54 Estudos reológicos da argamassa A.11.75	635
A.55 Estudos reológicos da argamassa A.11.80	636
A.56 Estudos reológicos da argamassa A.12.60	636
A.57 Estudos reológicos da argamassa A.12.70	637
A.58 Estudos reológicos da argamassa A.12.80	637
A.59 Estudos reológicos da argamassa A.13.60	638
A.60 Estudos reológicos da argamassa A.13.70	638
A.61 Estudos reológicos da argamassa A.13.80	639
A.62 Estudos reológicos da argamassa A.14.60	639
A.63 Estudos reológicos da argamassa A.14.70	640
A.64 Estudos reológicos da argamassa A.14.80	640
A.65 Estudos reológicos da argamassa A.15.60	641
A.66 Estudos reológicos da argamassa A.15.70	641
A.67 Estudos reológicos da argamassa A.15.80	642
A.68 Estudos reológicos da argamassa A.I.80	642
A.69 Estudos reológicos da argamassa A.II.80	643

		Pág.
A.70	Estudos reológicos da argamassa A.III.80	643
A.71	Estudos reológicos da argamassa A.IV.80	644
A.72	Estudos reológicos da argamassa A.V.80	644
A.73	Estudos reológicos da argamassa A.VI.80	645
A.74	Estudos reológicos da argamassa A.VII.80	645

ÍNDICE DE QUADROS

	Pág.
3.1	Propriedades dos agregados finos 57
4.1	Espaçamento entre varões para os ensaios da Caixa-U e Caixa 84
5.1	Sequência de amassadura para betões auto-compactáveis 103
6.1	Limites para betões sem agentes de viscosidade 138
6.2	Valores de referência para a auto-compactabilidade 139
6.3	Síntese do método proposto pela JSCE 141
6.4	Níveis de auto-compactabilidade e requisitos funcionais 141
7.1	Proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05 185
7.2	Proporções em volume absoluto entre a Brita 3/6 e a Brita 6/15 186
7.3	Misturas binárias de cimentos e adições para a composição dos finos 188
7.4	Misturas ternárias de cimentos e adições para a composição dos finos 189
7.5	Exemplo da folha de cálculo EXCEL desenvolvida para argamassas 197
7.6	Exemplo da folha de cálculo EXCEL desenvolvida para betões 240
8.1	Massas volúmicas dos ligantes 276
8.2	Ensaio mecânicos dos ligantes 276
8.3	Ensaio físicos dos ligantes 276
8.4	Análise química dos ligantes 276
8.5	Massas volúmicas das adições minerais 277
8.6	Parâmetros físicos das adições medidos no COULTER LS200 277

	Pág.
8.7	Características químicas das cinzas volantes 278
8.8	Características físicas das cinzas volantes 279
8.9	Características químicas do fíler calcário 279
8.10	Características físicas do fíler calcário 279
8.11	Massas volúmicas dos agregados 280
8.12	Baridade dos agregados secos compactados 280
8.13	Absorção de água dos agregados 280
8.14	Análise granulométrica dos agregados 281
8.15	Características do superplastificante 282
8.16	Proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05 283
8.17	Curva de referência dos agregados finos 283
8.18	Proporções em volume absoluto entre a Brita 3/6 e a Brita 6/15 285
8.19	Curva de referência dos agregados grossos 285
8.20	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.1 288
8.21	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.2 288
8.22	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.3 288
8.23	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.4 288
8.24	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.5 289
8.25	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.6 289
8.26	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.7 289
8.27	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.8 289
8.28	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.9 289
8.29	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.10 290
8.30	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.11 290
8.31	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.12 290
8.32	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.13 290

	Pág.
8.33	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.14 290
8.34	Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.15 290
8.35	Síntese dos resultados obtidos nas famílias de argamassas A.I a A.VII 291
8.36	Identificação das amassaduras de betão 292
8.37	Correcções efectuadas nas amassaduras 294
8.38	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.2 296
8.39	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.3 297
8.40	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.4 297
8.41	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.5 297
8.42	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.6 297
8.43	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.7 298
8.44	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.8 298
8.45	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.12 298
8.46	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.13 298
8.47	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.14 298
8.48	Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.15 298
8.49	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.2 299
8.50	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.3 299
8.51	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.4 299
8.52	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.5 300
8.53	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.6 300
8.54	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.7 300
8.55	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.8 300
8.56	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.12 300
8.57	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.13 300
8.58	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.14 301

	Pág.
8.59	Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.15 301
8.60	Relação (R7/R28) para a família de betões B.2 301
8.61	Relação (R7/R28) para a família de betões B.3 301
8.62	Relação (R7/R28) para a família de betões B.4 301
8.63	Relação (R7/R28) para a família de betões B.5 302
8.64	Relação (R7/R28) para a família de betões B.6 302
8.65	Relação (R7/R28) para a família de betões B.7 302
8.66	Relação (R7/R28) para a família de betões B.8 302
8.67	Relação (R7/R28) para a família de betões B.12 302
8.68	Relação (R7/R28) para a família de betões B.13 303
8.69	Relação (R7/R28) para a família de betões B.14 303
8.70	Relação (R7/R28) para a família de betões B.15 303
10.1	Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H2/H1 400
10.2	Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H 408
10.3	Dosagem de água em função do tipo de materiais finos (1) 449
10.4	Dosagem de água em função do tipo de materiais finos (2) 449
10.5	Percentual de argamassa seca 456
10.6	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,92 461
10.7	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,82 461
10.8	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,76 462
10.9	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,68 462
10.10	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,60 462
10.11	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,56 462
10.12	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,54 463
10.13	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,44 463

	Pág.
10.14	Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,40 463
10.15	Curva de referência média do total de agregados da mistura 463
11.1	Curva de referência dos agregados finos 503
11.2	Curva de referência dos agregados grossos 504
11.3	Folha de cálculo EXCEL para o estudo da argamassa 520
11.4	Aplicação da folha de cálculo para o estudo do betão: Exemplo 1 523
11.5	Aplicação da folha de cálculo para o estudo do betão: Exemplo 2 526
11.6	Aplicação da folha de cálculo para o estudo do betão: Exemplo 3 527

ANEXOS:

A.1	Composição da argamassa A.1.0,60.3 569
A.2	Composição da argamassa A.1.0,65.1 569
A.3	Composição da argamassa A.1.0,70.6 570
A.4	Composição da argamassa A.1.0,75.3 570
A.5	Composição da argamassa A.1.0,80.4 571
A.6	Composição da argamassa A.2.0,60.3 571
A.7	Composição da argamassa A.2.0,65.1 572
A.8	Composição da argamassa A.2.0,70.2 572
A.9	Composição da argamassa A.2.0,75.2 573
A.10	Composição da argamassa A.2.0,80.1 573
A.11	Composição da argamassa A.3.0,60.6 574
A.12	Composição da argamassa A.3.0,65.2 574
A.13	Composição da argamassa A.3.0,70.2 575
A.14	Composição da argamassa A.3.0,75.2 575
A.15	Composição da argamassa A.3.0,80.1 576

	Pág.
A.16	Composição da argamassa A.4.0,60.2 576
A.17	Composição da argamassa A.4.0,65.2 577
A.18	Composição da argamassa A.4.0,70.3 577
A.19	Composição da argamassa A.4.0,75.2 578
A.20	Composição da argamassa A.4.0,80.3 578
A.21	Composição da argamassa A.5.0,60.2 579
A.22	Composição da argamassa A.5.0,65.5 579
A.23	Composição da argamassa A.5.0,70.2 580
A.24	Composição da argamassa A.5.0,75.4 580
A.25	Composição da argamassa A.5.0,80.3 581
A.26	Composição da argamassa A.6.0,60.2 581
A.27	Composição da argamassa A.6.0,65.3 582
A.28	Composição da argamassa A.6.0,70.3 582
A.29	Composição da argamassa A.6.0,75.2 583
A.30	Composição da argamassa A.6.0,80.4 583
A.31	Composição da argamassa A.7.0,60.5 584
A.32	Composição da argamassa A.7.0,65.2 584
A.33	Composição da argamassa A.7.0,70.2 585
A.34	Composição da argamassa A.7.0,75.3 585
A.35	Composição da argamassa A.7.0,80.2 586
A.36	Composição da argamassa A.8.0,60.2 586
A.37	Composição da argamassa A.8.0,65.3 587
A.38	Composição da argamassa A.8.0,70.2 587
A.39	Composição da argamassa A.8.0,75.2 588
A.40	Composição da argamassa A.8.0,80.2 588
A.41	Composição da argamassa A.9.0,60.2 589

	Pág.
A.42	Composição da argamassa A.9.0,65.2 589
A.43	Composição da argamassa A.9.0,70.3 590
A.44	Composição da argamassa A.9.0,75.2 590
A.45	Composição da argamassa A.9.0,80.2 591
A.46	Composição da argamassa A.10.0,60.2 591
A.47	Composição da argamassa A.10.0,65.2 592
A.48	Composição da argamassa A.10.0,70.2 592
A.49	Composição da argamassa A.10.0,75.2 593
A.50	Composição da argamassa A.10.0,80.2 593
A.51	Composição da argamassa A.11.0,60.3 594
A.52	Composição da argamassa A.11.0,65.2 594
A.53	Composição da argamassa A.11.0,70.2 595
A.54	Composição da argamassa A.11.0,75.2 595
A.55	Composição da argamassa A.11.0,80.2 596
A.56	Composição da argamassa A.12.0,60.2 596
A.57	Composição da argamassa A.12.0,70.2 597
A.58	Composição da argamassa A.12.0,80.2 597
A.59	Composição da argamassa A.13.0,60.3 598
A.60	Composição da argamassa A.13.0,70.1 598
A.61	Composição da argamassa A.13.0,80.2 599
A.62	Composição da argamassa A.14.0,60.2 599
A.63	Composição da argamassa A.14.0,70.2 600
A.64	Composição da argamassa A.14.0,80.1 600
A.65	Composição da argamassa A.15.0,60.2 601
A.66	Composição da argamassa A.15.0,70.2 601
A.67	Composição da argamassa A.15.0,80.2 602

	Pág.
A.68	Composição da argamassa A.I.0,80.7 602
A.69	Composição da argamassa A.II.0,80.1 603
A.70	Composição da argamassa A.III.0,80.4 603
A.71	Composição da argamassa A.IV.0,80.4..... 604
A.72	Composição da argamassa A.V.0,80.2 604
A.73	Composição da argamassa A.VI.0,80.3 605
A.74	Composição da argamassa A.VII.0,80.3 605
A.75	Estudos reológicos da argamassa A.1.60 609
A.76	Estudos reológicos da argamassa A.1.65 609
A.77	Estudos reológicos da argamassa A.1.70 610
A.78	Estudos reológicos da argamassa A.1.75 610
A.79	Estudos reológicos da argamassa A.1.80 611
A.80	Estudos reológicos da argamassa A.2.60 611
A.81	Estudos reológicos da argamassa A.2.65 612
A.82	Estudos reológicos da argamassa A.2.70 612
A.83	Estudos reológicos da argamassa A.2.75 613
A.84	Estudos reológicos da argamassa A.2.80 613
A.85	Estudos reológicos da argamassa A.3.60 614
A.86	Estudos reológicos da argamassa A.3.65 614
A.87	Estudos reológicos da argamassa A.3.70 615
A.88	Estudos reológicos da argamassa A.3.75 615
A.89	Estudos reológicos da argamassa A.3.80 616
A.90	Estudos reológicos da argamassa A.4.60 616
A.91	Estudos reológicos da argamassa A.4.65 617
A.92	Estudos reológicos da argamassa A.4.70 617
A.93	Estudos reológicos da argamassa A.4.75 618

	Pág.
A.94 Estudos reológicos da argamassa A.4.80	618
A.95 Estudos reológicos da argamassa A.5.60	619
A.96 Estudos reológicos da argamassa A.5.65	619
A.97 Estudos reológicos da argamassa A.5.70	620
A.98 Estudos reológicos da argamassa A.5.75	620
A.99 Estudos reológicos da argamassa A.5.80	621
A.100 Estudos reológicos da argamassa A.6.60	621
A.101 Estudos reológicos da argamassa A.6.65	622
A.102 Estudos reológicos da argamassa A.6.70	622
A.103 Estudos reológicos da argamassa A.6.75	623
A.104 Estudos reológicos da argamassa A.6.80	623
A.105 Estudos reológicos da argamassa A.7.60	624
A.106 Estudos reológicos da argamassa A.7.65	624
A.107 Estudos reológicos da argamassa A.7.70	625
A.108 Estudos reológicos da argamassa A.7.75	625
A.109 Estudos reológicos da argamassa A.7.80	626
A.110 Estudos reológicos da argamassa A.8.60	626
A.111 Estudos reológicos da argamassa A.8.65	627
A.112 Estudos reológicos da argamassa A.8.70	627
A.113 Estudos reológicos da argamassa A.8.75	628
A.114 Estudos reológicos da argamassa A.8.80	628
A.115 Estudos reológicos da argamassa A.9.60	629
A.116 Estudos reológicos da argamassa A.9.65	629
A.117 Estudos reológicos da argamassa A.9.70	630
A.118 Estudos reológicos da argamassa A.9.75	630
A.119 Estudos reológicos da argamassa A.9.80	631

	Pág.
A.120	Estudos reológicos da argamassa A.10.60 631
A.121	Estudos reológicos da argamassa A.10.65 632
A.122	Estudos reológicos da argamassa A.10.70 632
A.123	Estudos reológicos da argamassa A.10.75 633
A.124	Estudos reológicos da argamassa A.10.80 633
A.125	Estudos reológicos da argamassa A.11.60 634
A.126	Estudos reológicos da argamassa A.11.65 634
A.127	Estudos reológicos da argamassa A.11.70 635
A.128	Estudos reológicos da argamassa A.11.75 635
A.129	Estudos reológicos da argamassa A.11.80 636
A.130	Estudos reológicos da argamassa A.12.60 636
A.131	Estudos reológicos da argamassa A.12.70 637
A.132	Estudos reológicos da argamassa A.12.80 637
A.133	Estudos reológicos da argamassa A.13.60 638
A.134	Estudos reológicos da argamassa A.13.70 638
A.135	Estudos reológicos da argamassa A.13.80 639
A.136	Estudos reológicos da argamassa A.14.60 639
A.137	Estudos reológicos da argamassa A.14.70 640
A.138	Estudos reológicos da argamassa A.14.80 640
A.139	Estudos reológicos da argamassa A.15.60 641
A.140	Estudos reológicos da argamassa A.15.70 641
A.141	Estudos reológicos da argamassa A.15.80 642
A.142	Estudos reológicos da argamassa A.I.80 642
A.143	Estudos reológicos da argamassa A.II.80 643
A.144	Estudos reológicos da argamassa A.III.80 643
A.145	Estudos reológicos da argamassa A.IV.80 644

	Pág.
A.146	Estudos reológicos da argamassa A.V.80 644
A.147	Estudos reológicos da argamassa A.VI.80 645
A.148	Estudos reológicos da argamassa A.VII.80 645
A.149	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.1..... 649
A.150	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.2..... 649
A.151	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.3..... 650
A.152	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.4..... 650
A.153	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.5..... 651
A.154	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.6..... 651
A.155	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.7..... 652
A.156	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.8..... 652
A.157	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.9..... 653
A.158	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.10..... 653
A.159	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.11 654
A.160	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.12 654
A.161	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.13 655
A.162	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.14 655
A.163	Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.15 656
A.164	Resist. à compressão aos 28 dias das argamassas das séries A.I a A.IV 656
A.165	Resist. à compressão aos 28 dias das argamassas das séries A.V a A.VII .. 657
A.166	Composição do betão B.2.1 663
A.167	Composição do betão B.2.2 664
A.168	Composição do betão B.2.3 665
A.169	Composição do betão B.2.4 666
A.170	Composição do betão B.2.5 667
A.171	Composição do betão B.2.6 668

	Pág.
A.172	Composição do betão B.2.7 669
A.173	Composição do betão B.2.8 670
A.174	Composição do betão B.2.9 671
A.175	Composição do betão B.2.10 672
A.176	Composição do betão B.3.1 673
A.177	Composição do betão B.3.2 674
A.178	Composição do betão B.3.3 675
A.179	Composição do betão B.3.4 676
A.180	Composição do betão B.3.5 677
A.181	Composição do betão B.3.6 678
A.182	Composição do betão B.3.7 679
A.183	Composição do betão B.3.9 680
A.184	Composição do betão B.3.10 681
A.185	Composição do betão B.4.1 682
A.186	Composição do betão B.4.3 683
A.187	Composição do betão B.4.4 684
A.188	Composição do betão B.4.5 685
A.189	Composição do betão B.4.7 686
A.190	Composição do betão B.4.9 687
A.191	Composição do betão B.4.10 688
A.192	Composição do betão B.5.1 689
A.193	Composição do betão B.5.3 690
A.194	Composição do betão B.5.4 691
A.195	Composição do betão B.5.7 692
A.196	Composição do betão B.5.9 693
A.197	Composição do betão B.5.10 694

	Pág.
A.198	Composição do betão B.6.1 695
A.199	Composição do betão B.6.2 696
A.200	Composição do betão B.6.3 697
A.201	Composição do betão B.6.4 698
A.202	Composição do betão B.6.5 699
A.203	Composição do betão B.6.7 700
A.204	Composição do betão B.6.9 701
A.205	Composição do betão B.6.10 702
A.206	Composição do betão B.7.1 703
A.207	Composição do betão B.7.10 704
A.208	Composição do betão B.8.1 705
A.209	Composição do betão B.8.2 706
A.210	Composição do betão B.8.3 707
A.211	Composição do betão B.8.4 708
A.212	Composição do betão B.8.9 709
A.213	Composição do betão B.8.10 710
A.214	Composição do betão B.12.1 711
A.215	Composição do betão B.12.10 712
A.216	Composição do betão B.13.1 713
A.217	Composição do betão B.13.10 714
A.218	Composição do betão B.14.1 715
A.219	Composição do betão B.14.10 716
A.220	Composição do betão B.15.1 717
A.221	Composição do betão B.15.10 718
A.222	Estudos reológicos dos betões 721
A.223	Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.2 725

	Pág.
A.224 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.2	725
A.225 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.3	726
A.226 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.3	726
A.227 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.4	727
A.228 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.4	727
A.229 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.5	728
A.230 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.5	728
A.231 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.6	729
A.232 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.6	729
A.233 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.7	730
A.234 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.7	730
A.235 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.8	730
A.236 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.8	731
A.237 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.12	731
A.238 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.12	731
A.239 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.13.....	732
A.240 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.13	732
A.241 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.14	732
A.242 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.14	733
A.243 Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.15	733
A.244 Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.15	733

SIGLAS

- ACI - American Concrete Institute, Detroit (USA).
- AFGC - Association Française de Génie Civil.
- CBI - Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- FCTUC - Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra.
- FIB - Fédération Internationale du Béton.
- FIP - Fédération Internationale de la Précontrainte.
- JSCE - Japan Society of Civil Engineers.
- LCPC - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Nantes, France.
- LNEC - Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa (Portugal).
- NP - Norma Portuguesa.
- RILEM - Réunion Internationale des Laboratoires d'Essais et de Recherches sur les Matériaux et les Constructions, Paris (France).
- UBI - Universidade da Beira Interior.

SIMBOLOGIA

τ	Tensão de corte, em Pa
τ_0	Tensão inicial de corte, em Pa
$\dot{\gamma}$	Taxa de deformação, em s^{-1}
a_i	Percentagem unitária do agregado fino i no volume absoluto do total dos agregados finos (V_s)
$A_i\%$	Absorção de água do agregado i , expressa em percentagem referida à massa do agregado seco
$A_s\%$	Percentual de argamassa seca, isto é, a razão, expressa em percentagem, entre o somatório das massas dos componentes secos do betão com $\emptyset < 4,76$ mm e o somatório das massas de todos os componentes secos desse betão
B_i	Baridade do agregado seco compactado i , expressa em kg/m^3
c	Espaçamento entre varões
C_i	Massa do cimento i na mistura, em kg/m^3
C_p	Compacidade da mistura de agregados, em m^3/m^3
CRAF	Curva granulométrica de referência dos agregados finos
CRAG	Curva granulométrica de referência dos agregados grossos
CREAL	Curva granulométrica de referência para o total de agregados de uma mistura
CREF	Curva granulométrica de referência média para o total de agregados de misturas com determinado valor de MN
CV	Massa das cinzas volantes na mistura, em kg/m^3
C_v	Coeficiente de variação de um conjunto de valores
D_0	Diâmetro inicial na base do cone no ensaio de espalhamento de argamassas e betões, expresso em mm
D_{av}	Diâmetro médio do total das partículas de agregado, em mm

Dm	Diâmetro médio de espalhamento no ensaio de espalhamento de argamassas e betões, expresso em mm
Dmáx.	Máxima dimensão do agregado mais grosso, expressa em mm
Dss	Distância média entre as superfícies das partículas de agregado
Dssmin	Distância média mínima necessária entre as superfícies das partículas de agregado para evitar o bloqueio, expressa em mm
e	Profundidade de penetração do agregado no ensaio da resistência à segregação vertical estática (mistura em repouso), expressa em mm
f_{Ad}	Percentagem unitária da adição no volume absoluto do total de materiais finos da mistura (V_p) (ou percentagem unitária de substituição do cimento pela adição)
FC	Massa do filer calcário na mistura, em kg/m^3
$fc1$	Percentagem unitária do cimento 1 no volume absoluto do total de finos (V_p)
$fc2$	Percentagem unitária do cimento 2 no volume absoluto do total de finos (V_p)
$f_{cm,28}$	Valor médio da resistência à compressão do betão aos 28 dias de idade, expresso em MPa
$f_{cm,7}$	Valor médio da resistência à compressão do betão aos 7 dias de idade, expresso em MPa
fcv	Percentagem unit. de cinzas volantes no volume absoluto do total de finos (V_p)
ffc	Percentagem unitária de filer calcário no volume absoluto do total de finos (V_p)
ffg	Percentagem unitária de filer granítico no volume absoluto do total de finos (V_p)
FG	Massa do filer granítico na mistura, em kg/m^3
f_i	Percentagem unitária do material fino i no volume absoluto do total de finos (V_p)
$f_{m,28}$	Valor médio da resistência à compressão da argamassa aos 28 dias de idade, expressa em MPa
f_{ms}	Percentagem unitária de microsilica no volume absoluto do total de finos (V_p)
Gc	Área de espalhamento relativa no ensaio de espalhamento do betão

gi	Percentagem unitária do agregado grosso i no volume absoluto do total dos agregados grossos (Vg)
Gm	Área de espalhamento relativa no ensaio de espalhamento da argamassa
H	Altura atingida pela coluna de betão nos ensaios da Caixa e Caixa-U após a abertura da comporta e cessação do movimento do betão, expressa em mm
H1	Altura do betão na coluna vertical da Caixa-L no final do ensaio e após cessar o movimento do betão, expressa em mm
H2	Altura do betão na extremidade da Caixa-L no final do ensaio e após cessar o movimento do betão, expressa em mm
H2/H1	Razão entre a altura do betão na extremidade da Caixa-L (H2) e na coluna vertical (H1), no final do ensaio e após cessar o movimento do betão
HI	Altura de assentamento do betão na coluna vertical da Caixa-L, em mm
K'	Índice parcial de compactação de cada classe granular
K'cg	Somatório dos índices parciais de compact. de cada classe granular $d_i \geq d^{90}/2,5$
K'p	Somatório dos índices parciais de compactação de cada classe granular $d_i \leq 80\mu\text{m}$
K'p ^{min}	Valor mínimo aceitável de K'p para evitar a segregação vertical
Ksf	Percentagem unitária do volume de material fino presente na unidade de volume do agregado fino
MF	Módulo de finura
MN	Número de mistura que designa o produto do parâmetro (Vp/Vs) pelo parâmetro (Vm/Vg)
MS	Massa da microssílica na mistura, em kg/m ³
nabi	Razão volumétrica de bloqueio do agregado do grupo i
Nga	Razão entre os volumes absolutos de agregado grosso e do total de agregados
Ø	Diâmetro da armadura
R7/R28	Razão entre os valores médios da resistência à compressão do betão aos 7 e 28 dias de idade

Rc	Velocidade relativa de escoamento no ensaio de fluidez do betão, em s ⁻¹
Rm	Velocidade relativa de escoamento no ensaio de fluidez da argamassa, em s ⁻¹
Sd	Desvio padrão de um conjunto de valores
Si	Massa do agregado fino i na mistura, em kg/m ³
Sp	Volume de superplastificante na mistura, em l/m ³
Sp/p	O mesmo que Sp/p%
Sp/p%	Razão percentual em massa entre as quantidades totais de superplastificante e de materiais finos na mistura
t	Tempo de escoamento no ensaio de fluidez de argamassas e betões, expresso em segundos
T20	Tempo que o betão demora a percorrer a distância de 20 cm na Caixa-L após a abertura da comporta, expresso em s
T40	Tempo que o betão demora a percorrer a distância de 40 cm na Caixa-L após a abertura da comporta, expresso em s
T50	Tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 50 cm no ensaio de espalhamento do betão, expresso em segundos
Vabi	Volume de bloqueio do agregado do grupo i
Vabmáx	Volume máximo de agregado admissível
Vai	Volume do agregado do grupo i
Vap%	Percentagem do volume aparente compactado, isto é, a razão, expressa em percentagem, entre Vg e o volume absoluto ocupado pelas partículas de agregado grosso seco compactado na unidade de volume de 1 m ³ subtraída do volume de vazios previsto para a mistura
V _{C1}	Volume absoluto do cimento 1 na mistura, em m ³ /m ³
V _{C2}	Volume absoluto do cimento 2 na mistura, em m ³ /m ³
V _{CV}	Volume absoluto das cinzas volantes na mistura, em m ³ /m ³
V _{FC}	Volume absoluto do fíler calcário na mistura, em m ³ /m ³

V_{FG}	Volume absoluto do filer granítico na mistura, em m^3/m^3
V_g	Volume absoluto do total de agregados grossos da mistura, em m^3/m^3
$V_{g,lim}$	Volume aparente de agregado grosso compactado, isto é, o volume do total das partículas de agregado grosso seco compactado na unidade de volume (ou razão entre a baridade compactada e a massa volúmica do total de agregado grosso)
V_{G1}	Volume absoluto do agregado grosso 1 na mistura, em m^3/m^3
V_{G2}	Volume absoluto do agregado grosso 2 na mistura, em m^3/m^3
V_i	Volume absoluto do material i na mistura, em m^3/m^3
V_m	Volume absoluto da argamassa na mistura, em m^3/m^3
V_m/V_g	Razão em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos na mistura
V_{MS}	Volume absoluto da microssílica na mistura, em m^3/m^3
V_p	Volume absoluto do total de material fino, em m^3/m^3
V_p/V_s	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de materiais finos e de agregados finos na mistura
V_{pmin}	Volume mínimo de pasta necessária (l/m^3) para evitar o bloqueio, considerando determinada razão entre o agregado grosso e o total de agregados (N_{ga})
V_{pw}	Volume de pasta no betão
V_{pwmin}	Volume mínimo de pasta para o respectivo N_{ga}
V_s	Volume absoluto do total de agregados finos, em m^3/m^3
V_{S1}	Volume absoluto do agregado fino 1 na mistura, em m^3/m^3
V_{S2}	Volume absoluto do agregado fino 2 na mistura, em m^3/m^3
V_{sp}	Volume de superplastificante da mistura, em m^3/m^3
V_{sp}/V_p	Razão em volume absoluto entre as quantidades de superplastificante e de materiais finos na mistura
V_t	Volume total de betão
V_v	Volume de vazios da mistura, em m^3/m^3

Vvoid	Volume de vazios da matriz do total de agregados no estado compactado
Vw	Volume de água da mistura, em m ³ /m ³
Vw/Vp	Razão em volume absoluto entre as quantidades totais de água e de materiais finos na mistura
W	Volume de água na mistura, em l/m ³
W/B	O mesmo que (W/C)
W/C	Razão em massa entre as quantidades de água e de cimento da mistura
W/F	Razão em massa entre as quantidades de água e de materiais finos da mistura
W/MC	Razão em massa entre as quantidades de água e de materiais cimentícios da mistura
W/P	O mesmo que (W/F)
$\Delta(Sp/p\%)$	Varição da razão (Sp/p%) face ao valor inicial calculado para a mistura
$\Delta(Vw/Vp)$	Varição da razão (Vw/Vp) face ao valor inicial calculado para a mistura
$\bar{\rho}_i$	Massa volúmica do material i, expressa em kg/m ³
ΔSp	Varição da dosagem de superplastificante em valor absoluto (l/m ³) face ao valor inicial
$\Delta Sp\%$	Varição da dosagem de superplastificante em valor absoluto (l/m ³), expressa em percentagem do valor inicial calculado para a mistura
ΔW	Varição da dosagem de água em valor absoluto (l/m ³) face ao valor inicial
$\Delta W\%$	Varição da dosagem de água em valor absoluto (l/m ³), expressa em percentagem do valor inicial calculado para a mistura
μ	Viscosidade plástica, em Pa.s

INTRODUÇÃO

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

1.1 – Generalidades

Por melhor estudada e controlada que seja a composição de um betão corrente vibrado, e por melhores que sejam as técnicas de controlo de produção, transporte e colocação, a qualidade final do betão endurecido dependerá sempre, em última análise, do trabalho de compactação realizado em obra e das acções adoptadas no processo de cura “in situ”. Para além de representar uma das tarefas mais pesadas do trabalho do betão, a compactação em particular, exige mão-de-obra especializada para assegurar o adequado desempenho do betão endurecido e, conseqüentemente, para assegurar a adequada durabilidade dos elementos estruturais.

Sensivelmente a partir de 1983, o problema da durabilidade das estruturas de betão passou a ser um assunto do maior interesse no Japão [46]. A redução gradual no número de operários especializados na indústria da construção, a qual se reflectiu numa diminuição da qualidade dos trabalhos de construção, conduziu à necessidade do desenvolvimento de um novo tipo de betão, o qual mais tarde se veio a designar por betão auto-compactável [46]. A necessidade deste novo tipo de betão foi proposta por Okamura em 1986, tendo em vista a garantia de uma maior homogeneidade do betão e uma melhoria na durabilidade das estruturas independentemente da qualidade dos trabalhos de compactação [46]. Este novo tipo de betão foi então definido como um betão muito fluido, homogéneo e estável, colocado sem vibração (compactado apenas pelo efeito da gravidade) e que confere às estruturas uma qualidade pelo menos equivalente àquela correspondente aos betões convencionais vibrados em obra [10].

De um modo geral, a tecnologia do betão auto-compactável é entendida como um novo conceito de betão que oferece as vantagens imediatas de muito fácil colocação e supressão da fase de vibração. Em consequência, a tarefa de betonagem torna-se mais

fácil, há um melhor acabamento das superfícies, toda a betonagem é mais rápida, há menos poluição sonora, poupança de pessoal e de equipamento e, tudo isto, conjuntamente com óptima qualidade dos elementos betonados, alta impermeabilidade e durabilidade [10, 60, 70].

No Japão, durante a década de 90, foram efectuadas inúmeras investigações envolvendo universidades, grandes empresas de construção e produtores de materiais. Como resultado, o AIJ (*Architectural Institute of Japan*) definiu, em 1997, as recomendações para o cálculo e práticas de construção de betões altamente fluidos, enquanto a JSCE (*Japan Society of Civil Engineers*) publicava, em 1998, as recomendações para a construção com betões auto-compactáveis. Em 1998 a associação japonesa da indústria de betão pronto publicou um manual para a produção de betões auto-compactáveis. Os trabalhos de investigação acerca deste novo tipo de betão têm sido também desenvolvidos em outros países para além do Japão, como sejam, Tailândia, Taiwan, Coreia, Canadá, Suécia, Holanda, entre outros [7, 30, 47, 49, 53, 69, 79].

Na última década, a nova tecnologia dos betões auto-compactáveis tem vindo a desenvolver-se gradualmente na Europa, onde é vista como uma técnica promissora que poderá vir a substituir, em muitas aplicações, a técnica convencional do betão vibrado [10]. Os exemplos da sua aplicação prática em estruturas podem ser vistos especialmente na Suécia e Holanda [47, 53, 69]. Apesar disso, o betão auto-compactável continua ainda hoje a ser encarado como um betão especial para soluções especiais, mais do que, como um betão corrente para obras correntes. Para este panorama têm concorrido, por um lado, os aspectos económicos, uma vez que o custo de produção deste tipo de betões é em geral superior àquele obtido em betões correntes [28] e, por outro, a ainda fraca divulgação e implementação desta tecnologia na indústria da construção, provavelmente pela ausência de normalização específica para este tipo de betão.

As regras para o uso de betões auto-compactáveis estão actualmente a ser esboçadas em alguns países europeus [10] e têm sido acompanhadas de novas propostas para o estudo da composição deste tipo de betões, de que são exemplos os métodos

propostos pelo LCPC [11, 33, 61] e pelo CBI [11, 56, 57, 79]. A par desta evolução, o Comité Técnico da RILEM (TC-174), formado em 1997, publicou em 2000 um relatório sobre o estado da arte desta nova tecnologia emergente do betão auto-compactável, com a participação de 10 países de 4 continentes. Este relatório analisa os pontos de vista consensuais e as diferentes contribuições em todas as fases que decorrem desde o cálculo à colocação do betão em obra [66, 68].

Em Portugal, são ainda escassos e pouco relevantes os exemplos de aplicação do betão auto-compactável em obras correntes [8, 58, 59]. O estudo deste material tem sido limitado quase exclusivamente a trabalhos científicos desenvolvidos em algumas das universidades do país. Refira-se, por exemplo, os trabalhos realizados na Universidade do Porto por Sandra Nunes em colaboração com outros investigadores, descritos no Encontro Nacional de Betão Estrutural em 2000 [44] e que vieram a culminar com a apresentação de uma dissertação de mestrado em 2001 [45]. Neste trabalho foi definida a composição adequada de um betão auto-compactável utilizando o método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] e materiais correntemente disponíveis na região.

Um outro trabalho científico foi realizado por Rui Ferreira na Universidade do Minho em 2001 [26]. Tendo igualmente por referência o método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], Ferreira desenvolveu uma curva de referência para o total de agregados de betões auto-compactáveis e propôs a adequação dos parâmetros usados correntemente entre nós no método das curvas de referência. Na Universidade de Coimbra, Nídia Dias apresentou em 2002 uma dissertação de mestrado intitulada “Betão Auto-compactável Branco” [9]. Neste estudo foram analisadas as composições com exigências estéticas complementares e foram propostos valores para os coeficientes de Feret, determinados a partir de misturas doseadas com recurso aos métodos propostos por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] e pela JSCE [11, 35]. Poderiam ainda citar-se outros estudos mais laterais, tais como os realizados por Oliveira [48] na Universidade da Beira Interior, visando a obtenção de betões auto-compactáveis para alvenaria estrutural.

Regra geral, os materiais constituintes utilizados para produzir betões correntes vibrados e todas as recomendações quanto à conformidade desses materiais podem ser aplicadas ao betão auto-compactável. A especificidade deste novo tipo de betão tem no entanto suscitado estudos no sentido de aprimorar alguns dos materiais constituintes. Por exemplo, no caso dos cimentos, tem sido reconhecido que a interacção química entre os componentes do cimento e os superplastificantes desempenha um papel importante na dispersão das partículas, enquanto que a distribuição granulométrica das partículas de cimento e a sua forma podem ser considerados como factores físicos que influenciam o comportamento reológico da pasta [35].

Os cimentos Portland de baixo calor de hidratação com pequena fase intersticial de (C3A) e (C4AF) ou o cimento rico em (C2S) têm sido sugeridos como adequados para os betões auto-compactáveis por acentuarem a acção dispersante dos superplastificantes [35]. Para aumentar a coesão da pasta tem sido sugerido o aumento da compacidade do cimento, o que conduziu ao desenvolvimento de cimentos estabilizados mecanicamente, com partículas grossas e finas de clínquer [35].

Uma das premissas para se obter betões auto-compactáveis do tipo finos, é a utilização de uma dosagem elevada de materiais finos. A utilização somente de cimento como único material fino conduz a dosagens muito elevadas deste material, o que implica custos elevados na produção do betão, para além das consequências negativas para o seu comportamento no estado endurecido. Nesta medida, têm sido utilizadas adições (que podem ser ou não pozolânicas), no sentido de substituir parte do cimento. Em combinações binárias (dois tipos de materiais finos) têm ocorrido normalmente associações de cimento com fíler calcário ou com cinzas volantes. Contudo, outros materiais resultantes de desperdícios industriais têm sido investigados como possíveis soluções para a substituição parcial do cimento [28].

As adições do tipo I (quase inertes) que mais têm sido utilizadas no fabrico de betões auto-compactáveis são constituídas por fíler calcário. As adições do tipo II (pozolânicas ou potencialmente hidráulicas) incluem as escórias granuladas de alto forno de elevada finura,

as cinzas volantes e a sílica de fumo. O fíler calcário e as cinzas volantes têm sido utilizados com sucesso em substituição parcial do cimento, revelando melhorias ao nível das propriedades reológicas e na redução substancial das dosagens de superplastificante comparativamente às misturas só com cimento. Em estruturas de grandes massas, o fíler calcário tem-se revelado efectivo na inibição do aumento da temperatura do betão e na prevenção do surgimento de fissuras por gradientes térmicos [35]. A sílica de fumo tem sido apontada como uma adição muito útil quando se pretende aumentar o tempo de retenção da trabalhabilidade [13, 75]. Contudo, mesmo quando usada em percentagens de substituição do cimento muito reduzidas, inferiores a 10%, esta adição (sílica de fumo) conduz a consumos de superplastificante muito elevados, comparativamente a quaisquer das adições antes referidas, sejam elas do tipo I ou do tipo II [13, 75].

Um dos grandes avanços no que diz respeito aos materiais para o betão auto-compactável registou-se no desenvolvimento de uma nova geração de superplastificantes à base de policarboxilatos modificados, especificamente adequados a este novo tipo de betão. Efectivamente, inúmeros trabalhos têm demonstrado a eficácia deste tipo de adjuvante na melhoria do comportamento reológico do betão, na redução do consumo de superplastificante e na retenção da trabalhabilidade [13, 35, 62, 84].

São escassos os métodos de estudo da composição que incluem o uso de agentes de viscosidade, mas a sua utilização tem sido reconhecida como útil no aumento da resistência à segregação e na redução dos efeitos das variações nas propriedades da matéria-prima, especialmente a humidade das areias [35]. Neste último caso, face às variações das dosagens de água de amassadura, os agentes de viscosidade à base de glicol são aqueles que proporcionam uma maior estabilidade no ensaio de auto-compactabilidade (altura na “Caixa”), enquanto que os agentes de viscosidade à base de “welan gum” proporcionam maior estabilidade nos ensaios de avaliação da capacidade de deformação (diâmetro de espalhamento) e da velocidade de deformação (tempo de escoamento no “Funil-V”) [35].

Apesar de não se evidenciarem recomendações quanto às características dos agregados, parcialmente devido à grande variedade do seu fornecimento de local para local, torna-se evidente que a distribuição granulométrica, o diâmetro médio das partículas, a forma e a natureza dos agregados finos e grossos influenciam o comportamento do betão fresco auto-compactável. Prova disso é o facto destes parâmetros serem contabilizados em alguns dos métodos de cálculo da composição, nomeadamente, nos métodos propostos pelo CBI [11, 56, 57] e pela LCPC [11, 33, 61]. Outros métodos consideram um menor número de parâmetros. Por exemplo, o método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] considera apenas a máxima dimensão e a compacidade do total das partículas de agregado grosso para efeitos do cálculo das composições de betão auto-compactável. Uma característica comum aos diferentes métodos de cálculo é o facto de limitarem a máxima dimensão do agregado grosso a valores próximos dos 20 mm em elementos estruturais correntes, podendo atingir os 25 mm em estruturas com menor taxa de armaduras.

O betão auto-compactável no estado fresco oferece propriedades muito atractivas do ponto de vista da construção e esse é um dos motivos pelo qual este novo tipo de betão se tem divulgado rapidamente por todo o mundo. Não obstante, este é certamente um dos mais difíceis de conceber, devido à necessidade de se encontrar um equilíbrio entre as suas diferentes propriedades que dependem de distintos mecanismos. O betão auto-compactável no estado fresco deve apresentar uma baixa tensão de corte, adequada viscosidade e, simultaneamente, deverá cumprir alguns requisitos funcionais relacionados com a sua aplicação prática, como sejam, uma grande capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem em zonas confinadas por armaduras, para além de uma elevada estabilidade estática após a betonagem.

Khayat et al. [31] referem, por exemplo, que um betão auto-compactável com grande fluidez deve apresentar simultaneamente uma relativamente baixa resistência ao corte para assegurar boa capacidade de deformação e uma viscosidade moderada para assegurar adequada resistência à segregação e exsudação. Um aumento na razão água/finos pode proporcionar uma elevada capacidade de deformação, mas pode também conduzir à

redução da coesão da mistura, causar segregação do agregado e, conseqüentemente, conduzir ao bloqueio. O atrito entre as partículas dos agregados grossos, agregados finos e materiais finos aumenta a resistência interna à fluidez, uma vez que limita a capacidade de deformação e a velocidade do escoamento do betão fresco. Ao fluir em passagens estreitas, um betão com grande quantidade de agregados e viscosidade reduzida proporciona um maior contacto e interação entre as partículas, conduzindo ao bloqueio pelo “congestionamento” dos agregados e formação do “efeito de arco”. O atrito entre as partículas de cimento pode ser reduzido usando um redutor de água de alta gama para dispersar os grãos de cimento. Contudo, uma grande dosagem de redutor de água pode conduzir à segregação e ao bloqueio da mistura. Para além disso, o betão deve possuir boa estabilidade para minimizar os efeitos da exsudação e segregação após a colocação.

Em meio não confinado, os mecanismos que governam o comportamento do betão auto-compactável podem ser descritos com base na reologia das suspensões de partículas. Para este efeito, o modelo mais correntemente usado é traduzido pela equação de Bingham [25], ou por adaptações deste modelo [61], apesar de ser reconhecido que os betões auto-compactáveis requerem modelos mais elaborados, tais como aqueles traduzidos pela equação de Herschley-Bulkley [25, 61]. A avaliação dos parâmetros reológicos (tensão de corte e viscosidade plástica) tem sido considerada útil para uso laboratorial no estudo das misturas [11, 33, 61]. Estes parâmetros podem ser medidos com recurso a reómetros, de que são exemplos os equipamentos BML e BTRHEON [2, 25]. Estes equipamentos são, no entanto, pouco expeditos para utilização em obra e, pelo seu custo elevado, existem apenas em escassos laboratórios.

Não obstante a reconhecida utilidade dos modelos reológicos para efeito de estudo da composição, a aplicação prática dos betões auto-compactáveis nas estruturas requer a consideração de determinadas restrições ou obstáculos ao escoamento do betão (armaduras, passagens estreitas, etc.) que têm de ser tidos em conta do ponto de vista da obtenção de uma adequada trabalhabilidade (auto-compactabilidade). Em síntese, poderá dizer-se que em termos mecânicos a auto-compactabilidade está relacionada com a reologia

do betão fresco, enquanto que em termos de manuseamento na prática está relacionada com os parâmetros de trabalhabilidade [32].

Para a caracterização da trabalhabilidade (auto-compactabilidade) do betão no estado fresco foi necessário desenvolver novos ensaios, já que aqueles tradicionalmente aplicados em betões correntes vibrados não se revelaram adequados [10, 85], dada a elevada fluidez deste novo tipo de betões e a necessidade de caracterizar outros parâmetros fundamentais para o conhecimento do seu comportamento reológico. De entre os ensaios desenvolvidos ou propostos destacam-se, pela sua maior utilização, os seguintes: o ensaio de espalhamento (Slump flow), o ensaio de fluidez realizado com o “Funil-V”, o ensaio da “Caixa-U”, o ensaio da “Caixa” (adaptação da “Caixa-U”) e ainda o ensaio da “Caixa-L”.

Sob determinadas condições do escoamento (ausência de segregação e bloqueio), alguns destes ensaios, nomeadamente os ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V), apresentam boas correlações com os parâmetros reológicos, respectivamente, tensão de corte e viscosidade plástica [61, 78]. Não obstante, tem sido salientada a necessidade de serem investigados e desenvolvidos novos modelos de ensaio, já que os existentes (ensaio de espalhamento e de fluidez) avaliam apenas um parâmetro que se relaciona com a tensão de corte ou com a viscosidade plástica, ou com uma combinação não muito bem definida entre os dois parâmetros [10, 85], e não podem por isso ser facilmente relacionados com as propriedades reológicas fundamentais do betão auto-compactável [25]. Tem sido referido, por exemplo, que a velocidade do escoamento no ensaio de fluidez (Funil-V) é afectada pela capacidade de deformação medida no ensaio de espalhamento, para misturas com igual viscosidade [78]. Por outras palavras, a viscosidade relativa da mistura só pode ser inferida a partir do ensaio no “Funil-V” se a capacidade de deformação medida no ensaio de espalhamento for aproximadamente constante [78].

Os ensaios da “Caixa-U”, “Caixa” e “Caixa-L” avaliam simultaneamente uma combinação não muito bem definida entre os três requisitos funcionais da auto-compactabilidade (capacidade de enchimento, capacidade de passagem e resistência à

segregação) e são por vezes referidos como ensaios de auto-compactabilidade [32]. Na ausência de reómetros, os ensaios de espalhamento e fluidez podem ser usados para inferir acerca das propriedades reológicas do betão fresco, enquanto um dos seguintes ensaios (“Caixa-U”, “Caixa” ou “Caixa-L”) pode ser usado para avaliar os requisitos funcionais da auto-compactabilidade, dependendo da metodologia de cálculo adoptada como referência.

Uma adequada auto-compactabilidade do betão fresco durante o processo de enchimento das cofragens em obra é determinante para a compacidade do produto final, uma vez que este betão é aplicado sem qualquer vibração ou outra forma de compactação. A compacidade é então conseguida pela acção do seu peso próprio e pela capacidade que este possui de fluir através das armaduras sem segregação e de preencher todos os espaços da cofragem.

Uma insuficiente auto-compactabilidade aquando da colocação do betão nas cofragens não poderá ser compensada por trabalho adicional em obra e compromete seriamente as suas propriedades no estado endurecido [50]. O estudo da composição de um betão auto-compactável deverá por isso ter em conta, não só a adequada retenção da trabalhabilidade do betão, mas também as diferentes fases que envolvem a produção e manuseamento do material. A este respeito, tem sido referido, por exemplo, que os processos de produção, transporte e colocação podem afectar as propriedades do betão auto-compactável no estado fresco e que, comparativamente com um betão corrente, este se revelou mais sensível à variação dos materiais, variações na dosagem de água, sequência e duração da amassadura, temperatura ambiente, condições e duração do transporte e condições de colocação [10, 27, 50, 54, 69, 71, 76].

Para a caracterização das propriedades do betão auto-compactável no estado endurecido podem ser aplicados os mesmos ensaios e procedimentos correntemente utilizados em betões convencionais. Neste capítulo importa sobretudo investigar as alterações que as especificidades da composição dos betões auto-compactáveis deixam antever quanto ao seu comportamento face a determinadas solicitações. As propriedades com particular interesse são as deformações instantâneas e as diferidas no tempo, isto é, o

módulo de elasticidade, retração e fluência. As especificidades do betão auto-compactável, que se traduzem numa maior susceptibilidade à deformação em comparação com os betões tradicionais, resultam naturalmente em consequência das elevadas percentagens de materiais finos, em especial, da grande quantidade de materiais cimentícios e “filler” que entram na sua composição.

Vários métodos têm sido propostos para o cálculo de betões auto-compactáveis, variando entre os mais simples até aos mais complicados e sofisticados modelos de previsão do comportamento do betão no estado fresco. Os diferentes métodos avaliados neste trabalho correspondem em geral aos métodos mais divulgados. No entanto, outras tantas propostas ou contributos de outros autores poderiam ser referidas, ainda que se acredite que os métodos avaliados reproduzem satisfatoriamente o estado actual do conhecimento nesta área.

O surgimento do betão auto-compactável e o desenvolvimento do primeiro modelo de cálculo, nomeadamente o método geral proposto por Okamura, Maekawa e Ozawa, beneficiado posteriormente com a contribuição de Ouchi et al. [11, 35, 47, 51], representou um passo importante para a tecnologia do betão. Um outro método utilizado no Japão foi proposto pela JSCE [11, 35], apresentando algumas diferenças face ao método proposto por Okamura e seus colaboradores, no que diz respeito à metodologia adoptada.

O método proposto por Okamura foi concebido para aplicação geral e assenta numa grande simplicidade de procedimentos, admitindo mesmo alguma pequena variação nas proporções dos materiais durante a produção do betão sem que isso ponha em risco a resistência à segregação. Em consequência, este método é tido como conservador e, em geral, conduz à obtenção de betões com elevados volumes de pasta em comparação com uma mistura optimizada [61]. A tendência geral concentrou-se então na optimização das misturas, objectivando a redução da dosagem de pasta.

Uma primeira tentativa para optimizar a mistura visando a redução do volume de pasta surgiu com o método proposto por Petersson et al. [56, 57] do CBI, baseado no trabalho efectuado por Van e Tangtermsirikul [80]. Neste método a redução de pasta é

conseguida pela otimização do esqueleto sólido do betão. O volume mínimo de pasta necessário para produzir satisfatoriamente um betão auto-compactável é determinado utilizando o critério da máxima distância inter-partículas e o critério da fase sólida (fase agregados), denominado “critério de bloqueio”. Desenvolvimentos posteriores realizados por Van Bui e Denis Montgomery [5] introduziram um critério adicional, denominado de “critério da fase líquida” (fase pasta), o qual deverá ser usado em conjugação com o critério da “fase sólida” (fase agregados). O critério da fase líquida permite determinar o volume mínimo de pasta necessário para produzir satisfatoriamente um betão auto-compactável, garantindo a adequada capacidade de enchimento na “Caixa-L”.

Outras propostas se seguiram na prossecução do objectivo da redução do volume de pasta, de entre as quais se destaca o método desenvolvido por Sedran e Larrard [61] do LCPC (*Laboratoire Central des Ponts et Chaussées*). A principal característica deste método baseia-se no uso de um modelo matemático desenvolvido pelo LCPC e denominado de “modelo de empacotamento”. Este modelo considera qualquer gama de dimensões dos materiais, permite otimizar o esqueleto granular do betão e difere dos anteriores pelo facto dos materiais finos e os agregados serem todos incluídos na análise do empacotamento.

De uma forma geral, poderá dizer-se que as diferentes tentativas de optimização da mistura e redução do volume de pasta contribuem para um melhor comportamento do betão endurecido no que respeita à redução da retracção e fluência e, para além disso contribuem decisivamente para a redução de custos deste tipo de betões. No entanto, os métodos de cálculo analisados, mas em particular os métodos propostos por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] ou pela JSCE [11, 35], têm prestado menor atenção à modelação do betão com vista à obtenção de determinado valor médio da resistência à compressão. Para estes casos em particular será ainda necessário desenvolver modelos que permitam a introdução de parâmetros que facilitem a obtenção da adequada resistência à compressão.

A fixação de alguns parâmetros da mistura como constantes, tal como ocorre no método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], deixa como única solução para controlar a razão água/ligante, a alteração da percentagem de substituição do cimento pela

adição. Por exemplo, ao fixar-se as dosagens de agregados finos e grossos em misturas apenas com cimento como material fino, obtém-se uma dosagem única de água e de superplastificante que conduzem a determinada tensão de corte e viscosidade plástica, ou seja, obtém-se uma única razão W/C. Nesta medida, a utilização de associações binárias entre o ligante e uma adição mineral facilita o controlo da resistência, já que permite controlar a dosagem de cimento mediante a adopção de diferentes percentagens de substituição, mantendo constante a dosagem total de finos.

Face ao exposto, verifica-se que, apesar de decorrida mais de uma década desde o seu surgimento no Japão, os betões auto-compactáveis reclamam ainda um vasto campo de investigação para esclarecer um, não menos vasto, leque de interrogações. Esta necessidade está bem patente no relatório apresentado pelo comité técnico da RILEM 174-SCC - REPORT 23 (2000) [67], onde são enumerados os diferentes aspectos que requerem ainda investigação. Neste enquadramento, o presente trabalho pretende representar uma contribuição para o esclarecimento de alguns dos aspectos referidos nesse relatório.

1.2 – Objectivos e justificação do tema proposto

A hipótese inicial de se estudar o betão auto-compactável (que na altura era ainda pouco divulgado em Portugal) surgiu de forma natural. De facto, o signatário deste trabalho contava já com alguma experiência laboratorial no domínio do estudo da composição de betões correntes que requerem vibração (quer da gama de resistência normal, quer da gama de alta resistência), tendo também experiência em ensaios não destrutivos em betão. Para além disto, os Laboratórios de Construção do Departamento de Engenharia Civil da UBI dispunham de um conjunto de equipamentos razoável nesse domínio. A necessidade de esclarecer ou entender esta nova tecnologia dos betões auto-compactáveis suscitou desde logo o interesse que conduziu ao desenvolvimento deste trabalho.

O estado da arte dos betões auto-compactáveis apontava já nessa altura para um conhecimento apreciável e relativamente consolidado no que respeita ao estudo da composição deste tipo de betões. Não obstante, reconhecia-se a necessidade de se

adequar alguns dos métodos de cálculo ao panorama das exigências impostas normalmente na construção em Portugal. Concretamente, a metodologia para a composição do betão auto-compactável deveria contemplar mecanismos que permitissem dosear a mistura com vista à obtenção de determinada resistência média à compressão especificada para esse betão. Esta lacuna era especialmente relevante nos métodos propostos por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] e pela JSCE [11, 35], pelas razões já referidas na introdução a este capítulo.

Pela sua simplicidade e uso mais generalizado, o método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] tem-se destacado dos restantes, o que motivou a sua abordagem no presente trabalho. Após uma primeira análise verificou-se que este método permite, de forma mais ou menos expedita, dosear os componentes do betão auto-compactável do tipo finos de modo a obter a necessária trabalhabilidade. Não obstante, ao impor como constantes, ou praticamente constantes, alguns parâmetros relativos às dosagens de agregados finos e de agregados grossos, limita, em certa medida, a capacidade de optimização das misturas e conduz normalmente a valores conservadores. Por outro lado, este método não permite controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão do betão na fase de estudo da composição da mistura.

Em resultado da apreciação efectuada, foi delineada uma nova abordagem para o estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos, admitindo como ponto de partida o método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51].

A proposta a desenvolver no âmbito do presente trabalho assentaria em procedimentos de cálculo expeditos, cuja primeira e fundamental abordagem seria suportada por ensaios em argamassas, tal como propuseram Okamura et al. [11, 35, 47, 51]. Para além disso, seria definido um intervalo para as propriedades reológicas dessas argamassas (G_m , R_m), adequado à obtenção de betões auto-compactáveis do tipo finos, que contemplasse várias propostas entretanto analisadas na bibliografia consultada. Seria estabelecida uma nova metodologia para obtenção dessas propriedades, introduzidos novos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) nas argamassas e de agregados grossos (V_m/V_g) nos betões e, finalmente, seriam analisados os mecanismos

que melhor se adequassem ao controlo da resistência à compressão das argamassas e, indirectamente, ao controlo da resistência dos betões com elas produzidos.

O parâmetro V_p/V_s permite controlar a proporção entre os materiais finos e agregados finos da argamassa, independentemente das dosagens de água e de superplastificante da mistura. Por outro lado, ao representar o traço volumétrico da argamassa, acreditou-se que o parâmetro V_p/V_s facilitaria o controlo da resistência à compressão juntamente com a definição da “família de finos”. De forma similar, o parâmetro V_m/V_g permite controlar a proporção entre a matriz argamassa e os agregados grossos imersos nessa matriz, independentemente do volume de vazios do betão. Para além disso, o parâmetro V_m/V_g representa o traço volumétrico entre a matriz que controla a resistência (argamassa) e os agregados grossos.

Os valores de V_p/V_s e V_m/V_g deveriam variar de tal forma que os volumes de agregados finos e de agregados grossos do betão oscilassem abaixo e acima dos valores propostos por Okamura et al.. Este facto permitiria avaliar a influência destes parâmetros na optimização das misturas. Por último, importa referir que o facto de se fazer variar os volumes de agregados finos e de agregados grossos das misturas introduziu a necessidade adicional de se avaliar também as propriedades reológicas das argamassas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis.

A análise experimental a desenvolver seria direccionada unicamente para o estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos. A avaliação das propriedades dos materiais utilizados e dos betões com eles produzidos deveria centrar-se basicamente nos aspectos físicos e mecânicos do seu comportamento. Não seriam avaliados os aspectos relativos ao comportamento químico ou de durabilidade desses betões e a avaliação das propriedades do betão endurecido limitar-se-ia ao estudo da resistência à compressão. Para o desenvolvimento do presente trabalho, seria especialmente relevante a avaliação das propriedades do betão fresco e a sua relação com os parâmetros de cálculo das misturas.

Uma outra premissa estabelecida impunha que os betões auto-compactáveis fossem produzidos com recurso à tecnologia já existente e utilizando de preferência

materiais disponíveis localmente. As misturas a produzir incluíam diferentes associações binárias e ternárias de materiais finos, seleccionadas de entre dois tipos de cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N), três adições correntes (fíler calcário, cinzas volantes e sílica de fumo) e uma adição a definir durante o trabalho, resultante de desperdícios industriais.

Apesar da questão económica não ter condicionado a metodologia adoptada, nem ter sido estabelecida como meta principal a redução de custos, entendeu-se que seria interessante procurar novos materiais finos (adições minerais) que pudessem ser usados para substituição parcial do cimento e que, de preferência, resultassem da reutilização de desperdícios industriais. Conhecidas algumas referências quanto ao possível uso de fíler granítico nos betões auto-compactáveis [28], iniciou-se então uma pesquisa na Beira Interior nesse sentido, procurando materiais extremamente finos. A escolha recaiu sobre o pó de granito produzido numa fábrica de corte de pedras naturais para ornamentação que dispunha de um processo instalado para separação desses materiais, os quais tinham normalmente como último destino um aterro sanitário.

Em síntese, o principal objectivo deste trabalho pode ser resumido da seguinte forma: Estudar a interacção entre os parâmetros de dosagem das argamassas e os parâmetros de dosagem dos betões auto-compactáveis, do ponto de vista da optimização das misturas; Simplificar procedimentos e propor uma nova abordagem no processo de estudo da composição que permita dosear os componentes da mistura com vista à obtenção de um determinado nível de resistência previamente especificado; Testar a utilização de uma nova adição mineral proveniente de desperdícios industriais que possa ser incorporada no betão como material fino na substituição parcial do cimento.

1.3 – Organização do trabalho

O presente trabalho subdivide-se em três partes: pré-textual, textual e referencial. A primeira inclui o âmbito do trabalho, dedicatória, agradecimentos, resumo analítico, índice geral, índice de figuras e de quadros, listagem de siglas e da simbologia utilizada. A parte textual encontra-se estruturada em 12 Capítulos cujo conteúdo inclui a revisão bibliográfica

(Capítulos 1 a 6) e o contributo para o estudo da composição de betões auto-compactáveis (Capítulos 7 a 12). Da parte referencial constam as referências bibliográficas citadas neste trabalho e os Anexos A.1 (estudos em argamassas) e A.2 (estudos em betões).

No Capítulo 1 é feita a introdução ao tema tratado, são apresentados os objectivos, é justificada a importância do tema proposto e é descrita a organização geral do trabalho. No Capítulo 2 são tecidas algumas considerações acerca do desenvolvimento do betão auto-compactável e sua classificação, enquanto que do Capítulo 3 ao Capítulo 6 são passadas em revista e analisadas as diferentes contribuições encontradas na bibliografia consultada, no que se refere à selecção dos materiais utilizados no betão auto-compactável, propriedades do betão fresco e endurecido, produção e manuseamento do material e métodos de estudo da composição de betões auto-compactáveis.

O Capítulo 7 descreve o programa experimental realizado, subdividindo-o em cinco Sub-Capítulos: selecção e caracterização dos materiais utilizados, definição de curvas granulométricas de referência para os agregados, selecção das associações de materiais finos, estudos em argamassas e estudos em betões. No Capítulo 8 é feita a apresentação dos resultados obtidos adoptando a mesma sequência descrita no programa experimental.

Nos Capítulos 9 e 10 são analisados e discutidos os resultados obtidos na campanha experimental, respectivamente, para as argamassas e betões. Sempre que tal se justificou, os resultados obtidos foram comparados com aqueles provenientes de diversos trabalhos de investigação disponíveis na bibliografia consultada. O Capítulo 11 apresenta uma proposta para o estudo da composição de betões auto-compactáveis suportada pela discussão efectuada ao longo deste trabalho, enquanto que no Capítulo 12 são apresentadas as conclusões gerais do trabalho e as recomendações para trabalhos futuros.

**DESENVOLVIMENTO DO BETÃO
AUTO-COMPACTÁVEL**

CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL

2.1 – Generalidades

No prefácio do terceiro simpósio internacional organizado pela RILEM sobre betões auto-compactáveis, realizado em Agosto de 2003 na Islândia, Wallevik [82] refere que o betão auto-compactável é considerado por muitos entendidos na matéria como sendo a maior evolução na tecnologia do betão nas últimas décadas devido à melhoria no desempenho e ambiente de trabalho.

A necessidade deste novo tipo de betão foi proposta pelo Professor Okamura em 1986, tendo em vista a garantia de uma maior homogeneidade do betão e uma melhoria na durabilidade das estruturas independentemente da qualidade dos trabalhos de compactação em obra [46, 47]. Os primeiros trabalhos de investigação conducentes ao desenvolvimento do betão auto-compactável, incluindo um estudo fundamental na trabalhabilidade do betão e a descrição básica do betão auto-compactável, foram realizados na Universidade de Tóquio pelo professor Okamura e seus colaboradores, entre outros Ozawa e Maekawa [47, 82].

O protótipo do “betão auto-compactável” foi concluído em 1988 usando materiais correntes [46, 47]. Este protótipo apresentou um desempenho satisfatório no que respeita à retracção de secagem e de endurecimento, calor de hidratação, massa volúmica e outras propriedades [46, 47]. Este betão foi inicialmente designado de “betão de elevado desempenho” e foi definido da seguinte forma nas suas diferentes fases [46, 47]: Estado fresco: auto-compactável; Em idades curtas: evitar os defeitos iniciais; Estado endurecido: protecção contra factores externos.

Quase ao mesmo tempo, o “betão de elevado desempenho” foi definido por Aitcin e seus colaboradores como um betão com elevada durabilidade, devido à sua baixa razão água/cimento [46, 47]. Desde então, o termo “betão de elevado desempenho” tem sido usado em todo o mundo para designar os betões que possuem elevada durabilidade e

resistência. Deste modo, Okamura et al. passaram a designar o betão auto-compactável por eles proposto de “betão auto-compactável de elevado desempenho” [46, 47]. Os betões auto-compactáveis, pela sua especificidade, apresentam elevado desempenho e a designação acabou por ser simplificada para “betão auto-compactável”.

O primeiro artigo sobre betões auto-compactáveis foi apresentado por Ozawa na “Second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction” (EASEC-2) em Janeiro de 1989 [47]. A apresentação por Ozawa na CANMET e “ACI International Conference”, em Istambul, em Maio de 1992 acelerou a divulgação do conceito ao mundo [47].

Após o “workshop” do ACI sobre betões de elevado desempenho organizado por Paul Zia em Bangkok em Novembro de 1994, o betão auto-compactável tornou-se um assunto de interesse comum para investigadores e engenheiros interessados na durabilidade do betão e em sistemas racionais de construção em todo o mundo [47]. Para além disso, a palestra (1996 Ferguson Lecture) apresentada por Okamura em 1996 no “ACI Fall Convention - New Orleans” promoveu o interesse no betão auto-compactável entre os investigadores e engenheiros na América do Norte [47]. Como resultado, a investigação sobre os betões auto-compactáveis generalizou-se a todo o mundo [47].

A partir do Japão a tecnologia divulgou-se através da Ásia e chegou à Europa por volta de 1993. O primeiro comité técnico da RILEM em betões auto-compactáveis (TC-174: Self-Compacting Concrete), presidido por Skarendahl, foi criado em 1997. Os objectivos deste Comité Técnico foram o de produzir um relatório sobre o estado da arte da nova tecnologia emergente do betão auto-compactável, assim como observar pontos de vista uniformes nos métodos de ensaio. Fizeram parte deste trabalho 17 membros permanentes 3 membros correspondentes, cobrindo 10 países em 4 continentes. O comité técnico concluiu o seu trabalho com a apresentação do relatório sobre o estado da arte do betão auto-compactável (RILEM Report 23). Uma outra actividade deste comité foi a de organizar o primeiro simpósio internacional da RILEM sobre o betão auto-compactável, que ocorreu em Estocolmo em Setembro de 1999 [63, 66, 68].

Em Agosto de 1998 teve lugar o primeiro “workshop” internacional sobre betões auto-compactáveis, que se realizou em Kochi no Japão [47]. Neste “workshop” foi acordada a criação de uma “web site” para a troca de informações acerca dos betões auto-compactáveis (SCC-Net - International Network for Self-Compacting Concrete). Esta “network” teve início em Fevereiro de 1999 com o seguinte endereço (<http://www.infra.kochi-tech.ac.jp/sccnet/>) [47]. Este “workshop” foi seguido pelo primeiro simpósio internacional da RILEM em betões auto-compactáveis, realizado em Estocolmo na Suécia em 1999 [82].

Dois anos depois decorreu o segundo simpósio internacional da RILEM sobre betões auto-compactáveis em Tóquio no Japão. A RILEM estabeleceu o segundo comité técnico no ano 2000 (TC188 - CSC - “*Casting of Self-Compacting Concrete*”), com mais ênfase nos aspectos da produção [82]. Segundo Wallevik [82], o último grande passo rumo à industrialização do betão auto-compactável teve provavelmente lugar na América do Norte onde, de uma quantidade insignificante de betão auto-compactável produzido no ano 2000, se passou, presumivelmente, para um volume que no seu total excedeu um milhão de metros cúbicos nos finais de 2002. Nesse mesmo ano (2002) teve lugar, com grande sucesso, a primeira conferência sobre betões auto-compactáveis realizada na América do Norte e presidida pelo Professor Shah [82].

O terceiro simpósio internacional em betões auto-compactáveis foi organizado em colaboração com o comité técnico da RILEM TC188-CSS - “*Casting of Self-Compacting Concrete*”) com 108 contribuições de 26 países [82].

2.2 – O conceito de betão auto-compactável

A auto-compactabilidade do betão fresco é descrita como a capacidade que este possui de preencher as cofragens e envolver os varões das armaduras apenas pela acção da gravidade e sem perda da homogeneidade. Para dotar o betão desta capacidade, ele deve possuir as propriedades reológicas e de trabalhabilidade adequadas, uma vez que, durante a betonagem, este tipo de betão não se encontra sujeito a qualquer energia externa resultante da vibração, apiloamento ou acções similares. A expressão em língua inglesa

mais largamente usada na Ásia e na Europa para designar o betão auto-compactável é “Self-Compacting Concrete”, enquanto que na América do Norte se tem utilizado mais frequentemente a expressão “Self-Consolidating Concrete” [63].

Antes do advento do betão auto-compactável, muitos casos de aplicação nos quais o betão não necessitava de consolidação externa para obter a necessária compacidade eram já conhecidos. Esses betões poderiam ter sido considerados como auto-compactáveis, mas isso não aconteceu [82]. Por exemplo, nas recomendações incluídas no documento técnico produzido pela AFGC em 2000 (*Betons Auto-Plaçants: Recommandations Provisoires*) são excluídos os betões com elevado abaixamento no cone de Abrams, convencionalmente usados sem vibração, tais como os betões para pilares (estacas) e paredes diafragma, betões imersos, ou betões de enchimento.

O betão imerso mostra muitas semelhanças no comportamento em comparação com o betão auto-compactável, se bem que seja drasticamente diferente em muitos aspectos [63]. Por outro lado, a capacidade da auto-compactação pode ser, mas não necessariamente, equivalente à capacidade auto-nivelante [63]. Nesta medida, ambos os casos, betão auto-nivelante e betão imerso, são considerados no relatório da RILEM TC-174 (Report 23) como não sendo equivalentes ao betão auto-compactável [63]. Não obstante, a AFGC (*Association Française de Génie Civil*) admite, por definição, que os betões auto-nivelantes constituem uma família dos betões auto-compactáveis correspondentes a aplicações horizontais, como sejam, as lajes térreas, pavimentos, etc. [10].

Em determinadas circunstâncias é relevante dimensionar as propriedades do betão fresco de modo a limitar a energia externa introduzida e necessária para conferir o acabamento desejado. Este pode ser o caso, por exemplo, quando se pretende superfícies horizontais com propriedades específicas. Um betão com propriedades auto-compactáveis, mas requerendo vibração limitada ou outro tratamento, é em certas circunstâncias relevante para a sua utilização. Neste caso, conforme é referido no relatório (RILEM TC-174) [63], a noção de betão auto-compactável é também aplicada ao betão sujeito a tratamento limitado para obter, por exemplo, exigências específicas em superfícies lisas ou inclinadas.

2.3 – Classificação do betão auto-compactável

Os diferentes modos de obtenção de betões auto-compactáveis propostos até ao momento podem ser basicamente classificados em três tipos diferentes, consoante o método usado para prevenir a segregação, isto é, o método usado para aumentar a viscosidade plástica da pasta [35]: Betões auto-compactáveis com grande quantidade de materiais finos (ou betão auto-compactável do tipo finos); Betões auto-compactáveis com agentes de viscosidade (ou betões auto-compactáveis do tipo agentes de viscosidade) e Betões auto-compactáveis que combinam a elevada dosagem de materiais finos com a utilização de um agente de viscosidade (ou betões auto-compactáveis do tipo combinação).

Betão auto-compactável do tipo finos

Quando a pasta possui elevada quantidade de materiais finos, quer a tensão de corte, quer a viscosidade plástica, aumentam exponencialmente. Por outro lado, quando o superplastificante é adicionado, o valor da tensão de corte decresce consideravelmente e, para uma alta concentração de adjuvante, a tensão de corte é aproximadamente igual a zero [28]. Contudo, a viscosidade não decresce tão significativamente em comparação com a tensão de corte [28]. Usando estas características únicas, a auto-compactabilidade pode ser atingida aumentando a dosagem de materiais finos no betão. Este tipo de betão auto-compactável corresponde ao protótipo inicialmente desenvolvido por Okamura e seus colaboradores e apresenta geralmente elevada resistência e durabilidade. Este é também o tipo de betão que será investigado no presente trabalho.

Betão auto-compactável do tipo agentes de viscosidade

Este tipo de betão auto-compactável pode ser considerado uma extensão do betão imerso. Usando agentes de viscosidade, podem ser produzidos betões com elevada fluidez e suficiente resistência à segregação, mesmo contendo baixas quantidades de materiais finos e dosagens de água superiores àquelas utilizadas nos betões do tipo finos. Os betões com agentes de viscosidade são em geral menos sensíveis às pequenas variações das

dosagens de água durante a amassadura e essa poderá ser uma das suas principais vantagens. Existem, no entanto, poucos métodos de cálculo para este tipo de betões que incorporam apenas como adjuvante os agentes de viscosidade. Um dos métodos mais conhecidos é o método proposto pela JSCE [11, 35].

Betão auto-compactável do tipo combinação

Este tipo de betão auto-compactável é basicamente um betão com elevada dosagem de materiais finos incorporando pequenas quantidades de um agente de viscosidade específico. A adição de um agente de viscosidade tem por objectivo primordial minimizar as consideráveis variações na trabalhabilidade dos betões auto-compactáveis resultantes das oscilações do teor em água superficial e do módulo de finura dos agregados finos aquando da amassadura. Adicionalmente, a introdução do agente de viscosidade permite também controlar as oscilações devidas às variações de temperatura.

2.4 – Forma de obtenção da auto-compactabilidade em betões do tipo finos

Por ter sido esta a forma de obtenção de betões auto-compactáveis seleccionada para a realização do presente trabalho, entendeu-se conveniente abordar de modo sucinto, nesta fase do trabalho, os principais mecanismos que governam a auto-compactabilidade dos betões do tipo finos.

O grupo de trabalho liderado pelo Prof. Okamura desenvolveu o protótipo do betão auto-compactável usando cimentos de baixo calor de hidratação, escórias granuladas de alto-forno, cinzas volantes, superplastificante, para além, obviamente, dos agregados finos e grossos [35]. Tais desenvolvimentos técnicos que conduziram à formulação dos betões auto-compactáveis não teriam ocorrido sem uma ou mais incursões no domínio dos materiais.

Os mecanismos que governam o comportamento do betão auto-compactável podem ser descritos com base na reologia das suspensões de partículas. As teorias reológicas estiveram na origem do estudo e desenvolvimento do betão auto-compactável, e

medições com base na reologia são frequentemente usadas para facilitar a otimização das misturas [63]. Em meio não confinado, a característica básica que se exige a um betão auto-compactável em termos reológicos é uma tensão de corte relativamente baixa para proporcionar uma boa capacidade de deformação (ou deformabilidade) e, simultaneamente, uma viscosidade moderada para evitar a segregação.

Os betões auto-compactáveis para aplicação em estruturas são confinados pela existência de passagens estreitas e pela presença de armaduras, pelo que necessitam de cumprir requisitos adicionais de auto-compactabilidade, como sejam, uma adequada capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem. Em certa medida poderá dizer-se que as adequadas propriedades reológicas são necessárias mas não suficientes para garantir a auto-compactabilidade. Por outras palavras, a auto-compactabilidade inclui implicitamente as propriedades reológicas, mas considera outros aspectos relacionados com a trabalhabilidade dos betões.

As propriedades do betão auto-compactável são naturalmente controladas pelas características e proporções dos materiais constituintes. Na Figura 2.1 é apresentada esquematicamente a forma de obtenção da auto-compactabilidade proposta por Ouchi et al. [51], mediante o controlo das proporções da mistura.

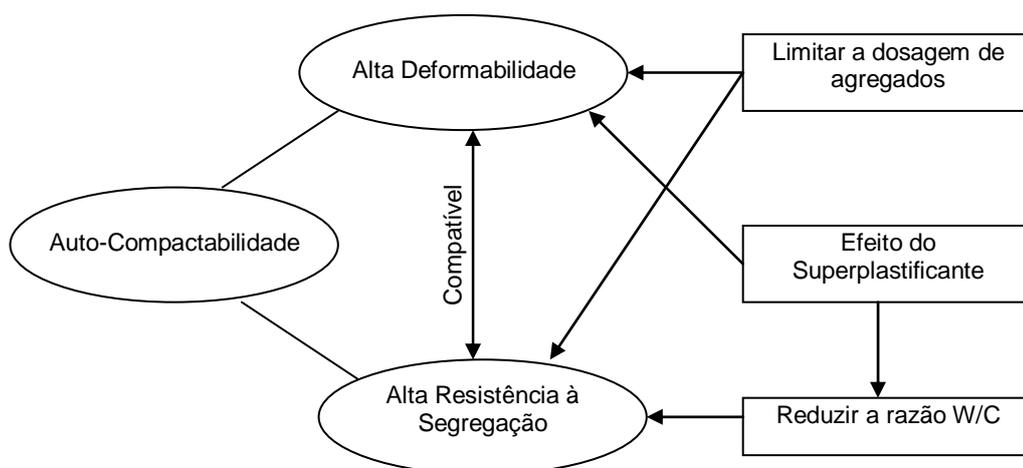


Figura 2.1 – Método para atingir a auto-compactabilidade [51]

Na Figura 2.2 é ilustrado o método empregue por Okamura e Ozawa para atingir a auto-compactabilidade, através da limitação da dosagem de agregados, utilização de uma baixa razão água/finos e o uso de um superplastificante [47].

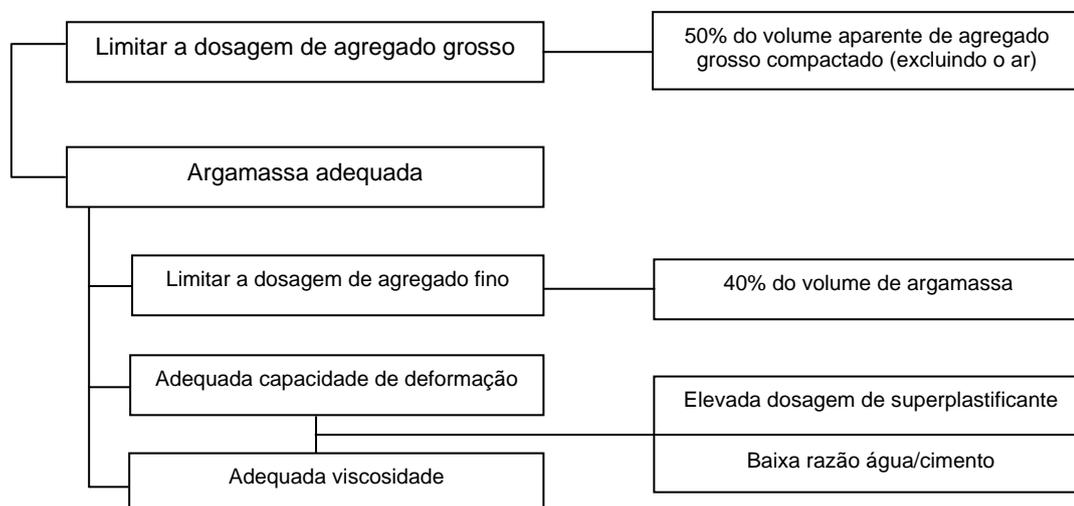


Figura 2.2 – Formulação utilizada para atingir a auto-compactabilidade [47]

A Figura 2.1 indica que o betão auto-compactável deverá atingir alta deformabilidade sem qualquer forma de segregação dos materiais constituintes [51]. A limitação do volume de agregado inibe a colisão entre as partículas, enquanto que a redução da razão água/cimento proporciona elevada viscosidade e consequentemente alta resistência à segregação. A utilização de razões água/cimento baixas só é possível pela utilização do superplastificante, que permite manter a deformabilidade necessária [51].

A necessária auto-compactabilidade envolve não só alta deformabilidade da pasta ou argamassa, mas também resistência à segregação entre os agregados grossos e a argamassa quando o betão escoar através de zonas confinadas pelas armaduras [47]. A frequência de colisão e contacto entre as partículas dos agregados pode aumentar à medida que a distância relativa entre essas partículas diminui e, em consequência, as tensões internas podem aumentar quando o betão se deforma, particularmente junto aos obstáculos constituídos pelas armaduras. Foi verificado que a energia necessária para o escoamento é

consumida pelo aumento das tensões internas, resultando no bloqueio das partículas de agregado. Limitando a dosagem de agregado grosso, cujo consumo de energia é particularmente intenso, a um nível menor que o normal é uma medida efectiva na prevenção deste tipo de bloqueio [47].

É também necessária uma pasta altamente viscosa para evitar o bloqueio dos agregados grossos quando o betão escoar através de obstáculos. Quando o betão se deforma, a pasta com uma alta viscosidade previne os aumentos localizados nas tensões internas devido à aproximação das partículas de agregado grosso. A alta deformabilidade pode ser alcançada somente pelo emprego de um superplastificante, mantendo a razão água/finos num valor muito baixo [28, 47].

Quando a quantidade de água aumenta, o valor da tensão de corte diminui. Contudo, a adição de água diminui também a viscosidade plástica do betão e em consequência conduz à segregação. Se a segregação ocorre durante o escoamento, o betão será incapaz de passar através dos obstáculos tais como as armaduras, com a consequente perda de auto-compactabilidade. Por esta razão, antes do surgimento do betão auto-compactável, a elevada fluidez e a resistência à segregação eram consideradas como sendo características mutuamente conflituosas [35]. Okamura et al. verificaram que a alta fluidez do betão é obtida diminuindo a tensão de corte na argamassa e/ou pasta de cimento e que o aumento da sua viscosidade plástica pode conduzir à prevenção da segregação. Isto foi alcançado tirando partido do elevado efeito de dispersão dos superplastificantes [35].

Tem sido observado que a viscosidade plástica das argamassas exerce grande influência na auto-compactabilidade dos betões com ela produzidos, existindo mesmo uma gama óptima para a viscosidade plástica das argamassas conducente à obtenção de betões auto-compactáveis [35]. Isto é, se a viscosidade plástica é baixa, ocorre a segregação entre a argamassa e os agregados grossos, dando origem à formação localizada do denominado efeito de ponte dos agregados grossos nas passagens estreitas, com o consequente bloqueio do fluxo [35]. Por outro lado, se a viscosidade plástica da argamassa é alta, a força de arrastamento do agregado grosso é maior e ambos os agregados grossos e a argamassa

escoam em conjunto, mesmo na presença de passagens estreitas [35]. Contudo, se a viscosidade plástica da argamassa for excessivamente alta, a energia dinâmica cinética necessária para que o agregado grosso passe através das aberturas torna-se menor devido à resistência da viscosidade, podendo conduzir à paragem do fluxo [35].

A viscosidade plástica da argamassa aumenta à medida que a quantidade de material fino aumenta [35]. Na suspensão, a interacção mútua entre os grãos dos materiais finos torna-se maior que a força da gravidade, e desde que a deformação global da argamassa seja possível, esta pode ser considerada do ponto de vista macroscópico como um fluido [35]. Deste modo, para se atingir a auto-compactabilidade será necessária uma grande quantidade de material fino no betão [35].

A quantidade de agregado grosso no betão afecta também a sua auto-compactabilidade [35]. Se o volume de agregados grossos é elevado, a auto-compactabilidade degrada-se, mesmo que a viscosidade plástica das argamassas seja apropriada [35]. Esta degradação ocorre devido à grande probabilidade de se formarem pontes entre as partículas do agregado grosso nas passagens estreitas [35]. Deste modo, para se atingir a auto-compactabilidade, o volume de agregado grosso presente no betão auto-compactável tem que ser relativamente baixo, ou seja, terá que ser inferior ao volume utilizado no betão convencional [35]. Isto significa que a distância entre os grãos do agregado grosso deve ser aumentada de forma que a frequência de contacto ou colisão entre os grãos seja minimizada e o escoamento do betão através de aberturas estreitas seja melhorado [35].

Pelo exposto, os pontos-chave para a produção de betões auto-compactáveis consistem em dotar o betão das propriedades reológicas adequadas, que são: baixa tensão de corte e uma viscosidade plástica adequada para as pastas incluindo as fracções mais finas do agregado fino (são normalmente considerados como finos as partículas da areia, abaixo de 90 μm) [35]. Para além disso, a produção de betões auto-compactáveis requer também um volume de agregado grosso abaixo do valor limite [35].

2.5 – Vantagens do betão auto-compactável

Desde o desenvolvimento do protótipo de betão auto-compactável em 1988, o uso do betão auto-compactável em estruturas tem vindo a aumentar gradualmente. As principais razões para o emprego do betão auto-compactável são [46, 47]: Melhoria da produtividade, pela redução do tempo de construção em consequência da simples e rápida colocação do betão sem necessidade de vibração; Melhoria do ambiente de trabalho, pela redução do ruído e dispensa dos trabalhos de vibração; Melhoria da homogeneidade, pela obtenção de uma adequada compactação nas estruturas, especialmente em zonas confinadas e de difícil compactação por vibradores, e ainda, pela melhoria na qualidade da superfície do betão ou pela reduzida permeabilidade, que proporciona melhorias na durabilidade dos betões.

Melhoria da produtividade

No esforço constante para melhorar os aspectos económicos e de competitividade, a melhoria da produtividade na betonagem do betão é essencial. Esta melhoria é essencial ao longo de todo o espectro de aplicações, desde as construções de estruturas de menor dimensão às mais avançadas e tecnicamente exigentes [63]. A eliminação por completo do trabalho de compactação através do uso de betões auto-compactáveis permite aumentar a velocidade e reduzir os custos de construção e, em consequência, melhorar a produtividade, ou seja, melhorar a relação custo/eficiência [63]. O aumento da velocidade de construção é não só importante na redução custos de colocação mas também pode conduzir à redução da duração total da construção [63].

A melhoria da produtividade é antes de mais possível no processo de compactação mas poderá também ocorrer no transporte e colocação [47]. A fluidez dos betões auto-compactáveis poderá permitir o desenvolvimento de novos procedimentos de colocação e de enchimento de cofragens [47].

Utilizando o betão auto-compactável, os custos dos trabalhos de compactação por vibração podem ser eliminados. Contudo, o custo total para a construção nem sempre pode ser reduzido, excepto em construções em larga escala [46]. Isto deve-se ao facto dos

sistemas de construção convencionais estarem fortemente baseados na necessidade da compactação por vibração do betão [46]. A construção em betão poderá ser racionalizada se novos sistemas de construção, incluindo cofragens, armaduras e suportes forem desenvolvidos (Figura 2.3) [46].

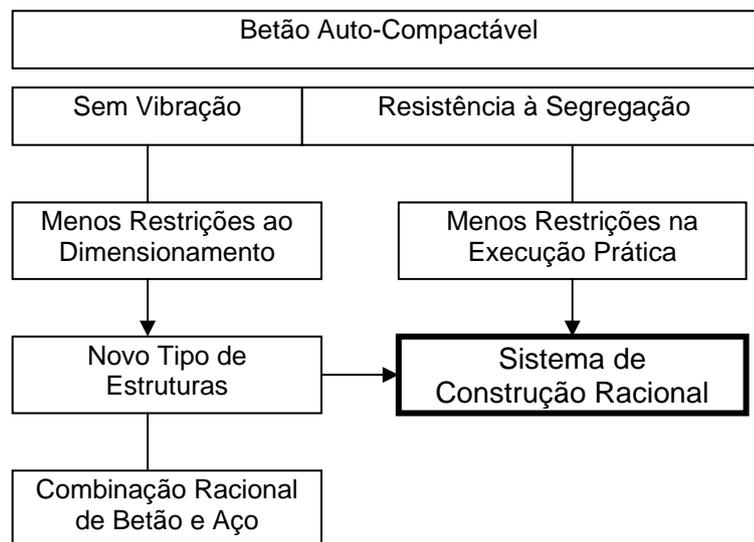


Figura 2.3 – Sistema racional de construção proposto por Ozawa [46]

Melhoria do ambiente de trabalho

Um dos trabalhos mais pesados na construção em betão é a vibração do betão por vibradores de agulha, os quais causam distúrbios na circulação sanguínea, conhecida por “dedos brancos”. Um outro efeito prejudicial para a saúde dos trabalhadores é o resultante do ruído causado pelo processo de vibração. Poderia ainda acrescentar-se como significativo o esforço físico resultante do movimento da mangueira de bombagem, o manuseamento do equipamento de vibração, etc. A redução do ruído é uma vantagem, considerando não só o ambiente de trabalho para os operários da construção, mas também a redução do ruído emitido para os prédios residenciais vizinhos à obra [63, 65].

A melhoria das condições de trabalho aumenta o bem-estar dos trabalhadores e a possibilidade das empresas fixarem um grupo de operários experiente e valioso, reduzindo ao mesmo tempo os custos de saúde à sociedade e baixas por doença. O uso de betões

auto-compactáveis possibilita um ambiente de trabalho mais silencioso com um trabalho físico limitado e sem cabos, transformadores e equipamentos de vibração a perturbar o trabalho. Os operários podem assim concentrar-se em dar instruções para a colocação do betão e em assegurar-se da qualidade da betonagem. O fornecedor do betão controla o processo de bombagem, normalmente usando apenas um comando [63, 65]. A medição do ruído a que um trabalhador é sujeito durante a betonagem mostra uma redução em 8 a 10 dB quando é usado o betão auto-compactável em vez do betão vibrado [63, 65].

Melhoria da Homogeneidade

A razão principal para o desenvolvimento do betão auto-compactável foi a preocupação com a redução da durabilidade causada pela inadequada homogeneidade do betão convencional vibrado [63]. No Japão os problemas no início da década de oitenta com a durabilidade das estruturas de betão centravam-se na necessidade de se obter uma compactação adequada [63].

Uma das razões principais para as dificuldades de compactação está relacionada com a tendência para o congestionamento de armaduras em muitas estruturas. O aumento do desempenho das estruturas conduziu a um aumento da taxa de armaduras nos elementos estruturais. Pelas razões já anteriormente referidas em diferentes ocasiões, é mais fácil assegurar a qualidade do betão nas estruturas com grande congestionamento de armaduras quando se utiliza um betão auto-compactável [63].

Outras melhorias

Existem numerosas situações onde o acesso de vibradores é difícil devido à configuração das cofragens ou restrições do processo de produção. Estas podem resultar de elementos inclinados com cofragens de dupla face, espaços confinados interiores e alturas de betonagem muito altas. Uma situação típica deste tipo consiste na reparação da base de uma laje horizontal ou viga. O uso do betão auto-compactável melhora as possibilidades de resolver estas situações de modo racional.

2.6 – Desvantagens do betão auto-compactável

Uma das principais desvantagens normalmente apontadas ao betão auto-compactável é o seu elevado custo comparativamente aos betões correntes vibrados. Esse custo resulta normalmente das elevadas percentagens de materiais finos, entre eles o cimento, que entram na sua composição. Não obstante, a relação custo/benefício tem sido avaliada apenas relativamente ao preço do material, sem contabilizar as vantagens que indirectamente a utilização do betão auto-compactável poderá representar. O progresso entretanto evidenciado nos últimos anos, no que respeita à optimização dos materiais constituintes, à utilização de outros desperdícios da indústria, ou mesmo, na própria formulação das misturas, tem conduzido à obtenção de betões auto-compactáveis sucessivamente com custos mais reduzidos. Acredita-se que num futuro próximo a aparente desvantagem económica possa ser revertida.

Outra desvantagem apontada ao betão auto-compactável está relacionada com as suas propriedades no estado endurecido, concretamente por este apresentar maior susceptibilidade a fenómenos de retracção e fluência comparativamente aos betões correntes vibrados. Isto resulta naturalmente das elevadas percentagens de materiais finos, em especial da grande quantidade de cimento e de adições que entram na sua composição. Também neste capítulo a solução poderá ser encontrada na optimização das misturas, nomeadamente a redução dos materiais finos através da optimização da fase agregado.

2.7 – Conclusões

O betão auto-compactável oferece inúmeras melhorias ao nível da produtividade, ambiente de trabalho e homogeneidade do material colocado nas estruturas. Desde o seu surgimento no Japão nos finais dos anos oitenta, esta nova tecnologia rapidamente se estendeu a todo o mundo e são inúmeras as contribuições nesta área e os exemplos de aplicação deste novo material [53]. De entre as várias categorias ou formas de obtenção de betões auto-compactáveis destaca-se, pela sua predominância, o betão auto-compactável com grande quantidade de materiais finos (ou betão auto-compactável do tipo finos).

**MATERIAIS CONSTITUINTES DO BETÃO
AUTO-COMPACTÁVEL**

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS CONSTITUINTES DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL

3.1 – Introdução

De um modo geral, todos os materiais constituintes utilizados na produção de betões correntes vibrados podem ser empregues no fabrico de betões auto-compactáveis. Estes materiais incluem diferentes tipos de cimentos (simples ou compostos), diferentes tipos de adições (por exemplo, fíler calcário, cinzas volantes, pozolanas naturais, escória granulada de alto-forno, sílica de fumo, etc.), agregados finos e grossos de diferente natureza e modo de obtenção e adjuvantes (superplastificantes, introdutores de ar, agentes de viscosidade, etc.), para além, obviamente, da água de amassadura.

A especificidade dos betões auto-compactáveis, que na generalidade exigem grandes quantidades de pasta e, portanto, grande quantidade de finos, tem conduzido a tentativas no sentido de se aprimorar as características dos materiais de modo a reduzir o consumo de cimento, reduzir os efeitos da retracção e aumentar a eficiência dos adjuvantes. Essas tentativas são mais evidentes nos casos dos superplastificantes e cimentos, mas também têm sido investigados novos materiais finos para substituição parcial do ligante.

3.2 – Materiais finos

Os materiais finos incluem todas as partículas finas do betão, como sejam: os cimentos (simples ou compostos) e as adições (quase inertes ou pozolânicas). Em alguns casos são também contabilizados como materiais finos as partículas finas, abaixo de determinado diâmetro referido à malha dos peneiros, que são transportadas pelos agregados, em especial os agregados finos [63]. Assim, a definição de material fino poderá variar de país para país, parcialmente dependendo das diferenças nas dimensões dos peneiros. Enquanto na Europa o tamanho máximo das partículas consideradas como finos é de 0,075 ou 0,125 mm, no Japão esse tamanho máximo é de 0,090 mm [11, 63].

A Norma Portuguesa NP-ENV206 [43] define adição como um material inorgânico, finamente dividido que pode ser adicionado ao betão (na amassadura) com a finalidade de melhorar certas propriedades ou para adquirir propriedades especiais. A mesma norma considera dois tipos de adições: adições do tipo I – quase inertes (por exemplo, o filler calcário) e as adições do tipo II – pozolânicas ou potencialmente hidráulicas (por exemplo: escórias granuladas de alto-forno, cinzas volantes e sílica de fumo).

3.2.1 – Cimentos

A alta fluidez do betão auto-compactável é conseguida basicamente pela elevada dispersão das partículas de cimento proporcionada pelos adjuvantes. A interacção química entre os componentes do cimento e os superplastificantes desempenha deste modo um papel importante na dispersão das partículas, mas essa dispersão pode ser também afectada pelas características dos restantes materiais finos [35].

Devido à sua rápida hidratação inicial, que ocorre nos primeiros minutos após o contacto com a água, o aluminato tricálcico (C3A) e o alumino-ferrato tetracálcico (C4AF), adsorvem rapidamente uma quantidade substancial de moléculas dos adjuvantes na sua superfície [35]. O restante adjuvante é posteriormente adsorvido na superfície do silicato tricálcico (C3S) e silicato bi-cálcico (C2S), que são os componentes em maior percentagem na composição do cimento. Deste modo, a quantidade adsorvida pelo silicato tricálcico (C3S) e silicato bi-cálcico (C2S) é dependente da quantidade inicialmente adsorvida no aluminato tricálcico (C3A) e no alumino-ferrato tetracálcico (C4AF) [35].

Para cimentos ricos em aluminato tricálcico (C3A) e alumino-ferrato tetracálcico (C4AF), a adsorção dos adjuvantes não é uniforme ao longo da superfície do cimento, pelo que a acção de dispersão é prejudicada [35]. Para além disso, a “etringite”, produto da hidratação dos (C3A) e (C4AF) com o gesso, interage com as partículas de cimento e reduz a fluidez [35]. Consequentemente, os cimentos Portland de baixo calor de hidratação com pequena fase intersticial de (C3A) e (C4AF) ou o cimento rico em (C2S) acentuam eficazmente a acção dispersante dos superplastificantes e podem ser considerados

adequados para o fabrico de betões auto-compactáveis. Particularmente, os cimentos ricos em “belite”, onde a quantidade de C2S é alta, inibem o calor de hidratação e são ideais para usar em betões auto-compactáveis de alta resistência [35].

A distribuição granulométrica das partículas de cimento e a sua forma podem ser considerados como factores físicos que influenciam o comportamento reológico das pastas. Por exemplo, se a superfície específica do cimento aumenta, o número de partículas na pasta aumenta, obtendo-se uma maior superfície de contacto com a água. Em consequência, a distância entre as partículas diminui e a frequência de colisão e os pontos de contacto entre estas partículas aumenta, conduzindo ao aumento da viscosidade plástica. Tem sido verificado que quanto maior for a compacidade do cimento melhor é a coesão da pasta. Foi então desenvolvido um cimento estabilizado mecanicamente, formado pela mistura de partículas grossas e finas de clínquer, apresentando no entanto menores resistências em idades curtas devido à redução da finura [35].

3.2.2 – Adições tipo I – adições quase inertes

As adições do tipo I são materiais quimicamente inertes, que quando na forma de pó, são atacados pela cal e pelos álcalis libertados durante a hidratação do cimento Portland favorecendo o aparecimento, a longo prazo, de efeitos benéficos à resistência mecânica, permeabilidade e resistência química. Exemplos disto são: quartzo, dolomite, rochas calcárias e vários produtos rochosos siliciosos, além de granito.

3.2.2.1 – Fíler calcário

O fíler calcário tem sido tradicionalmente usado como material de adição para substituição parcial do cimento quando se pretende aumentar o volume de finos, uma vez que apresenta também benefícios no controlo da segregação potencial e da deformabilidade do betão fresco auto-compactável [28]. Em anos recentes, o uso de pó calcário nos betões auto-compactáveis para estruturas de grandes massas, onde podem ocorrer fissuras por gradientes térmicos, tem-se tornado foco de atenção porque o pó de calcário inibe o

aumento de temperatura do betão quando betonado em grandes massas [28, 35]. Um exemplo típico da sua aplicação foi o da construção da ponte Akashi Kaikyo no Japão [35].

3.2.2.2 – Fíler granítico

Existem escassas referências relativamente ao uso de filer granítico em betões. Não obstante, foi possível identificar um estudo quanto à sua possível utilização em betões auto-compactáveis, numa investigação realizada por Ho et al. [28]. Neste estudo, os autores comparam o uso de filer granítico e de filer calcário em substituição parcial de um cimento Portland normal em pastas e betões, usando superplastificantes de última geração à base de polycarboxilatos. O filer granítico (pó de pedra) usado foi um subproduto da produção de agregados para betão, obtido durante o processo de britagem de rochas graníticas. A análise das dimensões e distribuição granulométrica efectuada por um analisador laser (HORIBA), indicou que as partículas de filer granítico eram mais finas que as de filer calcário. No entanto, a microestrutura do filer granítico revelou que a forma das partículas é achatada e mais alongada comparativamente às partículas de filer calcário. Esta diferença teria, segundo os autores, uma grande influência nas propriedades do escoamento [28].

Nos betões, cada uma das adições foi usada em percentagens de substituição do cimento de 35% e 50% (em massa). A dosagem de superplastificante foi obtida para uma tensão de corte próxima de zero nas pastas usando um reómetro coaxial e a razão W/C foi de 0,36. Foram produzidos betões com propriedades similares usando as duas adições. O espalhamento variou de 665 a 715 mm e o valor H2/H1 na “Caixa-L” variou de 0,75 a 0,83.

A investigação demonstrou que o filer granítico, tal como fornecido, pode ser usado com sucesso na produção de betões auto-compactáveis. Comparando com o uso de filer calcário, ambos os estudos em pastas e betões confirmaram que a adição de filer granítico requer uma dosagem superior de superplastificante para se obter propriedades reológicas semelhantes (cerca de 25% superior nos betões, em volume absoluto). Devido à finura do filer granítico, os autores salientam a necessidade de se analisar possíveis reacções alcali-silica, caso se pretenda usar este material em betões [28].

3.2.3 – Adições tipo II – adições pozolânicas ou potencialmente hidráulicas

As adições pozolânicas ou potencialmente hidráulicas são materiais siliciosos ou siliciosos e aluminosos que, por si só, possuem pouco ou nenhum poder cimentício, mas que na forma de pó e na presença de humidade, reagem quimicamente com o hidróxido de cálcio em temperaturas normais, formando compostos com propriedades cimentícias semelhantes aos originados na hidratação dos constituintes do clínquer Portland. São adições deste tipo as cinzas volantes, cinzas vulcânicas ácidas no estado natural ou calcinadas, alguns xistos e argilas calcinadas e alguns subprodutos industriais, como a sílica de fumo e as escórias granuladas de alto-forno [43]. As adições pozolânicas consistem essencialmente em SiO_2 reactivo e Al_2O_3 , com teor mínimo em SiO_2 reactivo de 25% em massa, definido de acordo com a NP 2064 [42]; o restante contém Fe_2O_3 e outros óxidos.

3.2.3.1 – Escórias de alto-forno de elevada finura

As escórias granuladas de alto-forno fundidas a alta temperatura são obtidas a partir de um subproduto da fabricação do “ferro-gusa”, no processo de fabricação do aço. Quando as escórias são arrefecidas suficientemente rápido em água, são obtidos grãos em forma de areia e vidro (amorfo). Uma vez que a matéria-prima usada e os métodos de produção na indústria de aço do Japão são quase sempre as mesmas, a gama de composição química das escórias de alto-forno encontra-se claramente definida [35]. Por exemplo, a quantidade vítrea de toda a escória granulada no Japão é maior que 90% [35]. Deste modo, a variação na qualidade da escória granulada é muito pequena.

A escória de alto-forno na forma de pó fino é obtida por pulverização da escória granulada de forma a aumentar a sua actividade de hidratação [35]. Com o avanço tecnológico nos anos recentes nas operações de moagem e separação, tornou-se possível produzir material muito mais fino (superior a $10.000 \text{ cm}^2/\text{g}$) comparando com a escória de alto forno na forma de pó com a finura de 3.400 a $4.400 \text{ cm}^2/\text{g}$ usada nos cimentos de escórias convencionais no Japão [35]. O pó constituído por escórias de alto forno de elevada finura não inicia as reacções de hidratação imediatamente após o contacto com a

água, como no caso das partículas de clínquer. Contudo, uma vez que a superfície das partículas é vidrada e lisa, mesmo que estas escórias sejam usadas como adições no betão, os efeitos adversos tais como o aumento da dosagem de água, não ocorrem [35].

A partir de estudos reológicos realizados com um viscosímetro, tem sido constatado que a tixotropia da pasta que incorpora escórias granuladas de alto-forno com elevada finura é comparativamente menor que a tixotropia da pasta de cimento Portland normal [35]. Por esta razão, a escória de alto-forno de elevada finura tem sido usada na produção de cimentos ou como adição em betões de elevada fluidez [35].

3.2.3.2 – Cinzas volantes

As cinzas volantes são subprodutos das centrais termoeléctricas que queimam carvão em pó nos seus fornos. Este pó é, em geral, muito fino e de combustão muito rápida. A temperatura no interior dos fornos situa-se normalmente entre 1500 e 2000 °C, valores superiores ao da fusão da maioria dos minerais presentes, que sofrem alterações químicas e físicas [1]. A natureza dessas alterações depende da temperatura, da permanência do material na região mais quente do forno, do tipo e da finura do combustível utilizado, etc.

As cinzas produzidas durante a combustão são conduzidas pelos gases e colectadas em filtros precipitadores mecânicos ou electrostáticos, sendo então denominadas “cinzas volantes” [1]. As suas características podem variar decorrendo principalmente da natureza do carvão que pode pertencer a um dos quatro tipos básicos [1]: betuminoso, linhítico, subbetuminoso e antracítico. O tipo, a eficiência dos fornos de combustão e o modo de colecta e armazenamento do material, podem também afectar a natureza das cinzas volantes [1].

Mineralogicamente, as cinzas volantes são constituídas por uma grande fase vítrea (cerca de 80% do material) e uma fase cristalina constituída principalmente por mulite, quartzo, magnetite, hematite e gesso [1]. A granulometria do material depende principalmente do tipo de filtro utilizado na sua recolha. Em geral, os colectores electrostáticos são capazes de reter partículas mais finas que os filtros mecânicos. Este factor parece ter muita influência na reactividade das cinzas volantes [1]. A cinza volante

indicada para utilização no betão deve possuir finura semelhante ou maior do que a do cimento Portland, com partículas de dimensões compreendidas geralmente entre 2 e 60 μm [1]. A superfície específica recomendada deve situar-se entre 6.000 e 10.000 cm^2/g [1].

A principal forma de acção química das cinzas volantes no betão é atribuída à sílica, que reage lentamente com o hidróxido de cálcio libertado durante a hidratação do cimento Portland, formando silicatos de cálcio hidratado, que são materiais semelhantes ao clínquer Portland [1]. Do ponto de vista físico, a cinza volante actua aumentando a compactidade dos materiais cimentíceos, existindo também evidências da melhoria ao nível da fluidez do betão fresco pelo efeito físico da forma esférica das partículas (efeito de rolamento) [1].

Xie et al. [83] analisaram o efeito de cinzas volantes ultra pulverizadas (chinesas) nas propriedades do betão auto-compactável. O principal efeito físico é atribuído à melhoria da compactidade da matriz cimentícea. Os autores concluem que as cinzas volantes actuam de forma semelhante aos agentes de viscosidade, isto é, permitem aumentar a viscosidade do betão fresco para obter boa resistência à segregação, sem no entanto diminuir a fluidez. Outras vantagens foram registadas ao nível da durabilidade, retenção da trabalhabilidade, retracção de secagem e propriedades mecânicas.

3.2.3.3 – Sílica de fumo (microssílica)

A sílica de fumo é um subproduto industrial obtido a partir da produção de silício metálico, ligas de ferro-silício ou outros produtos siliciosos em fornos eléctricos a arco. O silício metálico puro é produzido pela redução do quartzo com carvão natural, a temperaturas da ordem de 2000 $^{\circ}\text{C}$. Para a produção de ferro-silício adiciona-se ferro à mistura. O silício ou ferro-silício escoam pelo fundo do forno, enquanto numa região particular do mesmo forno forma-se o SiO gasoso. Parte desse gás oxida-se ao atingir a região superior do forno, formando o SiO_2 que se condensa em partículas muito pequenas.

As partículas, recolhidas em instalações de filtragem, constituem o subproduto no estado bruto denominado sílica de fumo, sílica de fumo condensada, pó de sílica, sílica amorfa, etc. Este subproduto bruto pode ser beneficiado e classificado por fluxo de ar,

peneiração húmida, etc., adquirindo então, em geral, a denominação de microsilica [1]. O material resultante é extremamente fino, formado por partículas esféricas com diâmetro médio de 0,10 a 0,20 μm [1]. A sua superfície específica (Blaine) varia normalmente entre os 30.000 e 70.000 cm^2/g , enquanto a massa volúmica varia entre 2160 e 2550 kg/m^3 [1].

A sílica de fumo actua no betão de duas formas: fisicamente, como fíler, densificando a microestrutura e, quimicamente, ao reagir rapidamente com o hidróxido de cálcio libertado durante a hidratação do cimento para formar o silicato de cálcio hidratado [1]. Pelas propriedades peculiares que confere ao betão (principalmente em termos de aumento da resistência), mas também na melhoria da trabalhabilidade, diminuição da permeabilidade, comportamento mais favorável na cura térmica, efeito pozolânico e maior durabilidade do betão em meios agressivos, a sílica de fumo tem importância reconhecida na obtenção de betões de alta resistência e elevado desempenho [1]. Não obstante, o seu uso em betões auto-compactáveis ainda não foi avaliado em detalhe [75].

Domone et al. [13] investigaram a retenção da trabalhabilidade em argamassas com associações binárias e ternárias de materiais finos, incluindo cimento Portland, escórias granuladas de alto-forno, cinzas volantes, microsilica e fíler calcário. Os autores concluíram que a microsilica se revelou muito útil na retenção da trabalhabilidade quando utilizada em combinações ternárias com os outros componentes. Não obstante, nesse estudo é possível observar que, na mistura binária em que o cimento Portland foi substituído em 15% (volume) por microsilica, se registou um consumo de superplastificante 2,33 vezes superior àquele registado na mistura padrão só com cimento e 3,89 vezes superior àquele registado na mistura binária em que o cimento foi substituído em 40% (volume) por fíler calcário. Em misturas ternárias associando, em volume absoluto, 50% de cimento Portland, 40% de fíler calcário e 10% de microsilica, o consumo de superplastificante foi da ordem de 49% daquele obtido na mistura binária, composta por 85% de cimento e 15% de microsilica, e cerca de 1,13 vezes superior àquele obtido na mistura só com cimento.

Takada et al. [75] compararam argamassas com parâmetros reológicos semelhantes (ensaios de espalhamento e fluidez "Funil-V"), contendo cinzas volantes de elevada finura

(MFA e CGFA) e sílica de fumo (SF). Foram usados superplastificantes à base de policarboxilatos complexos de éter. Os autores concluíram que o uso de sílica de fumo em substituição parcial do cimento melhora a trabalhabilidade dos betões auto-compactáveis e que a resistência à compressão aumenta com a percentagem de substituição. Contudo, o uso de sílica de fumo requer elevadas dosagens de superplastificante. Pelo contrário, o aumento da percentagem de substituição do cimento por cinzas volantes de elevada finura não contribui para o aumento da resistência, mas o seu efeito na melhoria da trabalhabilidade, sem acréscimos de superplastificante, é muito grande.

A Figura 3.1 ilustra os resultados obtidos por Takada et al. [75] na avaliação do aumento da dosagem de superplastificante com o aumento da percentagem de substituição do cimento por sílica de fumo. Para percentagens de substituição de 15%, o consumo de superplastificante triplicou em comparação com a mistura de referência com 0% de sílica de fumo. Isto significa que, quando se usa uma grande quantidade de sílica de fumo numa argamassa, é necessário uma grande quantidade de superplastificante para se obter determinada fluidez. Por outro lado, as cinzas volantes MFA e CGFA mostraram tendências diferentes com respeito à dosagem de superplastificante (Figura 3.1); o consumo de superplastificante aumenta mas em percentagens muito pequenas. A Figura 3.2 mostra a influência das adições na resistência à compressão.

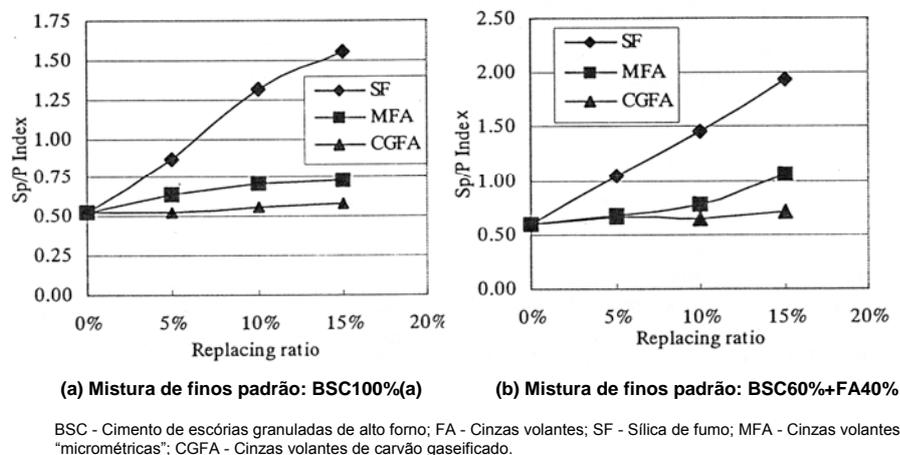


Figura 3.1 - Influência das adições na dosagem de superplastificante [75]

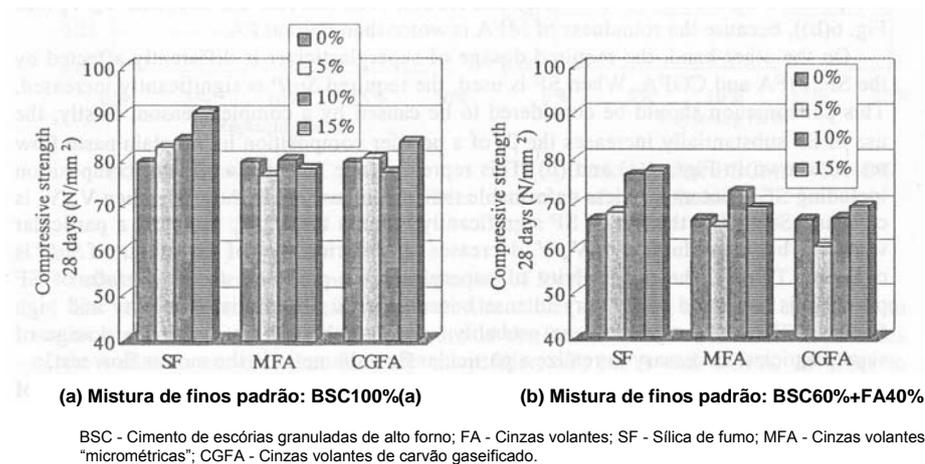


Figura 3.2 - Influência das adições na resistência à compressão [75]

3.3 – Adjuvantes

A Norma Portuguesa NP-ENV206 [43] define adjuvante como um produto que é adicionado em pequenas quantidades referidas à massa do cimento, antes ou durante a amassadura ou numa operação adicional de amassadura, provocando as modificações requeridas das propriedades normais.

3.3.1 – Superplastificantes

O betão auto-compactável é um tipo de betão que possui uma trabalhabilidade melhorada sem perda na resistência à segregação. Para atingir excelente resistência à segregação, a quantidade unitária de água necessita de ser reduzida o máximo possível dentro dos limites da trabalhabilidade pretendida [35]. Para além disso, uma boa capacidade de retenção da trabalhabilidade é absolutamente necessária de modo a assegurar as adequadas propriedades do betão durante o transporte e uma boa compactação durante a colocação do betão. Para satisfazer estas exigências, os superplastificantes necessitam possuir grande capacidade de redução de água e capacidade de reter a trabalhabilidade durante largos períodos de tempo.

As principais causas de redução do tempo de retenção da trabalhabilidade consideram-se ser a coagulação química acompanhada da reacção de hidratação das partículas de cimento e a coagulação física devido à colisão entre as partículas de cimento

[35]. O fenómeno é descrito como a perda de trabalhabilidade como resultado do consumo do agente de dispersão com o tempo [35]. Consequentemente, para restringir a perda de trabalhabilidade, será necessário fornecer superplastificante à mistura sucessivamente [35].

Até finais dos anos 80, os superplastificantes (redutores de água de alta gama) usados no betão eram à base de polímeros de naftaleno sulfonado e polímeros de melamina sulfonada. Estes materiais permitiam reduções de água de até 20%, baixas razões A/C, altas resistências iniciais e presa controlada. Na década de 90 surgiram os copolímeros vinílicos que, comparativamente aos anteriores, conferiam uma maior capacidade de redução de água, que poderia atingir até 40%, uma trabalhabilidade prolongada e uma permeabilidade muito baixa [62]. Já no início deste século, foram desenvolvidos novos superplastificantes à base de policarboxilatos modificados, especificamente produzidos para aplicações em betões auto-compactáveis e que são frequentemente denominados de superplastificantes de nova geração. Os carboxilatos modificados permitem reduções de água de até 40%, tal como os copolímeros vinílicos, mas permitem melhorias ao nível da capacidade de retenção de água e da retenção da trabalhabilidade, pela combinação de polímeros “tridimensionais” que impedem a prematura humectação dos grãos de cimento e mantêm o efeito dispersante durante mais tempo [62].

Os mecanismos de dispersão das partículas de cimento pelos superplastificantes podem ser divididos basicamente em dois tipos: 1) aqueles baseados na repulsão electrostática; 2) aqueles baseados na repulsão estérica [35]. Os superplastificantes baseados na repulsão electrostática incluem agentes baseados no naftaleno sulfonado, na melamina sulfonada e nos amino-sulfonatos. Todos eles incluem o grupo sulfónico na molécula [35]. A capacidade de dissociação iónica do grupo sulfónico é forte e fornece uma carga negativa às partículas de cimento que possuem uma alta concentração iónica, estabilizando desta forma a dispersão [35]. Por outro lado, os mecanismos de dispersão baseados na repulsão estérica incluem os agentes baseados nos policarboxilatos. Estes superplastificantes são “polímeros de enxerto” possuindo cadeias de óxido de etileno com grande resistência aos sais nas moléculas das cadeias laterais. As cadeias de óxido de

etileno têm uma forte capacidade de reter a água, devido ao facto de se formar uma fina camada de adsorção na superfície dos cimentos. Esta camada fina de adsorção gera uma alta repulsão estérica [35].

Num estudo realizado por Domone et al. [13] para avaliar as propriedades das argamassas para betões auto-compactáveis, foram estudadas a eficiência e a retenção de trabalhabilidade de quatro superplastificantes: SP1 (polímero de naftaleno sulfonado), SP2 (copolímeros acrílicos), SP3 (copolímeros vinílicos) e SP4 (policarboxilatos modificados). Os superplastificantes SP3 e SP4 são considerados de última geração, sendo a acção do SP4 uma combinação de dispersão electrostática e estérica. Os autores concluíram que a máxima eficiência foi obtida com os dois superplastificantes de nova geração (SP3 e SP4) e que a menor taxa de perda da trabalhabilidade foi obtida com o superplastificante SP4.

Os autores Yamada et al. [84] estudaram a influência da temperatura na dispersão do superplastificante à base de policarboxilatos, em pastas com cimento Portland normal e razão água/cimento de 0,30, produzidas à temperatura de 5, 20 e 30 °C. Para cada temperatura, a dispersão do superplastificante foi avaliada através de ensaios de fluidez nas pastas de cimento decorridos 5, 30, 60 e 120 minutos após a amassadura. Os autores concluíram que este tipo de superplastificante produz uma grande dispersão das partículas de cimento e é muito útil na produção de betões altamente fluidos com boa retenção da trabalhabilidade a 20 °C. Não obstante, os mesmos autores verificaram que, a temperaturas mais elevadas (superiores a 20 °C) a capacidade de retenção da trabalhabilidade diminui, enquanto que a temperaturas menores (inferiores a 20 °C) a trabalhabilidade é menor logo após a amassadura, mas tende a aumentar com o tempo.

O mesmo efeito é descrito por Nawa et al. [35], ao considerar que a taxa de adsorção dos superplastificantes no cimento varia com a temperatura do betão [35]. Particularmente, sob baixas temperaturas, a taxa de adsorção é retardada consideravelmente. Deste modo existe uma tendência para o aumento da fluidez com o tempo [35]. Similarmente à situação sob baixas temperaturas, quando a quantidade de finos é elevada, a velocidade da mistura do betão diminui. Deste modo, a fluidez tende a aumentar com o tempo [35].

Os adjuvantes superplastificantes e os introdutores de ar são geralmente fornecidos separadamente, pelo menos em Portugal, onde o efeito da acção do gelo é pouco significativa o que diminui a necessidade de introdução de ar. Contudo, quando necessário, por questões de economia e de procedimentos, eles podem ser fornecidos em conjunto num único material. Assim é necessário distinguir entre os superplastificantes propriamente ditos e aqueles simultaneamente introdutores de ar. Talvez por isso, Nawa et al. [35] classificam os superplastificantes usados no betão auto-compactável em dois tipos: agentes redutores de água de alta gama e agentes redutores de água de alta gama introdutores de ar.

Segundo Nawa et al. [35] os agentes redutores de água de alta gama têm sido usados no betão auto-compactável produzido em fábricas de produtos secundários que não necessitem de protecção adicional contra os ciclos de gelo e degelo proporcionada pelas micro-bolhas de ar e onde o tempo decorrido entre o fabrico e a colocação é relativamente pequeno. Por outro lado, os agentes redutores de água de alta gama introdutores de ar têm sido usados em centrais de betão pronto quando se pretende aumentar a capacidade de retenção da trabalhabilidade, uma vez que o volume de ar introduzido mantém-se a um nível constante na composição durante o transporte e o efeito das micro-bolhas de ar permite manter a trabalhabilidade da mistura durante mais tempo.

Nawa et al. [35] referem ainda que a opção pelo tipo de superplastificante a ser usado no betão auto-compactável deve ter em conta não só as características de retenção da trabalhabilidade exigidas mas também a interacção entre os superplastificantes ou, entre estes e os agentes de viscosidade. Quando diferentes superplastificantes são combinados, podem ocorrer fenómenos de sedimentação das partículas ou inibição do efeito de dispersão [35]. Um exemplo de fraca afinidade é a combinação de superplastificantes à base de policarboxilatos com superplastificantes à base de naftalenos sulfonados [35].

3.3.2 – Agentes de viscosidade

Para melhorar a resistência à segregação do betão auto-compactável, é por vezes usado um agente de viscosidade. Estes podem ser também utilizados para reduzir os efeitos

das variações nas propriedades da matéria-prima, especialmente a humidade das areias, durante a produção do betão auto-compactável [63].

Os agentes de viscosidade usados no betão podem ser basicamente divididos em: polímeros à base de celulose solúveis em água, bio-polímeros à base de acrílicos solúveis em água, polímeros à base glicol solúveis em água e agentes de viscosidade inorgânicos. As quantidades padrão a usar, as suas características e o efeito de interacção variam dependendo do tipo de agente de viscosidade. Por exemplo, os polímeros à base de celulose solúveis em água e os polímeros à base de acrílicos solúveis em água são usados na produção de betões auto-compactáveis do tipo agentes de viscosidade [35]. Por outro lado, os bio-polímeros e os agentes de viscosidade inorgânicos são usados somente nos betões auto-compactáveis do tipo combinado [35]. Foram já desenvolvidos adjuvantes possuindo simultaneamente a acção de redutores de água e a acção de agentes de viscosidade [35].

Os mecanismos dos agentes de viscosidade que conferem resistência à segregação variam muito dependendo do seu tipo. Estes mecanismos podem ser divididos em dois tipos, conforme se ilustra na Figura 3.3 [35]: 1) os mecanismos que actuam nos grãos dos materiais finos, tais como o cimento; 2) mecanismos que actuam na água do betão.

A maioria dos agentes de viscosidade usados no betão apresenta um ou mais grupos funcionais na sua estrutura molecular. Deste modo quase todos os agentes de viscosidade são consequentemente adsorventes [35]. Tem sido verificado que existe uma relação entre a viscosidade plástica e a capacidade de deformação nas argamassas produzidas com diferentes agentes de viscosidade que possuem diferentes capacidades de adsorção; a capacidade de deformação da argamassa diminui à medida que a viscosidade aumenta [35]. No caso dos agentes de viscosidade adsorventes, o decréscimo do valor da capacidade de deformação conduz presumivelmente à formação de estruturas de ligação (“pontes”) através das camadas adsorvidas na superfície das partículas de cimento, o que proporciona um aumento da viscosidade [35]. No caso dos agentes de viscosidade não adsorventes, a aparente viscosidade plástica da argamassa aumenta com o incremento da dosagem do

agente de viscosidade, mas o valor da deformabilidade praticamente não se altera [35]. Deste modo, torna-se possível controlar a viscosidade mantendo a capacidade de deformação constante usando agentes de viscosidade não adsorventes [35]. A propriedade única dos agentes de viscosidade não adsorventes será presumivelmente útil para o betão auto-compactável [35].

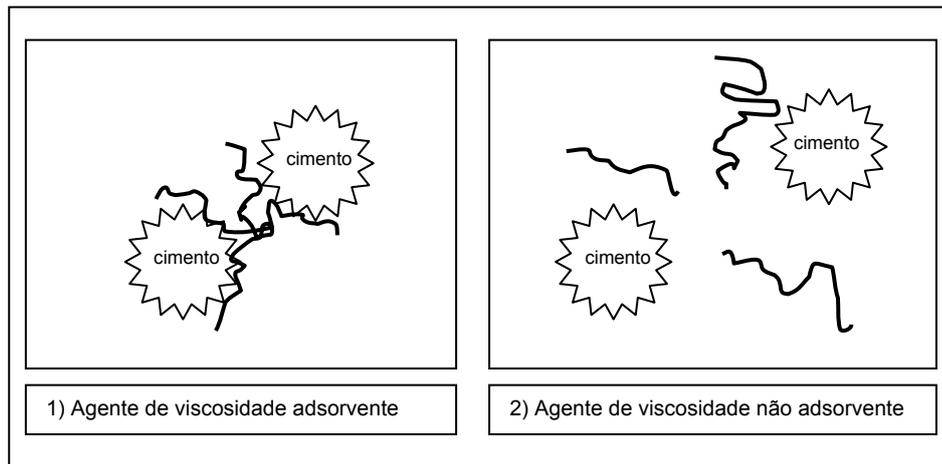


Figura 3.3 – Mecanismos que conferem resistência à segregação ao betão [35]

As quantidades de superplastificante adsorvidas na presença de agentes de viscosidade são ilustradas na Figura 3.4 [35].

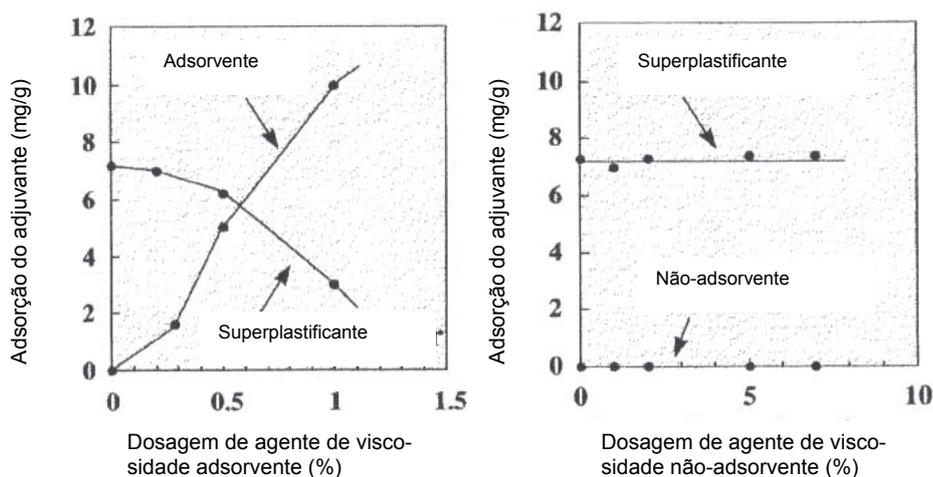


Figura 3.4 – Quantidades adsorvidas de superplastificante e de agentes de viscosidade nas partículas de cimento [35].

O decréscimo na capacidade de deformação da argamassa depende da quantidade de superplastificante adsorvida nas partículas de cimento [35]. Quanto maior for a quantidade de agentes de viscosidade adsorventes adicionada, menor quantidade de superplastificante é adsorvido [35]. Acredita-se que a capacidade de deformação da argamassa diminui porque o espaço para adsorção na superfície das partículas de cimento está ocupado pelos agentes de viscosidade [35]. Por outro lado, os agentes não adsorventes não competem com os superplastificantes por locais de adsorção e a quantidade de superplastificante permanece a mesma [35]. Deste modo, os agentes não adsorventes podem conduzir a uma adequada capacidade de deformação e viscosidade das argamassas. Os agentes de viscosidade que actuam nos grãos de cimento incluem os polímeros à base de celulose solúveis em água e os polímeros à base de acrílicos solúveis em água. Estes agentes de viscosidade são adsorvidos na superfície dos grãos de cimento e formam estruturas de pontes entre os grãos, proporcionando viscosidade à pasta [35].

Os polímeros à base de glicol solúveis em água não adsorvem na totalidade da superfície do cimento, mas aumentam a viscosidade pela acção de ligação em cadeia entre as suas próprias moléculas [35]. Os bio-polímeros, polímeros polissacarídeos e agentes de viscosidade inorgânicos não se dissolvem em água, mas os próprios polímeros adsorvem a água, dilatam e proporcionam viscosidade [35].

Existe afinidade entre os agentes de viscosidade e os superplastificantes [35]. Se esta afinidade se torna pobre, ocorre coagulação ou perda notável de capacidade de deformação e degrada-se a trabalhabilidade do betão [35]. Geralmente, o grau de afinidade varia dependendo da estrutura e peso molecular do agente de viscosidade [35]. Quanto maior o peso molecular do agente de viscosidade mais notável é a afinidade. A afinidade está também estreitamente relacionada com a estrutura química do superplastificante [35].

Não foram ainda propostos quaisquer índices para a identificação quantitativa das características dos agentes de viscosidade [35]. A Figura 3.5 ilustra a gama de proporções da mistura que conduzem a argamassas com as características adequadas à produção de betões auto-compactáveis ($G_m = 5 \sim 6$, $R_m = 1 \sim 1,5$) utilizando diferentes agentes de

viscosidade. O agente de viscosidade que na Figura 3.5 apresenta o polígono com maior área é aquele que proporciona ao betão uma auto-compactabilidade mais estável, face a variações na dosagem superplastificante ou na razão V_w/V_p [35]. Não existem praticamente diferenças entre os vários tipos de agentes de viscosidade no que respeita à razão V_w/V_p , enquanto existe uma extensa gama de variação entre eles com respeito à dosagem de superplastificante [35]. Os agentes de viscosidade à base de celulose ou “welan gum” são mais estáveis [35].

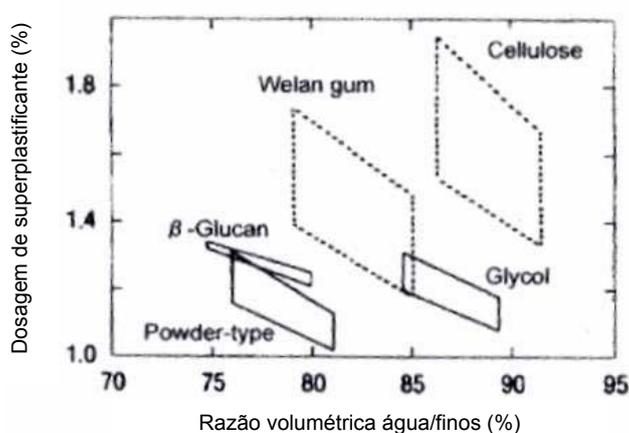


Figura 3.5 – Gama de proporções da mistura [35]

Ao resumir o estado da arte quanto ao efeito de diferentes tipos de agentes de viscosidade na trabalhabilidade do betão auto-compactável, Nawa et al. [35] referem estudos efectuados por Hibino e Okuma. Esses estudos mostram as variações que ocorreram na auto-compactabilidade (ensaio da “Caixa”), na capacidade de deformação (ensaio de espalhamento) e na velocidade de deformação (fluidez no “Funil-V”) do betão fresco face a oscilações da dosagem de água de amassadura (Figuras 3.6, 3.7 e 3.8 respectivamente). Os agentes de viscosidade à base de glicol foram aqueles que proporcionaram uma maior estabilidade no ensaio de auto-compactabilidade (altura na “Caixa”), enquanto que os agentes de viscosidade à base de “welan gum” proporcionam maior estabilidade nos ensaios de avaliação da capacidade de deformação (diâmetro de espalhamento) e da velocidade de deformação (tempo de escoamento no “Funil-V”).

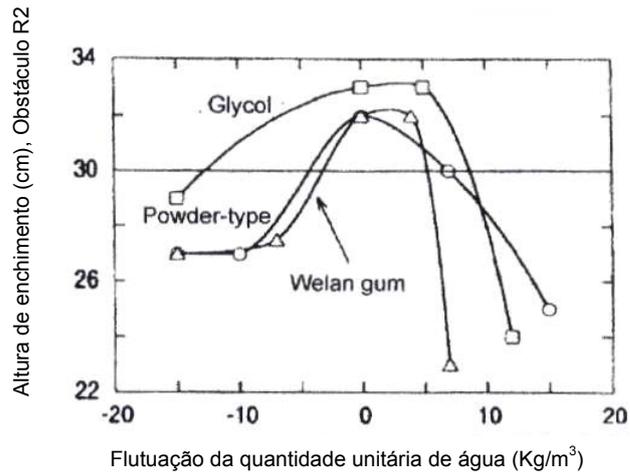


Figura 3.6 – Flutuação da quantidade unitária de água versus altura de enchimento [35]

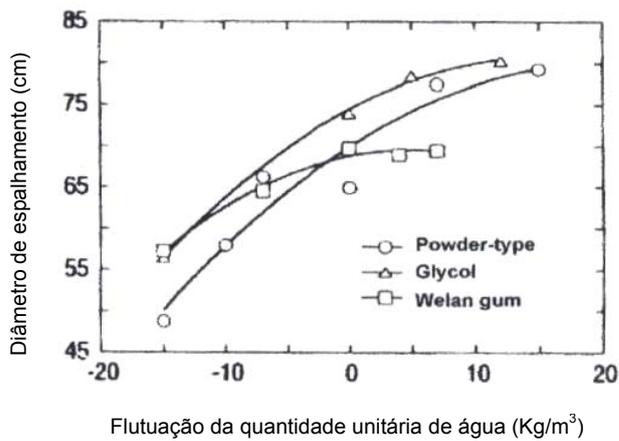


Figura 3.7 – Flutuação da quant. unitária de água versus diâmetro de espalhamento [35]

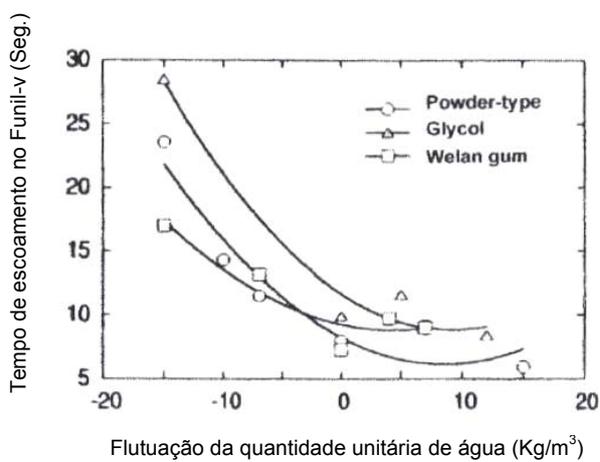


Figura 3.8 – Flutuação da quantidade unitária de água versus tempo no “Funil-V” [35]

3.4 – Agregados finos

Os agregados finos incluem normalmente as areias de diferente natureza e modo de obtenção, cuja máxima dimensão das partículas não excede os 5 mm. Não obstante, em muitas situações, as partículas mais finas das areias abaixo de determinada dimensão são considerados como materiais finos. Nesses casos, os agregados finos passam a ser definidos como as partículas sólidas do betão com dimensão compreendida entre o valor de referência para as partículas finas e a máxima dimensão das partículas de areia. Assim, por exemplo, no Japão são considerados como agregados finos as partículas inertes com dimensão compreendida entre os 0,090 mm e os 5 mm, enquanto na Europa os agregados finos podem variar entre 0,075 e 5 mm ou entre 0,125 e 5 mm [11, 63].

Todas as recomendações usualmente estabelecidas para as areias de betões correntes vibrados devem ser aplicadas às areias utilizadas em betões auto-compactáveis. Tal como sucede nos betões correntes é recomendada uma granulometria contínua com uma boa distribuição entre partículas mais finas e as mais grossas, mas não são estabelecidas referências específicas para a distribuição granulométrica das areias. No entanto, no betão auto-compactável, tal como no betão corrente, esse parâmetro é tido em conta em muitos métodos de estudo da composição com vista à optimização do volume sólido total da mistura [5, 11, 33, 56, 61, 79]. Os efeitos que as características dos agregados finos, incluindo o diâmetro médio das partículas, o módulo de finura ou a sua forma exercem na auto-compactabilidade do betão fresco são também contabilizadas em alguns dos métodos de cálculo da composição do betão, como sejam, os métodos propostos pelo CBI [56, 57] e pela LCPC [33, 61].

Nawa et al. [35] referem investigações experimentais realizadas por Edamatsu et al. onde se analisou o efeito do tipo de agregado na relação entre a altura de enchimento máxima e a razão volumétrica entre os agregados finos e a argamassa (V_s/V_m), mantendo como parâmetros fixos o volume unitário do agregado grosso e a deformabilidade dos betões (diâmetro de espalhamento de 650 ± 50 mm). Nessa investigação os autores constataram que a altura máxima de enchimento (auto-compactabilidade no ensaio da

“Caixa”) parece permanecer aproximadamente constante independentemente do tipo de agregados finos quando a razão volumétrica entre os agregados finos e a argamassa (V_s/V_m) é relativamente baixa. Não obstante, à medida que (V_s/V_m) aumenta, a altura máxima de enchimento começa a decrescer, e o ponto a partir do qual isto sucede (a razão limite V_s/V_m) depende do tipo de agregado fino [35]. Estes resultados são ilustrados na Figura 3.9. As características das areias usadas neste estudo são ilustradas no Quadro 3.1.

Ainda no mesmo estudo o valor limite da razão (V_s/V_m) mostrou ser afectado pela forma das partículas, para agregados com o mesmo diâmetro médio das partículas (tal como no caso das areias do rio ou do mar). O valor limite da razão (V_s/V_m) é também afectado pelo diâmetro médio das partículas para partículas com forma similar (tais como as areias do rio e as areias do solo), Figura 3.10 [35].

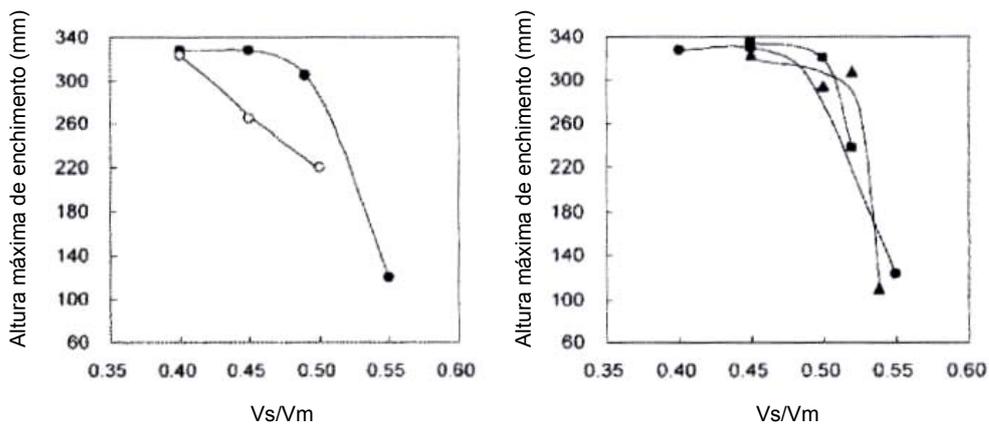


Figura 3.9 - Influência do tipo de agregado na auto-compactabilidade [35]

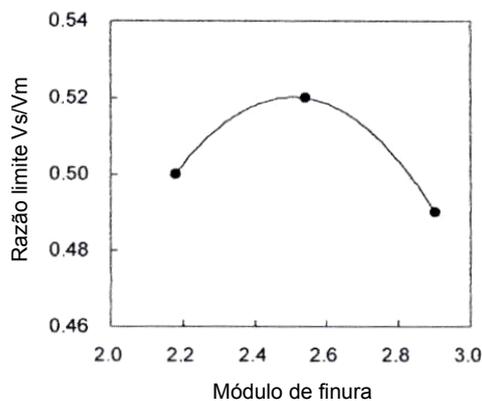


Figura 3.10 - Relação entre o módulo de finura e a razão limite V_s/V_m [35]

Quadro 3.1 - Propriedades dos agregados finos [35]

Tipo	Massa volúmica (kg/m³)	Módulo de finura	Absorção (%)
Areia do rio	2590	2,90	1,20
Areia do solo	2710	2,18	1,01
Mistura de areia do rio e do solo	2660	2,54	1,28
Areia do mar	2580	2,84	1,40

3.5 – Agregados grossos

São considerados como agregados grossos todas as partículas inertes com diâmetro superior a 5 mm. Para a máxima dimensão não são estabelecidos limites de referência, mas sabe-se que, para estruturas de betão armado e pré-esforçado correntes, a dimensão máxima do agregado grosso recomendada se situa entre os 20 e os 25 mm, na generalidade dos casos. Tal como se referiu para os agregados finos, também neste caso, todas as recomendações usualmente estabelecidas para os agregados grossos de betões correntes se devem aplicar aos agregados grossos para betões auto-compactáveis.

A máxima dimensão dos agregados grossos é um parâmetro determinante em todos os métodos de cálculo da composição de betões auto-compactáveis, enquanto que a compacidade da mistura dos agregados grossos é tida em consideração na grande maioria dos métodos. Por exemplo, o método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] sugere uma máxima dimensão dos agregados de 20 mm e um volume absoluto de agregados grossos contabilizado em 50% do volume aparente compactado desse agregado, o qual inclui a baridade e implicitamente a compacidade dos agregados. Métodos mais elaborados, como aqueles propostos pelo CBI [56, 57] e pela LCPC [33, 61], consideram a distribuição granulométrica dos agregados, a sua natureza e forma de obtenção.

Ao relatar o estado da arte relativamente aos agregados grossos para betões auto-compactáveis, Nawa et al. [35] referem estudos apresentados pela JSCE, onde se pode avaliar o efeito que a máxima dimensão dos agregados grossos exerce no escoamento do betão fresco auto-compactável através de obstáculos. Este efeito é exemplificado pela Figura 3.11, onde se observa que a capacidade de escoamento em aberturas estreitas diminui à medida que a máxima dimensão do agregado grosso aumenta.

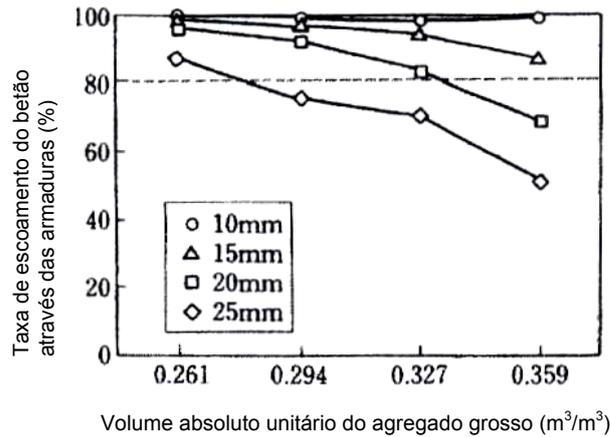


Figura 3.11 – Relação entre o volume absoluto unitário do agregado grosso e taxa de escoamento do betão através das armaduras [35]

Ao compararem estudos realizados por Edamatsu et al. e por Nagamoto et al., Nawa et al. [35] referem que o escoamento avaliado pelo ensaio de fluidez no “Funil-V” está mais estreitamente relacionado com o volume aparente compactado do que com o volume absoluto dos agregados grossos (Figuras 3.12 e 3.13). Quando se utiliza o volume absoluto do agregado grosso (Figura 3.12), o escoamento varia quando se modifica a natureza do agregado, ainda que a quantidade de agregado grosso seja a mesma. Por outro lado, quando se utiliza o volume aparente compactado (método geral proposto por Okamura et al.) a relação parece ser independente da natureza do agregado (Figura 3.13).

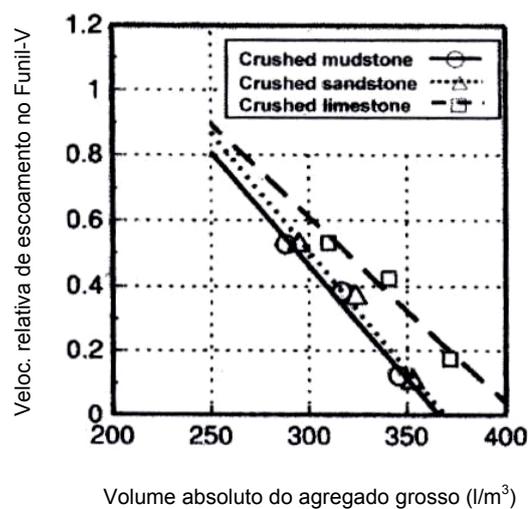


Figura 3.12 – Volume absoluto do agregado grosso versus velocidade relativa de escoamento [35]

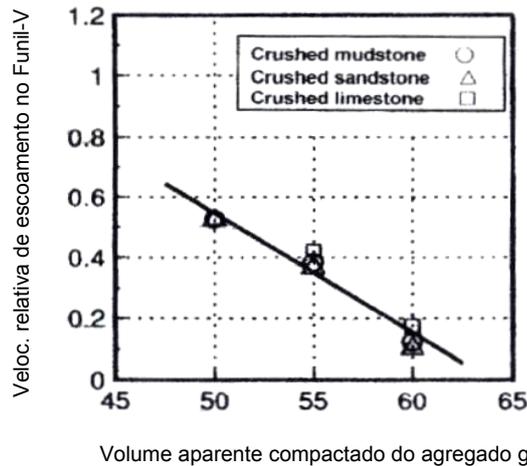


Figura 3.13 – Volume aparente compactado do agregado grosso versus velocidade relativa de escoamento [35]

3.6 – Conclusões

Regra geral, os materiais constituintes utilizados para produzir betões correntes vibrados e todas as recomendações quanto à conformidade desses materiais podem ser aplicadas ao betão auto-compactável. A especificidade deste novo tipo de betão tem no entanto suscitado estudos no sentido de aprimorar alguns dos materiais constituintes.

No caso dos cimentos, tem sido reconhecido que a interação química entre os componentes do cimento e os superplastificantes desempenha um papel importante na dispersão das partículas, enquanto que a distribuição granulométrica das partículas de cimento e a sua forma podem ser considerados como factores físicos que influenciam o comportamento reológico da pasta [35]. A utilização de cimentos Portland de baixo calor de hidratação com pequena fase intersticial de (C3A) e (C4AF) ou o cimento rico em (C2S) têm sido sugeridos como adequados para os betões auto-compactáveis por acentuarem a acção dispersante dos superplastificantes [35]. Para aumentar a coesão da pasta tem sido sugerido o aumento da compacidade do cimento, o que conduziu ao desenvolvimento de cimentos estabilizados mecanicamente, com partículas grossas e finas de clínquer [35].

As adições do tipo I (quase inertes) que mais têm sido utilizadas no fabrico de betões auto-compactáveis são constituídas por fíler calcário. Este material tem sido utilizado com sucesso em substituição parcial do cimento, revelando melhorias ao nível das propriedades

reológicas e na redução substancial das dosagens de superplastificante comparativamente às misturas só com cimento. Em estruturas de grandes massas, o fíler calcário tem-se revelado efectivo na inibição do aumento da temperatura do betão e na prevenção do surgimento de fissuras por gradientes térmicos [35].

As adições do tipo II (pozolânicas ou potencialmente hidráulicas), que têm sido usadas na produção de betões auto-compactáveis, incluem as escórias granuladas de alto forno de elevada finura, as cinzas volantes e a sílica de fumo. De entre estas, as cinzas volantes são as mais frequentemente utilizadas, oferecendo melhorias na trabalhabilidade do betão em resultado do efeito de rolamento proporcionado pela forma esférica das suas partículas. As cinzas volantes, à semelhança do fíler calcário, permitem uma redução substancial das dosagens de superplastificante comparativamente às misturas só com cimento. Por serem utilizadas em grande percentagem na substituição parcial do cimento, o aumento da percentagem de substituição acima de determinado valor, não conduz normalmente a ganhos em termos de resistência [35].

A sílica de fumo tem sido apontada como uma adição muito útil quando se pretende aumentar o tempo de retenção da trabalhabilidade [13, 75]. Contudo, mesmo quando usada em percentagens de substituição do cimento muito reduzidas, inferiores a 10%, esta adição conduz a consumos de superplastificante muito elevados, comparativamente a quaisquer das adições antes referidas, sejam elas do tipo I ou do tipo II [13, 75].

Um dos grandes avanços no que diz respeito aos materiais para o betão auto-compactável registou-se no desenvolvimento de uma nova geração de superplastificantes à base de policarboxilatos modificados, especificamente adequados a este novo tipo de betão. Efectivamente, inúmeros trabalhos têm demonstrado a eficácia deste tipo de adjuvante na melhoria do comportamento reológico do betão, na redução do consumo de superplastificante e na retenção da trabalhabilidade [13, 35, 62, 84]. Contudo, parece existir indícios de que a temperatura do betão poderá afectar a eficiência deste superplastificante. Por exemplo, tem sido referido que a capacidade de retenção da trabalhabilidade diminui com o aumento da temperatura do betão, enquanto que a temperaturas menores a

trabalhabilidade é menor logo após a amassadura, mas tende a aumentar com o tempo [35, 84].

Os agentes de viscosidade têm sido usados no betão auto-compactável como forma de aumentar a resistência à segregação, mas podem ser também utilizados para reduzir os efeitos das variações nas propriedades da matéria-prima, especialmente a humidade das areias. Neste último caso, face às variações das dosagens de água de amassadura, os agentes de viscosidade à base de glicol são aqueles que proporcionam uma maior estabilidade no ensaio de auto-compactabilidade (altura na “Caixa”), enquanto que os agentes de viscosidade à base de “welan gum” proporcionam maior estabilidade nos ensaios de avaliação da capacidade de deformação (diâmetro de espalhamento) e da velocidade de deformação (tempo de escoamento no “Funil-V”) [35].

Os efeitos que a distribuição granulométrica, o diâmetro médio das partículas, a forma e natureza dos agregados finos e grossos exercem no comportamento do betão fresco auto-compactável são contabilizados em alguns dos métodos de cálculo da composição, nomeadamente, nos métodos propostos pelo CBI [56, 57] e pela LCPC [33, 61]. Outros métodos consideram um menor número de parâmetros. Por exemplo, o método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] considera apenas a máxima dimensão e a compacidade do total das partículas de agregado grosso para efeitos do cálculo das composições de betão auto-compactável.

Efectivamente, apesar de não se evidenciarem recomendações quanto às características dos agregados, parcialmente devido à grande variedade do seu fornecimento de local para local, torna-se evidente que os aspectos acima referidos devem ser tidos em conta nos procedimentos de cálculo, na medida em que são susceptíveis de afectar, em maior ou menor grau, a trabalhabilidade (auto-compactabilidade) dos betões. Por último, poderá ainda referir-se que os agregados finos e grossos usados em betões correntes são adequados a este novo tipo de betão, mas o valor da máxima dimensão do agregado grosso é mais reduzido, situando-se em geral próximo dos 20 mm em elementos estruturais correntes, podendo atingir os 25 mm em estruturas com menor taxa de armaduras.

**PROPRIEDADES DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL
NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO**

CAPÍTULO 4 – PROPRIEDADES DO BETÃO AUTO-COMPACTÁVEL NO ESTADO FRESCO E ENDURECIDO

4.1 – Introdução

Pela natureza da investigação desenvolvida no presente trabalho, as propriedades do betão fresco auto-compactável assumem especial relevância e serão analisadas em detalhe. Serão abordados os aspectos relativos ao comportamento reológico e aos requisitos de trabalhabilidade. Por último, serão apresentados e discutidos os principais ensaios para a avaliação das propriedades dos betões auto-compactáveis no estado fresco, que coincidiram com os ensaios utilizados no presente trabalho.

As propriedades do betão endurecido são especialmente relevantes para o comportamento mecânico e de durabilidade das estruturas. Contudo, as propriedades do betão endurecido avaliadas no presente trabalho centraram-se apenas na medição da resistência à compressão, não esquecendo, porém, que as propriedades que avaliam a durabilidade do betão podem ser relacionadas com a resistência mecânica do mesmo. Uma vez que as restantes propriedades não foram determinantes para a análise experimental efectuada no presente trabalho a sua abordagem será feita de forma muito superficial.

4.2 – Propriedades do betão auto-compactável no estado fresco

4.2.1 – Generalidades

A maior especificidade das propriedades do betão fresco auto-compactável, comparativamente com o betão convencional, está obviamente associada àquilo que pode ser descrito como auto-compactabilidade [32]. Em termos mecânicos esta propriedade está relacionada com a reologia do betão fresco, enquanto que em termos de manuseamento na prática está relacionada com os parâmetros de trabalhabilidade [32].

4.2.2 – Reologia

O betão auto-compactável no estado fresco pode ser descrito como uma suspensão de partículas. Contudo, esta abordagem é muito complexa, uma vez que o betão possui uma larga gama de tamanhos de partículas e as propriedades do “fluido” variam com o tempo em função das reacções químicas [32]. Na aproximação a uma suspensão, a definição das fases líquidas e sólidas pode variar devido à grande variedade de tamanhos das partículas [32]. Considere-se, por exemplo, os agregados grossos dispersos numa argamassa líquida (a fase consiste de água, adjuvantes, materiais finos e agregados finos), ou as partículas de agregados (finos e grossos) dispersos na pasta líquida (a fase consiste de água, adjuvantes e materiais finos).

As propriedades reológicas pretendidas para o betão auto-compactável são um baixo valor da tensão de corte juntamente com uma adequada viscosidade plástica [32]. Os principais mecanismos que influenciam os parâmetros reológicos são o atrito inter-partículas e a quantidade de água livre que depende da tensão na superfície e da dispersão das partículas [32]. A dispersão das partículas e a tensão superficial podem ser modificadas pelo uso de superplastificantes adequados e por uma compacidade adequada das partículas finas [32]. Os agentes de viscosidade actuam essencialmente na viscosidade plástica [32].

O comportamento do betão auto-compactável pode ser descrito com base na reologia das suspensões de partículas [3, 24, 25, 29, 38, 61, 63, 81]. As teorias reológicas estiveram na origem do desenvolvimento do betão auto-compactável e as medições com base na reologia são frequentemente usadas para a optimização das misturas [61, 63]. A avaliação do comportamento reológico compreende duas medições envolvendo relações entre a tensão de corte e a taxa de deformação e os parâmetros resultantes: tensão de cedência e viscosidade plástica. Os estudos reológicos são quase sempre associados às fases de desenvolvimento e investigação, mas também são aplicados em alguns procedimentos de cálculo das misturas [61, 63].

Existem vários tipos de equipamentos para avaliar as propriedades reológicas do betão fresco, argamassas e pastas, dos quais se destacam os reómetros BML [2] e

BTRHEON [61]. Estes ensaios são contudo baseados em diferentes princípios de medição, e os resultados obtidos com os dois aparelhos não podem ser facilmente comparados entre si [32]. O reómetro BTRHEON é ilustrado nas Figuras 4.1 e 4.2, enquanto que o reómetro BML é ilustrado na Figura 4.3.

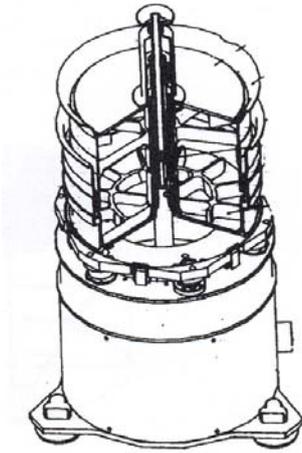


Figura 4.1 - Reómetro BTRHEOM [25]



Figura 4.2 - Reómetro BTRHEOM [2]



Figura 4.3 - Reómetro BML [2]

O comportamento reológico do betão fresco é caracterizado através da tensão de escoamento e da viscosidade plástica, definidos quase sempre pelo modelo de Bingham que se ilustra na Figura 4.4 [32]. Neste modelo, é necessária uma certa tensão de corte (τ_0) para obter algum escoamento, seguido pelo aumento da tensão de corte com o aumento da taxa de escoamento (μ - viscosidade plástica) [32].

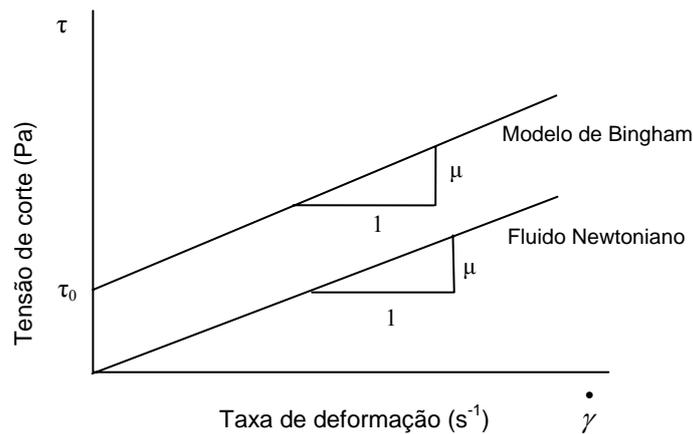


Figura 4.4 - Modelo de Bingham [32]

O reômetro BTRHEON desenvolvido pelo LCPC foi utilizado por Larrard et al. [61] para avaliar o comportamento do escoamento do betão em condições não confinadas. Os autores demonstraram que o betão deve ser caracterizado como um fluido Herschel-Bulkley, conforme se ilustra na Figura 4.5.

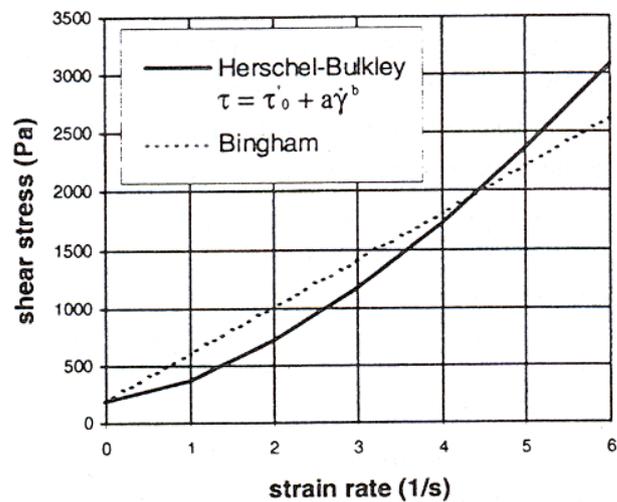


Figura 4.5 - Modelo de Herschel-Bulkley [61]

Para facilitar a introdução de modelos de previsão do comportamento reológico no processo de cálculo da composição de betões auto-compactáveis desenvolvido pelo LCPC, baseado no modelo de empacotamento, Sedran e Larrard [61] propuseram um modelo

matemático simplificado e mais próximo do modelo de Bingham. O modelo proposto por Larrard et al. é traduzido pela Equação 4.1 [61]:

$$\tau = \tau_0' + \mu' \cdot \dot{\gamma} \quad (4.1)$$

Onde:

$\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação, em s^{-1}

τ é a tensão de corte, em Pa

A tensão de corte τ_0' (em Pa) e a viscosidade plástica μ' (Pa.s) são propriedades intrínsecas do betão e podem ser usadas em cálculos de elementos finitos para prever qualquer escoamento [61]. Estudos realizados no LCPC confirmaram que, para o betão auto-compactável, estas duas propriedades podem ser grosseiramente estimadas através do ensaio de espalhamento. O diâmetro médio de espalhamento pode ser relacionado com a tensão de corte através da Equação 4.2, enquanto que o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 500 mm no mesmo ensaio pode ser relacionado com a viscosidade plástica através da Equação 4.3 [61].

$$\tau_0' = (808 - Sl) \cdot \frac{M \cdot g}{11740} \quad (\text{erro médio de 95 Pa}) \quad (4.2)$$

Onde:

Sl é o diâmetro médio de espalhamento, em mm

g é a aceleração da gravidade

M é a densidade, em kg/m^3 .

$$\mu' = \frac{M \cdot g}{10000} \cdot (0,026 \cdot Sl - 2,39) \cdot T50 \quad (\text{erro médio de 35 Pa.s}) \quad (4.3)$$

Onde:

$T50$ é o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 500 mm no ensaio de espalhamento, medido em segundos.

4.2.3 – Trabalhabilidade

No caso concreto dos betões auto-compactáveis, a trabalhabilidade pode ser genericamente definida como a maior ou menor facilidade com que o betão é manuseado e a maior ou menor facilidade com que este preenche todos os espaços da cofragem pela acção do seu peso próprio, conservando a sua estabilidade e uma qualidade uniforme sem defeitos. A trabalhabilidade do betão assume deste modo um carácter relativo. Por outras palavras, isto significa que uma mesma mistura de betão pode ser considerada “trabalhável” sob determinadas condições específicas e não o ser noutras condições mais severas.

Uma adequada trabalhabilidade deste tipo de betões pressupõe necessariamente, entre outros aspectos, a obtenção de uma adequada auto-compactabilidade. Os requisitos funcionais de auto-compactabilidade incluem a capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem. Estes requisitos reflectem implicitamente as propriedades reológicas do material, mas avaliam simultaneamente outras propriedades do betão auto-compactável que dependem das condições específicas “in situ” (distâncias entre armaduras, taxa de armaduras, dimensões dos moldes, etc.) [32, 63].

4.2.3.1 - Capacidade de enchimento

O betão auto-compactável deve ser capaz de deformar-se muito facilmente sob a acção do seu próprio peso (acção da gravidade) [32]. O significado de capacidade de enchimento inclui, quer a capacidade de deformação, em termos de quão longe o betão pode fluir a partir da descarga, quer a velocidade com que este se deforma [32]. Usando o ensaio de espalhamento, a capacidade de deformação pode ser avaliada através do diâmetro médio de espalhamento, enquanto que a velocidade de deformação pode ser inferida, por exemplo, a partir do tempo que o betão leva a atingir um diâmetro de 500 mm [32]. Para se atingir uma boa capacidade de enchimento deve existir um bom balanço entre a capacidade de deformação e a velocidade de deformação. Para tal, o betão deve possuir baixo atrito entre as partículas e uma pasta com excelente deformabilidade [32].

Para reduzir o atrito inter-partículas é necessário reduzir a possibilidade de contacto entre as partículas sólidas, as quais incluem os agregados grossos e finos e todos os tipos de materiais finos [32]. Se o betão for encarado como sendo constituído por agregados finos e grossos dispersos na matriz formada pela pasta, o aumento da distância inter-partículas passa pela redução do volume de agregados ou, o que é o mesmo, pelo aumento do volume de pasta [5, 11, 32, 56, 79]. Para um mesmo volume de pasta, a distância inter-partículas dependerá ainda da distribuição granulométrica do total de agregados, ou seja, das proporções entre os agregados finos e grossos [5, 56, 79].

Do ponto de vista da pasta em si, tem sido referido que o aumento da distância entre as partículas de materiais finos não pode ser conseguida à custa de um aumento excessivo da quantidade de água [32]. O uso de uma quantidade de água elevada conduz à segregação e a um desempenho indesejado do betão endurecido, nomeadamente, na resistência e na durabilidade [32]. A pasta tem que possuir simultaneamente uma boa capacidade de deformação (baixa tensão de corte) e uma alta resistência à segregação (viscosidade moderada) para assegurar que um betão auto-compactável possa fluir prontamente em volta de vários obstáculos e atingir boa capacidade de enchimento [32].

A deformabilidade do betão está estreitamente relacionada com a deformabilidade da pasta e pode ser aumentada incorporando adjuvantes superplastificantes [32]. Ao contrário da adição de água que reduz ambos, o valor da tensão de corte e da viscosidade, a adição de superplastificante reduz principalmente o valor da tensão de corte e causa um decréscimo limitado na viscosidade [32]. Deste modo, um betão altamente fluido pode ser obtido sem redução significativa da coesão [32].

A redução da razão água / (materiais finos) pode limitar a deformabilidade da pasta de cimento e deve, por isso, ser controlada de modo a não ser muito pequena nem muito elevada, já que ambas situações conduzem a deformabilidade inferior [32]. Uma pasta com razão água / (materiais finos) muito baixa tenderá a apresentar alta capacidade de deformação, mas baixa velocidade de deformação [32].

Em síntese, para atingir uma adequada capacidade de enchimento, as seguintes acções devem ser consideradas [32]:

→ Aumentar a deformabilidade da pasta:

- Adjuvantes superplastificantes,
- Equilíbrio da razão água / (materiais finos).

→ Reduzir o atrito entre as partículas:

- Baixo volume de agregados grossos (grande quantidade de pasta),
- Distribuição óptima dos finos relativamente aos agregados e cimento usado.

4.2.3.2 - Resistência à segregação

O fenómeno da segregação dos agregados do betão durante o escoamento deve ser observado quer na direcção horizontal, quer na direcção vertical [6]. Isto é, uma boa resistência à segregação significa que a distribuição das partículas de agregado grosso no betão é relativamente equivalente em todas as localizações e em diferentes níveis em altura [6]. Numa mistura resistente à segregação, as partículas de agregado grosso permanecem dispersas na matriz argamassa quando o betão auto-compactável escoar na direcção horizontal. Pelo contrário, numa mistura com propensão à segregação, as partículas de agregado grosso sedimentam na direcção vertical ou segregam da matriz argamassa quando o betão escoar na direcção horizontal.

O problema da segregação foi avaliado por Van Bui et al. [6], utilizando diferentes razões entre o volume de agregado grosso e o total de agregados, diferentes razões W/C e diferentes materiais. Nesse estudo, os autores desenvolveram um equipamento de ensaio (*Penetration Apparatus*) para inferir acerca da resistência à segregação nas duas direcções (vertical e horizontal) ainda na fase do betão fresco, medindo a profundidade de penetração de um cilindro oco numa coluna vertical de betão, por exemplo na coluna vertical do betão colocado na “Caixa-L”. Uma descrição detalhada do ensaio é apresentada na referência [4]. O cilindro com $\varnothing = 75$ mm, $h = 50$ mm, espessura da parede de 1 mm e 54 gramas de

massa, encontra-se fixo a uma haste e é colocado sem pressão sobre a superfície da coluna de betão. No ensaio do betão fresco, a penetração do cilindro reflecte o movimento relativo das partículas de agregado grosso na mistura e este parâmetro está indirectamente relacionado com a resistência à segregação horizontal e vertical [6].

A segregação do betão fresco é caracterizada pela heterogeneidade na distribuição dos materiais constituintes [32]. O betão pode não evidenciar qualquer tendência para a segregação sob determinadas condições de escoamento, mas segregar-se perante outras restrições, por exemplo, quando flui através de secções densamente armadas [32].

O betão auto-compactável não deve apresentar os seguintes tipos de segregação nem no estado estacionário nem no estado fluido [32]:

- Exsudação da água,
- Segregação da pasta ou do agregado,
- Segregação do agregado grosso que conduza ao bloqueio,
- Não uniformidade na distribuição dos poros de ar.

Para evitar a segregação entre a água e os materiais sólidos, é essencial reduzir a quantidade de água livre na mistura [32]. A água livre é definida como a água que não se encontra aderente à superfície das partículas e pode mover-se livremente pela mistura. A redução da quantidade de água livre pode ser conseguida utilizando uma baixa dosagem de água e uma baixa razão água / (materiais finos) [32]. É também possível usar materiais finos com elevada superfície específica, os quais retêm uma maior quantidade de água, ou recorrer ao uso de agentes de viscosidade [32].

As outras categorias de segregação podem ser resolvidas dotando o betão de uma fase pasta que seja capaz de transportar as partículas de agregados e ar permitindo um movimento relativo pequeno entre fases [32]. Para tal será necessária uma elevada força de interacção entre fases, que basicamente é dominada pelo atrito e coesão [32]. Aumentar a resistência à segregação aumentando o atrito entre as fases não é considerado muito adequado para o desempenho global do betão auto-compactável, uma vez que aumentará

as probabilidades de bloqueio. Neste caso, é considerado mais benéfico aumentar a coesão entre as fases usando uma pasta com baixa razão água / (material fino). Por vezes, são também usados agentes de viscosidade com este propósito [32]. De entre os quatro tipos de segregação, a segregação dos agregados grossos parece ser o factor decisivo para a auto-compactabilidade quando se enchem volumes com elevadas taxas de armaduras [32].

Em síntese, para atingir uma adequada resistência à segregação, as seguintes acções devem ser consideradas [32]:

→ Reduzir a segregação dos sólidos:

- Limitar a quantidade de agregados,
- Reduzir a máxima dimensão do agregado,
- Baixa razão água / (materiais finos),
- Usar um agente de viscosidade.

→ Minimizar a exsudação – água livre:

- Baixa dosagem de água,
- Baixa razão água / (materiais finos),
- Materiais finos com elevada superfície específica,
- Usar um agente de viscosidade.

4.2.3.3 - Capacidade de passagem

O betão auto-compactável deve possuir fluidez suficiente e ao mesmo tempo suficiente resistência à segregação para funcionar de forma eficiente [32]. Nos casos onde existem aberturas estreitas na cofragem ou onde existe congestionamento de armaduras, uma exigência adicional deve ser atendida, nomeadamente, evitar o bloqueio dos agregados grossos provocado pela formação de “pontes”, conforme se ilustra na Figura 4.6 [32]. O tamanho e a quantidade de partículas de grandes dimensões no betão auto-compactável terão que ser compatibilizados com os espaçamentos livres entre varões e com as aberturas na cofragem por onde o betão deve fluir.

Para que o betão possa fluir através de uma abertura estreita ou através do espaço livre entre varões (Figura 4.6), as partículas de agregados que rodeiam a abertura têm de mudar o seu percurso. Em consequência, ocorrem colisões e contactos instantâneos entre os agregados na vizinhança da abertura, possibilitando que algumas partículas de agregado formem um arco estável, o qual bloqueia o resto da mistura.

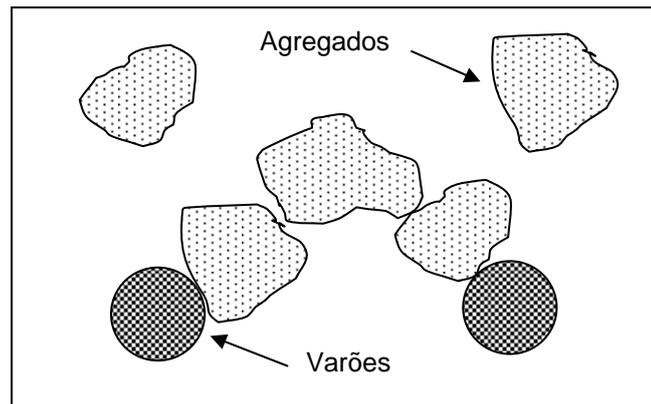


Figura 4.6 – Mecanismo de bloqueio pela formação de “pontes”

O efeito de arco (formação de “pontes”) desenvolve-se tanto mais facilmente quando maiores forem a máxima dimensão e a quantidade de agregados grossos [32, 56, 79]. Por outras palavras, para partículas de menores dimensões o efeito de arco pode ocorrer se a quantidade de agregados for muito grande. Existem também referências de que o efeito de arco não ocorre se as partículas sólidas forem muito pequenas comparativamente com a dimensão da abertura [32, 56, 79]. Por outro lado, tem sido constatado que, para um mesmo betão, a probabilidade de ocorrer o efeito de arco é maior quando se aumenta o diâmetro dos varões que confinam a abertura, mesmo que o espaço livre entre esses varões seja o mesmo [5, 11, 32, 56, 79]. Isto ocorre porque as armaduras de grande diâmetro providenciam um apoio mais estável para o arco dos agregados [5, 11, 32, 56, 79].

Em síntese, para atingir uma capacidade de passagem adequada, as seguintes acções devem ser consideradas [32]:

→ Melhorar a coesão para reduzir a segregação do agregado:

- Baixa razão água / (materiais finos),
- Agente de viscosidade.

→ Compatibilizar as características das aberturas e dos agregados grossos:

- Baixo volume de agregados grossos,
- Máxima dimensão dos agregados baixa.

4.2.4 – Ensaio do betão fresco

Os ensaios para avaliar a trabalhabilidade (auto-compactabilidade) são projectados para serem fáceis de operar e aplicáveis sob condições “in situ”. Os parâmetros medidos com esses ensaios são normalmente usados nas especificações de cálculo da composição do betão e para ensaios de aceitação (conformidade) realizados em obra. Muitos dos métodos tradicionalmente utilizados para avaliar a trabalhabilidade do betão corrente, de que é exemplo o ensaio de abaixamento (Slump), têm pouco significado para o betão auto-compactável. Por esse motivo foram desenvolvidos novos métodos, de entre os quais se destacam, por exemplo, os ensaios de espalhamento, fluidez (Funil-V), “Caixa-U”, “Caixa”, “Caixa-L”, entre outros. O objectivo destes ensaios é avaliar a auto-compactabilidade do betão fresco, mediante a avaliação de diferentes requisitos funcionais, nomeadamente, a capacidade de enchimento, a resistência à segregação e a capacidade de passagem.

Os ensaios desenvolvidos para avaliação das propriedades do betão fresco não permitem avaliar os três requisitos funcionais acima referidos de forma independente. Os diferentes ensaios avaliam antes uma combinação não muito bem definida entre os diferentes requisitos funcionais, mas em geral a combinação de diferentes ensaios permite obter garantias de uma suficiente trabalhabilidade do betão auto-compactável.

Alguns dos métodos de ensaio, em menor ou maior grau, avaliam os três requisitos funcionais da auto-compactabilidade do betão fresco e podem por isso ser chamados de “ensaio de auto-compactabilidade” [78]. Neste grupo incluem-se, entre outros, os ensaios

da “Caixa-U”, “Caixa” e “Caixa-L”. Outros métodos de ensaio fornecem uma avaliação mais limitada, mas permitem avaliar indirectamente, o comportamento reológico do betão. Neste grupo poderão incluir-se, por exemplo, os ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V), para os quais, mediante determinadas condições do escoamento (ausência de segregação e bloqueio), é possível estabelecer correlações, respectivamente, com a tensão de corte e com a viscosidade plástica [61].

Em síntese, tomando apenas como referência os ensaios acima referidos, poderá referir-se que os ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V) permitem inferir acerca do comportamento reológico do betão no estado fresco, enquanto que os “ensaios de auto-compactabilidade” (“Caixa-U”, “Caixa” ou “Caixa-L”) permitem avaliar a trabalhabilidade do betão fresco, através da avaliação dos requisitos funcionais de auto-compactabilidade, que implicitamente incluem o comportamento reológico. Em geral, os ensaios “Caixa-U”, “Caixa” e “Caixa-L” não são aplicados em simultâneo. A “Caixa” evoluiu a partir da “Caixa-U”, pelo que a opção faz-se normalmente entre a “Caixa” e a “Caixa-L” dependendo do método de estudo da composição que serviu de referência.

4.2.4.1 – Ensaio de espalhamento (“Slump-flow”)

O ensaio de espalhamento é o mais generalizado em todo o mundo para avaliar as propriedades do betão fresco auto-compactável, porque os procedimentos de ensaio e o equipamento são relativamente simples [73, 78]. Este método é usado em betões muito fluidos com superplastificante e não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão excede os 40 mm [73].

Neste ensaio, um cone de Abrams vulgarmente usado no betão corrente é cheio com betão (sem compactação). O cone é retirado e, após cessar o movimento, é medido o diâmetro médio de espalhamento, através de duas leituras efectuadas em direcções sensivelmente perpendiculares. Durante a deformação do betão é ainda possível medir-se o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 500 mm (T50), com início no instante em que o cone é retirado. Este ensaio é ilustrado nas Figuras 4.7 e 4.8.



Figura 4.7 – Ensaio de espalhamento



Figura 4.8 – Medição do diâmetro

A seguinte informação encontra-se disponível a partir deste ensaio [73]:

- Valor do diâmetro médio de espalhamento (“Slump flow”);
- Tempo de escoamento T50 (tempo de escoamento desde o diâmetro inicial de 200 mm até aos 500 mm - círculo observado na Figura 4.7);
- Tempo de escoamento final (da remoção do cone até ao final do escoamento);
- Grau de segregação (observação visual).

O diâmetro médio de espalhamento é um índice útil para avaliar a capacidade de deformação do betão auto-compactável no estado fresco [78]. Este valor pode ser correlacionado com a tensão de corte se o betão for considerado como sendo um fluido de Bingham [61]. O tempo de escoamento para o diâmetro de 500 mm (T50) ou o tempo de escoamento final são correntemente usados para avaliar a viscosidade de betões frescos muito fluidos. O tempo de escoamento final está mais sujeito ao julgamento humano do que o tempo de escoamento T50. Deste modo, o tempo T50 é mais útil para avaliação da viscosidade da mistura [78]. Contudo, este valor é também afectado pelo valor do diâmetro de espalhamento (capacidade de deformação). Por exemplo, um betão com um grande diâmetro de espalhamento tende a resultar num valor do tempo T50 menor quando a viscosidade da mistura é constante. Por outras palavras, o tempo T50 não permite estimar a viscosidade da mistura independentemente da capacidade de deformação potencial [78].

Teoricamente, o significado físico da viscosidade do betão fresco deve ser definido como a viscosidade plástica, a qual é independente da tensão de corte do fluido de Bingham [78]. Contudo, o tempo T50 relaciona-se sempre com o valor do diâmetro de espalhamento, o qual representa praticamente a tensão de corte. Deste modo o tempo T50 não pode por si só representar a viscosidade do betão fresco. Contudo, este parâmetro permite avaliar a viscosidade relativa do betão fresco quando a capacidade de deformação, isto é o valor do diâmetro de espalhamento das misturas, é constante. Em tal caso, o parâmetro T50 é um índice útil para a avaliação relativa da viscosidade do betão auto-compactável [78].

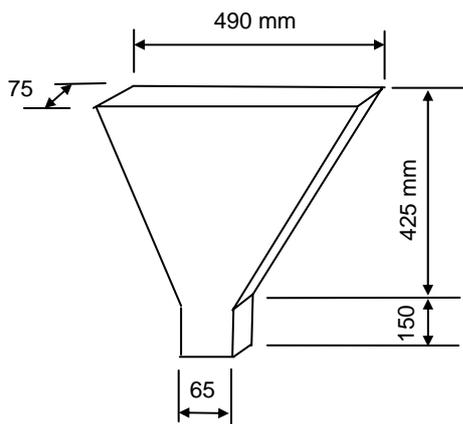
O ensaio de espalhamento permite ainda avaliar qualitativamente a resistência à segregação do betão no estado fresco por observação visual. Em síntese, este método reflecte a capacidade de enchimento. A resistência à segregação pode ser avaliada de forma qualitativa por inspecção visual, mas a capacidade de passagem não é indicada [78].

4.2.4.2 – Ensaio de fluidez (“Funil-V”)

O equipamento de ensaio consiste num funil de faces planas em forma de “V” com uma comporta na base. O ensaio de fluidez com o “Funil-V” foi concebido para betões altamente fluidos incorporando superplastificantes e não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão excede os 25 mm [74]. Existem diferentes propostas para as dimensões do “Funil-V”. As Figuras 4.9 e 4.10 ilustram, respectivamente, as dimensões do “Funil-V” utilizadas no Japão [11, 35] e na Holanda [74].

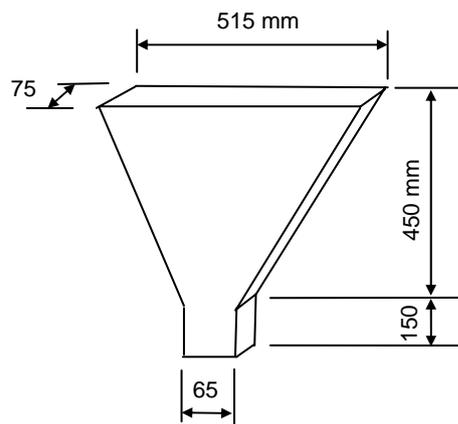
A execução do ensaio é relativamente simples. Após o enchimento do funil (sem compactação - Figura 4.11), a comporta da base é aberta e dá-se início à contagem do tempo de descarga do betão (Figura 4.12), medido em segundos. A contagem termina quando, observando o funil de cima para baixo, surgir o primeiro raio de luz [74].

O tempo de descarga (t) do “Funil-V”, medido em segundos, é o único parâmetro normalmente medido com este ensaio. A partir deste parâmetro é frequente calcular-se a velocidade relativa do escoamento ($R_c = 10 / t$). O significado físico do tempo (t) medido do “Funil-V” poderá adquirir diferentes interpretações, dependendo das condições de ensaio.



Funil-V

Figura 4.9 – Funil-V (Japão) [11]



Funil-V

Figura 4.10 – Funil-V (Holanda) [74]



Figura 4.11 – Ensaio de fluidez (fase 1)



Figura 4.12 – Ensaio de fluidez (fase 2)

Se a quantidade e a máxima dimensão dos agregados grossos são suficientemente pequenas relativamente ao tamanho da abertura na base do “Funil-V”, a colisão e a interacção entre as partículas de agregado grosso não é dominante para as características do escoamento. Nesta condição, o tempo de escoamento (t) ou a velocidade relativa (R_c) no “Funil-V”, podem ser considerados como os índices que representam a viscosidade da mistura [78]. Não obstante, tal como sucede com o parâmetro T50, o tempo (t) medido no ensaio de fluidez é também afectado pela capacidade de deformação do betão. Por exemplo, ainda que a viscosidade da mistura permaneça constante, um aumento do diâmetro de espalhamento conduz a uma redução no tempo de escoamento (t). Em

consequência, o tempo (t) medido no ensaio de fluidez não permite avaliar a viscosidade da mistura independentemente da capacidade de deformação [78]. Deverá antes referir-se que o tempo medido no ensaio de fluidez avalia a viscosidade relativa da mistura quando o diâmetro de espalhamento permanece constante. Em tal caso, um tempo de escoamento longo no funil representa uma alta viscosidade da mistura e isto relaciona-se directamente com uma melhor resistência à segregação [78].

No caso em que a quantidade e o tamanho dos agregados grossos são relativamente elevados para o tamanho da abertura na base do “Funil-V”, a colisão e a interacção entre as partículas de agregado grosso são dominantes para as características do escoamento do betão fresco [78]. Sob tal condição, o ensaio de fluidez é útil para avaliar a capacidade de passagem numa abertura estreita. Nesta circunstância, a interacção entre as partículas de agregado grosso pode conduzir a tempos de escoamento longos no ensaio de fluidez (“Funil-V”), sem que isso signifique uma mistura mais viscosa. Isto significa que, sob condições dominantes do agregado, a viscosidade e a capacidade de passagem em aberturas estreitas devem ser compatibilizadas. Uma viscosidade muito elevada tende a resultar num tempo (t) elevado, enquanto uma viscosidade muito baixa pode também resultar num tempo (t) muito longo se ocorrer segregação ou bloqueio dos agregados [78].

4.2.4.3 – Ensaio da “Caixa” ou da “Caixa-U”

O ensaio da “Caixa” ou o ensaio da “Caixa-U” avaliam simultaneamente diferentes requisitos funcionais da auto-compactabilidade do betão fresco e são, por isso, normalmente referidos como ensaios de auto-compactabilidade. As exigências ou requisitos funcionais em termos de auto-compactabilidade podem ser diferentes de estrutura para estrutura. Contudo, o número de parâmetros a avaliar deverá ser reduzido ao mínimo possível do ponto de vista da racionalização do controle de qualidade. Na sequência do desenvolvimento do método geral, Okamura et al. propuseram a utilização da “Caixa-U”, desenvolvida pela “*Matsuoka and Shindo, Taisei Corporation*”, como ensaio padrão na avaliação prática dos requisitos de auto-compactabilidade de betões para elementos estruturais [50]. O princípio de

funcionamento do ensaio da “Caixa-U” é ilustrado nas Figura 4.13 e 4.14. Os betões que apresentem uma altura de enchimento (H) na “Caixa-U” superior a 300 mm podem ser considerados como auto-compactáveis para aplicação em estruturas [50]. Um betão com baixa capacidade de deformação conduz a valores baixos do parâmetro (H), conforme se ilustra à esquerda na Figura 4.14. Por outro lado, um betão com elevada capacidade de deformação pode também conduzir a baixos valores do parâmetro (H) se ocorrer o bloqueio da mistura na passagem pelo obstáculo, como resultado da segregação entre a argamassa e os agregados grossos, conforme se ilustra à direita na Figura 4.14.

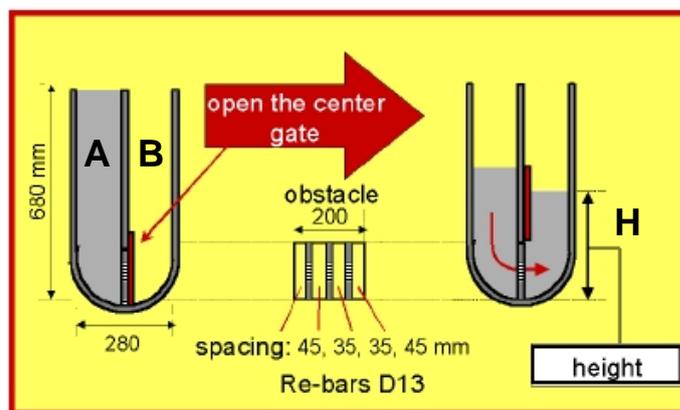


Figura 4.13 – Esquema do ensaio da “Caixa-U” [50]

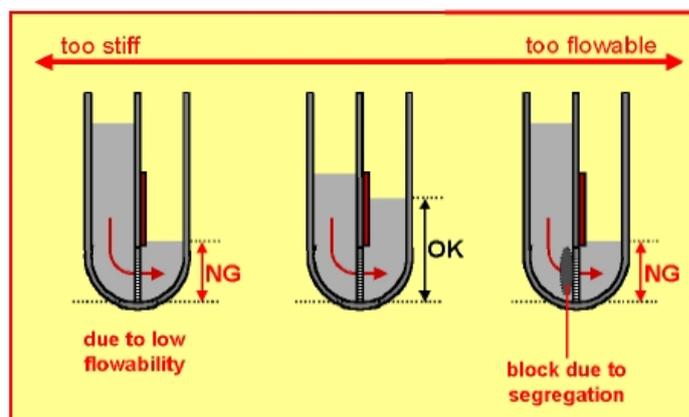


Figura 4.14 – Avaliação da auto-compactabilidade na “Caixa-U” [50]

Okamura e Ozawa propuseram a modificação da “Caixa-U”, introduzindo um modelo similar que denominaram de “Box-test”, aqui designado de ensaio da “Caixa” [50]. O

ensaio da “Caixa” difere do ensaio da “Caixa-U” pelo facto de apresentar uma base plana. Em consequência desta modificação, o ensaio da “Caixa” é mais sensível a betões com menor resistência à segregação, facilitando a sua detecção [50]. O esquema de funcionamento do ensaio da “Caixa” é ilustrado na Figura 4.15, enquanto que as dimensões do ensaio são apresentadas na Figura 4.16. As Figuras 4.17 e 4.18 mostram imagens do ensaio da “Caixa”. Este método é usado em betões muito fluidos com superplastificante e não se aplica a betões com agregados cuja máxima dimensão excede os 25 mm [72]

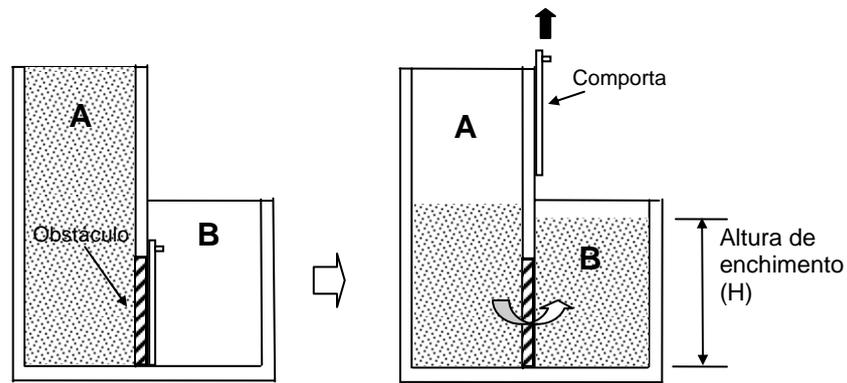


Figura 4.15 – Esquema de funcionamento do ensaio da “Caixa”

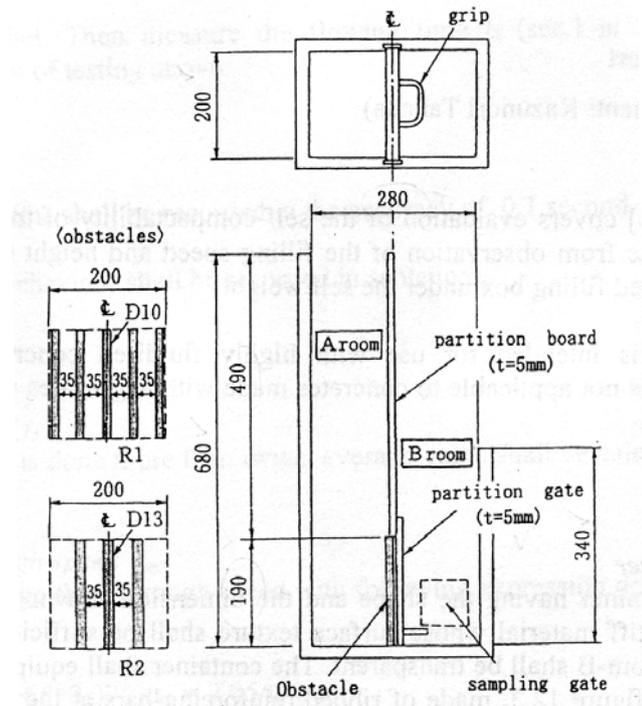


Figura 4.16 – Dimensões do ensaio da “Caixa” [72]



Figura 4.17 – Ensaio da “Caixa” [50]

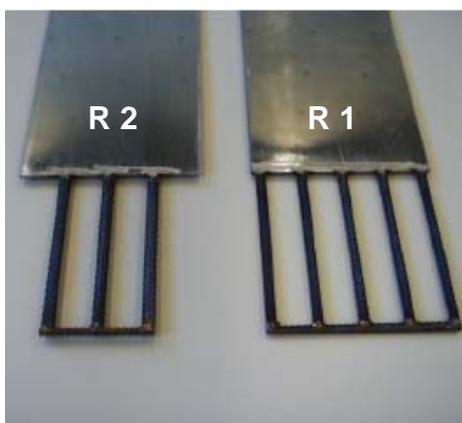


Figura 4.18 – Obstáculos da “Caixa” [50]

Os equipamentos de ensaio “Caixa-U” e “Caixa” foram projectados para avaliar a capacidade de passagem em aberturas estreitas de betões frescos altamente fluidos, sob uma pressão particular [78]. Eles reflectem a deformabilidade e o comportamento na ausência de bloqueio e, deste modo, descrevem a capacidade de enchimento e a capacidade de passagem do betão auto-compactável [78].

Nos ensaios da “Caixa-U” e “Caixa” é possível seleccionar o espaçamento entre varões em função da situação real na obra. Contudo, não é prático variar constantemente as condições do aparelho. Desta forma, tem sido sugerido que se utilize como referência o espaçamento mínimo entre armaduras permitido em cada país para o dimensionamento das estruturas. Os valores utilizados no Japão para o espaço livre entre varões nos aparelhos “Caixa-U” e “Caixa”, definidos nas Figuras 4.16 e 4.18 em termos de Obstáculo R1 ou R2, são apresentados no Quadro 4.1 em função das condições estruturais dos elementos a betonar [78].

Quadro 4.1 – Espaçamento entre varões para os ensaios da “Caixa-U” e “Caixa” [78]

Classificação da Auto-compactabilidade		1	2	3
Condições estruturais	Espaçamento mínimo entre armaduras (mm)	35-60	60-200	Acima de 200
	Quantidade de armaduras (kg/m^3)	Acima de 350	100-350	Abaixo de 100
Altura de enchimento na “Caixa-U” ou na “Caixa” (mm)		Acima de 300 (obstáculo R1)	Acima de 300 (obstáculo R2)	Acima de 300 (sem obstáculos)

Ambos os aparelhos estão divididos em dois compartimentos que se comunicam entre si através de uma abertura, onde são posicionados os obstáculos constituídos por armaduras. No início do ensaio, o obstáculo encontra-se fechado por uma comporta que separa os dois compartimentos. A amostra de betão fresco é colocada no compartimento A (Figuras 4.13 e 4.15) e a comporta é aberta de modo a permitir a passagem do betão para o compartimento B através das armaduras aí colocadas. Após cessar o movimento, é medida a altura do betão H no compartimento B, desde a base do aparelho até à superfície do betão, conforme se ilustrou nas Figuras 4.13 e 4.15.

Um betão com um grande valor da altura de enchimento é geralmente avaliado ou caracterizado como possuindo uma melhor capacidade de passagem por aberturas estreitas [78]. Adicionalmente, o tempo em que decorre o escoamento é medido e usado para avaliar a viscosidade da mistura [78].

O significado físico da altura de enchimento é influenciado pelas proporções da mistura do betão ensaiado [78]. Por exemplo, quando a quantidade e o tamanho dos agregados grossos é suficientemente pequena comparada com as aberturas entre as armaduras instaladas, a altura de enchimento é fortemente dependente da capacidade de deformação, isto é, do valor do diâmetro de espalhamento do betão ensaiado [78]. Neste caso, a altura de enchimento depende fortemente da resistência à segregação e o tempo que o betão demora a atingir determinada altura na “Caixa-U” ou na “Caixa” pode ser um bom indicador da viscosidade, a qual controla a resistência à segregação [78].

Por outro lado, quando o tamanho e a quantidade de agregados grossos é relativamente grande em comparação com a abertura entre as armaduras no obstáculo, a colisão e a interacção entre as partículas dos agregados grossos afecta a capacidade de passagem em aberturas estreitas [78]. Em tal caso, um betão com forte tendência para a segregação conduz frequentemente a um valor baixo da altura de enchimento nos ensaios “Caixa-U” e “Caixa”, ainda que o betão possua elevada capacidade de deformação [78]. Neste caso, a velocidade de escoamento tende a ser baixa devido à interacção dos agregados grossos mesmo que a viscosidade da mistura não seja muito grande [78].

4.2.4.4 – Ensaio da “Caixa-L”

O princípio de funcionamento do ensaio da “Caixa-L”, que se ilustra na Figura 4.19, é muito semelhante àquele descrito para os ensaios da “Caixa-U” e “Caixa”. Após a abertura da comporta que separa os dois compartimentos, o betão escoar do compartimento A para o compartimento B atravessando o obstáculo constituído pelas armaduras, como se mostra na Figura 4.19. Durante o escoamento do betão é frequente medir-se o tempo que este demora a percorrer as distâncias de 200 mm (T20) e de 400 mm (T40), ambas medidas a partir da comporta. Uma vez cessado o movimento, procede-se à medição dos parâmetros H1, H2 e H3 que se indicam na Figura 4.19.

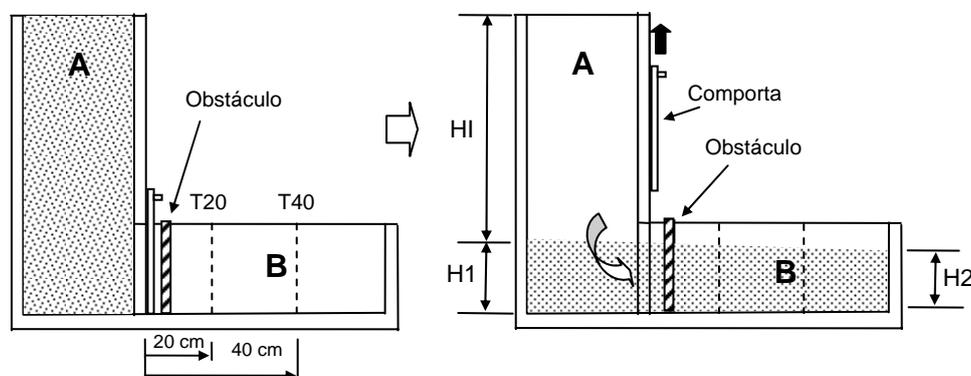


Figura 4.19 – Esquema de funcionamento do ensaio da “Caixa-L”

Tomando ainda como referência a Figura 4.19, poderá referir-se que a informação disponível a partir deste ensaio inclui [55, 78]:

- O valor do escoamento na “Caixa-L” (Altura H1);
- O tempo para uma distância de escoamento particular (T20 e/ou T40);
- Tempo para completar o escoamento;
- A “taxa de bloqueio” (relação H2/H1);
- Grau de segregação (observação visual).

Na última década têm surgido diferentes propostas ou modelos de ensaio do tipo “Caixa-L” [78]. Podem ser encontradas referências a modelos sem qualquer obstáculo no percurso do escoamento, ou modelos da “Caixa-L” mais reduzidos, como aquele proposto

por Tangtermsirikul [79], que inclui o obstáculo com armaduras mas não possui um compartimento horizontal, ou seja, o betão escoo para o exterior da caixa. No entanto, os modelos cuja utilização se tem generalizado apresentam uma configuração semelhante àquela descrita na Figura 4.19. De entre os mais utilizados destacam-se, por exemplo, o modelo adoptado pelo CBI (Swedish Cement and Concrete Research Institute) [56, 57] e o modelo adoptado pelo LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) [33, 61].

O modelo do ensaio da “Caixa-L” adoptado pelo LCPC apresenta as dimensões que se indicam na Figura 4.20. Os varões apresentam um diâmetro de 14 mm e estão distribuídos de forma equidistante entre as paredes da Caixa-L. Nos casos em que se decida aumentar a distância entre as armaduras para simular outras situações específicas “in situ”, a largura da “Caixa-L” deverá variar para manter o espaçamento equidistante entre os varões [61]. Neste ensaio é medida a altura HI conforme se indica na Figura 4.20. Um valor de HI elevado (máx. 510 mm) significa uma boa capacidade de enchimento e uma boa capacidade de passagem por aberturas estreitas [61, 78].

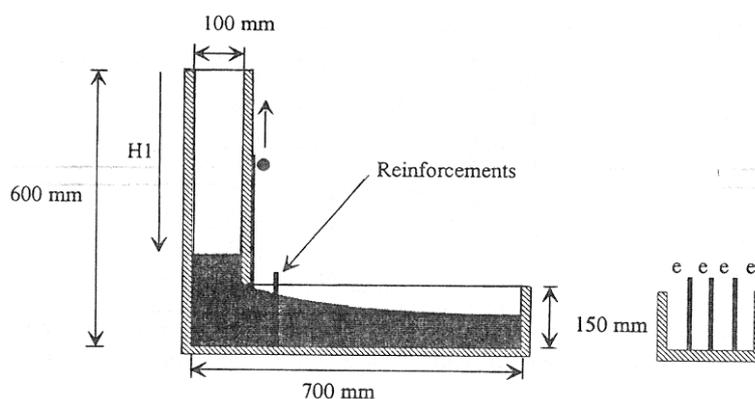


Figura 4.20 - Dimensões da “Caixa-L” proposta pelo LCPC [33, 61]

O modelo da “Caixa-L” adoptado pelo CBI foi proposto por Petersson e Billberg [56] e apresenta as dimensões que se ilustram na Figura 4.21. Na avaliação efectuada pelo CBI, a razão entre o parâmetro H2 e o parâmetro H1 é denominada de “Taxa de Bloqueio” e é utilizada para avaliar a capacidade de passagem por aberturas estreitas a qual inclui a capacidade de deformação e a propriedade de bloqueio [55, 78]. Para além deste

parâmetro, inclui-se a medição dos tempos de escoamento T20 e T40, os quais fornecem uma indicação sobre a velocidade de deformação e indirectamente permitem inferir acerca da viscosidade da mistura.

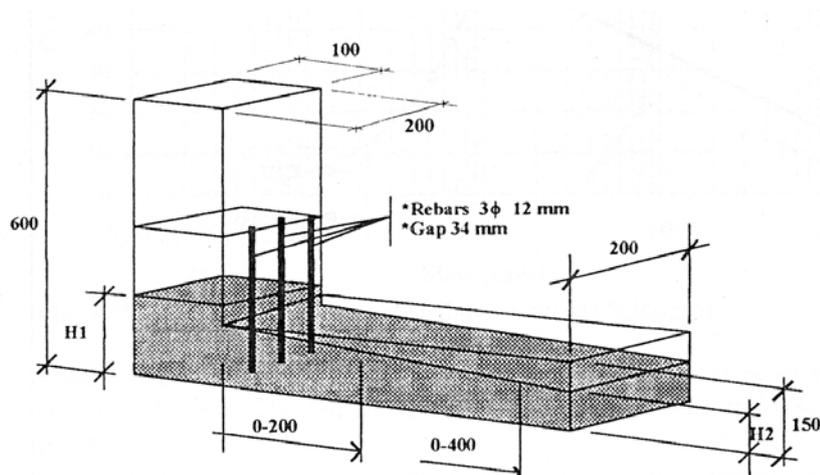


Figura 4.21 – Dimensões da “Caixa-L” proposta pelo CBI [55, 56]

Na ausência de segregação dos agregados e de bloqueio da mistura aquando da passagem pelas armaduras, os resultados obtidos nos modelos de ensaio da “Caixa-L” propostos pelo CBI e LCPC, respectivamente, os parâmetros (H_2/H_1) e (H_I) representados na Figura 4.19, evidenciam uma boa correspondência com os resultados do ensaio de espalhamento, isto é, reflectem o valor da capacidade de deformação (diâmetro médio de espalhamento) [78]. A descida do betão fresco em relação ao topo do recipiente apresenta um significado físico similar à descida do betão no ensaio de espalhamento [78]. Por outras palavras, o ensaio de espalhamento avalia o escoamento em duas dimensões sob condições livres (sem restrições), enquanto que o ensaio da “Caixa-L” avalia o escoamento numa dimensão sob restrição direccional imposta pelas armaduras [78].

No caso em que a amostra de betão tenha uma forte tendência para segregar e/ou a quantidade de agregados grossos na mistura seja relativamente alta, é possível que ocorra a paragem do escoamento do betão devido ao bloqueio na passagem pelas armaduras [78]. Quando este fenómeno ocorre, o resultado da “Caixa-L” (H_2/H_1 ou H_I) não encontra correspondência com o resultado do diâmetro médio de espalhamento [78].

4.3 – Propriedades do betão auto-compactável no estado endurecido

4.3.1 – Generalidades

Os estudos relativos às propriedades do betão no estado endurecido são fundamentais para um correcto dimensionamento e previsão do comportamento das estruturas durante o seu tempo de vida útil. Em geral, estas propriedades incluem a resistência às tensões, fadiga, retracção, deformações sob cargas (deformação elástica e fluência) e ainda propriedades relacionadas com a durabilidade (permeabilidade, porosidade, absorção de água, etc.).

A resistência às tensões é, porventura, a propriedade mais importante na maioria das situações práticas. Muitas das propriedades dos betões no estado endurecido podem ser inferidas a partir da sua resistência à compressão [37] ou, indirectamente, através de outros parâmetros com ela relacionados, como sejam, a dosagem de cimento ou a razão água/cimento. As relações entre a resistência à compressão e as outras propriedades dos betões correntes no estado endurecido, não devem, no entanto, ser extrapoladas para os betões auto-compactáveis sem uma correcta avaliação dos factores que podem afectar os resultados. Por outras palavras, para uma mesma classe de resistência, algumas propriedades do betão auto-compactável no estado endurecido poderão diferir daquelas medidas em betões correntes, dependendo da maior ou menor sensibilidade dessas propriedades face à variação das características e proporções das diferentes fases que constituem o material betão.

A especificidade da composição dos betões auto-compactáveis face aos betões correntes, nomeadamente, o facto dos primeiros possuírem maiores volumes de pasta e menores volumes de agregados, obriga a uma atenção especial quanto às propriedades do betão endurecido associadas a fenómenos de retracção ou deformação sob cargas (deformação elástica e fluência) que, à partida, são mais sensíveis a estas variações. De facto, tem sido referido que a retracção, o módulo de elasticidade e a fluência dos betões auto-compactáveis podem apresentar diferenças apreciáveis em comparação com o betão

corrente [10]. Outras propriedades, tais como, a aderência às armaduras, resistência à tracção e durabilidade, são menos susceptíveis à variação das proporções entre fases [10].

4.3.2 – Resistência mecânica às tensões

Devido à microestrutura melhorada, o betão auto-compactável na prática mostra frequentemente uma resistência à compressão mais elevada sob uma razão água/cimento equivalente à do betão corrente vibrado [64]. Na comparação entre os betões auto-compactáveis e os betões correntes, no que respeita à relação entre a resistência à tracção e a resistência à compressão, têm surgido indicações ligeiramente contraditórias. Enquanto alguns autores apontam para valores semelhantes dessa relação [64], outros identificaram ligeiras diferenças [10]. Contudo, quando a resistência à tracção é importante para determinada aplicação, é recomendado que sejam efectuadas medições na fase de ensaios de verificação do estudo da composição.

A aderência dos betões auto-compactáveis às armaduras é similar àquela verificada em betões convencionais [10]. Em certas configurações (camadas superiores de peças de pouca espessura), a melhor estabilidade dos betões auto-compactáveis com respeito à exsudação elimina os defeitos encontrados em alguns betões convencionais e pode melhorar a qualidade da aderência [10]. Ao descrever o estado da arte neste domínio, Skarendahl [64] refere estudos experimentais que apontam para valores comparáveis entre o betão auto-compactável ensaiado e o betão normal vibrado, no que se refere à aderência de armaduras horizontais colocadas em paredes. É ainda referido que a aderência das armaduras no topo da parede, quando comparada com a base, é menos reduzida para o betão auto-compactável comparativamente com o betão normal. Neste estudo conclui-se que a aderência das armaduras no betão auto-compactável pode ser assumida como sendo semelhante àquela medida no betão normal vibrado.

A hidratação do cimento no betão auto-compactável é basicamente controlada pelos mesmos mecanismos do betão vibrado [64]. Nenhuma característica particularmente diferente na cinética da hidratação ou no desenvolvimento das propriedades com o tempo é

esperada decorrente do facto do betão ser auto-compactável [64]. O desenvolvimento do calor de hidratação, o tempo de remoção de cofragens, aplicações de pré-esforço, etc. é deste modo governada pelos mesmos parâmetros do betão convencional. Devem ser feitas considerações específicas, como sempre, quanto aos efeitos dos adjuvantes, tipo de cimento, quantidade de cimento, etc. [64]. Deve notar-se também que por vezes existe um efeito das partículas muito finas na hidratação do cimento e que isto pode influenciar o desenvolvimento das propriedades [64].

Tem sido observado que a variação da resistência do betão auto-compactável em altura, entre o topo e a base de pilares, é ligeiramente inferior quando comparada com o betão corrente vibrado [64]. Em ensaios realizados em paredes a conclusão é de que o betão auto-compactável e o controle de qualidade alcançam gradientes de resistência similares desde a base ao topo da parede [64]. A dureza superficial medida com recurso ao esclerómetro de Schmidt indica uma qualidade superficial mais uniforme quando se utilizam betões auto-compactável [64].

A razão entre a resistência obtida a partir de carotes e a resistência de provetes cúbicos correspondentes apresenta valores superiores para o betão auto-compactável comparativamente ao betão normal vibrado [64]. Isto resulta, muito provavelmente, de uma maior homogeneidade do betão auto-compactável nas estruturas, pelo facto deste não depender da melhor ou pior qualidade dos trabalhos de compactação do betão em obra.

4.3.3 – Deformação sob cargas

Muitos trabalhos mostraram que a deformação dos betões é sensível às proporções dos agregados na mistura [10]. Considerando o betão como sendo um compósito constituído por duas fases, a matriz formada pela pasta de cimento endurecida e as inclusões constituídas pelos agregados, as suas propriedades dependem das características elásticas de cada fase e das suas proporções [10]. Os betões auto-compactáveis são por isso susceptíveis de serem mais deformáveis que os betões convencionais devido ao facto de possuírem uma maior quantidade de pasta [10].

4.3.4 – Retracção

Alguns estudos relatados por Skarendahl [64] apontam para uma maior retracção de secagem no betão auto-compactável comparativamente ao betão normal, enquanto outros relatam o oposto. As mesmas contradições são encontradas na literatura em relação à retracção autogénea [64].

A escolha dos materiais constituintes irá influenciar, em maior ou menor extensão, a retracção do betão. Tem sido referido que o uso de adições de fíler calcário com a adequada finura pode reduzir a retracção do betão auto-compactável [64].

4.3.5 – Durabilidade

Acima de tudo a durabilidade está relacionada com os parâmetros da mistura que afectam a densidade do betão e com a composição química dos ligantes (e a mineralogia dos agregados no que respeita às reacções alcali-agregado). As regras aplicáveis aos betões convencionais também se aplicam ao betão auto-compactável [10].

Ao descrever o estado da arte neste domínio, Skarendahl [64] refere estudos da microestrutura do betão auto-compactável em vários projectos, onde se tem verificado que a zona de transição inter-facial é densa. Comparando com o betão normal vibrado com relações água/cimento similares, o betão auto-compactável atinge resistências mais elevadas e menor difusão de iões de cloro [64].

Tal como para outras propriedades do betão endurecido existem algumas informações contraditórias. Skarendahl [64] refere estudos da microestrutura onde têm sido referidas altas, assim como baixas, capacidades de transporte de gases e líquidos para o betão auto-compactável em comparação com o betão normal vibrado. Em alguns casos é referido que o betão auto-compactável apresenta uma capacidade de transporte inferior devido à densa microestrutura causada pela ausência de vibração e o uso de uma grande quantidade de partículas finas. Isto traduz-se numa melhoria da durabilidade baseada numa reduzida carbonatação, redução de penetração de cloretos, etc.

4.4 – Conclusões

Foi já referido que a maior especificidade dos betões auto-compactáveis, comparativamente a um betão corrente, reside sobretudo no seu comportamento no estado fresco. À luz dos objectivos traçados para o presente trabalho as propriedades do betão auto-compactável no estado fresco adquirem especial relevância e foram tratadas com maior profundidade. A revisão bibliográfica apresentada incidiu sobre os aspectos reológicos e de trabalhabilidade. Os ensaios de trabalhabilidade (auto-compactabilidade) seleccionados para este trabalho, tidos consensualmente, no seu conjunto, como os mais generalizados em todo o mundo, no que respeita à avaliação do betão fresco auto-compactável, foram avaliados em pormenor. Por último, importa salientar que as propriedades do betão endurecido foram avaliadas de forma superficial, tentando salientar apenas os aspectos mais relevantes neste domínio.

As conclusões relativamente ao estado da arte no que respeita às propriedades do betão auto-compactável nos estados fresco e endurecido são apresentadas nos itens seguintes e reflectem a profundidade com que estes temas foram abordados.

Propriedades do betão no estado fresco

Em meio não confinado, os mecanismos que governam o comportamento do betão auto-compactável podem ser descritos com base na reologia das suspensões de partículas [63]. Contudo, a aplicação prática dos betões auto-compactáveis nas estruturas impõe a consideração de determinadas restrições ou obstáculos (armaduras, passagens estreitas, etc.) ao escoamento do betão que têm de ser tidos em conta do ponto de vista da obtenção de uma adequada trabalhabilidade (auto-compactabilidade). Assim, tem sido referido que, em termos mecânicos, a auto-compactabilidade está relacionada com a reologia do betão fresco, enquanto que, em termos de manuseamento na prática, está relacionada com os parâmetros de trabalhabilidade [32].

A avaliação dos parâmetros reológicos (tensão de corte e viscosidade plástica) pode ser efectuada de forma independente recorrendo ao uso de reómetros, de que são

exemplos os equipamentos BML e BTRHEON [2, 25]. Não obstante, estes equipamentos são pouco expeditos para utilização em obra e, pelo seu custo elevado, existem apenas em escassos laboratórios. A avaliação isolada destes parâmetros tem-se revelado útil para uso laboratorial no estudo das proporções da mistura [11, 33, 61].

Para a avaliação dos parâmetros de trabalhabilidade (auto-compactabilidade) foram desenvolvidos inúmeros ensaios, dos quais se destacam: o ensaio de espalhamento, fluidez (Funil-V), “Caixa-U”, “Caixa” e “Caixa-L”. Sob determinadas condições do escoamento (ausência de segregação e bloqueio), alguns destes ensaios, nomeadamente, os ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V), apresentam boas correlações com os parâmetros reológicos, respectivamente, tensão de corte e viscosidade plástica [61, 78]. Os ensaios da “Caixa-U”, “Caixa” e “Caixa-L” avaliam simultaneamente uma combinação não muito bem definida entre os três requisitos funcionais da auto-compactabilidade (capacidade de enchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação) e são por vezes referidos como ensaios de auto-compactabilidade [32]. Na ausência de reómetros, os ensaios de espalhamento e fluidez podem ser usados para inferir acerca das propriedades reológicas do betão fresco, enquanto um dos ensaios (“Caixa-U”, “Caixa” ou “Caixa-L”) pode ser usado para avaliar os requisitos funcionais da auto-compactabilidade, dependendo do método de estudo da composição que serviu de referência.

Importa finalmente referir que, mesmo na ausência de segregação e bloqueio da mistura, a avaliação dos parâmetros reológicos a partir dos ensaios de espalhamento e fluidez deve ser entendida como relativa, já que a velocidade do escoamento no ensaio de fluidez (Funil-V) é afectada pela capacidade de deformação no ensaio de espalhamento, para misturas com igual viscosidade [78]. Por outras palavras, a viscosidade relativa da mistura pode ser inferida a partir do ensaio no “Funil-V” se a capacidade de deformação no ensaio de espalhamento for aproximadamente constante [78]. É também referido que os parâmetros de auto-compactabilidade medidos nos ensaios da “Caixa” (altura H) e “Caixa-L” (H_2/H_1) apresentam uma boa correlação com a grandeza medida no ensaio de espalhamento (diâmetro de espalhamento) [78].

Propriedades do betão no estado endurecido

As propriedades dos betões auto-compactáveis no estado endurecido com particular interesse são as deformações instantâneas e as diferidas no tempo, isto é, o módulo de elasticidade, retracção e fluência, para as quais as características específicas do betão auto-compactável permitem antever propriedades diferentes daquelas verificadas nos betões convencionais [10]. No entanto, a investigação realizada até ao momento sobre esses assuntos tem revelado tendências contraditórias o que pode indicar que as diferenças entre betões auto-compactáveis e betões correntes não deverão ser muito expressivas. Outras propriedades (tais como a aderência às armaduras, resistência à tracção e durabilidade) são assumidas como não sendo significativamente diferentes daquelas tidas em consideração para betões convencionais, em função das proporções da mistura [10].

PRODUÇÃO E MANUSEAMENTO DO MATERIAL

CAPÍTULO 5 – PRODUÇÃO E MANUSEAMENTO DO MATERIAL

5.1 – Introdução

A maior especificidade dos betões auto-compactáveis reside sobretudo no seu comportamento no estado fresco. Ainda que os métodos de cálculo desenvolvidos permitam dosear o betão convenientemente com vista à obtenção de determinadas características de desempenho, aferidas em laboratório mediante amassaduras experimentais, é essencial garantir que essas propriedades se reproduzem satisfatoriamente no instante em que o betão é colocado nas estruturas. Entre a fase de estudo da composição do betão e a sua colocação em obra, decorre todo um processo de produção e manuseamento do material que, de forma alguma, poderá ser desprezado, sob pena de se comprometer fortemente a qualidade do produto final.

Uma vez que o betão auto-compactável não necessita de compactação aquando da sua colocação em obra, as suas propriedades no estado fresco são muito importantes para a qualidade do betão endurecido nas estruturas. Uma insuficiente auto-compactabilidade aquando da colocação do betão na estrutura não poderá ser compensada por um acréscimo de trabalho em obra [50]. Será então necessário implementar um rigoroso controlo de qualidade nas diferentes fases que envolvem a produção, transporte e colocação do betão em obra, uma vez que a sua qualidade é sensível à variação dos materiais, variações na dosagem de água, sequência e duração da amassadura, temperatura ambiente, condições e duração do transporte, condições de colocação, etc. [10, 27, 50, 54, 69, 71, 76].

Ainda que de forma resumida, neste capítulo apresenta-se o estado da arte relativo aos procedimentos a ter nas diferentes fases do processo de produção e no manuseamento do betão auto-compactável. Foca-se: a produção do betão (amassadura e controlo de produção), o transporte, a recepção do betão em obra (ensaios de recepção), a colocação, o acabamento e a cura. Adicionalmente, é afluado o aspecto relativo à pressão de cofragem.

5.2 – Produção do betão

O processo de produção do betão auto-compactável é analisado neste item mediante a abordagem de dois aspectos relevantes. Em primeiro lugar é avaliado o processo de amassadura, envolvendo a selecção do tipo de misturadora, sequência de introdução dos componentes, tempos de mistura, relações entre as misturas de pequenas massas no laboratório e de grandes massas em obra e ainda a possibilidade de mistura na auto-betoneira. Em segundo lugar são avaliados os procedimentos de controlo de qualidade, nomeadamente, o controlo de qualidade dos materiais antes da sua introdução na misturadora, o controlo do processo de mistura e os ensaios de conformidade do betão produzido à saída da misturadora.

5.2.1 – Amassadura

Tem sido referido que o processo de amassadura dos betões auto-compactáveis assume maior importância comparativamente a um betão normal [54]. Contudo, apesar de existirem inúmeras referências quanto à produção de betões auto-compactáveis em central [10, 27, 50, 54, 69, 71, 76], a informação acerca da sequência de introdução dos materiais constituintes e tempos de mistura na produção deste tipo de betão a esta escala é ainda escassa. A maioria dos estudos que têm sido publicados referem-se a avaliações laboratoriais [13, 76], mas o efeito de escala quando se produzem grandes quantidades de betão em central não é referido. Não obstante, ainda que se admita que o efeito de escala possa ter alguma influência, estes estudos laboratoriais são muito úteis para estabelecer o tipo de betoneira, a sequência e o tempo de mistura mais adequados.

Ao resumir o estado da arte na produção do betão auto-compactável, Higuchi [27] refere que a elevada viscosidade do betão auto-compactável impõe maior esforço de torção durante a mistura, exigindo por isso a utilização de equipamentos com grande eficiência de amassadura, nomeadamente, equipamentos de mistura forçada com um ou dois eixos. Refere ainda ser corrente a utilização de 80-90% da capacidade em volume da misturadora como forma de melhorar o seu desempenho. Outros estudos citados por Petersson [54]

referem também que uma misturadora por gravidade não é adequada para produzir betão auto-compactável porque exige um tempo de mistura muito longo para dispersar suficientemente as partículas de materiais finos no betão.

Takada et al. [76] analisaram a influência do tipo de betoneira e do tempo de mistura no cálculo de betões auto-compactáveis utilizando o método geral proposto por Okamura et al. Os autores avaliaram dois tipos de betoneiras: uma betoneira de mistura forçada de duplo eixo (prevista no método geral) e uma betoneira com eixo de inclinação variável e mistura por gravidade, mas com menor intensidade de mistura. Os autores verificaram que uma razão volumétrica água/finos e uma dosagem de superplastificante adequadas podem ser determinadas para cada tipo de betoneira e tempo de amassadura. Concluíram então, que se estes valores forem adequadamente ajustados de acordo com o procedimento de mistura, o betão auto-compactável pode ser produzido numa betoneira com eixo de inclinação variável e mistura por gravidade, inclusive com menores custos.

Muitos dos parâmetros que influenciam o desempenho do betão auto-compactável podem ser acedidos por ensaios em argamassas. Estes incluem, por exemplo, o efeito da altura de entrada do superplastificante durante o processo de mistura e as características de retenção da trabalhabilidade das misturas. Num estudo realizado por Domone et al. [13] para avaliar as propriedades das argamassas para betões auto-compactáveis, os autores estudaram a optimização de procedimentos de mistura, determinando o instante da adição do superplastificante que conduzia à máxima eficiência. Nesse estudo foram usados quatro tipos diferentes de superplastificantes: SP1 (polímero de naftaleno sulfonado), SP2 (copolímeros acrílicos), SP3 (copolímeros vinílicos) e SP4 (policarboxilatos modificados). Os superplastificantes SP3 e SP4 são considerados de última geração, sendo a acção do SP4 uma combinação de dispersão electrostática e estérica [13]. Neste estudo, a dosagem óptima de cada um dos superplastificantes foi previamente determinada adoptando um procedimento de mistura padrão, comum a todos eles. As propriedades das argamassas foram avaliadas através do ensaio de espalhamento e do ensaio de fluidez (Funil-V).

Partindo das misturas ótimas obtidas, Domone et al. [13] produziram novas amassaduras fazendo variar apenas o instante da adição do superplastificante, desde a adição directa no início da mistura até uma entrada retardada de 6 minutos. A mistura prolongou-se pelo menos por cinco minutos após a adição do superplastificante. Os autores verificaram que a adição retardada aumentou a eficiência de todos os adjuvantes, avaliada pelos ensaios de espalhamento e de fluidez. Segundo os autores, existe uma “janela” para o tempo de entrada do superplastificante para o qual a máxima eficiência é obtida: para o SP1, SP2 e SP3 situa-se entre os 2 e os 4 minutos (Figura 5.1), enquanto que para o SP4 se situa entre os 0,5 e os 2 minutos (Figura 5.2).

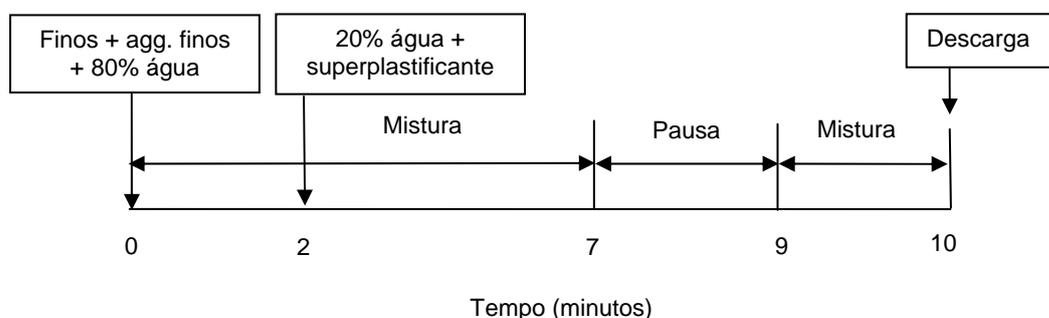


Figura 5.1 – Sequência de mistura com máxima eficiência para SP1, SP2 e SP3 [13]

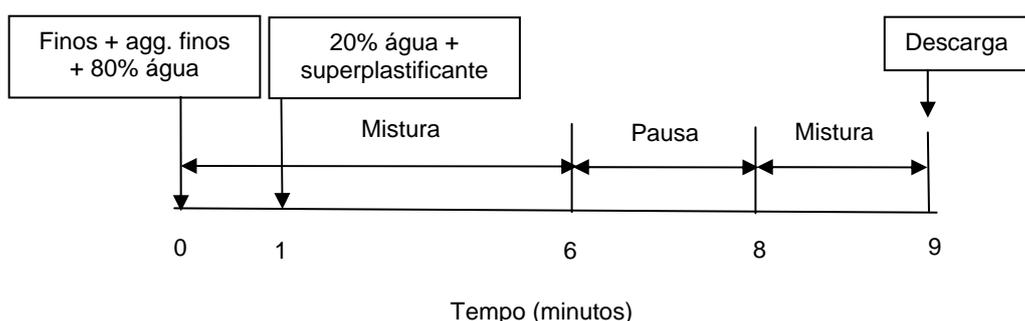


Figura 5.2 – Sequência de mistura com máxima eficiência para SP4 [13]

Tem sido também sugerido que o tempo de entrada óptimo do superplastificante depende da composição do cimento, da temperatura e do procedimento de mistura [13]. Este efeito geral tem implicações, quer para o controle das experiências laboratoriais, quer

para as amassaduras práticas em central. Isto sugere então que a “janela” do tempo de entrada do superplastificante deve ser definida no estudo da composição do betão e deve ter-se em conta a capacidade deste procedimento ser reproduzido em central. Em consequência, será de concluir que a simples alteração dos procedimentos de amassadura é susceptível de afectar as propriedades reológicas da argamassa e, em consequência, poderá afectar a trabalhabilidade do betão auto-compactável.

A betoneira mais usada nas centrais de betão no Japão parece ser uma betoneira por mistura forçada com um ou dois eixos [54]. De um modo geral, o procedimento de mistura consiste em misturar previamente os materiais secos antes de adicionar a água e os superplastificantes. O tempo total de amassadura oscila entre os 90 e os 150 segundos [54].

A experiência em projectos de larga escala na construção de pontes na Suécia baseou-se em misturas efectuadas em betoneiras de tambor por gravidade com capacidade de 6 a 7 m³ [54]. A sequência de mistura usada para os betões auto-compactáveis consistiu também na mistura prévia dos materiais secos antes de adicionar a água, conforme se indica no Quadro 5.1. Skarendahl [69], ao resumir a experiência sueca na produção de betões auto-compactáveis com diferentes tipos de betoneiras fixas, não evidencia nenhuma necessidade de se estabelecer requisitos especiais para as betoneiras. Contudo salienta a importância de se estabelecer a ordem de introdução dos componentes antes da central iniciar a rotina de produção do betão.

Quadro 5.1 – Sequência de amassadura para betões auto-compactáveis [54]

Entrada do material	Tempo
Agregados 8 - 16 Agregados 0 - 8 Cimento Filler	Todos os materiais são misturados em seco durante o enchimento (1 minuto)
Água ½ do superplastificante Agente introdutor de ar	Misturado durante 2 minutos
	(*) Em repouso durante 1 minuto
½ do superplastificante	Misturado durante 2 minutos

Nota: (*) Correntemente usado em amassaduras laboratoriais. Para a produção do betão auto-compactável nenhum tempo de repouso especial é incluído mas o tempo total é o mesmo.

Na bibliografia consultada, tem sido referida a possibilidade de se produzir o betão auto-compactável em auto-betoneiras com capacidade de mistura [10, 54]. Na realidade, o betão transportado na auto-betoneira é um betão primário previamente misturado, sendo auto-compactabilidade atingida quando se adiciona o superplastificante na chegada à obra. A trabalhabilidade deste betão primário pode ser verificada com o ensaio convencional do cone de Abrams [10]. Este procedimento requer verificações cuidadosas dos seguintes pontos [10]: trabalhabilidade do betão primário (cada camião betoneira), condições dos tambores dos camiões betoneira, o tempo de mistura no camião, homogeneidade do betão após a fluidificação (ensaio de espalhamento) e a medição dos adjuvantes.

A produção de betões em auto-betoneiras com capacidade de mistura exige um elevado controlo de qualidade e a definição e validação dos procedimentos a adoptar através de ensaios adequados [10]. No panorama das exigências necessárias para se garantir a auto-compactabilidade adequada do betão e do risco que a sua não obtenção significa para a integridade das estruturas, a produção do betão em auto-betoneiras misturadoras deverá ser bem ponderada, pelo maior risco que representa.

5.2.2 – Controlo da produção

À semelhança do que sucede com os betões correntes, o controlo da produção do betão auto-compactável envolve o controlo das matérias-primas, o controlo do processo de mistura e a execução de ensaios de conformidade à saída da betoneira.

Especialmente relevante para o controlo das matérias-primas é a variação que ocorre no teor em água superficial do agregado fino [27, 54, 69]. O controlo da variação na curva granulométrica dos agregados deverá ser igualmente observado, ainda que a sua variação dentro de parâmetros normais não influencie a trabalhabilidade na mesma magnitude que o teor em água superficial [27, 54].

Para o controle do teor em água superficial dos agregados finos existem basicamente dois métodos [27]: o primeiro consiste em manter as variações do teor em água superficial dos agregados num valor mínimo admissível, enquanto o segundo consiste

em proceder a medições frequentes deste parâmetro e efectuar ajustamentos da mistura. O primeiro método (manter as variações num valor mínimo) pode ainda ser subdividido em dois outros métodos [27]: o método natural, que consiste em armazenar o agregado fino ao abrigo do sol e do vento e estabilizar a humidade superficial, e o método de estabilização mecânica, que consiste na estabilização da humidade superficial dos agregados finos por processos mecânicos de centrifugação.

A Figura 5.3 ilustra o processo de estabilização mecânica a que se fez referência. Este mecanismo permite estabilizar a humidade superficial dos agregados finos a um nível muito baixo por centrifugação. Para além disso, se necessário, permite retirar os sais e arrefecer os agregados finos pulverizando água pura ou água gelada. O mecanismo ilustrado destina-se a pequenas quantidades, mas mecanismos que operam de modo contínuo foram já desenvolvidos [27]. Os métodos de estabilização do teor em água superficial dos agregados finos são raramente empregues devido aos problemas económicos associados ao tempo e espaço de armazenamento destes materiais em grandes quantidades. Higuchi [27] salienta a necessidade de se desenvolver um método instantâneo e económico de estabilização do teor em água superficial dos agregados finos.

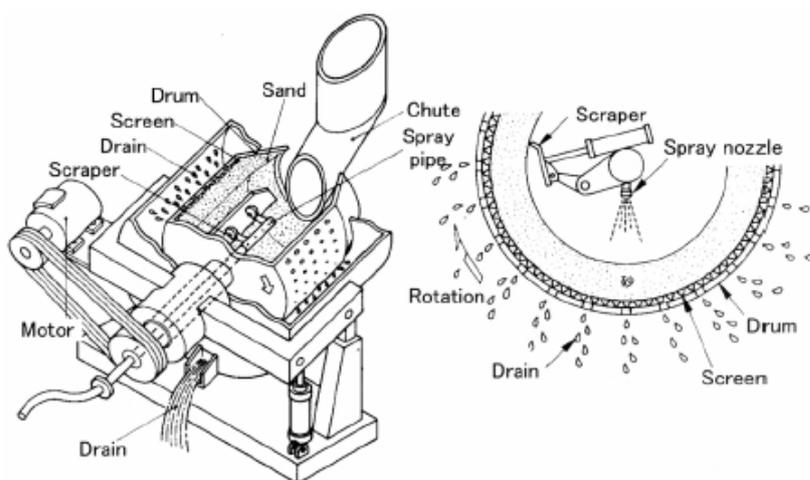


Figura 5.3 - Estabilizador mecânico da humidade dos agregados finos [27]

O método de medição do teor em água superficial para proceder a ajustamentos é aquele que predomina na maioria das centrais de betão pronto [27, 54]. O sistema de

monitorização deve estar equipado com sensores de controlo de humidade para detectar instantaneamente pequenas mudanças [27, 54]. É absolutamente conveniente que os teores em água superficial sejam medidos com grande frequência antes de cada amassadura e que as composições de betão sejam também elas automaticamente corrigidas [27, 54].

Uma vez estabelecida a sequência de entrada das matérias-primas e o tempo de mistura, o controlo de qualidade da amassadura passa pelo controlo do processo de pesagem e pelo estabelecimento de mecanismos que permitam detectar qualquer pequena variação dos componentes, em particular as variações da quantidade de água da mistura, em consequência das variações do teor em água superficial dos agregados, particularmente dos agregados finos. Outras variações na mistura poderão também ser consequência de variações nas propriedades dos materiais ou variações na temperatura do betão [27].

Se bem que sejam efectuados ensaios de controlo de qualidade após a realização das misturas, o valor do esforço de torção realizado durante a amassadura ou a utilização de medidores de intensidade da corrente podem ser empregues para um controle racional e mais rápido do processo de mistura [27, 54]. A intensidade final da corrente eléctrica ou o consumo de corrente medido durante uma amassadura pode ser relacionado com os parâmetros dos ensaios do betão fresco de modo a detectar possíveis alterações nas dosagens de água ou de superplastificante [27, 54].

Higuchi [27] relata resultados onde o valor do consumo final de corrente (em kW) apresenta uma correlação consistente com o parâmetro T50 (ensaio de espalhamento) e com o tempo no Funil-V (ensaio de fluidez), enquanto que a correlação com o diâmetro de espalhamento se mostrou fraca. Os resultados permitiram constatar que qualquer alteração na viscosidade dos betões auto-compactáveis devida a variações na dosagem de água pode ser detectada pela variação do consumo final de corrente na amassadura. Contudo, Higuchi [27] refere que o controlo do consumo de corrente eléctrica total numa mistura apenas pode ser usado para confirmar condições estáveis ou advertir para mudanças na fluidez do betão e não para uma avaliação quantitativa da sua qualidade.

5.3 – Transporte do betão

A qualidade do betão auto-compactável é susceptível de ser afectada pelo tipo e condições de transporte, mas o aspecto principal a ter em conta será certamente o tempo em que decorre esse transporte [27, 71]. Uma vez que o betão auto-compactável requer uma trabalhabilidade específica mais precisa aquando da sua colocação em obra para se conseguir uma boa compacidade, a variação das propriedades do betão fresco com o tempo são um aspecto importante a avaliar antes da betonagem [27, 71].

O transporte do betão desde a central de produção até ao local da obra é feito geralmente em camiões auto-betoneira que mantêm uma velocidade de rotação do tambor relativamente lenta para garantir a homogeneidade da mistura e evitar fenómenos de segregação. Tem sido referido que a segregação do betão causada pela agitação ocorre mais frequentemente quando a mistura contém pequenas quantidades de agregados [71]. No caso de um betão segregado, a argamassa é descarregada do tambor do agitador mais cedo que os agregados grossos, os quais influenciam negativamente a bombagem e a compacidade do betão auto-compactável [71]. O betão auto-compactável usualmente tem uma quantidade de agregado inferior ao betão normal. Em consequência, a variação das suas propriedades devido à agitação devem ser avaliadas previamente [71].

As condições de transporte, nomeadamente a temperatura do ar pode também afectar as propriedades do betão, na medida em que afecta a velocidade com que se formam os produtos da hidratação do cimento e afecta o tempo de retenção da trabalhabilidade [71]. Deste modo, o transporte do betão auto-compactável deve ser controlado considerando a variação da qualidade devido às condições ambientais [71].

A trabalhabilidade do betão auto-compactável varia com o tempo decorrido após a amassadura, e este é consensualmente considerado o parâmetro mais importante a ter em conta quando se planeia o transporte do betão [27, 71]. A variação da trabalhabilidade do betão auto-compactável com o tempo é influenciada pelos materiais usados, especialmente as propriedades dos materiais finos e adjuvantes químicos [13, 27, 71]. Em consequência, torna-se evidente que o estudo da composição de betões auto-compactáveis deverá

contemplar a análise da retenção da trabalhabilidade de forma a antever as condições de entrega do betão em obra em função dos tempos médios de transporte previstos.

O tempo de transporte do betão auto-compactável deverá ser tão curto quanto possível. Algumas experiências indicam que o tempo de transporte deve ser planeado de forma a não exceder os 60 minutos [71]. Na Suécia, a experiência indica que, com a nova geração de superplastificantes, se conseguem tempos mais longos e controlados desde a amassadura até à colocação [71]. Contudo, na maioria dos casos em que o betão auto-compactável foi usado na construção de pontes na Suécia, foi estabelecido um tempo máximo entre a amassadura e a betonagem de 60 minutos [71].

5.4 – Recepção do betão em obra

Os ensaios de recepção em obra do betão auto-compactável podem ser divididos em dois grupos: O primeiro traduz-se na recolha de provetes para posterior avaliação da conformidade do betão entregue face às propriedades mecânicas e de durabilidade do betão endurecido especificadas. Os procedimentos adoptados neste grupo de ensaios de recepção são fundamentalmente os mesmos que para um betão convencional. O segundo grupo de ensaios de recepção envolve a inspecção das propriedades do betão fresco e difere significativamente dos procedimentos adoptados no betão corrente, pelo número de parâmetros a avaliar e tipos de ensaios a executar. Têm sido propostos diferentes tipos de ensaios com o objectivo de aferir a auto-compactabilidade do betão “in situ”, mas estes ensaios ainda não estão uniformizados nem normalizados.

Na prática corrente na Suécia, os ensaios de recepção “in situ” incluem o ensaio de espalhamento e a “Caixa-L”. Com estes ensaios é avaliada a capacidade e velocidade de deformação, estabilidade da mistura (segregação), capacidade de enchimento e capacidade de passagem. A disposição dos varões na “Caixa-L” é definida no processo de cálculo do betão, em função da estrutura a betonar, dimensão e forma dos agregados grossos, assim como do volume da fase argamassa [69, 71]. No ensaio de espalhamento, os valores a atingir para o diâmetro de espalhamento têm sido normalmente da ordem de 650 a 750 mm,

com uma variação de aproximadamente +/- 50 mm, enquanto que os valores do parâmetro T50 oscilam tipicamente entre os 3 e os 7 segundos [71]. O ensaio “Caixa-L” tem sido usado para indicar a capacidade de passagem de modo quantitativo [71]. A resistência à segregação é avaliada qualitativamente em ambos os ensaios, por inspeção visual [71].

No Japão, o ensaio de espalhamento, o ensaio de fluidez (Funil-V) e o ensaio da caixa (ou caixa-U) são frequentemente adoptados para verificar a qualidade do betão fresco em laboratório. Contudo, em obra, tem sido utilizado quase exclusivamente o ensaio de espalhamento, devido à sua capacidade de avaliar simultaneamente a capacidade e velocidade de deformação através da medição, respectivamente, do valor do diâmetro médio de espalhamento e do tempo T50 [10, 71]. O valor de referência para o controle do diâmetro de espalhamento varia com os materiais usados, as proporções da mistura e as condições de fronteira [71]. Contudo, os valores do diâmetro médio de espalhamento entre os 550 e os 650 mm têm sido normalmente escolhidos como referência. A variação admissível é normalmente de +/- 50 mm.

A compactidade do betão auto-compactável nas estruturas e, conseqüentemente, o seu comportamento mecânico e de durabilidade, dependem da auto-compactabilidade do betão. Uma auto-compactabilidade fraca não pode ser compensada por trabalho adicional de construção em obra. Por esse motivo, Masahiro Ouchi [50] considera fundamental que a auto-compactabilidade seja testada para todo o betão, imediatamente antes da betonagem e no local da obra. Contudo, o incremento da frequência de amostragem de forma a abranger todo o betão resultaria num acréscimo significativo de trabalho e atrasos no processo de betonagem. Para obviar a este problema, foi desenvolvido um mecanismo que permite a inspeção do betão num processo contínuo. O conceito foi proposto por Okamura e seus colaboradores e o mecanismo de ensaio foi desenvolvido por Ouchi et al. [50].

O mecanismo para avaliação contínua da auto-compactabilidade do betão a que se fez referência é ilustrado na Figura 5.4. Neste processo todo o betão passa pelo aparelho de ensaio, o qual é instalado entre o camião auto-betoneira e o camião de bombagem no local da obra. Se o betão fluir através do aparelho ele é considerado como auto-compactável.

Pelo contrário, se o aparelho bloquear a passagem do betão, isto significa uma insuficiência na auto-compactabilidade e a necessidade de ajustamento das proporções da mistura.

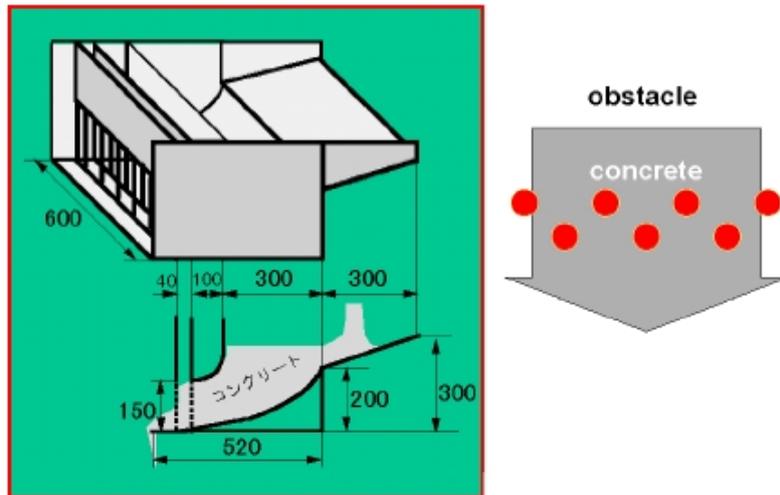


Figura 5.4 - Esquema do ensaio de aceitação para todo o betão [50]

Este aparelho foi usado com sucesso na construção de um reservatório de grandes dimensões da companhia de gás de Osaka [50]. O aparelho utilizado para avaliação contínua do betão durante a sua construção é ilustrado na Figura 5.5.



Figura 5.5 - Ensaio de aceitação para todo o betão [50]

5.5 – Colocação do betão

Por colocação do betão entende-se a tarefa de fazer chegar o betão desde o local da obra até às cofragens. O betão auto-compactável é normalmente entregue em obra a partir de auto-betoneiras. O seu transporte até às cofragens (colocação) pode ser efectuado de diferentes formas [10]: por descarga directa usando calhas, através de tremonhas, ou ainda, pelo método mais frequente que consiste na bombagem.

O processo de descarga directa consiste basicamente em descarregar o betão a partir do topo da cofragem usando uma calha. A principal desvantagem deste método é que tende a agravar ou até a gerar a segregação do betão fresco porque este cai na cofragem.

O uso de tremonhas instaladas sob o balde da grua é frequente na betonagem de pilares ou estacas. Este método consiste na utilização de uma tremonha com um tubo que é introduzido a partir do topo da cofragem. Este método aplica-se a elementos verticais e possui a vantagem de evitar a queda do betão na cofragem.

O processo de bombagem é o mais corrente, por permitir a betonagem de grandes massas com relativa facilidade. Este método, que também se aplica a elementos verticais, evita a queda do betão na cofragem, limita o pessoal ao responsável pelo controle da bomba e permite a betonagem de grandes alturas. A força necessária para bombear o betão depende da viscosidade da mistura. Para o betão auto-compactável com alta viscosidade, a pressão exigida à bomba será maior do que para um betão corrente, enquanto que para betões com menor viscosidade, a pressão na bomba iguala aquela registada em betões correntes [71]. Existem indicações de que a bombagem pode afectar as propriedades do betão auto-compactável, em especial se este apresentar menor resistência à segregação [71]. As propriedades do superplastificante usado poderão também contribuir para a maior ou menor variação das propriedades do betão fresco durante a bombagem [71].

Qualquer que seja o método usado para colocar o betão na cofragem, a altura de queda do betão e a distância de colocação horizontal na cofragem devem ser limitadas. Por outro lado, no planeamento da betonagem deverá ter-se em conta o gradiente de escoamento e a taxa de betonagem.

Altura de descarga

O betão auto-compactável é menos sensível ao efeito de segregação provocado pela queda do betão na cofragem em comparação com o betão corrente [10, 71]. Existem indicações de que a altura de queda do betão auto-compactável, medida desde a boca da mangueira de bombagem até à superfície da cofragem, deve ser igual ou inferior a 5 metros [10, 71]. Contudo, em alguns casos já se registaram alturas de queda de 8 metros com resultados suficientes [71]. Se a queda do betão se faz através de zonas congestionadas por armaduras, não pode ser desprezada a possibilidade de segregação dos agregados grossos [71]. Para otimizar a aparência das faces visíveis do betão, tem sido sugerida a utilização de alturas de queda tão baixas quanto possível [10].

Distância de colocação horizontal

Para um dado betão auto-compactável, a distância de colocação aceitável dependerá da capacidade do betão se mover através da cofragem (densidade de armaduras, curvas, cavidades, etc.) mantendo a sua homogeneidade [10]. Em geral, quanto maior for a distância de colocação, maior será a probabilidade do betão sofrer segregação dinâmica [10]. Os resultados de experiências francesas são consistentes com a distância máxima de colocação recomendada pela TC-SCC-RILEM e com a experiência das aplicações no Japão; tem sido referido que a segregação não ocorre se a distância horizontal de escoamento não exceder os 10 metros [10, 71]. Contudo, na maioria dos casos, a distância de escoamento tem sido limitada entre 3 a 10 metros [71]. Por outras palavras, os pontos de betonagem devem ser preparados de tal modo que os intervalos não excedam 6 a 20 metros [71].

Gradiente de escoamento

O betão auto-compactável tem a capacidade de se comportar como auto-nivelante. Contudo, este não flui e nivela como um fluido real. O gradiente de escoamento do betão auto-compactável situa-se predominantemente entre 1/10 e 1/100 [69]. Este valor poderá no

entanto variar com os materiais usados, as proporções da mistura e as condições de fronteira [71]. A experiência sueca indica que, se convenientemente dimensionado e aplicado, o betão auto-compactável pode ser moldado em superfícies inclinadas. Em projectos de pontes na Suécia foram aplicadas inclinações até 4% [69].

Taxa de betonagem

A experiência japonesa indica que a taxa de betonagem do betão auto-compactável tende a ser inferior comparativamente a um betão normal [71]. Se a taxa de betonagem do betão auto-compactável exceder a taxa de escoamento exercida por acção do peso próprio, não é obtida compacidade suficiente e o ar ocluído tende a criar cavidades nas superfícies moldadas do betão. Ao resumir o estado da arte na colocação do betão auto-compactável em obra, Takada [71] refere que em cerca de um terço dos casos práticos observados a taxa de betonagem se situou entre os 10 e os 20 m³/h.

5.6 – Acabamento e cura

A menor taxa de exsudação dos betões auto-compactáveis, comparativamente com os betões correntes, torna-os mais vulneráveis aos efeitos de retracção plástica devido à secagem prematura da superfície do betão [10, 71]. Contudo, esta sensibilidade pode variar significativamente de composição para composição [10, 71]. Em geral, é recomendada particular atenção ao método de cura usado após a betonagem de superfícies horizontais, de modo a evitar excessiva evaporação nas primeiras horas [10, 71].

Existem indicações de que o acabamento do betão auto-compactável é geralmente de inferior qualidade comparativamente ao betão normal devido à alta viscosidade, baixa exsudação e reduzida dimensão dos agregados [71]. Contrariamente, a experiência sueca adquirida em projectos de pontes e na construção de edifícios indica que as superfícies obtidas apresentam menor porosidade e são de tonalidade mais escura quando comparadas com o betão normal [69]. A qualidade da superfície foi especialmente evidente em elementos onde o betão foi bombeado a partir da base da cofragem [69].

O material de cofragem que tem sido utilizado para os betões auto-compactáveis não difere daquele utilizado no betão corrente [71]. Contudo, tem-se verificado que as bolhas de ar presas durante o escoamento tendem a permanecer na face da cofragem devido à alta viscosidade, prejudicando a aparência da superfície [71]. Com o propósito de resolver este problema, tem-se verificado adequado o uso de telas permeáveis ao ar, colocadas na cofragem [71]. Para além disto, o uso de betões auto-compactáveis implica uma rigorosa selecção do tipo de óleo de descofragem ou outros agentes similares, de modo a evitar os riscos de defeitos nas faces betonadas [10, 71].

5.7 – Pressão de cofragem

A literatura sobre a matéria fornece por vezes informação contraditória acerca da pressão que o betão auto-compactável exerce sobre as paredes da cofragem. Alguns autores consideram que, em consequência da sua maior fluidez, a pressão que o betão auto-compactável exerce sobre as cofragens é superior à pressão exercida por um betão corrente, enquanto outros autores atribuem qualidades “tixotrópicas” ao betão fresco auto-compactável, o que significa que quando este é colocado a partir do topo da cofragem exerce menor pressão que o betão corrente [10, 71]. A escassez de investigação nesta área não permite contudo estabelecer regras precisas sobre a matéria [10].

A forma e a dimensão dos elementos a betonar, a composição do betão, a taxa de betonagem, a temperatura e ainda outros factores, influenciam a pressão lateral que o betão auto-compactável exerce sobre a cofragem [71]. De acordo com os resultados dos ensaios no Japão, tem sido referido que a pressão lateral na cofragem é de 80% a 90% da pressão do fluido, a qual é estimada pelo produto da massa unitária do betão pela altura a betonar [71]. Quando a secção transversal da estrutura se torna menor a pressão tende a reduzir, aproximando-se da pressão lateral do betão normal [71].

Estudos efectuados em projectos de larga escala na Suécia indicam que, quando adequadamente calculado, o betão auto-compactável colocado a partir do topo da cofragem não impõe maiores pressões na cofragem comparativamente a um betão corrente, mas

antes o contrário [69, 71]. A razão para as menores pressões exercidas na cofragem é atribuída à inerente “tixotropia” do material. Quando a energia cinética do betão fresco se dissipa, o material endurece de forma “tixotrópica” e deixa de actuar como um líquido. Deve ser referido que o grau de rigidez “tixotrópica” depende do cálculo da mistura [71]. Esta não é por isso uma propriedade inerente de todo o betão auto-compactável [71]. O efeito descrito pode ser visto na Figura 5.6, onde as pressões normalmente calculadas e aquelas medidas, são ilustradas para uma parede de uma ponte com 5,5 metros de altura, onde a betonagem progrediu em altura a uma taxa de 1,7 m por hora [69].

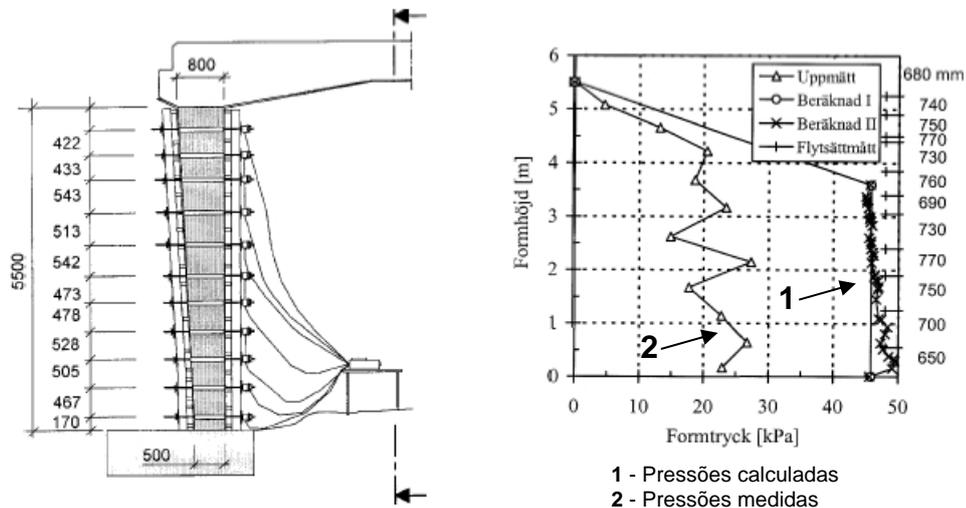


Figura 5.6 - Medição da pressão de cofragem [69]

Face às inerentes especificidades do betão auto-compactável e à escassez de estudos nesta área, os construtores devem ser particularmente cautelosos quanto ao cálculo das cofragens. É recomendado que este dimensionamento seja feito do lado da segurança, assumindo que a pressão na base da cofragem é pelo menos equivalente à pressão hidrostática do betão fresco [10, 69, 71]. Se o betão for bombeado a partir da base da cofragem, a pressão do betão fresco é certamente pelo menos equivalente à pressão hidrostática (efeito dinâmico associado à bombagem) [10].

5.8 – Conclusões

A trabalhabilidade do betão auto-compactável durante o enchimento das cofragens em obra é determinante para a maior ou menor compacidade do produto final, uma vez que este betão é aplicado sem qualquer vibração ou outra forma de compactação. A compacidade é então conseguida pela acção do peso próprio da massa e pela capacidade que esta possui de fluir através das armaduras sem segregação e de preencher todos os espaços da cofragem. Uma insuficiente auto-compactabilidade aquando da colocação do betão nas cofragens não poderá ser compensada por trabalho adicional em obra e compromete seriamente as suas propriedades no estado endurecido [50]. O estudo da composição de um betão auto-compactável deverá por isso ter em conta as diferentes fases que envolvem a produção e manuseamento do material.

Tem sido referido que os processos de produção, transporte e colocação do betão auto-compactável podem afectar as suas propriedades no estado fresco e que, comparativamente com um betão corrente, a trabalhabilidade deste tipo de betões é mais sensível à variação dos materiais, variações na dosagem de água, sequência e duração da amassadura, temperatura ambiente, condições e duração do transporte, condições de colocação, etc. [10, 27, 50, 54, 69, 71, 76]. Por esse motivo, é considerado essencial implementar-se um rigoroso controlo de qualidade em todas as fases de produção e manuseamento do material.

No processo de produção, tem sido referido como essencial, o controlo da dosagem efectiva de água na mistura. Especial atenção deverá ser dada ao teor em água superficial dos agregados finos, os quais poderão transportar água para o betão. A distribuição granulométrica dos agregados finos deverá ser também inspeccionada com regularidade [27, 54, 69]. Outros factores importantes incluem a selecção do tipo de betoneira, definição da ordem de entrada dos materiais e o tempo de amassadura [10, 13, 27, 54, 76].

No processo de transporte deverá observar-se qualquer possível efeito de segregação dos agregados, mas especialmente relevante será a avaliação da retenção da trabalhabilidade durante o tempo em que decorre esse transporte [13, 27, 71].

A colocação é feita normalmente por bombagem. Existe no entanto indicações de que a pressão de bombagem poderá afectar a trabalhabilidade do betão se este não possuir adequada resistência à segregação [10, 71]. Acima de determinados valores, que dependem da taxa de armaduras e da forma das cofragens, a altura de queda, a distância de colocação horizontal e a taxa de betonagem poderão também afectar a trabalhabilidade do betão fresco [10, 71].

Tomando como referência o panorama actual da indústria de produção do betão corrente, em especial os grandes grupos de produtores de betão, poderá afirmar-se que, uma vez definidos e normalizados os ensaios do betão fresco e a rotina de verificações necessária, o betão auto-compactável poderá ser produzido, transportado e colocado satisfatoriamente com os meios hoje disponíveis. Efectivamente, os grandes produtores de betão possuem centrais bem equipadas, com betoneiras de mistura forçada, sensores de medição automática do teor em água superficial dos agregados e sistemas informatizados de correcção das proporções da mistura e de acompanhamento dos processos de pesagem e amassadura. O betão é transportado até à obra em camiões betoneira e a sua colocação faz-se normalmente pelo processo de bombagem.

Os grandes produtores de betão dispõem também normalmente de meios laboratoriais e rotinas de inspecção às centrais que asseguram a regularidade do fornecimento dos materiais em termos de qualidade. Isto significa que a produção do betão auto-compactável deverá passar essencialmente pela definição dos ensaios e procedimentos de inspecção do betão fresco, não só à saída da central, mas também no processo que decorre entre a sua produção e a colocação nas cofragens.

Para além das condições tecnológicas, será necessária a formação de pessoal especializado nas diferentes fases de produção e manuseamento do material, capaz de decidir “in situ” acerca da conformidade ou não do betão fresco auto-compactável, mediante procedimentos de ensaio e de inspecção visual bem definidos. A montante das condições aqui avaliadas do ponto de vista da produção e manuseamento do material está obviamente

a formação daqueles que terão a responsabilidade de definir as correctas proporções da mistura, adequadas aos respectivos processos de produção e demais condições.

MÉTODOS DE CÁLCULO DAS PROPORÇÕES DA MISTURA

CAPÍTULO 6 – MÉTODOS DE CÁLCULO DAS PROPORÇÕES DA MISTURA

6.1 – Introdução

À semelhança do que sucede com os betões correntes, as proporções da mistura para os betões auto-compactáveis são calculadas com vista à satisfação de determinadas exigências de desempenho, quer no estado fresco, quer no estado endurecido, ou mesmo na transição entre os dois estados. Não obstante, a conciliação das diferentes exigências de desempenho no estudo da composição dos betões auto-compactáveis é manifestamente mais complexa comparativamente com os betões correntes, exigindo o controle de um número mais vasto de variáveis.

A complexidade que reveste o estudo dos betões auto-compactáveis resulta basicamente em virtude das exigências funcionais impostas ao comportamento do betão no estado fresco, nomeadamente, a obtenção da adequada capacidade de enchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação. Na análise dos diferentes métodos propostos na última década, torna-se evidente que a primeira e fundamental preocupação no estudo da mistura é produzir um betão com a auto-compactabilidade satisfatória, em detrimento de uma menor atenção inicial prestada às subseqüentes propriedades do betão endurecido, ainda que estas últimas não sejam desprezadas. Em particular, o critério da auto-compactabilidade governa a quantidade de pasta, e frequentemente a razão água/finos. Em consequência, a resistência à compressão não pode ser facilmente controlada a partir da razão água/ligante como sucedia nos betões correntes. Em alternativa, a resistência pretendida é obtida mediante uma adequada combinação de diferentes materiais finos (cimento Portland, cinzas volantes, escórias, calcário moído, etc.).

Regra geral, todos os materiais constituintes utilizados para produzir betões correntes podem ser empregues para produzir betões auto-compactáveis. Uma vez que estes materiais variam de lugar para lugar, torna-se evidente que não existem soluções

únicas ou universais de betões auto-compactáveis para uma situação particular, e que uma de entre várias formulações de misturas poderá revelar-se satisfatória. Os procedimentos de cálculo deverão por isso permitir a obtenção de misturas com uma grande variedade de exigências em termos de desempenho usando materiais disponíveis localmente.

O elevado número de combinações possíveis de materiais para produzir um betão auto-compactável significa que um largo número de variáveis necessitam de ser conciliadas em cada situação particular mediante ensaios laboratoriais, uma vez que a interacção entre os diferentes parâmetros da mistura é frequentemente difícil de prever com a suficiente precisão. Por esse motivo, tem sido proposta a adopção de uma nova metodologia, distinta daquela adoptada frequentemente no cálculo da composição de betões correntes, e que basicamente envolve o estudo extensivo das combinações potenciais dos diferentes materiais em argamassas, antes de se prosseguir com o estudo em betões. Desta forma, o número de ensaios sobre amassaduras em betão pode ser substancialmente reduzido ou mesmo limitado a ensaios de confirmação.

Os estudos em argamassas oferecem a vantagem de envolverem um menor volume de material, um menor número de variáveis a conciliar, um menor número de parâmetros a medir e uma maior facilidade de execução dos ensaios necessários. Para tornar viável esta nova abordagem, alguns autores estudaram e definiram parâmetros reológicos para as argamassas adequados à produção de betões auto-compactáveis. Em síntese, o betão auto-compactável pode ser encarado como sendo constituído por um determinado volume de agregados grossos dispersos numa matriz constituída pela argamassa. Uma vez que o volume de agregados grossos não varia substancialmente entre misturas, em virtude das exigências funcionais impostas quanto à auto-compactabilidade, as propriedades do betão nos estados fresco e endurecido passam a ser controlados basicamente pelas propriedades das argamassas.

Tipicamente, o processo de estudo da composição de um betão auto-compactável envolve três fases [35]: a recolha dos dados essenciais de base, o cálculo das proporções da mistura e, finalmente, os ensaios de confirmação em laboratório. Na primeira fase, são

recolhidos os dados relativos ao desempenho pretendido para o betão, tendo em conta as condições estruturais, as condições ambientais de exposição, as condições de colocação, etc. Na segunda fase são seleccionados e caracterizados os materiais constituintes do betão e são determinadas as proporções desses materiais na mistura, tendo por base um dos modelos de cálculo da composição já existentes. Na terceira fase são produzidas amassaduras experimentais para verificar a conformidade do betão produzido. Se esta conformidade não se verificar será necessário corrigir a mistura e repetir novamente a terceira fase. Este processo iterativo repetir-se-á até que seja verificada a conformidade do betão produzido face aos dados essenciais de base, como aliás sucedia com os betões correntes.

Para o estudo das proporções da mistura dos betões auto-compactáveis têm sido propostos vários métodos [11]. Todos os métodos apresentam algumas limitações inerentes, são de complexidade variável e exigem diferentes quantidades de informação devido às características dos materiais [11]. Todos os procedimentos consideram a composição volumétrica da mistura, com a subsequente conversão em proporções em massa por amassadura [11]. Vários métodos foram desenvolvidos usando processos de cálculo de “passo-a-passo”, enquanto outros resultaram apenas em recomendações para os limites de vários parâmetros de mistura – quantidades de agregados finos e grossos, quantidade de materiais finos, quantidade de água, etc. [11].

De entre os diferentes métodos propostos até ao momento, é possível destacar, pela sua maior simplicidade e uso mais generalizado, dois métodos principais [35]: o método geral desenvolvido pelo grupo liderado pelo Professor Okamura [11, 35, 47, 51], suportado também pela subsequentemente contribuição de outros autores com o objectivo produzir misturas mais eficientes a partir de uma gama mais vasta de materiais, e o método proposto pela “Japan Society of Civil Engineers” (JSCE) [11, 35]. Os métodos propostos pelo CBI [11, 56, 57, 79] e LCPC [11, 33, 61] merecem igualmente destaque pela sua importância, não obstante a sua maior complexidade em termos de aplicação prática. Estes e outros métodos descritos na bibliografia consultada serão tratados nos Sub-Capítulos seguintes.

6.2 – Método geral

O método geral, assim designado porque deu origem a outros desenvolvimentos ou modificações posteriores, foi proposto em Setembro de 1993 por Okamura, Ozawa e Maekawa [11, 35, 47], em resultado do trabalho prévio extensivo realizado por estes investigadores na Universidade de Tóquio. Este método é relativamente simples e pode ser implementado facilmente mediante um procedimento “passo-a-passo” ilustrado na Figura 6.1.

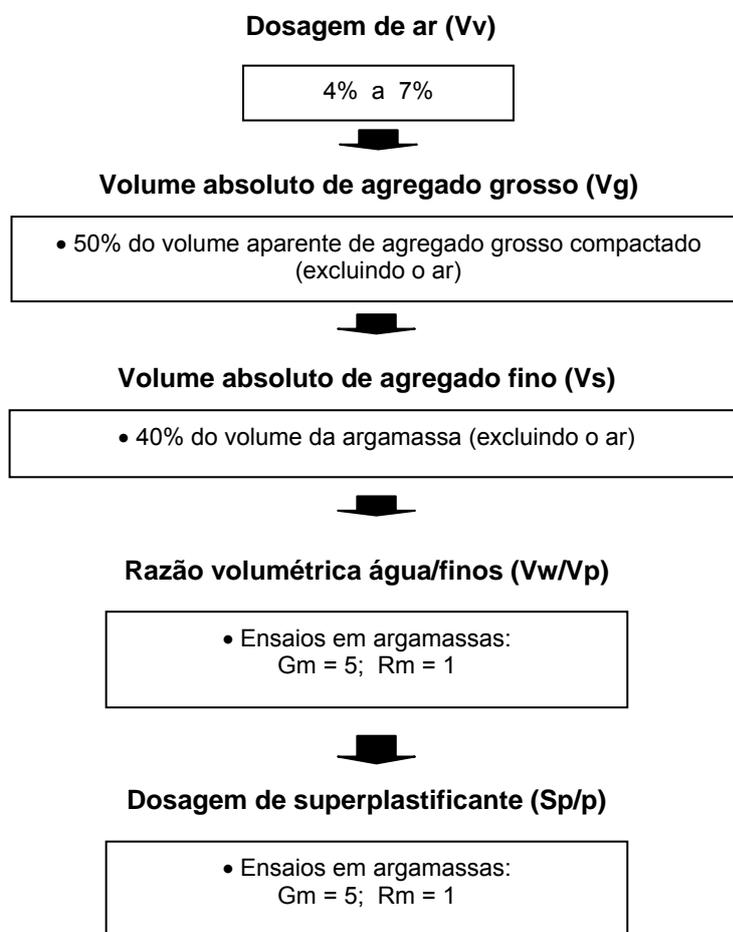


Figura 6.1 – Método geral proposto por Okamura et al. [35]

O método geral foi inicialmente desenvolvido para misturas contendo uma gama limitada de materiais japoneses, incluindo agregados grossos com uma variação de dimensão entre os 5 mm e os 20 mm, agregados finos com máxima dimensão de 5 mm e um cimento Portland de baixo calor de hidratação rico em silicato bi-cálcico (“belite” - C2S),

e nenhum uso de agentes de viscosidade [11]. As dosagens de agregados grossos e finos são fixadas de forma que a auto-compactabilidade possa ser atingida facilmente ajustando apenas a razão água/finos e a dosagem de superplastificante [46]. Os valores propostos no método geral para as dosagens de agregados visam a garantia de obtenção da auto-compactabilidade, mesmo considerando a variabilidade que ocorre durante a produção, induzida por variações na qualidade do material e variações na pesagem. Desta forma a auto-compactabilidade é determinada à partida com um nível superior ao necessário e, por esse motivo, o método geral tem sido considerado como conservador [35, 47].

Uma das limitações que poderá ser apontada ao método geral está relacionada com o facto de não existir qualquer referência quanto à utilização do nível de resistência à compressão do betão como dado essencial de base para a formulação da composição. Não obstante, tem sido referido que a necessariamente baixa razão água/cimento imposta para cumprir os requisitos do betão no estado fresco resulta em resistências adequadas para a maioria das necessidades estruturais [11, 35, 47].

As proporções da mistura, por metro cúbico de betão, são obtidas mediante a implementação do processo “passo-a-passo” ilustrado na Figura 6.1. As diferentes etapas que compõem esse processo podem ser descritas do seguinte modo:

Volume de ar

O volume de ar (V_v) deve situar-se entre os 4% e os 7%, dependendo das condições de exposição ambiental da estrutura a que o betão se destina. Uma parte deste volume de ar é introduzido para fornecer resistência às acções de gelo-degelo, mas poderá conduzir também a uma redução das quantidades de água e cimento [11, 35, 47].

Volume de agregado grosso

O volume absoluto de agregado grosso (V_g) é contabilizado em 50% do volume ocupado pelas partículas de agregado grosso compactado na unidade de volume aparente de um metro cúbico, excluindo o volume de ar previsto para a composição [35, 47].

No limite, o volume ocupado pelas partículas de agregado grosso compactado na unidade de volume aparente de um metro cúbico ($V_{g,lim}$), é numericamente equivalente à razão entre o valor da baridade compactada e o valor da massa volúmica do agregado. Desta forma, o volume absoluto de agregado grosso a utilizar na composição do betão obtém-se através da Equação 6.1.

$$V_g = 0,50 \times V_{g,lim} \cdot (1 - V_v) \quad (6.1)$$

Onde:

V_g é o volume absoluto de agregado grosso para a mistura, em m^3/m^3 ;

V_v é o volume de ar (vazios) previsto para a mistura, em m^3/m^3 ;

$V_{g,lim}$ é o volume aparente de agregado grosso compactado, em m^3/m^3 .

A dosagem de agregado grosso estabelecida desta forma permite contabilizar indirectamente o efeito da forma das partículas e da sua distribuição granulométrica, na exacta medida em que estas características físicas influenciam o valor da baridade. Quanto mais contínua for a granulometria do agregado menor será o volume de vazios (maior compactidade) e, conseqüentemente, maior será o valor da baridade. A um maior valor da baridade corresponderá uma maior quantidade de agregado grosso presente na composição do betão auto-compactável.

Quando na composição do betão se utiliza um volume de agregado grosso superior a 50% do volume aparente compactado deste agregado, a auto-compactabilidade baixa bruscamente, como confirmam os trabalhos realizados por Edamatsu et al. [15] e Ozawa et al. [34] ilustrados, respectivamente, na Figura 6.2 e na Figura 6.3. Na Figura 6.2 é possível igualmente constatar que a dosagem de agregado grosso não pode ser definida independentemente da dosagem de agregado fino na argamassa (V_s/V_m). À medida que se aumenta a dosagem de agregados finos presentes na argamassa e, conseqüentemente, se reduz o volume de pasta, aumenta a probabilidade de interacção entre as partículas de agregados finos. Este facto exerce uma forte influência na auto-compactabilidade.

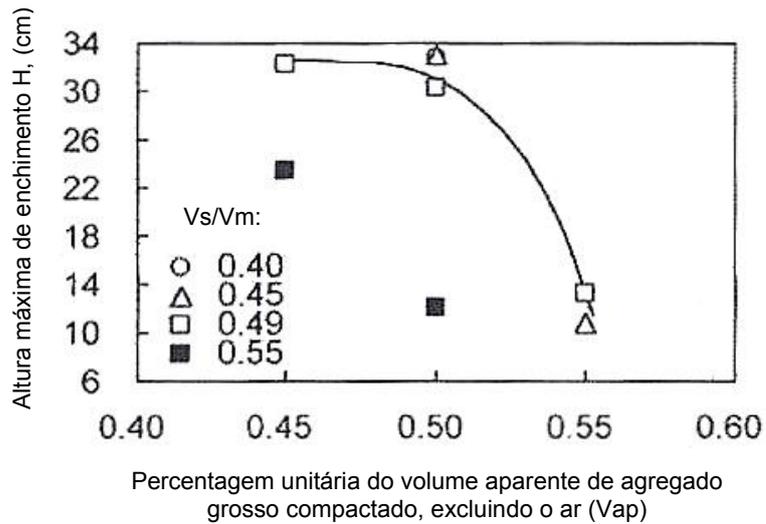


Figura 6.2 – Vap versus altura máxima de enchimento no ensaio da Caixa [15]

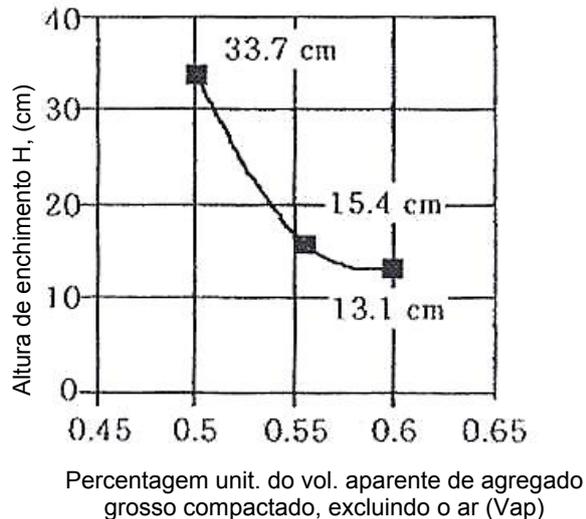


Figura 6.3 – Vap versus altura de enchimento no ensaio da Caixa [34]

Volume de agregado fino

O volume absoluto de agregados finos (V_s) é fixado em 40% do volume de argamassa resultante para o betão, uma vez fixado o volume absoluto de agregados grossos (V_g) e excluído o volume de ar (V_v). Para este fim, todas as partículas maiores que 0,09 mm são consideradas como agregado, enquanto que todas as partículas inferiores a 0,09 mm são contabilizadas como material fino. Isto significa que fazem parte do agregado fino apenas as partículas cuja dimensão está compreendida entre 0,09 mm e 5 mm.

Através da distribuição granulométrica do agregado fino, é possível quantificar a percentagem do volume de material fino presente no agregado fino. O volume absoluto de agregado fino (V_s) a utilizar na mistura é determinado pela Equação 6.2.

$$V_s = \frac{0,40 \times (1 - V_v - V_g)}{1 - K_{sf}} \quad (6.2)$$

Onde:

V_s é o volume de agregado fino na mistura, em m^3/m^3 ;

V_v é o volume de ar previsto para a mistura, em m^3/m^3 ;

V_g é o volume de agregados grossos na mistura, em m^3/m^3 ;

K_{sf} é a percentagem unitária do volume de material fino presente na unidade de volume do agregado fino.

A quantidade de agregado fino é considerada crítica e depende em certa medida da forma das partículas, da distribuição das dimensões do agregado e das propriedades do cimento. Se a quantidade for muito alta, as partículas de agregado fino irão interferir umas com as outras durante o escoamento e causar bloqueio. Se for muito baixa, a quantidade necessariamente alta resultante do cimento e da água poderá ser prejudicial para as propriedades do betão endurecido [11, 35].

Trabalhos realizados por Edamatsu et al. [15] mostraram que, para um valor da percentagem unitária do volume aparente de agregado grosso compactado da ordem de 0,50, a necessária altura de enchimento que garante a auto-compactabilidade ($H \geq 30$ cm) é obtida para valores de (V_s/V_m) iguais ou inferiores a 0,45, conforme se ilustra na Figura 6.4 [15]. Este facto indicia claramente que a adopção de valores de $V_s/V_m = 0,40$, propostos no método geral, podem ser considerados como conservadores à luz destes resultados.

Os trabalhos realizados por Edamatsu et al. [15] confirmam mais uma vez a necessidade de se conciliar o volume de agregados grossos no betão (V_g) com o volume de agregados finos na argamassa (V_s/V_m). Por outras palavras, o volume de agregados

grossos que conduz às propriedades de auto-compactabilidade pretendidas não poderá ser determinado independentemente do traço da argamassa que constitui a matriz.

A Figura 6.4 indicia ainda que, independentemente do valor adoptado para a razão V_s/V_m , existirá um valor máximo para a percentagem unitária do volume aparente de agregado grosso compactado a partir do qual se deixa de verificar o critério estabelecido para a auto-compactabilidade.

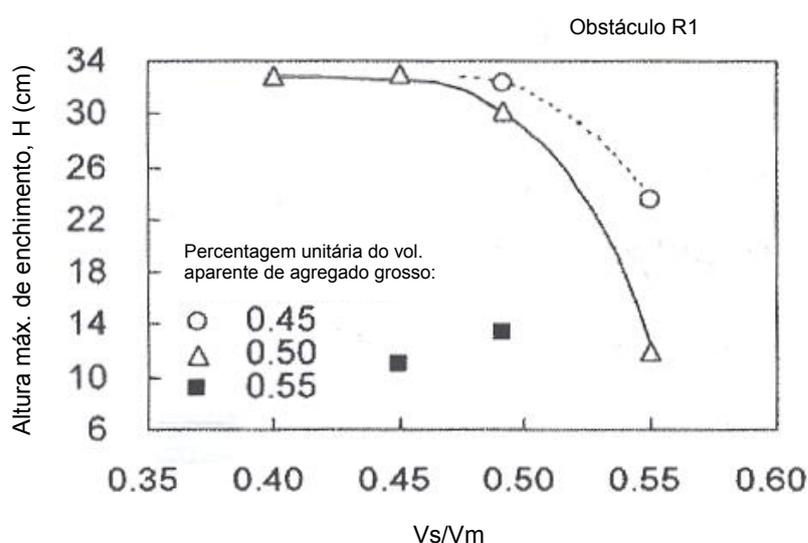


Figura 6.4 – Relação entre V_s/V_m e a altura máxima de enchimento na Caixa [15]

Razão volumétrica água/finos e dosagem de superplastificante

Em resultado da abordagem proposta no método geral, contrariamente ao que sucedia no processo de cálculo de betões correntes, a razão água/cimento não pode ser estabelecida como parâmetro essencial de base para o cálculo da composição da mistura, uma vez que a razão volumétrica água/finos será ditada basicamente pelas exigências relativas à obtenção da auto-compactabilidade. Nesta medida, a única forma de controlar a resistência à compressão resulta da combinação de diferentes materiais finos.

Devido ao elevado número de parâmetros a conciliar no cálculo da composição e à dificuldade de se produzirem modelos que contabilizem correctamente a influência de cada um desses parâmetros, por exemplo, quando se varia o fornecimento de materiais constituintes de local para local, o método geral preconiza que a melhor combinação entre a

razão volumétrica água/finos (V_w/V_p) e a dosagem de superplastificante (Sp/p) seja determinada a partir de ensaios em argamassas, visando a obtenção de determinados parâmetros reológicos previamente estabelecidos.

Os parâmetros reológicos das argamassas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis foram estabelecidos no método geral tendo por base medições efectuadas com o ensaio de espalhamento e com ensaio de fluidez (Funil-V). O ensaio de espalhamento da argamassa é realizado num molde tronco-cónico de dimensões reduzidas, enquanto que o ensaio de fluidez é realizado num funil de faces planas. As dimensões interiores destes equipamentos são indicadas na Figura 6.5.

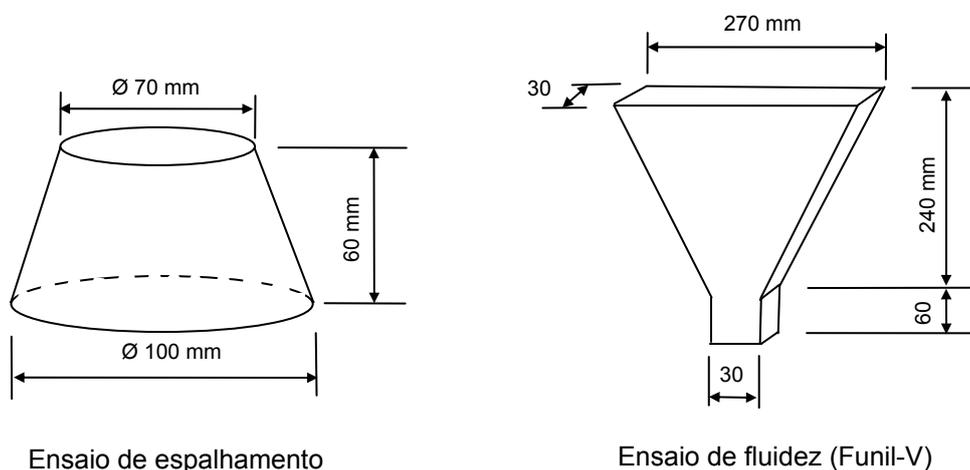


Figura 6.5 – Dimensões dos ensaios de espalhamento e de fluidez para argamassas [11]

No ensaio de espalhamento, o molde tronco cónico é assente sobre uma superfície plana, lisa e nivelada e é cheio com argamassa, sem qualquer vibração. O cone é de seguida levantado e a argamassa espalha-se descrevendo aproximadamente um círculo. Após cessar o movimento medem-se dois diâmetros sensivelmente perpendiculares entre si e calcula-se o seu valor médio (D_m), o qual constitui o resultado do ensaio.

No ensaio de fluidez, o funil é nivelado convenientemente e é cheio com argamassa sem exercer qualquer vibração. A comporta colocada na base do funil é aberta e nesse instante dá-se início à medição do tempo de escoamento. O tempo de escoamento termina

quando, observando o interior do funil de cima para baixo, surgir o primeiro raio de luz. O tempo de escoamento, expresso em segundos, constitui o resultado deste ensaio.

As medições do diâmetro de espalhamento final e do tempo de escoamento no “Funil-V” são convertidas, respectivamente, em área relativa de espalhamento (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm) do seguinte modo:

$$G_m = \left(\frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (6.3)$$

Onde:

D_m é o valor médio do diâmetro de espalhamento,

D_0 é o diâmetro inicial na base do cone

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (6.4)$$

Onde:

t = tempo de escoamento no Funil-V, expresso em segundos

A razão volumétrica água/finos (V_w/V_p) e a dosagem de superplastificante (S_p/p) da argamassa são ajustadas experimentalmente até que se obtenha simultaneamente os valores de $G_m = 5$ e $R_m = 1$. Em termos práticos, o parâmetro G_m representa a capacidade de deformação da argamassa, enquanto que o parâmetro R_m representa a sua velocidade de deformação. Mediante determinadas condições do escoamento (ausência de segregação e bloqueio da mistura no Funil-V), os parâmetros G_m e R_m apresentam uma boa correlação com os parâmetros reológicos, respectivamente, tensão de corte e viscosidade plástica [13].

Ambos os ensaios pretendem avaliar as propriedades da argamassa supondo que esta se comporta como um fluido viscoso homogêneo [11]. Esta estimativa pode ser considerada razoável quando a quantidade de agregado fino na argamassa não é muito elevada e a influência da interacção entre as partículas de agregado fino é desprezável para as características do escoamento da argamassa [11]. Contudo, quando a quantidade de

agregado fino na argamassa excede um valor particular, a interacção entre os agregados finos não é desprezável e o comportamento do escoamento da argamassa é fortemente influenciado [11]. Deste ponto de vista, estes métodos de ensaio podem ser também úteis para avaliar a quantidade adequada de agregado fino de forma a evitar uma interacção forte entre as partículas e de modo a proporcionar alta deformabilidade para o betão auto-compactável [11].

Desenvolvimentos posteriores ao método geral, realizados por Ouchi et al. [51], viriam a estabelecer um método mais racional, baseado em ensaios experimentais sobre argamassas utilizando os ensaios de espalhamento e de fluidez, para determinar os valores de (Sp/p) e de (Vw/Vp) que conduzem à obtenção dos valores pretendidos para os parâmetros G_m e R_m . Este método será convenientemente descrito no Sub-Capítulo 6.3 que posteriormente se apresentará.

Na abordagem proposta no método geral, uma vez definidos os parâmetros adequados das argamassas, procede-se à execução de amassaduras experimentais em betão para confirmação dos valores referentes aos parâmetros reológicos e aos requisitos funcionais da auto-compactabilidade. Os parâmetros reológicos são avaliados mediante a execução do ensaio de espalhamento e de fluidez para o betão, cujas dimensões são apresentadas na Figura 6.6. O procedimento de execução destes ensaios é em tudo semelhante aquele descrito para os respectivos ensaios em argamassas.

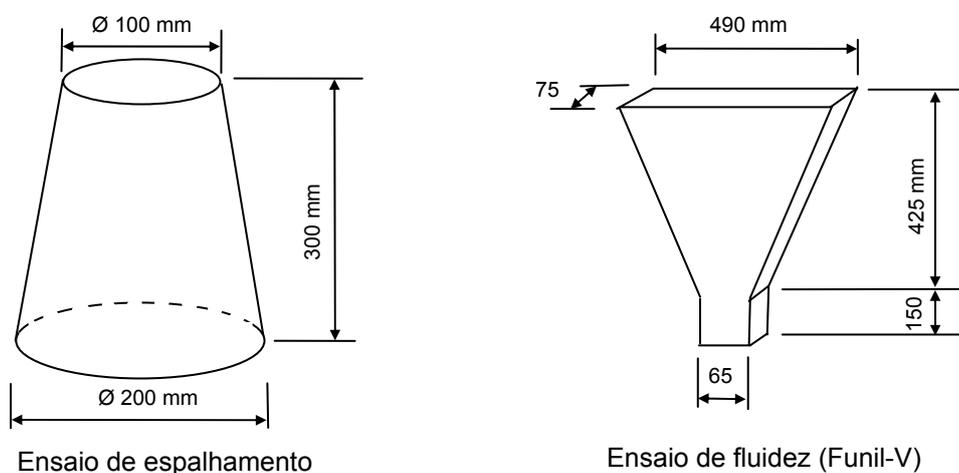


Figura 6.6 – Dimensões dos ensaios de espalhamento e de fluidez para betão [11]

Um diâmetro médio de espalhamento da ordem de 650 ± 50 mm é considerado satisfatório para que seja cumprido o critério quanto à capacidade de deformação, e se necessário a dosagem de superplastificante no betão poderá ser ajustada até que este valor seja alcançado. Por sua vez, o tempo de escoamento no “Funil-V” deverá situar-se entre os 10 e os 20 segundos para que seja cumprido o critério quanto à velocidade de deformação.

Os requisitos funcionais quanto à auto-compactabilidade são avaliados mediante a execução do ensaio da “Caixa-U”, cujas dimensões e procedimentos de ensaio foram já descritos no Capítulo 4. Para que seja cumprido o critério de auto-compactabilidade, a altura de enchimento (H), medida na Caixa-U, deverá ser igual ou superior a 300 mm.

6.3 – Modificações e desenvolvimentos do método geral

Tem havido várias modificações e desenvolvimentos do método geral objectivando a produção de misturas que sejam mais eficientes em termos de quantidade de pasta, e que sejam aplicáveis a uma vasta gama de materiais [11].

Universidade de Tóquio

Ouchi et al. [51] propuseram a adopção de um método mais racional para facilitar a determinação da combinação adequada entre a razão água/finos (V_w/V_p) e a dosagem de superplastificante (S_p/p), que conduzem aos valores de G_m e R_m pretendidos para a argamassa. Neste procedimento, os valores de G_m e de R_m adquirem o mesmo significado já descrito para o método geral. Os autores propõem a adopção de valores de $G_m=5$ e $R_m=1$ para as argamassas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis.

A análise extensiva efectuada por Ouchi et al. [51] permitiu constatar que, para cada combinação particular de G_m e R_m , existe uma única solução para os valores de V_w/V_p e S_p/p , quando se utilizam os mesmos materiais, a mesma proporção de materiais finos e se mantém constante V_s/V_m . Os resultados obtidos mostraram no entanto que existe um padrão de comportamento comum a todas as misturas, no que respeita à forma das correlações entre os parâmetros G_m e R_m , independentemente da natureza e proporções

dos materiais finos, superplastificante usado ou razão V_s/V_m . Concretamente, os autores constataram que existe uma relação linear entre G_m e R_m , com a recta passando pela origem, quando se mantém constante o valor de Sp/p e se faz variar V_w/V_p . Por outro lado, quando se mantém constante a razão V_w/V_p e se faz variar Sp/p , a relação entre G_m e R_m assume a seguinte expressão: $R_m = AxG_m^{0,4}$.

Uma vez conhecida a forma geral das equações de correlação, o seu traçado poderá ser efectuado para cada situação particular, mediante a realização de um número reduzido de ensaios experimentais. Isto significa que os valores de V_w/V_p e Sp/p poderão ser determinados isoladamente para cada situação particular, uma vez definida a natureza e proporções dos materiais finos, o superplastificante a usar e a razão V_s/V_m da argamassa.

Para cada valor assumido para Sp/p , a relação G_m/R_m será constante, independentemente de V_w/V_p . A relação entre G_m/R_m e Sp/p é ilustrada na Figura 6.7 [51]. Desta forma, se a relação G_m/R_m for determinada experimentalmente para pelo menos três valores diferentes de Sp/p , adoptando um valor constante para V_w/V_p , de tal forma que exista sensibilidade à variação da dosagem de superplastificante ao efectuar os ensaios de espalhamento e de fluidez, será possível desenhar uma regressão linear semelhante àquela ilustrada na Figura 6.7. Traçada a regressão linear, o valor de Sp/p que conduz à relação G_m/R_m pretendida é facilmente determinado. Note-se que $G_m=5$ e $R_m=1$, logo $G_m/R_m= 5$.

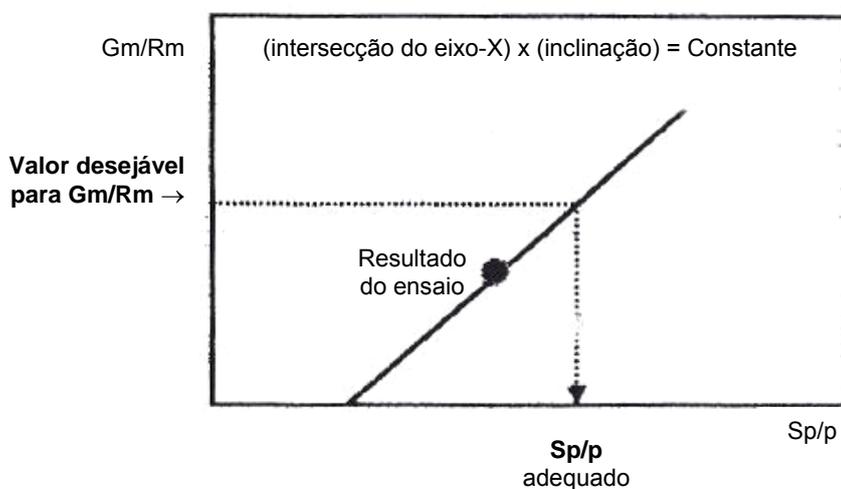


Figura 6.7 – Relação entre Sp/p e a razão G_m/R_m [51]

No caso da quantificação da razão V_w/V_p , a situação resulta aparentemente mais complexa. A relação entre os parâmetros G_m e R_m , quando se mantém V_w/V_p constante, independentemente do valor assumido para Sp/p , é ilustrada na Figura 6.8. A introdução do coeficiente “A” ($A=R_m/G_m^{0.4}$) permitiu estabelecer uma relação linear entre este valor (A) e a razão V_w/V_p [51]. Em consequência, similarmente ao procedimento descrito para a determinação de Sp/p , se forem adoptados pelo menos três valores diferentes para V_w/V_p , assumindo Sp/p constante (determinado na fase anterior), e se forem ensaiadas as respectivas argamassas para determinar a relação $(R_m/G_m^{0.4})$, facilmente se constrói a regressão linear ilustrada na Figura 6.8. A partir da regressão linear e conhecido o valor pretendido para o coeficiente “A” ($1/5^{0.4} \approx 0,5253$) determina-se a razão V_w/V_p adequada.

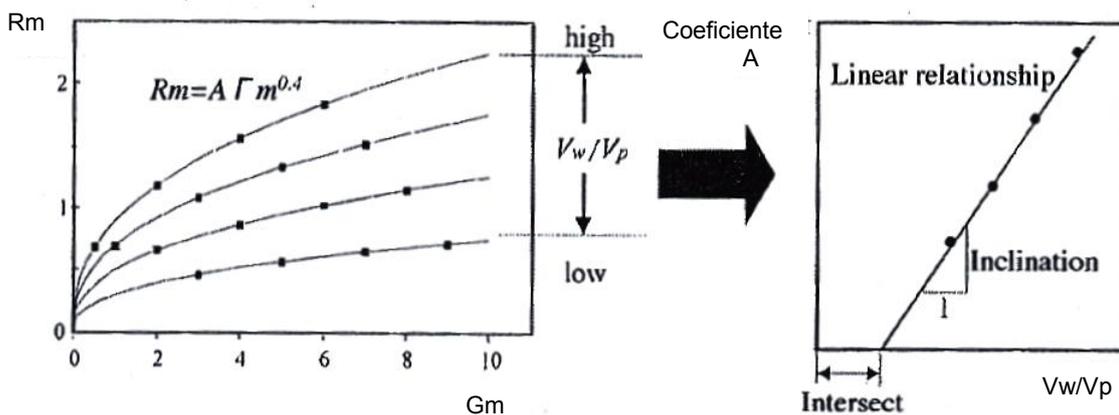


Figura 6.8 – Relação entre G_m e R_m com V_w/V_p constante [51]

Importa por último acrescentar que não existe nenhuma indicação de que esta metodologia seja aplicável a misturas contendo agentes de viscosidade [11].

Kochi University of Technology / Sumitomo Osaka Cement Co

Edamatsu, Nishida e Ouchi [14] desenvolveram um método para determinar a razão adequada entre o volume de agregado fino e o volume de argamassa (fixada em 0,40 no método geral), utilizando agregados finos com partículas de diferentes formas e diferente distribuição granulométrica e ainda diferentes combinações de materiais finos.

Para simular a interacção entre a matriz argamassa e o agregado grosso foram utilizadas esferas de vidro com 10 mm de diâmetro. Neste estudo, a velocidade relativa de escoamento foi avaliada utilizando o ensaio do “Funil-V” para argamassas [14].

A razão entre a velocidade relativa de escoamento da argamassa no “Funil-V”, com e sem 25% em volume de esferas de vidro, evidenciou uma boa correlação com a altura de enchimento do betão medido no ensaio da “Caixa-U”. Os autores concluíram que esta razão constitui um bom índice para avaliar a interacção argamassa/agregado. Em consequência, pode ser estabelecido o valor desta razão que conduz à necessária altura de enchimento de modo a que esta possa ser usada no processo de cálculo [14].

A relação entre esta razão e a quantidade de agregado fino na argamassa foi obtida usando diferentes associações de materiais finos, incluindo cimento Portland, pó de calcário, escórias granuladas e cinzas volantes. A partir dos resultados obtidos, a quantidade de agregado fino na argamassa pode ser facilmente determinada para os materiais finos estudados. Os autores verificaram que a razão óptima entre o volume de agregado fino e o volume de argamassa é frequentemente superior a 0,40. Isto significa que a quantidade de pasta poderá ser reduzida em comparação com o método geral [14].

Importa salientar que na abordagem aqui descrita, será necessário avaliar a razão entre as velocidades relativas de escoamento da argamassa, com e sem 25% em volume de esferas de vidro, e estabelecer a sua relação com a dosagem de agregado fino na argamassa, sempre que se alteram os materiais finos ou as suas proporções. Nesta medida, a aplicação desta metodologia poderá resultar pouco prática para aplicação corrente, atendendo ao facto de que os materiais constituintes poderão variar localmente.

Um outro aspecto que poderá dificultar a aplicação desta metodologia está relacionado com a influência que a dosagem e características dos agregados grossos exerce na auto-compactabilidade. Mais concretamente, alguns estudos têm evidenciado a necessidade de se conciliar a dosagem de agregados finos na argamassa com a dosagem de agregados grossos no betão para se obter a satisfatória auto-compactabilidade [15]. Isto poderá significar que a metodologia aqui descrita é válida quando o volume de agregados

grossos no betão é mantido constante. Entretanto, outros estudos sugerem que a dosagem de agregado grosso poderá ser superior àquela adoptada no método geral [77], tendo em vista a redução do volume de pasta e a consequente redução de custos. Neste caso, antevê-se que qualquer alteração na dosagem de agregados grossos exija igualmente modificações nas relações entre a razão proposta e a altura de enchimento na “Caixa-U”.

Delft University

Ao resumir o estado da arte, Domone [11] refere trabalhos realizados por Pelova et al. [52] onde, utilizando uma máxima dimensão de partículas de 16 mm, os autores concluíram que o volume absoluto de agregado grosso a utilizar no betão auto-compactável poderá ser satisfatoriamente aumentado até 60% do volume aparente compactado do agregado grosso no estado seco. Este valor corresponde ao ponto a partir do qual o grau máximo de compacidade da mistura de agregado foi obtido. Com esta quantidade de agregado, a quantidade de pasta necessária foi cerca de 10% inferior em comparação com aquela obtida usando o método geral, conduzindo a uma mistura mais eficiente do ponto de vista económico. No restante, o método geral mostrou-se aplicável aos materiais usados.

Note-se que, em comparação com o método geral, a máxima dimensão do agregado grosso foi reduzida de 20 para 16 mm, permitindo desta forma que o volume deste agregado fosse aumentado sem que ocorresse bloqueio da mistura. Por outro lado, os valores da dosagem de agregado grosso propostos no método geral são manifestamente conservadores, objectivando garantir a obtenção da auto-compactabilidade mesmo perante pequenas alterações da mistura. Nestas circunstâncias, será de admitir que a dosagem de agregados grossos possa apresentar valores superiores àqueles propostos no método geral.

University College London

Domone [11] descreve uma outra contribuição para o método geral, onde participou como co-autor. Concretamente, o autor refere-se a um programa laboratorial extensivo [12] de onde resultou a sugestão dos valores limite que se apresentam no Quadro 6.1, para

betões sem agentes de viscosidade, mas com a opção de dois tamanhos de agregado (britado) rolado irregular. As principais diferenças face ao método geral são: um aumento da razão entre o volume de agregado fino e o volume de argamassa e, tal como sugeriu Pelova et al. [52], um aumento do volume de agregados grossos com a redução da sua máxima dimensão.

Quadro 6.1 – Limites para betões sem agentes de viscosidade [11, 12]

	Tamanho do agregado 5-20 mm		Tamanho do agregado 5-10 mm	
	W/P	Vs/Vm	W/P	Vs/Vm
Dosagem de agregado grosso (kg/m ³)	0,5 x Baridade do agregado* * (no vol. unitário excluindo o vol. de ar)		0,5-0,54 x Baridade do agreg.* * (no vol. unitário excluindo o vol. de ar)	
Dosagem máxima de água (kg/m ³)	200		200	
Razão água/finos em massa (W/P)	0,28-0,40		0,28-0,50	
Água/(finos+agregados finos)	0,12-0,14		0,12-0,17	
Volume de pasta (m ³ /m ³ de betão)	0,38-0,42		0,38-0,42	
Volume de agregado fino/ volume de argamassa (Vs/Vm)	<0,3	0,40	<0,3	0,40
	0,3-0,34	0,40-0,45	0,3-0,34	0,40-0,45
	0,34-0,40	0,45-0,47	0,34-0,40	0,45-0,47
	0,40-0,50	Do not use	0,40-0,50	> 0,45

O método é implementado adoptando um procedimento “passo-a-passo”. A razão máxima água/finos controla a resistência à segregação e é estabelecida mediante ensaios realizados com a pasta utilizando o ensaio de espalhamento (Slump-flow). O método é aplicável para misturas de materiais finos contendo adições de cinzas volantes, escória granulada e/ou filer calcário.

A composição é optimizada com o auxílio de ferramentas informáticas, objectivando o menor consumo de materiais finos e utilizando como ponto de partida os valores indicados no Quadro 6.1. As exigências para outras propriedades do betão podem também ser incorporadas na análise. Por exemplo, a resistência à compressão pretendida pode ser formulada usando a equação modificada de Feret, que mostrou ser aplicável a materiais do Reino Unido [11]. A dosagem de superplastificante é obtida a partir de ensaios em argamassas utilizando os ensaios de espalhamento e de fluidez, como no método geral.

A amassadura do betão resultante é ensaiada para determinar o diâmetro médio de espalhamento (Slump-flow), o tempo de escoamento no “Funil-V” e altura de enchimento na “Caixa-U”. Se necessário, a mistura é ajustada até que os valores indicados no Quadro 6.2 sejam obtidos.

Quadro 6.2 – Valores de referência para a auto-compactabilidade [11, 12]

Máxima dimensão do agregado (D _{máx.})	Diâmetro de espalhamento (D _m)	Tempo no Funil-V (t)	Altura na Caixa-U (H)
20 mm	650-700 mm	4-10 seg.	300-350 mm
10 mm	600-700 mm	2-4 seg.	300-350 mm

6.4 – Método proposto pela JSCE

O procedimento de cálculo das proporções da mistura de betões auto-compactáveis proposto pela Sociedade Japonesa de Engenharia Civil (JSCE) em Julho de 1998 pode ser implementado mediante a adopção do procedimento “passo-a-passo” que se apresenta esquematicamente na Figura 6.9 [11, 35].

O método preconizado pela JSCE é o único que lida explicitamente com a possibilidade de se utilizar um agente de viscosidade. No cálculo das proporções da mistura utilizando este procedimento “passo-a-passo”, a dosagem unitária de água, a razão água/finos (ou razão água/ligante) e a dosagem unitária de materiais finos (ou dosagem unitária de ligante) variam dependendo do facto de ser ou não usado um agente de viscosidade [35]. Por outro lado, quando é usado um agente de viscosidade, as proporções da mistura poderão ainda variar em função da natureza do agente de viscosidade seleccionado, conforme se indica no Quadro 6.3. A este respeito, Domone [11] refere que, em geral, a introdução de um agente de viscosidade conduz a misturas com quantidades de água maiores e quantidades de materiais finos menores, em comparação com os betões sem agentes de viscosidade.

Na abordagem proposta pela JSCE são estabelecidos três níveis de requisitos funcionais para as propriedades do betão no estado fresco, a que correspondem três níveis de auto-compactabilidade. O nível de auto-compactabilidade adequado é seleccionado em

função do nível de desempenho pretendido para o betão, o qual depende das exigências específicas de cada elemento a betonar, nomeadamente, aquelas impostas pela forma e dimensão das cofragens e pela densidade e disposição da armadura dos elementos estruturais. No Quadro 6.4 apresenta-se de forma resumida, para cada um dos níveis de auto-compactabilidade, as condições estruturais correspondentes e os critérios a respeitar em termos da composição e dos resultados de alguns ensaios do betão no estado fresco. A situação mais corrente em termos de espaçamento entre varões e densidade de armadura corresponde ao nível 2 de auto-compactabilidade descrito no Quadro 6.4

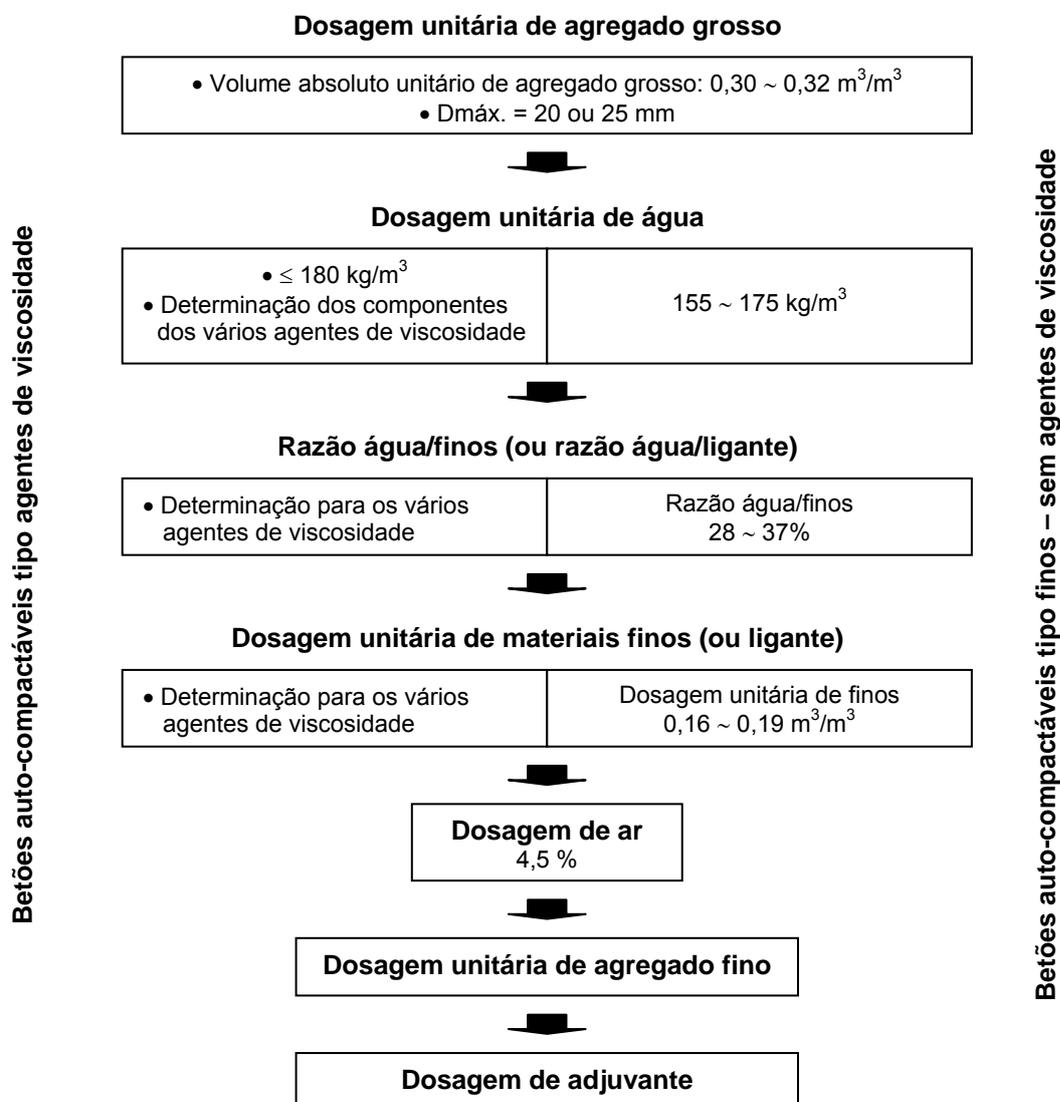


Figura 6.9 – Representação esquemática do método proposto pela JSCE [35]

Quadro 6.3 – Síntese do método proposto pela JSCE [11, 35]

Factor	Sem agente de viscosidade	Tipo de agente de viscosidade			
		Celuloso	Acrílico	Glicol	Polissacáridos
Agregados grossos	0,30 – 0,32 m ³ /m ³ (Nota 1)				
Água (Nota 2)	155 – 175 kg/m ³	170 – 180 kg/m ³		155 – 170 kg/m ³	
Água/Finos (Nota 3)	0,28 – 0,37 em massa	Depende das propriedades pretendidas para o betão endurecido			
Finos (Nota 4)	0,16 – 0,19 m ³ /m ³	300 – 450 kg/m ³	400 – 450 kg/m ³	400 – 480 kg/m ³	> 0,13 m ³ /m ³
Ar	Normalmente 4,5 % (Nota 5)				
Agregados finos	Mediante o cálculo a partir das quantidades de agregado grosso, água, materiais finos e quantidade de ar				
Super-plastificante	A partir da experiência do passado ou informação do fabricante				
Agente de viscosidade		0,15 – 0,30 % da massa de água	3 – 5 % da massa de água	2 – 3 % da massa de água	0,05 % da massa de água

Nota 1: Pode ser superior se for exigido um menor grau de auto-compactabilidade (por exemplo como definido no ensaio Caixa-U);
Nota 2: Se a durabilidade não for uma preocupação principal, a quantidade de água pode subir até 190 kg/m³;
Nota 3: Se não for alcançada a necessária auto-compactabilidade, adiciona-se mais ligante para reduzir a razão água/finos;
Nota 4: Esta quantidade é calculada a partir da dosagem de água e da razão água/finos. Os valores fornecidos são valores típicos;
Nota 5: Este valor depende da máxima dimensão do agregado, resistência necessária e condições de exposição ambiental.

Quadro 6.4 – Níveis de auto-compactabilidade e requisitos funcionais [35]

Nível de Auto-compactabilidade		1	2	3
Condições estruturais	Espaçamento mínimo entre varões, em mm	35 a 60	60 a 200	≥ 200
	Densidade de armadura nos elementos estruturais, em kg/m ³	≥ 350	100 a 350	≤ 100
Altura de enchimento no ensaio da “Caixa-U” ou “Caixa” (H), em mm		≥ 300 Obstáculo R1	≥ 300 Obstáculo R2	≥ 300 Obstáculo R3
Volume de agregado grosso, por unidade de volume de betão (Vg), em m ³ /m ³		0,28 a 0,30	0,30 a 0,33	0,32 a 0,35
Diâmetro médio de espalhamento do betão no ensaio “Slump-flow” (Dm), em mm		600 a 700	600 a 700	500 a 650
Resistência à segregação	Tempo de escoamento no ensaio de fluidez do betão (t), em segundos	9 a 20	7 a 13	4 a 11
	Tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de espalhamento de 500 mm (T50), em segundos	5 a 20	3 a 15	3 a 15

As proporções da mistura, por metro cúbico de betão, são obtidas mediante a implementação do processo “passo-a-passo” ilustrado na Figura 6.9. As diferentes etapas que compõem esse processo podem ser descritas do seguinte modo [35]:

Volume de agregado grosso

O volume absoluto de agregado grosso poderá ser ajustado em função do nível de auto-compactabilidade desejado, conforme se definiu no Quadro 6.4 e se ilustra na Figura 6.10. Por outro lado, o método da JSCE assume como premissa que a máxima dimensão das partículas de agregado grosso não deverá ultrapassar os 20 mm ou 25 mm de forma a assegurar a adequada auto-compactabilidade em estruturas de betão armado, nomeadamente no que diz respeito à capacidade de passagem em aberturas estreitas [35].

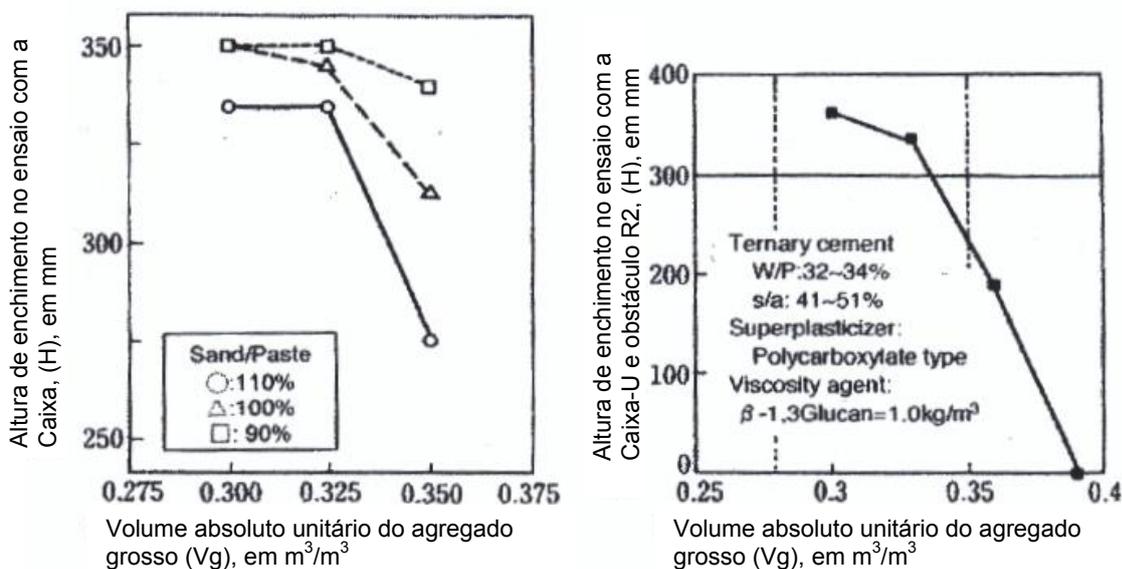


Figura 6.10 – Volume de agregado grosso versus auto-compactabilidade [35]

Volume de água

Se for usado um agente de viscosidade, a dosagem unitária de água deverá ser igual ou inferior a 180 kg/m³ em condições de exposição ambiental normais [35]. No caso de estruturas em que a durabilidade não é uma preocupação fundamental, a dosagem unitária de água poderá ir até aos 190 kg/m³ [35]. Se o agente de viscosidade usado for à base de celulose ou acrílico, a dosagem unitária de água situa-se tipicamente entre os 170 kg/m³ e os 180 kg/m³ [35]. Para agentes de viscosidade à base de glicol, este valor situar-se-á geralmente entre os 155 kg/m³ e os 170 kg/m³ [35]. Quando não for usado nenhum agente de viscosidade, a dosagem padrão deve situar-se entre os 155 kg/m³ e os 175 kg/m³ [35].

Razão água/ligante e razão água/finos

As razões água/ligante ou água/finos deverão ser determinadas em função do desempenho desejado para o betão endurecido. Se a auto-compactabilidade pretendida não for alcançada, deve ser adicionado mais ligante para reduzir a razão água/ligante [35]. Nos casos em que não são usados agentes de viscosidade, a razão água/finos deverá situar-se entre os 28% e os 37% (em massa) ou entre 0,85 e 1,15 (em volume) [35].

Dosagem unitária de ligante e dosagem unitária de materiais finos

A dosagem unitária de ligante deverá ser determinada a partir dos valores estabelecidos nas fases anteriores para a dosagem de água e razão água/ligante [35].

No caso de ser usado um agente de viscosidade à base de polímeros polissacarídeos ou à base de polissacarídeos solúvel em água (“welan gum”), o volume unitário de materiais finos deverá ser igual ou superior a $0,13 \text{ m}^3/\text{m}^3$ [35]. Os valores típicos das dosagens de materiais finos quando se utilizam agentes de viscosidade à base de celulose, acrílicos e glicol situam-se, respectivamente, nos seguintes intervalos: 300-450 kg/m^3 , 400-450 kg/m^3 e 400-480 kg/m^3 [35].

Se não forem usados agentes de viscosidade, o valor unitário padrão do volume de materiais finos deve situar-se entre 0,16 - 0,19 m^3/m^3 [35].

Volume de ar

O volume de ar deverá ser determinado tendo em consideração a máxima dimensão do agregado grosso, a resistência necessária e as condições de exposição ambiental às quais a estrutura estará exposta. O valor padrão situa-se em 4,5% [35].

Dosagem unitária de agregado fino

A dosagem unitária de agregado fino deve ser calculada a partir dos valores já conhecidos para o volume unitário de agregado grosso, volume unitário de água, volume unitário de materiais finos e volume de ar fixado para a mistura [35].

Dosagem de adjuvante

A dosagem de adjuvante (superplastificante ou agente de viscosidade) deve ser determinada com base em experiências anteriores ou recomendações dos fabricantes [35].

As experiências anteriores indicam que a quantidade de agente de viscosidade se situa normalmente entre 0,15% e 0,3% da dosagem unitária de água para os agentes à base de celulose; 3,0% a 5,0% para os do tipo acrílico; 2,0% a 3,0% para os do tipo glicol e 0,05% para os agentes à base de polissacarídeos solúveis em água [35]. Para os agentes à base de polímeros polissacarídeos, têm sido utilizados geralmente 0,5 a 1,5 kg/m³ [35].

6.5 – Método proposto pelo CBI

O método de estudo da composição de betões auto-compactáveis proposto pelo CBI (“Swedish Cement and Concrete Research Institute”) assenta numa nova abordagem face aos métodos anteriormente descritos (método geral e método da JSCE), cuja principal diferença reside na forma como determina a dosagem de agregados finos e grossos e conseqüentemente, pela forma como determina a dosagem de pasta da mistura [11]. Existem outras diferenças relativamente à determinação das dosagens de água e de superplastificante, ou ainda, nos ensaios realizados em argamassas e betões [11].

Os estudos que conduziram ao método preconizado pelo CBI foram desenvolvidos por Petersson (CBI), Billberg (CBI) e Van Bui [56, 57] em 1996, tendo por base os estudos prévios realizados por Van Bui e Tangtermsirikul [80], objectivando a determinação da proporção óptima da fase agregado [5, 79]. No método do CBI o betão é assumido como sendo constituído basicamente por duas fases, nomeadamente, a “fase líquida” e a “fase sólida”. A “fase sólida” incorpora os agregados finos e grossos, enquanto que a “fase líquida” inclui os materiais finos (cimentos e adições minerais), água, adjuvantes e um determinado volume de ar. Por outras palavras, a “fase sólida” inclui os agregados, enquanto que a “fase líquida” inclui a pasta.

Subjacente à evolução do método do CBI esteve presente a obtenção de misturas com boa eficiência económica a par das adequadas propriedades mecânicas e durabilidade.

Uma das formas de alcançar a desejada eficiência económica é minimizando o volume de pasta, o qual representa a maior fatia do custo da matéria-prima presente numa composição de betão auto-compactável. No método do CBI a redução do volume de pasta ao mínimo necessário faz-se pela optimização da fase sólida (agregados). Essa optimização passa pela determinação da proporção óptima entre os agregados finos e grossos e determinação da dosagem total de agregados da mistura que conduzem ao menor volume de pasta sem ocorrência de bloqueio do betão na passagem pelas armaduras, baseando-se para tal, na utilização conjugada do conceito da máxima distância inter-partículas e do “critério de bloqueio” [11, 56, 57, 79]. A Figura 6.11 ilustra esquematicamente o método proposto pelo CBI [45].

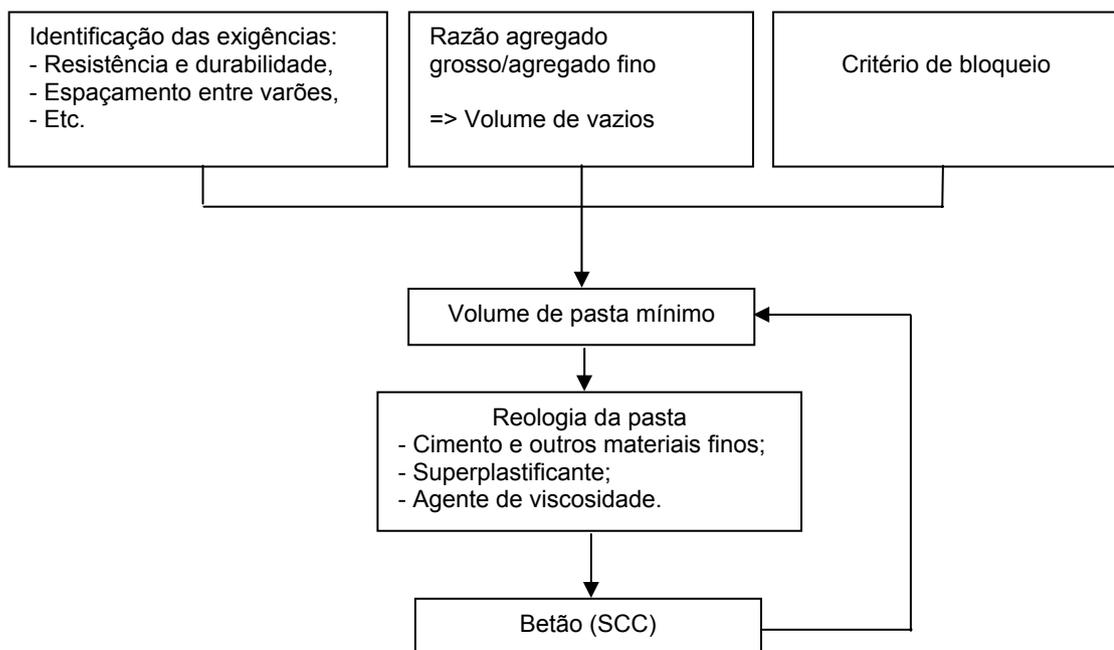


Figura 6.11 – Método proposto pelo CBI [45]

O conceito de máxima distância inter-partículas, baseado na teoria dos vazios da fase sólida e na superfície específica dos agregados, é utilizado para seleccionar a razão óptima agregado grosso/agregado fino, conhecido o volume de pasta, a distribuição granulométrica dos agregados e o volume de vazios da matriz do total de agregados no

estado compactado [11, 56, 57, 79]. Isto significa que, para cada volume de pasta, existirá uma razão óptima agregado grosso/agregado fino que conduz à máxima distância entre as superfícies das partículas e, em consequência, conduz a uma maior deformabilidade e capacidade de passagem, em resultado do menor atrito entre as partículas de agregado.

O critério de bloqueio para a fase agregado, permite determinar o volume total de agregado máximo admissível para a mistura (ou volume mínimo de pasta) de forma a obter-se a adequada auto-compactabilidade sem causar bloqueio, uma vez conhecido o tipo e proporções entre os agregados finos e grossos, a máxima dimensão dos agregados e a sua distribuição granulométrica. Para além disso, o modelo desenvolvido inclui as condições exteriores, como sejam, o diâmetro e o espaçamento entre varões por onde o betão terá de passar sem bloqueio [11, 56, 57, 79].

Razão óptima agregado grosso / total de agregado

A maior ou menor capacidade de deformação do betão e a sua maior ou menor resistência ao bloqueio dependem fortemente do atrito entre as partículas de agregado [79]. Por outro lado, esse atrito está directamente associado à distância média inter-partículas, a qual poderá variar com a dosagem de pasta incorporada nos betões e com a forma e distribuição granulométrica do total de agregados do betão [79].

Para cada mistura de agregados em particular, existirá um determinado volume de vazios e uma determinada superfície específica que lhe estão associados. Por outras palavras, a razão agregado grosso/agregado fino afecta o volume de vazios e a superfície específica da fase sólida (agregados). Note-se ainda que duas misturas de agregados com o mesmo volume de vazios, podem apresentar diferentes superfícies específicas.

O volume de pasta a incorporar nos betões será o necessário para preencher todos os vazios e para envolver todas as superfícies das partículas de agregado [79]. Deste modo, para pastas da mesma qualidade, quanto maiores forem o volume de vazios e a superfície específica, maior será a quantidade de pasta necessária para manter o mesmo nível de deformabilidade do betão [79].

No método do CBI, a distância média entre as superfícies das partículas de agregado (D_{ss}) é calculada pelo dobro da espessura média da camada de pasta que reveste as partículas, conforme se ilustra esquematicamente na Figura 6.12.

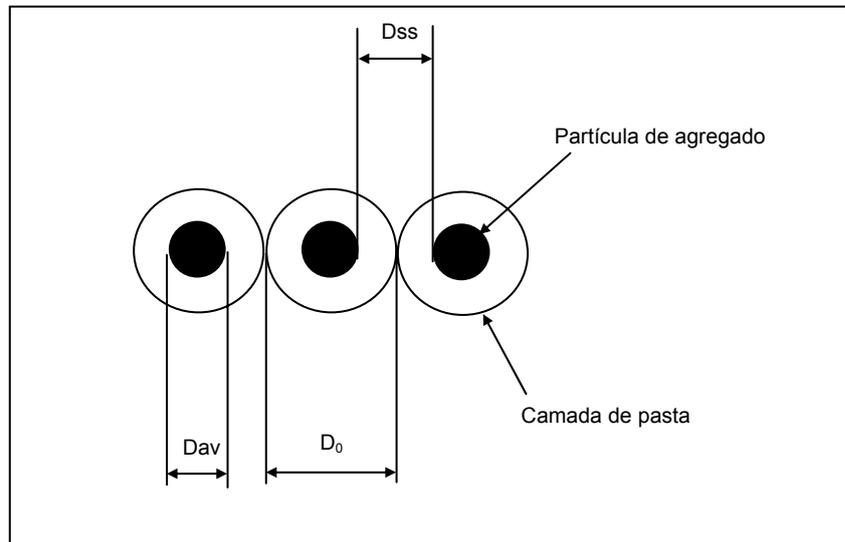


Figura 6.12 – Distância inter-partículas (partículas esféricas) [79]

A distância média entre partículas (D_{ss}) pode ser calculada pela curva granulométrica dos agregados, calculando em primeiro lugar o diâmetro médio das partículas de agregado (D_{av}) a partir da expressão [79]:

$$D_{av} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i \cdot M_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (6.5)$$

Onde:

D_i - média das dimensões do grupo de peneiros

$$D_i = (d_i + d_{i-1})/2$$

d_i – dimensão do peneiro i onde o material está retido,

d_{i+1} – dimensão do peneiro imediatamente acima do peneiro i

M_i - percentagem de agregado retido no grupo de peneiros,

n – número de grupos de peneiros.

O diâmetro médio das partículas de agregado depende da razão entre o agregado grosso e o total de agregado, da distribuição granulométrica dos agregados finos e grossos que inclui necessariamente o efeito da máxima dimensão do agregado. Desta forma a distância média inter-partículas pode ser calculada pela expressão [79]:

$$D_{ss} = D_{av} \left\{ \left[\frac{V_{pw} - V_{void}}{V_t - V_{pw}} + 1 \right]^{1/3} - 1 \right\} \quad (6.6)$$

Onde:

D_{ss} – distancia média entre as superfícies das partículas de agregado,

V_t – volume total de betão,

V_{pw} – volume de pasta no betão,

V_{void} – volume de vazios do total de agregados no estado compactado
(determinado experimentalmente),

D_{av} – diâmetro médio do total de partículas de agregado.

Na Equação 6.6 assumiu-se que as partículas de agregado possuem uma forma esférica. Contudo, o factor de angulosidade (Ψ), que representa a razão entre a superfície específica de um grupo de partículas irregulares e a superfície específica de um grupo de esferas com o mesmo intervalo granulométrico, pode ser aplicado para contabilizar as irregularidades das partículas [79].

Os resultados obtidos no cálculo da distância entre partículas (D_{ss}), utilizando diferentes dosagens de pasta e diferentes proporções agregado grosso/agregado fino podem ser representados graficamente para determinar a solução mais adequada. A Figura 6.13 ilustra graficamente os resultados obtidos por Tangtermsirikul utilizando materiais produzidos na Tailândia [79]. Ainda na Figura 6.13 é possível verificar que, para um volume de pasta constante, existe uma razão agregado grosso/total de agregado que conduz à máxima distância entre as superfícies das partículas.

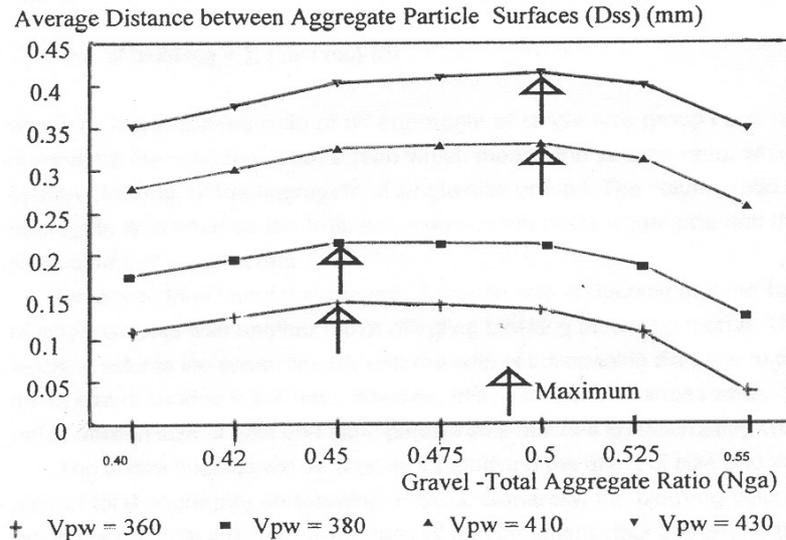


Figura 6.13 – Distância inter-partículas versus agregado grosso/total de agregado [79]

Volume máximo de agregado admissível (ou volume mínimo de pasta)

A razão agregado grosso/agregado fino que conduz à máxima distância inter-partículas varia com a dosagem de pasta [79]. Por outro lado, um maior volume de agregado e uma maior dimensão do agregado resulta normalmente numa redução do volume de pasta necessário [79]. Avaliando estritamente a mistura do ponto de vista do critério da máxima distância inter-partículas, esta situação parece favorável. Contudo, o aumento do volume de agregado ou a utilização de partículas de maior dimensão aumenta significativamente o risco de bloqueio se forem consideradas as condições externas, como sejam, a dimensão e espaçamento entre varões por onde o betão tem de passar. Em consequência, foi introduzido o denominado “critério de bloqueio” [11, 56, 57, 79].

Assumindo como premissa que as razões volumétricas de bloqueio dos agregados são independentes das propriedades da pasta, desde que a mistura não apresente segregação estática, o critério de bloqueio permite determinar o volume máximo admissível de agregado considerando as características dos materiais da fase sólida (tipo de agregado, máxima dimensão do agregado, distribuição granulométrica e proporção agregado grosso/agregado fino) e as condições externas (dimensão e espaçamento entre varões) [11, 56, 57, 79].

A Figura 6.14 mostra um modelo para estimar o volume de bloqueio para diferentes tipos de agregados [79].

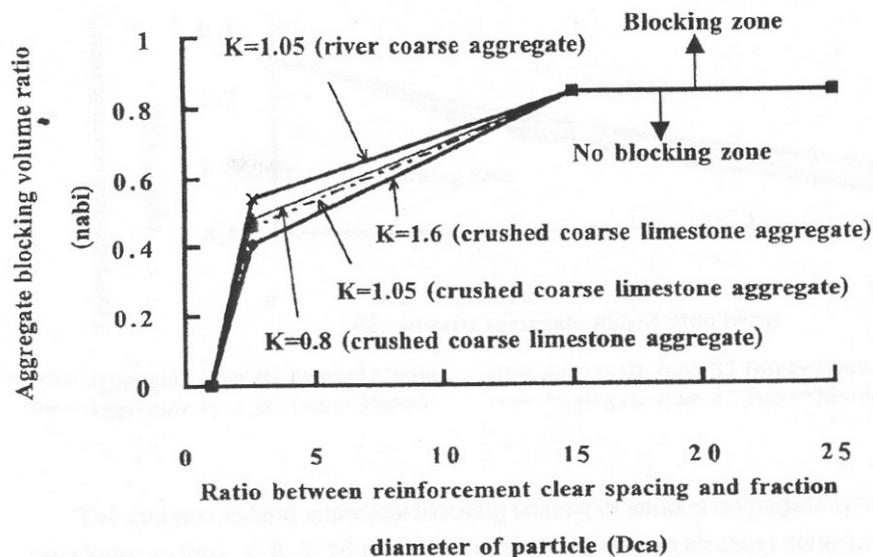


Figura 6.14 – Razão volumétrica de bloqueio versus razão entre a abertura da malha da armadura e a dimensão das partículas [79]

No modelo apresentado na Figura 6.14, os parâmetros n_{abi} , D_{ca} e K são definidos do seguinte modo:

$$n_{abi} = V_{abi} / V_t \quad (6.7)$$

$$D_{ca} = c / D_{af} \quad (6.8)$$

$$K = \emptyset / D_{m\acute{a}x.} \quad (6.9)$$

Onde:

n_{abi} – razão volumétrica de bloqueio do agregado do grupo i ,

V_{abi} – volume de bloqueio do agregado do grupo i ,

V_t – volume total de betão,

c – espaço livre entre varões

D_{af} - Três quartos da fracção granulométrica; $D_{af} = M_{i-1} + 3/4(M_i - M_{i-1})$;

M_i e M_{i-1} são as dimensões superior e inferior dos peneiros para o agregado do grupo i , respectivamente.

\emptyset – Diâmetro da armadura

$D_{m\acute{a}x.}$ – Máxima dimensão do agregado.

A Figura 6.14 mostra que maiores razões entre o diâmetro da armadura e a máxima dimensão do agregado (K) conduz a valores menores da razão volumétrica de bloqueio do agregado (n_{abi}). Observa-se também que o agregado grosso do rio apresenta uma razão volumétrica de bloqueio do agregado (n_{abi}) superior àquela obtida em agregados grossos de calcário britado. Isto pode ser explicado pelo efeito do atrito entre as partículas de agregado (os agregados grossos do rio apresentam menor atrito inter-partículas que os agregados grossos de calcário britado) [79].

Numa mistura de betão, o somatório das razões volumétricas de cada fracção do agregado (isto é, o volume do agregado por unidade de volume do betão) dividido pela sua razão volumétrica de bloqueio (isto é, para o qual o bloqueio ocorre) deve ser inferior ou igual a 1. Este somatório representa o risco de bloqueio.

A equação que conduz ao cálculo do volume máximo admissível do total de agregado, conhecida a razão agregado grosso/total de agregado, pode ser definida do seguinte modo:

$$\text{Risco de bloqueio} = \sum_{i=1}^n (n_{ai}/n_{abi}) = \sum_{i=1}^n \frac{(V_{ai}/V_t)}{(V_{abi}/V_t)} = \sum_{i=1}^n (V_{ai}/V_{abi}) = 1 \quad (6.10)$$

Onde:

V_{ai} = Volume do agregado do grupo i ,

V_{abi} = Volume de bloqueio do agregado do grupo i ,

V_t = Volume total de betão,

n = Número de grupos de dimensões dos agregados,

O volume máximo do total de agregados é o volume para o qual o risco de bloqueio é igual a 1, ou seja:

$$\sum_{i=1}^n (V_{ai}/V_{abi}) = 1 \quad (6.11)$$

Em síntese, o critério de bloqueio deverá ser usado em combinação com a teoria proposta relativamente ao volume de vazios e superfície específica (máxima distância inter-partículas) para determinar a melhor conjugação entre a razão agregado grosso / total de agregado e o volume máximo admissível de agregado que evita o bloqueio.

Água, superplastificante, cimento e quantidade de filler

A razão água/cimento e o tipo de cimento são definidos pelas propriedades do betão endurecido necessárias (resistência e durabilidade). A adição mineral mais adequada e o tipo e dosagem de superplastificante são obtidos a partir de ensaios reológicos num cilindro com um viscosímetro concêntrico na argamassa incorporando agregados finos com partículas de máxima dimensão de 0,25 mm. A saturação da dosagem de superplastificante é aquela que produz uma tensão de escoamento de aproximadamente zero [11]. A compatibilidade do agente introdutor de ar com o superplastificante pode também ser analisada nesta fase, mas o desempenho satisfatório da combinação do adjuvante continua a necessitar confirmação nos ensaios do betão [11]. Esta abordagem, do ponto de vista da reologia, substitui os equipamentos de ensaio utilizados pelos japoneses no “ensaio de espalhamento” e “ensaio de fluidez” para argamassas.

Avaliação das propriedades do betão

Optimizada a composição do betão auto-compactável, deve ser realizada uma amassadura experimental para verificar se esta satisfaz as necessárias características de auto-compactabilidade. Para tal, são previstos dois ensaios: o “ensaio de espalhamento do betão” e o “ensaio da “Caixa-L”. Os critérios de aceitação destes ensaios podem ser adaptados consoante o tipo de aplicação. Caso estes critérios não sejam satisfeitos, o volume da pasta ou a sua composição deverão ser alterados e os ensaios repetidos.

Um diâmetro de espalhamento (“slump flow”) de cerca de 700 mm é considerado apropriado. A estabilidade da mistura (ausência de segregação) é avaliada por observação visual do contorno do betão espalhado. O tempo que o betão demora a atingir um diâmetro

de 500 mm (T50) é também medido, mas não é fornecida qualquer recomendação específica para os valores deste ensaio. Contudo, um valor muito baixo indicará uma mistura segregada, e um valor muito alto conduzirá a taxas de moldagem baixas [11].

O comportamento ao bloqueio do betão é avaliado pelo ensaio da “Caixa-L”, que também permite avaliar a fluidez e a segregação. A taxa de bloqueio (H_2/H_1) deve ser superior a 0,80 [11]. Não são sugeridos quaisquer limites para os parâmetros T20 e T40 [11]. O fenómeno de bloqueio pode também ser avaliado qualitativamente pela observação da passagem dos agregados grossos pelas armaduras colocadas na “Caixa-L” e pela avaliação da sua distribuição em toda a extensão do betão. A mistura é considerada estável se os agregados grossos estiverem distribuídos uniformemente ao longo da caixa [11].

6.6 – Desenvolvimentos do método do CBI

O critério da máxima distância inter-partículas é usado no método do CBI para determinar a melhor proporção entre os agregados finos e os agregados grossos, uma vez conhecido, entre outros parâmetros, o volume de pasta. Não obstante, o critério da máxima distância inter-partículas não permite estimar a dosagem de pasta mínima, necessária para produzir satisfatoriamente um betão auto-compactável, sendo esse valor determinado pelo critério de bloqueio.

Van Khanh Bui e Denis Montgomery [5] introduziram um critério adicional, denominado critério da “fase líquida”, que deverá ser usado complementarmente ao critério da “fase sólida” (critério de bloqueio) adoptado pelo CBI. Para o estabelecimento do critério da “fase líquida” os autores Van Bui e Montgomery [5] desenvolveram um modelo que permite estimar o volume mínimo de pasta, necessário para produzir satisfatoriamente um betão auto-compactável.

O volume mínimo de pasta (V_{pdmin}) é calculado a partir de uma expressão que inclui a distância mínima necessária entre os agregados (D_{ssmin}), o diâmetro médio das partículas (D_{av}), e volume de vazios da matriz de agregados compactada (V_{void}). A distância mínima inter-partículas (D_{ssmin}), por sua vez, depende da razão água/ligante

(W/C), máxima dimensão dos agregados grossos e diâmetro médio das partículas de agregados (D_{av}).

Volume mínimo de pasta considerando o critério da fase líquida

O volume mínimo de pasta (V_{pdmin}), quando se considera a fase líquida, pode ser calculado da seguinte forma [5]:

$$V_{pdmin} = V_t - \frac{V_t - V_{void}}{\left[\frac{D_{ssmin}}{D_{av}} + 1 \right]^3} \quad (6.12)$$

Onde:

V_{pdmin} - volume mínimo de pasta necessário (l/m^3) para determinada razão entre o agregado grosso e o total de agregados (N_{ga})

V_t - Volume total de betão,

V_{void} - Volume de ar da matriz de agregado compactado, em l/m^3 ,

D_{ssmin} - Distância média mínima necessária entre as superfícies das partículas de agregado, em mm (Figura 6.15),

D_{av} - diâmetro médio das partículas de agregado, em mm (Equação 6.5).

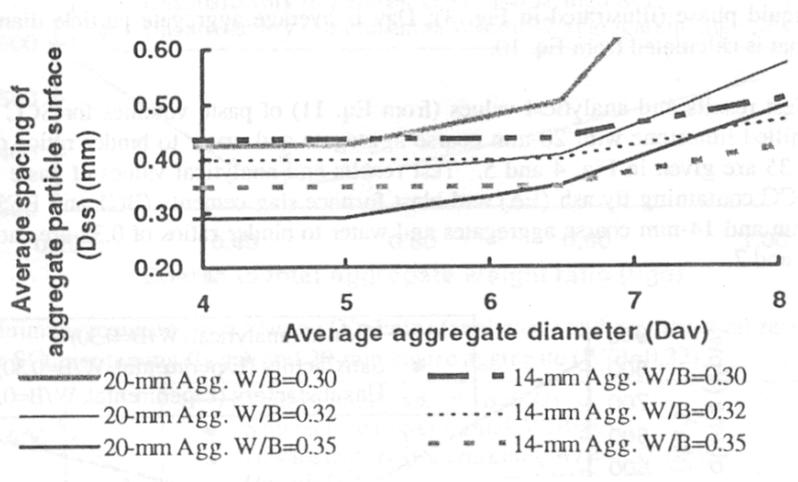


Figura 6.15 – Distância inter-partículas versus dimensão média das partículas [79]

O modelo proposto por Van Bui e Montgomery [5], ilustrado graficamente na Figura 6.15, baseia-se na consideração dos seguintes parâmetros:

- Razão água/ligante (W/C ou W/B);
- Distribuição do tamanho das partículas e forma das partículas das misturas binárias de agregados, incorporando o diâmetro médio do agregado (D_{av}) e a dosagem de vazios na fórmula para estimar o valor mínimo necessário para a distância inter-partículas;
- Máxima dimensão dos agregados de 20 mm e 14 mm;
- Diferentes razões entre o agregado grosso e o total de agregados (N_{ga}), relacionados com o diâmetro médio do agregado (D_{av}) e com o volume de vazios do total de agregados no estado compactado (V_{void}).

Van Bui e Montgomery [5] constataram que o aumento do diâmetro médio das partículas (D_{av}) exige, em geral, valores superiores da distância inter-partículas (D_{ss}) de forma a assegurar um diâmetro de espalhamento suficiente, ou seja, superior a 650 mm, sem segregação. Contudo, para algumas misturas onde o diâmetro médio das partículas (D_{av}) era relativamente baixo, a dosagem de superplastificante e o tempo de escoamento do betão era elevado. A dosagem de superplastificante e o tempo de escoamento podem ser reduzidos aumentando o volume de pasta (aumentando a distância inter-partículas) para misturas com a mesma dimensão média dos agregados.

Para betões com dosagens similares de superplastificante, uma menor razão água/ligante exige maior volume de pasta (V_{pw}), isto é, maior distância inter-partículas de modo a alcançar diâmetros de espalhamento similares, sem causar segregação [5]. Para além disso, diferentes agregados grossos com diferentes máximas dimensões podem afectar a velocidade do escoamento, a tendência para a segregação e o volume de pasta necessário. Betões com agregados de maior máxima dimensão tendem a apresentar maiores velocidades de escoamento e maior risco de segregação [5].

Quando se compararam misturas com agregados de menores dimensões médias ($D_{av} \leq 6,5$ mm), verificou-se que a distância mínima inter-partículas necessária (D_{ssmin})

para betões com agregados grossos de 14 mm se revelou superior em comparação com os betões contendo agregados grossos de 20 mm (Figura 6.15). Isto resulta do facto de que, para valores menores de D_{av} , as menores velocidades de escoamento e a necessidade de elevadas dosagens de superplastificante são geralmente problemáticas [5]. Desta forma, o aumento do volume de pasta (maior D_{ssmin}) é necessário para atingir uma velocidade de escoamento satisfatória para betões com agregados grossos de 14 mm [5].

Quando, por outro lado, se compararam misturas com agregados de maiores dimensões médias ($D_{av} > 6,5$ mm), verifica-se que o betão auto-compactável contendo agregados grossos de 20 mm apresenta maior risco de segregação em comparação com o betão que incorpora agregados grossos de 14 mm. Deste modo, para reduzir o risco de segregação, os betões com agregados de 20 mm necessitam de maior volume de pasta (maior D_{ssmin}) em comparação com os betões que utilizam agregados de 14 mm [5].

A necessidade de pasta aumenta substancialmente quando a dimensão média do agregado (D_{av}) é superior a 6,5 mm. Os autores [5] atribuem este facto à maior sensibilidade no controlo da segregação, resultante do aumento da proporção entre os agregados grossos e os agregados finos. Deste modo, Van Bui e Montgomery [5] recomendam que se opte por uma razão agregado grosso/total de agregados (N_{ga}) a que corresponda um diâmetro médio das partículas (D_{av}) inferior ou igual a 6,5 mm.

Passos para o cálculo da mistura

Van Bui e Montgomery [5] propõem as seguintes etapas para a implementação do procedimento de cálculo de um betão auto-compactável, que inclui o critério da “fase líquida” e o critério da “fase sólida”:

- 1) Definir os critérios relativos às exigências funcionais das estruturas, tais como: o espaçamento livre entre os varões da armadura, diâmetro dos varões e resistência à compressão pretendida;

- 2) Avaliar as características dos materiais para as adições minerais, cimentos e agregados, tais como: massa volúmica, distribuição das dimensões das partículas, máxima

dimensão, diâmetros médios (D_{av}) de diferentes razões agregado grosso/total de agregado (N_{ga}) e volumes de vazios correspondentes aos diferentes (N_{ga}) que possuem ($D_{av} \leq 6,5$ mm). É recomendada a adopção de valores de (N_{ga}) entre 0,40 e 0,60;

3) Calcular o volume máximo de agregado admissível ($V_{abm\acute{a}x}$), ou o volume mínimo de pasta (V_{pwmin}) para o respectivo (N_{ga}), utilizando o critério de bloqueio;

4) Determinar a razão água/ligante e a razão adição mineral/total de ligante considerando a necessária resistência à compressão;

5) Calcular os valores mínimos necessários para a distância inter-partículas (D_{ssmin}) correspondentes aos diferentes diâmetros médios das partículas (D_{av}), os quais estão associados às respectivas razões agregado grosso/total de agregado (N_{ga}), conforme se indica na Figura 6.15. Calcular ainda o volume mínimo de pasta necessário (V_{pdmin}) de acordo com o critério da fase líquida (Equação 6.12);

6) Seleccionar o valor óptimo da razão agregado grosso/total de agregado (N_{ga}) que requer o volume menor de pasta de acordo com o critério da fase líquida, assegurando que o respectivo (D_{av}) não é superior a 6,5 mm. De outro modo, escolher o valor de (N_{ga}) que apresenta $D_{av} = 6,5$ mm. O volume de pasta (V_{opt}) para uma razão óptima agregado grosso/total de agregado (N_{opt}) que satisfaz ambos, o critério de bloqueio (fase sólida) e o critério da fase líquida, são seleccionados do seguinte modo:

6.1) $V_{opt} \geq V_{pdmin}$, se $V_{pdmin} > V_{pwmin}$, ou,

6.2) $V_{opt} \geq V_{pwmin}$, se $V_{pdmin} < V_{pwmin}$, e V_{pwmin} não é tão elevado do ponto de vista da eficiência económica ($V_{opt} \leq 420$ l/m³ é recomendado);

6.3) No caso de espaçamentos muito pequenos entre varões e (V_{pwmin}) muito elevado ($V_{pwmin} > 420$ l/m³), deve ser considerado o uso de agregados grossos de menor máxima dimensão.

7) Estimar a dosagem de superplastificante e realizar amassaduras experimentais;

8) Se a dosagem de superplastificante é muito elevada (superior ou igual a 15 kg/m³) ou a mistura é insatisfatória, é necessário aumentar o volume de pasta ou ajustar a razão água/ligante e o superplastificante, em conformidade.

Propriedades exigidas ao betão no estado fresco

Para produzir um betão auto-compactável de elevado desempenho, deverão verificar-se as seguintes características no estado fresco [5]:

- É necessário um diâmetro de espalhamento igual ou superior a 650 mm, para se obter uma boa capacidade de deformação e uma boa aparência da superfície;

- Uma profundidade de penetração igual ou inferior a 8 mm para assegurar que o betão tenha uma satisfatória resistência à segregação;

- Um tempo de escoamento T50 igual ou inferior a 12 segundos, para se obter uma suficiente velocidade de escoamento e de moldagem.

6.7 – Método proposto pelo LCPC

Para o cálculo de betões auto-compactáveis Sedran e Larrard [61] do LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) desenvolveram um modelo matemático para optimização da estrutura granular que denominaram de “modelo de empacotamento” (CPM - **C**ompressible **P**acking **M**odel). Este modelo é suportado por um conjunto de equações matemáticas, desenvolvidas com base em ensaios experimentais, para relacionar as características dos materiais com os parâmetros reológicos, a capacidade de enchimento e a tendência para a segregação do betão fresco sem agentes de viscosidade [33, 61].

O método proposto pelo LCPC permite otimizar o betão auto-compactável tendo em vista uma boa estabilidade, baixo custo e riscos limitados de retracção e fluência, as quais são condições necessárias para um desenvolvimento sustentável do material. Este método difere dos anteriores pelo facto do cimento e outros materiais finos, assim como os agregados, serem incluídos na análise do empacotamento. Contudo, apesar dos modelos terem sido desenvolvidos com base em muitos ensaios, os autores Sedran e Larrard [61] salientam a necessidade da validação deste método para betões contendo diferentes adições minerais. Para além disso, consideram ainda necessária investigação para clarificar a influência da natureza do superplastificante na tensão de corte e na segregação e para contar com a utilização de agentes de viscosidade [11, 61].

Modelo de empacotamento

O modelo de empacotamento considera uma série ou sequência de classes granulares monodimensionais, cada uma delas com determinado diâmetro médio definido por dois peneiros consecutivos da série normalizada nas Normas Francesas (peneiros de tamanhos sucessivos na razão de $\sqrt[10]{10}$).

Para cada mistura, a densidade de empacotamento virtual, definida como a densidade máxima de empacotamento conseguida com o material considerado, utilizando uma quantidade infinita de energia de compactação, pode ser calculada pela contribuição individual de cada classe. A contribuição individual de cada classe depende das proporções e granulometria de cada material constituinte (finos, agregados finos e agregados grossos) e da densidade de empacotamento virtual de cada classe.

A densidade de empacotamento virtual de cada classe é deduzida a partir da densidade de empacotamento de cada um dos materiais constituintes, sendo esta última determinada experimentalmente. Para os agregados finos e agregados grossos a densidade de empacotamento é medida em materiais secos, enquanto que, para os materiais finos ($\varnothing < 80\mu\text{m}$), este valor é medido em presença de água e eventualmente na presença do superplastificante.

Considerando o betão como uma suspensão do esqueleto sólido em água, os autores Sedran e Larrard [61] definiram um índice de compactação (K'), que descreve o grau de saturação da suspensão. Quanto mais diluída for a suspensão, menor será o índice de compactação (K'). O índice de compactação da mistura é o somatório dos índices parciais de compactação (K'_i) de cada classe granular (i). Este índice depende da densidade de empacotamento dos grãos, controlada pela sua forma e textura, granulometria da mistura, interacção granular e quantidade de água. O parâmetro K'_i é maior para as classes granulares com agregados de maiores dimensões, ou seja, para aqueles que contribuem mais para o bloqueio. A este respeito, poderá dizer-se que a análise tem semelhanças com critério de bloqueio proposto pelo CBI [11].

Reologia do betão

A caracterização do comportamento reológico do betão em condições não confinadas é efectuada através de um reómetro para betões denominado BTRHEOM, desenvolvido no LCPC. Sedran e Larrard [61] propuseram uma simplificação do modelo de Bingham de acordo com a seguinte equação:

$$\tau = \tau_0' + \mu' \cdot \dot{\gamma} \quad (6.13)$$

Onde:

$\dot{\gamma}$ é a taxa de escoamento, em l/s

τ é a tensão de corte, em Pa

A tensão de corte τ_0' (em Pa) e a viscosidade plástica μ' (Pa.s) são propriedades intrínsecas do betão e podem ser usadas em cálculos de elementos finitos para prever qualquer escoamento do betão [61]. Com base em ensaios experimentais os autores definiram equações empíricas que relacionaram os parâmetros reológicos com as propriedades dos materiais incluídas no CPM. Estes modelos são utilizados na fase de cálculo para estimar os parâmetros reológicos.

A viscosidade da suspensão é relacionada com a razão entre a quantidade de material sólido e a densidade de empacotamento do esqueleto sólido. A relação estabelecida é independente da natureza dos constituintes e da dosagem de superplastificante.

Um outro modelo foi proposto para a tensão de corte, que depende da natureza, dosagem e quantidade de saturação do superplastificante. Os parâmetros incluídos no modelo desenvolvido para a tensão de corte necessitam de ser calibrados cada vez que se altera a natureza do superplastificante. Estes parâmetros são calibrados a partir de ensaios reológicos realizados em alguns betões (cerca de 10 amassaduras) contendo diferentes quantidades destes superplastificantes e água e o mesmo esqueleto sólido.

Enchimento / Capacidade de passagem

No LCPC a capacidade de enchimento é avaliada através do ensaio da “Caixa-L” com as seguintes dimensões:

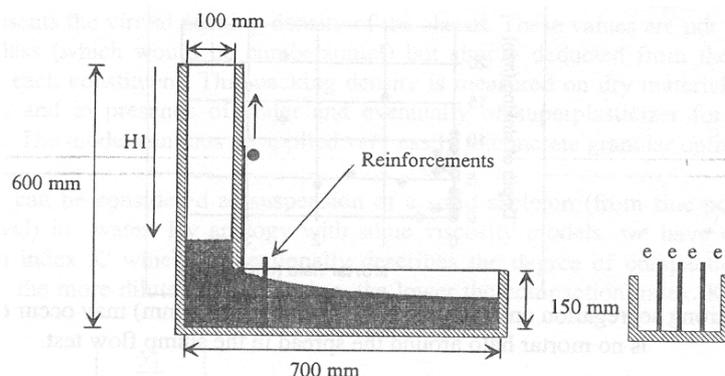


Figura 6.16 - Dimensões da “Caixa-L” usada no LCPC [33, 61]

No ensaio da “Caixa-L” é medida a altura H1 conforme se indica na Figura 6.16. Um valor de H1 elevado (máx. 510 mm) significa uma boa capacidade de enchimento. O modelo matemático desenvolvido para calcular a capacidade de enchimento em função das propriedades dos materiais incluídas no CPM, contempla parâmetros que contabilizam as restrições ao escoamento.

Na proximidade de uma fronteira, o empacotamento de uma classe granular com determinado diâmetro (d) é reduzida quando a distância à fronteira é inferior a $(d/2)$. No CPM este efeito é contabilizado por uma expressão que inclui o volume do recipiente (V), o volume da zona de perturbação (v) e pela introdução de um coeficiente que tem em conta o facto do agregado ser rolado ou britado. O efeito de parede é ilustrado na Figura 6.17.

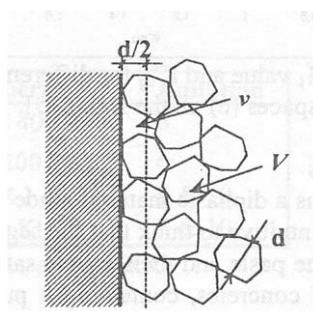


Figura 6.17 - Efeito de parede (fronteira) [33, 61]

O efeito de bloqueio na passagem do betão pelas armaduras colocadas no ensaio da “Caixa-L”, foi contabilizado assumindo que duas armaduras com um espaçamento livre igual a (e) produzem um efeito semelhante a dois planos paralelos separados por uma distância equivalente à distância entre as armaduras. Os planos paralelos exercem o efeito de parede sobre a mistura.

O efeito de arco produzido pelos agregados quando o betão escoar através de armaduras foi também contabilizado. Para esse efeito, as classes granulares foram agrupadas de 4 em 4, obtendo-se uma representação descontínua do esqueleto granular do betão, no qual um agrupamento com um diâmetro médio 2,5 vezes inferior ao agrupamento seguinte pode percolar através deste. O betão foi então considerado como um material constituído por duas fases: a fase constituída pelo agregado grosso com um diâmetro superior a $d^{90}/2,5$ (d^{90} é a abertura da malha do peneiro onde passa 90% do material do esqueleto sólido) e a fase constituída pela argamassa.

Por definição, o bloqueio ocorre se o agregado grosso satura o betão, qualquer que seja a natureza da argamassa que tente escoar através dele. A saturação do betão pelo agregado grosso pode ser expressa pelo somatório dos termos K_i' (índice de compactação parcial) para $d_i \geq d^{90}/2,5$. Este somatório denominado (K'_{cg}) é calculado contabilizando a restrição ao escoamento exercido pelas armaduras na “Caixa-L”. Os ensaios efectuados na “Caixa-L” com espaçamentos entre varões desde 25 a 47 mm mostraram que k'_{cg} é um bom índice da capacidade de enchimento [61]. Para valores deste índice abaixo de 1,4 o betão apresenta uma boa capacidade de enchimento. Este índice deve ser independente da natureza, tamanho e forma do agregado uma vez que este foi considerado e tido em conta no cálculo dos valores de k'_i [11].

Segregação dos agregados

Mesmo que o betão apresente uma boa capacidade de enchimento, os seus agregados podem sofrer segregação estática (em repouso). No LCPC a tendência para a segregação estática é avaliada numa amostra de betão endurecido moldada sem vibração

num cilindro com um diâmetro de 16 cm e uma altura de 32 cm. A amostra é partida ao meio por compressão diametral e a tendência para a segregação na direcção vertical é avaliada pelo valor médio da profundidade de penetração, medida a partir da superfície superior do betão, dos dois primeiros agregados (com $\varnothing > 8$ mm), conforme se ilustra na Figura 6.18.

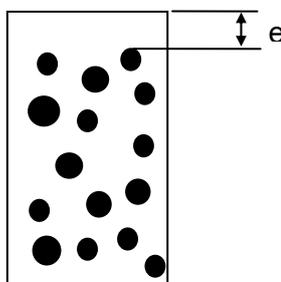


Figura 6.18 - Medição da profundidade de penetração do agregado (e) [33, 61]

Para contabilizar o efeito de segregação, o betão é considerado como um material constituído pela fase agregado e pela fase pasta. É assumido que a segregação dos agregados é controlada pela viscosidade da pasta e pela saturação do betão pelos materiais finos. Os autores relacionaram a profundidade de segregação (e) ao termo $(K'p)$, somatório dos índices parciais $(K'i)$ para $d_i \leq 80\mu\text{m}$ e verificaram que existe uma relação linear entre estes dois parâmetros para uma determinada dosagem de superplastificante [61]. Fixando um valor aceitável para a segregação ($e = 5$ mm) é determinado, para cada dosagem de superplastificante, o valor mínimo aceitável de $K'p^{\text{min}}$. O modelo desenvolvido depende da natureza do superplastificante e, tal como sucede com o modelo da tensão de corte, tem que ser determinado cada vez que se altera a natureza do superplastificante [61].

Cálculo da mistura

Para o cálculo da mistura é necessário determinar as propriedades dos materiais e os parâmetros de calibração do método quando se altera a natureza do superplastificante. As propriedades dos materiais são: as curvas granulométricas, massas volúmicas e densidades de empacotamento. Os parâmetros de calibração são: a dosagem de saturação do superplastificante e as constantes para a análise da capacidade de passagem.

Uma vez obtidos os parâmetros necessários, as proporções da mistura são ajustadas até que os valores das constantes reológicas e os índices de compactação para os agregados grossos e fracções da pasta, calculadas com o CPM, sejam aceitáveis, isto é:

$$\zeta_y \leq 400 \text{ Pa (para alta fluidez);}$$

$$\mu \leq 200 \text{ Pa.s (para boa bombagem);}$$

$$k'_{cg} \leq 1,4 \text{ (para boa capacidade de enchimento);}$$

$$k'p \geq k'p^{\min} \text{ (para nenhuma segregação).}$$

Todos estes requisitos podem ser implementados num software para otimizar a mistura. A optimização numérica fornece uma primeira receita teórica que deve então ser testada e ajustada se necessário através de ensaios laboratoriais.

Adicionalmente, os requisitos da resistência à compressão podem ser modelados através da equação modificada de Feret que tem em conta os efeitos na resistência resultantes dos materiais finos, como sejam os filers calcários e as pozolanas.

6.8 – Conclusões

O betão auto-compactável no estado fresco oferece propriedades muito atractivas do ponto de vista da construção e esse é um dos motivos pelo qual o emprego deste novo tipo de betão se espalhou rapidamente por todo o mundo. Não obstante, este tipo de betão é certamente um dos mais difíceis de conceber, devido à necessidade de se encontrar um equilíbrio entre as suas diferentes propriedades que dependem de distintos mecanismos. O betão auto-compactável no estado fresco deve apresentar uma elevada capacidade de deformação, adequada viscosidade e, simultaneamente, deverá cumprir alguns requisitos funcionais relacionados com a sua aplicação prática, como sejam, uma grande capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem em zonas confinadas por armaduras, para além de uma elevada estabilidade estática após a betonagem.

O cumprimento das exigências de comportamento do betão no estado fresco, conduzem normalmente à utilização de elevados volumes de pasta que podem promover

elevada retração e fluência no betão endurecido, com consequências nefastas para o comportamento das estruturas. Por outro lado, o processo de estudo da composição é ainda complicado pela grande variedade de materiais constituintes existente no mercado, como sejam, agregados rolados e britados de diferentes naturezas minerais, cimentos de diversos tipos, grande variedade de adições minerais, diferentes tipos de superplastificantes e, por vezes, outros adjuvantes químicos, como sejam os agentes de viscosidade. Neste contexto, é necessário um processo racional de optimização para lidar com todas estas propriedades e variedade de materiais constituintes.

Vários métodos têm sido propostos para o cálculo de betões auto-compactáveis, variando desde os mais simples até aos mais complicados e sofisticados modelos de previsão do comportamento do betão no estado fresco. Os diferentes métodos avaliados neste capítulo correspondem em geral aos métodos mais divulgados. No entanto, outras tantas propostas ou contributos de outros autores poderiam também ser referidas, ainda que se acredite que os métodos escolhidos sejam os mais representativos e ilustrem satisfatoriamente o estado actual do conhecimento nesta área.

Em termos genéricos pode referir-se que um primeiro processo de estudo da composição de betões auto-compactáveis foi desenvolvido na Universidade de Tóquio [11, 35, 47, 51], contemplando o método geral proposto por Okamura, Ozawa e Maekawa e as contribuições posteriores de Ouchi et al.

O método desenvolvido na Universidade de Tóquio é frequentemente designado por "*método de Okamura*", em homenagem ao seu mentor (o Professor Hajime Okamura). Neste método, o volume de agregado grosso é fixado em 50% do volume aparente compactado excluindo o volume de ar, enquanto que o volume de areia (partículas com $90 \mu\text{m} \leq \varnothing \leq 5 \text{ mm}$) representa 40% do volume de argamassa. O volume total de pasta resulta dos volumes de agregados grossos e finos e do volume de ar fixado para a mistura. As proporções entre os diferentes materiais finos são fixadas em função do nível de resistência pretendido, enquanto que as dosagens de água e de superplastificante são ajustadas através de ensaios em argamassas até que se obtenha uma determinada capacidade de

deformação (ensaio de espalhamento) e uma determinada velocidade de deformação (ensaio de fluidez) adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis.

O método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], foi concebido para aplicação geral e assenta numa grande simplicidade de procedimentos, admitindo mesmo alguma pequena variação nas proporções dos materiais durante a produção do betão sem que isso ponha em risco a resistência à segregação. Em consequência, este método é considerado conservador e, em geral, conduz à obtenção de betões com elevados volumes de pasta em comparação com uma mistura optimizada [61]. Isto sucede particularmente quando se utilizam agregados grossos de reduzida máxima dimensão ou quando se utilizam agregados finos constituídos por areias do rio [61]. Sedran e Larrard [61] consideram, a respeito deste método, que o elevado custo induzido pelas elevadas dosagens de pasta pode tornar-se inaceitável em países onde o preço dos materiais está sujeito a grande concorrência.

Um segundo método foi proposto por Petersson et al. [56, 57] baseado no trabalho efectuado por Van e Tangtermsirikul [80]. O principal objectivo deste método é precisamente reduzir o volume de pasta, mediante a optimização do esqueleto sólido do betão. O volume mínimo de pasta necessário para produzir satisfatoriamente um betão auto-compactável é determinado utilizando o critério da máxima distância inter-partículas e o critério da fase sólida (fase agregados), denominado “critério de bloqueio”.

O critério da máxima distância inter-partículas assenta na teoria dos vazios da fase sólida e na superfície específica da fase agregados. O volume de pasta deverá preencher os vazios da fase sólida e envolver todas as superfícies dos agregados. O volume de vazios da fase sólida compactada no estado seco é determinado experimentalmente para cada razão agregados grossos/agregados finos. A partir deste valor e do diâmetro médio das partículas, que depende da distribuição granulométrica dos agregados e da razão grossos/agregados finos, é determinada a distância inter-partículas para cada volume de argamassa. Assim, para cada volume de argamassa, é possível estimar a razão agregados grossos/agregados finos que conduz à máxima distância inter-partículas. Quanto maior for a distância inter-

partículas menor será o atrito inter-partículas e maior será a capacidade de deformação e a resistência ao bloqueio.

O critério de bloqueio para a fase agregado, permite determinar o volume total de agregado máximo admissível para a mistura (ou volume mínimo de pasta) de forma a obter-se a adequada auto-compactabilidade sem causar bloqueio, uma vez conhecida a natureza e proporções entre os agregados finos e grossos, a máxima dimensão dos agregados e a sua distribuição granulométrica. Para além disso o modelo desenvolvido inclui as condições exteriores, como sejam, o diâmetro e o espaçamento entre varões por onde o betão terá de passar sem bloqueio [11, 56, 57, 79]. As curvas de referência que relacionam as condições externas com a razão volumétrica de bloqueio de cada fracção de agregado dependem da natureza e máxima dimensão do agregado.

Desenvolvimentos posteriores realizados por Van Bui e Denis Montgomery [5] introduziram um critério adicional, denominado de “critério da fase líquida” (fase pasta), o qual deverá ser usado em conjugação com o critério da “fase sólida” (fase agregados). O critério da fase líquida permite determinar o volume mínimo de pasta necessário para produzir satisfatoriamente um betão auto-compactável, garantindo a adequada capacidade de enchimento na “Caixa-L”. O volume mínimo de pasta é calculado a partir de uma expressão que inclui a distância mínima inter-partículas, o diâmetro médio das partículas, e volume de vazios da matriz de agregados compactada. A distância mínima inter-partículas é estimada mediante curvas de referência que a relacionam com o diâmetro médio das partículas de agregados, razão água/ligante e máxima dimensão dos agregados grossos.

Os autores Sedran e Larrard [61] referem, a respeito do método proposto por Petersson et al. [56, 57], que a obtenção das razões volumétricas de bloqueio pressupõem a utilização de curvas de referência que têm que ser determinadas para um número significativo de parâmetros. Por outro lado, consideram que o volume mínimo de pasta é grosseiramente estimado por se basear na densidade de empacotamento de misturas secas de agregados finos e grossos. Em consequência, concluem que este método propõe uma melhor optimização do esqueleto sólido em comparação com o método geral e seus

desenvolvimentos, mas as curvas de referência para o critério de bloqueio não podem ser generalizadas e exigem grande esforço e tempo para serem obtidas para cada natureza do agregado. Para além disso, a relação entre a capacidade de deformação e a densidade de empacotamento do esqueleto sólido não está claramente definida.

Um outro método de cálculo de betões auto-compactáveis foi desenvolvido por Sedran e Larrard [61] do LCPC, tendo por objectivo a obtenção de misturas com baixo volume de pasta, utilizando materiais disponíveis localmente e envolvendo o menor número de ensaios possível. A sua principal característica baseia-se no uso de um modelo matemático desenvolvido pelo LCPC e denominado de “modelo de empacotamento”. Este modelo considera qualquer gama de dimensões dos materiais, permite otimizar o esqueleto granular do betão e difere dos anteriores pelo facto do cimento e outros materiais finos, assim como os agregados, serem incluídos na análise do empacotamento.

Os autores Sedran e Larrard [61] desenvolveram modelos matemáticos de previsão do comportamento do betão fresco, que associam as características dos materiais às propriedades do betão fresco, nomeadamente a tensão de corte, viscosidade, capacidade de enchimento e resistência à segregação. Nesses modelos foram incluídas as condições externas, como o efeito de fronteira exercido pela cofragem ou o espaçamento e diâmetro dos varões por onde o betão tem de passar. A resistência à compressão pode ser contabilizada mediante a utilização do modelo modificado de Feret. Todos estes modelos são incorporados num software que permite otimizar a mistura. Os elementos de entrada são a granulometria, massas volúmicas, densidade de empacotamento dos constituintes e a quantidade de saturação dos superplastificantes que pode ser medida em laboratório.

Como sucede em qualquer método de cálculo da composição de betões que se baseia fortemente em modelos matemáticos de previsão sofisticados, a validade desse método depende fortemente da validade dos modelos desenvolvidos. Por outro lado, esses modelos são desenvolvidos para materiais que, como se sabe, poderão variar de local para local. Este facto não põe em causa a validade do método, mas sim a sua generalização.

No caso do método desenvolvido pelo LCPC [61], o modelo da tensão de corte e o modelo que contabiliza o efeito de segregação dependem da natureza do superplastificante e necessitam por isso de ser calibrados através de ensaios reológicos e ensaios de segregação em alguns betões (cerca de 10) contendo diferentes quantidades destes superplastificantes e água, mas com o mesmo esqueleto sólido [61]. Os modelos relacionados com o comportamento reológico em particular, necessitam de ser calibrados utilizando o reómetro BTRHEOM desenvolvido pelo LCPC, disponível em escassos laboratórios. Não obstante, os autores Sedran e Larrard [61] apresentam propostas para uma estimativa grosseira da tensão de corte e da viscosidade através de modelos matemáticos que relacionam estes parâmetros com os resultados obtidos num ensaio de espalhamento, respectivamente, o diâmetro médio de espalhamento e o tempo T50.

Importa acrescentar que, de acordo com os próprios autores Sedran e Larrard [61], o método desenvolvido no LCPC não se aplica a misturas com agentes de viscosidade e que ainda não está totalmente validado.

Em síntese, o surgimento do betão auto-compactável e o desenvolvimento do primeiro modelo de cálculo, nomeadamente o método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], representou um passo importante para a tecnologia do betão. Contudo, este método conduz a dosagens de pasta elevadas e, por esse motivo, pouco compatível com os aspectos económicos e de comportamento do betão no estado endurecido, nomeadamente quanto aos fenómenos de retracção e fluência. A tendência geral concentrou-se então na optimização das misturas, objectivando a redução das dosagens de pasta. Uma primeira tentativa surgiu com o método proposto por Petersson et al. [56, 57], seguida imediatamente por outras propostas nas quais se inclui a proposta de Sedran e Larrard [61]. Apesar disso, poderá afirmar-se seguramente que, ainda hoje, continua a ser necessária uma optimização para limitar o volume de pasta de forma a reduzir os custos e reduzir fenómenos de retracção no betão.

De uma forma geral, poderá dizer-se que as diferentes tentativas de optimização da mistura e redução do volume de pasta contribuem para um melhor comportamento do betão

endurecido no que respeita à redução da retracção e fluência e, para além disso contribuem decisivamente para a redução de custos deste tipo de betões. No entanto, os métodos de cálculo analisados, mas em particular o método geral, têm prestado menor atenção à modelação do betão com vista à obtenção de determinado valor médio da resistência à compressão. No caso particular do método geral, será ainda necessário desenvolver modelos que permitam, na fase de estudo das argamassas, a introdução de parâmetros que facilitem a obtenção da adequada resistência à compressão.

Por último importa salientar que o processo de estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos desenvolvido na Universidade de Tóquio [11, 35, 47, 51], contemplando o método geral proposto por Okamura, Ozawa e Maekawa e as contribuições posteriores de Ouchi et al., pela sua simplicidade e uso mais generalizado, tem-se destacado dos restantes. Este facto motivou a abordagem deste método no presente trabalho, visando, em certa medida, avaliar a resposta mais adequada às lacunas que lhe são apontadas, nomeadamente, aquelas identificadas por Sedran e Larrard [61] quanto à necessidade de se otimizar a composição dos betões estudados com recurso a este método de modo a reduzir os consumos de pasta, ou aquelas detectadas no âmbito deste trabalho quanto à dificuldade em controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão dos betões na fase de estudo da mistura.

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

CAPÍTULO 7 – DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

7.1 – Introdução

Na descrição do programa experimental será feita alusão à metodologia adoptada com vista à concretização dos objectivos propostos e serão descritos os procedimentos adoptados na realização dos ensaios.

A metodologia adoptada traduziu-se necessariamente na definição do programa experimental, o qual, tendo por base os objectivos traçados (veja-se o Sub-Capítulo 1.2) e as condicionantes impostas (tempo de execução do projecto), teve como finalidade especificar os meios e a forma de se atingirem tais objectivos com um nível de confiança satisfatório e os menores custos económicos. No sentido de conferir alguma flexibilidade ao programa experimental inicial, foram admitidos alguns ajustamentos à medida que os resultados obtidos o aconselhassem tendo em vista a redução do número de ensaios necessários. Impunha-se por isso uma interpretação progressiva dos resultados em cada fase do trabalho, devendo esta prosseguir somente até que fossem obtidas conclusões relevantes e bem fundamentadas que suportassem a fase seguinte.

Os procedimentos de ensaio adoptados neste trabalho foram definidos, sempre que aplicável, recorrendo a documentos normativos nacionais. Na ausência de normalização portuguesa recorreu-se a normalização estrangeira. Obviamente, para a caracterização das propriedades dos betões auto-compactáveis no estado fresco não existem ainda disposições normativas nacionais ou estrangeiras. Nesse sentido, houve necessidade de investigar as diferentes propostas de ensaios disponíveis na bibliografia consultada capazes de conduzir aos objectivos pretendidos. A adequabilidade, as limitações de operação e os procedimentos de ensaio foram avaliadas para cada um dos equipamentos propostos.

No decurso deste trabalho serão citadas, sempre que existam, as disposições normativas adoptadas em cada um dos ensaios, dispensando-se por isso uma descrição

exaustiva dos procedimentos, a menos que estes difiram das normas aplicáveis. Contudo, para aqueles ensaios que não disponham actualmente de normalização, como sucede com os ensaios do betão fresco auto-compactável, será feita uma descrição sucinta dos procedimentos de ensaio adoptados.

A implementação prática da metodologia adoptada traduziu-se no desenvolvimento de um programa experimental que basicamente inclui o desenvolvimento sequencial das seguintes etapas:

- 1- Selecção e caracterização dos materiais utilizados,
- 2- Definição de curvas granulométricas de referência para os agregados,
- 3- Selecção das associações de materiais finos,
- 4- Estudos em argamassas,
- 5- Estudos em betões.

7.2 – Selecção e caracterização dos materiais utilizados

7.2.1 – Generalidades

A selecção dos materiais utilizados neste trabalho foi orientada pela pesquisa bibliográfica e pelo princípio básico definido inicialmente que pressupunha a sua fácil aquisição no mercado. Para facilitar a sua descrição os materiais seleccionados podem ser subdivididos nos seguintes grupos: Ligantes, adições minerais do tipo I (adições quase inertes), adições minerais do tipo II (adições pozolânicas ou potencialmente hidráulicas), agregados finos, agregados grossos, adjuvantes e água.

7.2.2 – Ligantes

Na escolha do tipo de ligantes a opção recaiu sobre o Cimento Portland Normal (CEM I 42,5R) e o Cimento Portland de Calcário (CEM II/B-L32,5N), classificados de acordo com a NP2064 [42]. Estes dois tipos de cimentos serão utilizados isoladamente ou em

associação com diferentes tipos de adições com o objectivo de estudar a sua influência na obtenção de uma determinada gama de resistências.

Os resultados da análise química, dos ensaios mecânicos e dos ensaios físicos efectuados para estes ligantes no processo de auto-controlo utilizado pelo fabricante foram cedidos aquando do fornecimento dos materiais. Contudo, após a sua recepção, foi ainda determinada a massa específica destes materiais de acordo com os procedimentos descritos na Especificação do LNEC E 64-1960 [23].

7.2.3 – Adições minerais do tipo II

As adições do tipo II (pozolânicas ou potencialmente hidráulicas) seleccionadas foram as cinzas volantes, gentilmente cedidas pela central de betão pronto BETECNA situada na Capinha – Fundão e um aditivo à base de sílica de fumo adquirido à empresa SIKA, fornecida em sacos de 15 kg cada, sob a designação comercial de SIKACRETE HD.

As cinzas volantes utilizadas neste trabalho foram produzidas numa central termoeléctrica em Espanha e são fornecidas com regularidade à central de betão da BETECNA. Os resultados da análise química e física das cinzas volantes foram cedidos pela empresa fornecedora.

Para confirmação de um dos parâmetros fundamentais no processo de cálculo de argamassas e betões, cada um destes materiais (cinzas volantes e sílica de fumo) foi ensaiado após a sua recepção com vista à determinação da massa específica. Estes ensaios foram efectuados de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960 [23].

No Laboratório de Materiais do Departamento de Electromecânica da UBI procedeu-se ainda à determinação dos volumes diferencial e cumulativo das cinzas volantes e da sílica de fumo em função do tamanho das partículas, recorrendo ao analisador de partículas COULTER LS 200. A Figura 7.1 mostra uma imagem geral do equipamento utilizado. A execução do ensaio é relativamente simples, exigindo porém a utilização correcta do software incorporado. Numa primeira fase foram introduzidos alguns elementos de calibração associados à natureza do material a ensaiar e executou-se o processo de

limpeza automático para a remoção de impurezas. De seguida, uma pequena porção do material é misturada em água destilada, sendo esta introduzida no elemento de admissão da amostra que se situa à direita na Figura 7.1.

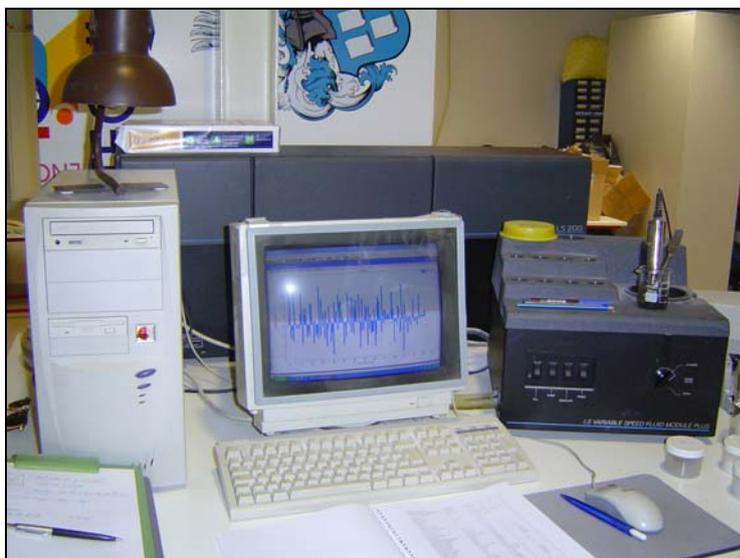


Figura 7.1 – Analisador de partículas COULTER LS200

Após a homogeneização da amostra por microondas, esta é automaticamente conduzida para a unidade principal, que na Figura 7.1 se observa por detrás do monitor. Através de uma fonte de luz laser e utilizando o princípio da difracção óptica, o aparelho permite obter informação acerca da dimensão das partículas e do seu volume. Com estes elementos o software instalado produz, entre outra, a informação necessária para construir os diagramas diferencial e cumulativo da fracção volumétrica em função do tamanho das partículas.

7.2.4 – Adições minerais do tipo I

Quanto às adições minerais do tipo I (quase inertes), a opção recaiu pela utilização de dois materiais: um filer calcário, cuja utilização em betões auto-compactáveis se tem

tornado prática corrente em muitos países e uma adição mineral composta de pós graníticos e de mármore, que é utilizada pela primeira vez e a título experimental neste trabalho.

O fíler calcário foi gentilmente cedido pela Companhia Mineira de Talcos de Portugal – COMITAL – Soure, sob a designação comercial de MICRO 100 AB. Este fíler calcário apresenta-se na forma de pó, sendo basicamente constituído por carbonato de cálcio oolítico. Alguns dos ensaios de auto-controlo da produção efectuados pelo fabricante foram cedidos aquando do fornecimento deste material. Contudo, após a sua recepção foi ainda determinada a massa específica, de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960 [23] e foi efectuada a análise da dimensão e distribuição dos grãos do material através do analisador de partículas COULTER LS 200.

O fíler calcário produzido pela empresa COMITAL tem sido utilizado principalmente na produção de asfaltos. Contudo, esta empresa tem demonstrado interesse na área dos betões e, em especial, na área dos betões auto-compactáveis. A capacidade instalada nas duas unidades industriais que possui parece ser razoável para o efeito. A Figura 7.2 e a Figura 7.3 ilustram imagens da zona de carga da fábrica situada em Soure, de onde são provenientes os materiais utilizados neste trabalho.



Figura 7.2 – Imagem da zona de carga da fábrica da COMITAL em Soure



Figura 7.3 – Imagem da zona de carga da fábrica da COMITAL em Soure

O filer granítico foi cedido pela empresa FUNDOMÁRMORE, cuja actividade principal é o corte e polimento de pedras ornamentais de mármore e granitos. De todos os materiais fornecidos, este último é o único que, pelo menos por enquanto, não se encontra disponível em quantidades suficientes para proporcionar a sua utilização à escala industrial. Uma vez que este material é utilizado pela primeira vez na produção de betões foi necessário determinar a sua massa específica. Este ensaio foi efectuado de acordo com a Especificação do LNEC E 64-1960 [23]. Tal como sucedeu com as outras adições, foi também efectuada a análise deste material no analisador de partículas COULTER LS 200.

De forma a elucidar acerca do processo de obtenção do filer granítico utilizado neste trabalho entendeu-se conveniente proceder a uma descrição sucinta das várias fases que decorrem deste o corte das rochas até ao produto final.

O equipamento que permite a recolha e separação dos finos foi instalado por exigências de ordem ambiental. Basicamente, a água utilizada no processo de corte das rochas e que transporta os finos é conduzida para um reservatório principal subterrâneo. Na Figura 7.4 pode observar-se o processo utilizado no corte das rochas. A partir do reservatório subterrâneo e através de um processo completamente automatizado, a água é bombada para o silo de decantação que se ilustra na Figura 7.5.



Figura 7.4 – Processo de corte das rochas



Figura 7.5 – Silo de decantação das lamas

A partir do silo de decantação o material, já em forma de lama, é conduzido por gravidade e em pequenas quantidades de cada vez para um depósito de homogeneização (Figura 7.6). Uma vez homogeneizada a lama é conduzida por bombagem para os filtros que, auxiliados por um processo de prensagem, permitem retirar a água do material (Figura

7.7). Após este processo, a água limpa é reencaminhada para a fábrica enquanto o material fino resultante, em forma de pasta, é recolhido conforme se ilustra na Figura 7.8. Regularmente, o material depositado é conduzido para aterros sanitários.



Figura 7.6 – Sistema de homogeneização das lamas



Figura 7.7 – Sistema de separação dos finos



Figura 7.8 – Sistema de recolha dos finos

7.2.5 – Agregados

7.2.5.1 – Generalidades

Tendo em conta a especificidade do estudo da composição de betões auto-compactáveis optou-se por definir que a máxima dimensão do agregado mais grosso não deveria ultrapassar os 19,1 mm (com referência à série granulométrica normalizada). De qualquer modo a selecção dos agregados dividiu-se em dois grupos: os agregados finos e os agregados grossos. Para cada um deles optou-se pela aquisição de dois fusos granulométricos, ou seja, duas areias e duas britas.

As propriedades dos agregados foram avaliadas após a sua recepção. Para cada um deles foram realizados os seguintes ensaios:

i) A determinação da massa volúmica dos agregados saturados de água e com a superfície seca, de acordo com as normas portuguesas NP 954 [40] e NP 581 [39];

ii) A determinação da baridade do material seco compactado, em conformidade com a Norma Portuguesa NP-955 [41] e Especificação do LNEC E247-1971 [18];

iii) A determinação da absorção de água, em conformidade com a Norma Portuguesa NP-581 [39] e Especificação do LNEC E248-1971 [19];

iv) A análise granulométrica, efectuada de acordo com os procedimentos descritos na especificação do LNEC E245-1971 [17].

7.2.5.2 – Agregados finos

Quanto às areias a escolha recaiu sobre uma areia muito fina de granito britado ligeiramente alterado e uma outra de grão intermédio rolado com proveniência do rio Tejo designadas neste trabalho, respectivamente, por Areia 01 e Areia 05. As duas areias utilizadas, Areia 01 e a Areia 05, foram gentilmente cedidas, respectivamente, pela pedreira Bartolomeu e a empresa Beirabloco, ambas situadas no Concelho do Fundão.

A Areia 01 é proveniente da britagem e lavagem de granito ligeiramente alterado, extraído na zona da Covilhã. Do ponto de vista geológico é essencialmente constituída por grãos de pequena dimensão de quartzo, feldspato e micas. Foi ainda notada em pequena quantidade a presença de argilas resultantes do processo de alteração.

A Areia 05 pode ser classificada como sendo uma areia natural rolada de origem fluvial, proveniente do rio Tejo. Do ponto de vista geológico, este material resulta da erosão, transporte e deposição de materiais situados a montante da recolha. Os grãos de maior dimensão são constituídos essencialmente por quartzo, observando-se a presença dispersa de fragmentos rolados com forma lamelar e alongada de xisto e grãos rolados de quartzito com diâmetro médio de 2 a 5 mm. Os grãos de menor dimensão são constituídos essencialmente por quartzo, feldspatos e micas (biotite e moscovite).

7.2.5.3 – Agregados grossos

No que respeita aos agregados grossos, foram utilizados inertes britados de granito com origem na Quinta da Caçoa – Fundão, gentilmente fornecidos pela pedreira Bartolomeu, sob a designação comercial de Brita 3/6 e Brita 6/15. Esta última com máxima dimensão de 19,1 mm. Geologicamente este tipo de granito é classificado como um granito de matriz equigranular, porfiróide e biotítico.

A pedreira em causa dispõe de um processo mecânico de britagem para correcção da forma das partículas de agregado grosso. As britas fornecidas para este trabalho foram submetidas a esse processo de correcção, pelo que apresentam um coeficiente volumétrico elevado, ou seja, contêm percentagens muito reduzidas de partículas alongadas e achatadas. Por outro lado, estas britas foram submetidas a um processo de lavagem, pelo que não se observou a presença de impurezas.

7.2.6 – Adjuvantes

7.2.6.1 – Generalidades

Existem muitos tipos de adjuvantes disponíveis no mercado e com funções muito diversas. Contudo, para a produção de betões auto-compactáveis do tipo finos, têm sido utilizados principalmente adjuvantes dos tipos introdutores de ar e redutores de água de alta gama. Apesar de existirem referências quanto às vantagens de se utilizar em simultâneo adjuvantes introdutores de ar com adjuvantes redutores de água de alta gama, optou-se neste trabalho por excluir os introdutores de ar. Por esse motivo, no item seguinte apenas se fará referência ao adjuvante redutor de água de alta gama (superplastificante) que foi seleccionado para este trabalho.

7.2.6.2 – Superplastificante

De entre as opções existentes no mercado, optou-se pela utilização de um superplastificante fornecido pela empresa SIKA, sob a designação comercial de Sika ViscoCrete-3000 e em conformidade com a Especificação do LNEC E374 [22]. Este superplastificante apresenta-se sob a forma líquida, de cor levemente amarelada e com uma densidade de aproximadamente 1,05. A sua base química é essencialmente constituída por carboxilatos modificados.

O critério que prevaleceu na opção por este superplastificante prende-se apenas com o facto de existirem já alguns trabalhos de investigação publicados em Portugal com referência ao uso deste material. Por outro lado, trata-se de um adjuvante desenvolvido pela empresa SIKA especificamente para ser usado na produção de betões auto-compactáveis, pelo que a sua adopção parece natural. No decurso da campanha experimental foram utilizadas duas remessas deste material. Oportunamente serão referidas as misturas que incorporaram a segunda remessa de superplastificante.

7.2.7 – Água de amassadura

Não existiu nenhuma preocupação especial quanto às características da água de amassadura. Seguindo a recomendação usual nestas situações foi utilizada água potável da rede pública de abastecimento, em conformidade com a Especificação do LNEC E372 [21].

7.3 – Definição de curvas granulométricas de referência para os agregados

7.3.1 – Generalidades

As especificidades dos betões auto-compactáveis em geral e a metodologia que se pretendia implementar para a realização deste trabalho em particular, impunham que o estudo das argamassas fosse feito de forma separada dos betões. Para cada uma das fases em estudo (argamassas e betões) deveria ser definida uma curva de referência que traduzisse a melhor associação dos materiais disponíveis. Entendeu-se adequado que a melhor associação para as duas areias e para as duas britas disponíveis seria aquela conducente à máxima compacidade, ou seja, a um mínimo de vazios. Consequentemente, a um mínimo de vazios corresponderia uma menor necessidade de pasta ou, dito de outro modo, para uma mesma dosagem de pasta, representaria um maior afastamento das partículas e um menor atrito entre elas.

7.3.2 – Curvas de referência para os agregados finos

As proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05 que conduzem à máxima compactidade foram determinadas pelo método da baridade. A associação correspondente à máxima baridade corresponde à associação que conduz à máxima compactidade. Nesse sentido, foi medida a baridade de diferentes associações, correspondentes a diferentes proporções em volume absoluto dos dois materiais. As diferentes associações testadas são apresentadas no Quadro 7.1. Note-se que a cada associação corresponde uma curva de referência dos agregados finos, determinada a partir das curvas granulométricas dos agregados e dos respectivos valores de a_1 e a_2 .

De forma a possibilitar a medição dos componentes utilizados, cada proporção em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05 foi convertida na correspondente proporção em massa, conhecidas as massas volúmicas dos materiais. A massa do provete foi a suficiente para a execução do ensaio.

Quadro 7.1 - Proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05

Mistura	Parâmetros da mistura			
	Percentagens unitárias dos agregados (volume absoluto)		Massas dos agregados	
	Areia 01	Areia 05	Areia 01	Areia 05
	a_1	a_2	M1 [kg]	M2 [kg]
0	1,00	0,00	---	---
1	0,90	0,10	5,000	0,560
2	0,80	0,20	5,000	1,260
3	0,70	0,30	5,000	2,159
4	0,60	0,40	5,000	3,359
5	0,50	0,50	5,000	5,039
6	0,40	0,60	3,308	5,000
7	0,30	0,70	2,126	5,000
8	0,20	0,80	1,240	5,000
9	0,10	0,90	0,551	5,000
10	0,00	1,00	---	---

Uma vez pesadas as respectivas fracções da Areia 01 e da Areia 05, procedeu-se à sua mistura até se obter uma distribuição homogénea. De seguida, com esse material, foi efectuada a medição da baridade para o agregado seco compactado, adoptando os

procedimentos definidos na NP-955 [41] e Especificação do LNEC E247-1971 [18]. A compacidade de cada mistura foi determinada pela razão entre os valores da baridade e da massa volúmica. Note-se que a massa volúmica da mistura é calculada pela média ponderada entre as massas volúmicas dos agregados e as percentagens com que estes entram na mistura. Por último, foi ainda determinada a máxima dimensão dos agregados de cada curva de referência. A máxima dimensão dos agregados ($D_{máx.}$) é definida pela menor abertura da malha do peneiro da série através da qual passa uma quantidade de agregado igual ou superior a 90%.

7.3.3 – Curvas de referência para os agregados grossos

A determinação das proporções em volume absoluto entre a Brita 3/6 e a Brita 6/15 seguiu os mesmos procedimentos já descritos para os agregados finos. As diferentes associações testadas são apresentadas no Quadro 7.2.

Quadro 7.2 - Proporções em volume absoluto entre a Brita 3/6 e a Brita 6/15

Mistura	Parâmetros da mistura			
	Percentagens unitárias dos agregados (volume absoluto)		Massas dos agregados	
	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 3/6	Brita 6/15
	g1	g2	M1 [kg]	M2 [kg]
0	1,00	0,00	---	---
1	0,90	0,10	16,000	1,771
2	0,80	0,20	16,000	3,985
3	0,70	0,30	16,000	6,832
4	0,60	0,40	16,000	10,627
5	0,50	0,50	16,000	15,941
6	0,40	0,60	10,706	16,000
7	0,30	0,70	6,883	16,000
8	0,20	0,80	4,015	16,000
9	0,10	0,90	1,784	16,000
10	0,00	1,00	---	---

7.4 – Selecção das associações de materiais finos

A especificidade do estudo da composição dos betões auto-compactáveis tem conduzido, na grande maioria dos métodos propostos, à especificação de intervalos de

variação muito estreitos para as dosagens de agregados grossos e, em alguns casos, também para as dosagens de agregados finos na fase argamassa. Admitindo que o volume de vazios não varia significativamente, este facto conduz à obtenção de volumes de materiais finos praticamente constantes, ou com pouca variação, na composição dos betões. Isto significa que, para um determinado betão, com uma determinada mistura de finos e um determinado superplastificante, se obtém uma única dosagem de água de amassadura, tendo em conta a necessidade de cumprir os critérios reológicos e de auto-compactabilidade. Em consequência, torna-se difícil controlar a resistência à compressão dos betões auto-compactáveis a partir das razões W/C (água / cimento) ou W/MC (água / materiais cimentícios) como sucede nos betões correntes. Este problema tem sido contornado pela adopção de diferentes misturas de materiais finos, substituindo parte do cimento por adições minerais. Contudo, esta solução exige sempre estudos reológicos sobre cada mistura, já que diferentes associações de finos requerem diferentes dosagens de água e superplastificante.

Sendo um dos objectivos do programa experimental a obtenção de betões auto-compactáveis com uma gama variada de resistências à compressão e tendo em conta as considerações efectuadas a este respeito no parágrafo anterior e aquelas observadas na revisão bibliográfica a respeito da gama de valores correntes para a percentagem de substituição, foram estabelecidas várias associações de materiais finos contendo os dois cimentos e as quatro adições minerais seleccionadas para este trabalho. Numa primeira fase serão estudadas as treze misturas binárias e as duas misturas de referência que se apresentam no Quadro 7.3. Posteriormente, em número mais reduzido, serão estudadas as seis misturas ternárias e a mistura binária de referência que se apresentam no Quadro 7.4. Note-se que as misturas foram classificadas de “binárias” quando associavam um cimento com uma adição e de “ternárias” quando associavam um cimento com duas adições.

Cada uma das misturas de finos que se apresentam no Quadro 7.3 e no Quadro 7.4 é identificada por uma sigla que traduz a dosagem de cada um dos elementos constituintes dessa mistura, expressa em percentagem do volume absoluto total de materiais finos.

Assim, por exemplo, a sigla (80C2+20FC) representa uma mistura de materiais finos cujo volume absoluto total é constituído em 80% por cimento do tipo CEM II/B-L32,5N e em 20% por fíler calcário.

No que se segue neste trabalho e apenas por simplificação, a expressão “mistura de materiais finos” será substituída em algumas circunstâncias pela expressão “família de finos”. Do mesmo modo, poderão ser utilizadas as expressões “família de argamassa” ou “família de betão” associadas a uma determinada “família de finos” do mesmo nome, sempre que a constituição dos materiais finos seja a mesma.

Quadro 7.3 – Misturas binárias de cimentos e adições para a composição dos finos

Materiais ► Misturas ▼		Materiais Cimentíceos				Fíler	
		Cimentos		Adições Tipo II		Adições Tipo I	
		CEM I 42,5R (C1) $\bar{\delta}_{C1} = 3140$ kg/m ³	CEM II/B L32,5N (C2) $\bar{\delta}_{C2} = 3040$ kg/m ³	Cinzas volantes (CV) $\bar{\delta}_{CV} = 2380$ kg/m ³	Microsílica (Sikacrete HD) (MS) $\bar{\delta}_{MS} = 2170$ kg/m ³	Fíler calcário (Micro100 AB) (FC) $\bar{\delta}_{FC} = 2720$ kg/m ³	Fíler granítico (FG) $\bar{\delta}_{FG} = 2650$ kg/m ³
Ref.	1 100C2	---	fc2= 1,00 (1,00)	---	---	---	---
Misturas binárias	2 80C2+20FC	---	fc2= 0,80 (0,817)	---	---	ffc= 0,20 (0,183)	---
	3 80C2+20FG	---	fc2= 0,80 (0,821)	---	---	---	ffg= 0,20 (0,179)
	4 80C2+20CV	---	fc2= 0,80 (0,836)	fcv= 0,20 (0,164)	---	---	---
	14 60C2+40FC	---	fc2= 0,60 (0,626)	---	---	ffc= 0,40 (0,374)	---
	15 50C2+50FC	---	fc2= 0,50 (0,528)	---	---	ffc= 0,50 (0,472)	---
	Ref.	5 100C1	fc1= 1,00 (1,00)	---	---	---	---
Misturas binárias	6 70C1+30FC	fc1= 0,70 (0,729)	---	---	---	ffc= 0,30 (0,271)	---
	7 70C1+30FG	fc1= 0,70 (0,734)	---	---	---	---	ffg= 0,30 (0,266)
	8 70C1+30CV	fc1= 0,70 (0,755)	---	fcv= 0,30 (0,245)	---	---	---
	9 60C1+40FC	fc1= 0,60 (0,634)	---	---	---	ffc= 0,40 (0,366)	---
	10 60C1+40FG	fc1= 0,60 (0,640)	---	---	---	---	ffg= 0,40 (0,360)
	11 60C1+40CV	fc1= 0,60 (0,664)	---	fcv= 0,40 (0,336)	---	---	---
	12 50C1+50FC	fc1= 0,50 (0,536)	---	---	---	ffc= 0,50 (0,464)	---
	13 40C1+60FC	fc1= 0,40 (0,435)	---	---	---	ffc= 0,60 (0,565)	---

Nota: f_i – fracção unitária do material i, em volume (entre parêntesis apresenta-se a correspondente fracção unitária em massa)

Quadro 7.4 – Misturas ternárias de cimentos e adições para a composição dos finos

Materiais ►		Materiais Cimentícios				Filer	
		Cimentos		Adições Tipo II		Adições Tipo I	
		CEM I 42,5R (C1) $\bar{\delta}_{C1} = 3140$ kg/m ³	CEM II/B-L 32,5N (C2) $\bar{\delta}_{C1} = 3040$ kg/m ³	Cinzas volantes (CV) $\bar{\delta}_{CV} = 2380$ kg/m ³	Microsílica (Sikacrete HD) (MS) $\bar{\delta}_{MS} = 2170$ kg/m ³	Filer calcário (Micro100 AB) (FC) $\bar{\delta}_{FC} = 2720$ kg/m ³	Filer granítico (FG) $\bar{\delta}_{FG} = 2650$ kg/m ³
Misturas ▼	Ref.						
Misturas ternárias	I 93C1+7MS	$f_{C1} = 0,93$ (0,951)	---	---	$f_{MS} = 0,07$ (0,049)	---	---
	II 65C1+5MS+30FC	$f_{C1} = 0,65$ (0,688)	---	---	$f_{MS} = 0,05$ (0,037)	$f_{FC} = 0,30$ (0,275)	---
	III 65C1+5MS+30FG	$f_{C1} = 0,65$ (0,693)	---	---	$f_{MS} = 0,05$ (0,037)	---	$f_{FG} = 0,30$ (0,270)
	IV 65C1+5MS+30CV	$f_{C1} = 0,65$ (0,713)	---	$f_{CV} = 0,30$ (0,249)	$f_{MS} = 0,05$ (0,038)	---	---
	V 56C1+4MS+40FC	$f_{C1} = 0,56$ (0,599)	---	---	$f_{MS} = 0,04$ (0,030)	$f_{FC} = 0,40$ (0,371)	---
	VI 56C1+4MS+40FG	$f_{C1} = 0,56$ (0,605)	---	---	$f_{MS} = 0,04$ (0,030)	---	$f_{FG} = 0,40$ (0,365)
	VII 56C1+4MS+40CV	$f_{C1} = 0,56$ (0,629)	---	$f_{CV} = 0,40$ (0,340)	$f_{MS} = 0,04$ (0,031)	---	---

Nota: f_i – fracção unitária do material i, em volume (entre parêntesis apresenta-se a correspondente fracção unitária em massa)

7.5 – Estudos em argamassas

7.5.1 – Introdução

O betão auto-compactável pode ser encarado como um material compósito, constituído por agregados grossos dispersos numa matriz formada pela argamassa. Tal argamassa deverá possuir determinadas propriedades reológicas de forma a proporcionar a adequada deformabilidade e coesão da mistura capazes de conduzir à obtenção de betões auto-compactáveis. Por outro lado, garantidas as condições de auto-compactabilidade, a resistência dos betões auto-compactáveis dependerá sobretudo da resistência da matriz argamassa. Admitindo esta premissa, o estudo das argamassas poderá ser feito separadamente, assumindo desta forma um papel determinante para a obtenção de betões auto-compactáveis.

Admitindo que as propriedades da matriz argamassa são determinantes para a obtenção de betões auto-compactáveis, importa sobretudo analisar e definir de que forma esta condiciona, quer as propriedades reológicas e a trabalhabilidade do betão fresco, quer as propriedades mecânicas do betão endurecido.

Apesar de aparentemente simples, a obtenção de argamassas adequadas à produção de betões auto-compactáveis reveste-se de alguma complexidade, uma vez que a própria argamassa isoladamente pode ser também encarada como um compósito constituído pelos agregados finos dispersos numa matriz formada pela pasta. Nesta perspectiva acrescentar-se-ia que, em última análise, a resistência da argamassa dependeria da resistência da pasta, que por sua vez dependeria das associações de materiais finos utilizadas na sua composição, já que para cada associação de materiais finos as dosagens de água e superplastificantes serão condicionadas pelas propriedades reológicas a obter. Contudo, esta premissa só é válida se as características físicas dos agregados finos se mantiverem constantes e se a proporção entre os materiais finos e os agregados finos se mantiver igualmente constante.

No método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], a relação em volume absoluto entre a dosagem de materiais finos e a dosagem de agregados finos (V_p/V_s) é mantida praticamente constante, já que o autor propõe que se utilize sempre um volume absoluto de agregados finos da ordem de 40% do volume da argamassa ($V_s/V_m = 0,40$). Contudo, outros autores [12, 14] já demonstraram ser possível produzir betões auto-compactáveis utilizando argamassas com um volume absoluto de agregados finos ligeiramente superior àquele proposto por Okamura et al.

Admitindo ser possível produzir betões auto-compactáveis utilizando argamassas com diferentes volumes absolutos de agregados finos, será então aceitável admitir também que poderão ser utilizados valores diferentes da relação V_p/V_s . O valor de V_p/V_s representa basicamente um traço da argamassa em volume absoluto e, como tal, está estreitamente relacionado com a resistência à compressão.

Pelo exposto, para a realização deste trabalho, foram seleccionados dois parâmetros para o controle da resistência à compressão de argamassas que possuem o mesmo comportamento reológico: o primeiro consiste na selecção de uma determinada família de argamassa (família de finos), enquanto o segundo é traduzido pela relação em volume absoluto entre as dosagens de materiais finos e de agregados finos (V_p/V_s). Em síntese, estes parâmetros permitem não só controlar as proporções entre as quantidades de materiais finos e de agregados finos presentes na mistura, como permitem também seleccionar a família de finos.

Na expectativa de que a introdução destes dois parâmetros (V_p/V_s e família de finos) pudesse contribuir para uma maior flexibilidade no estudo da composição dos betões auto-compactáveis, entendeu-se que a metodologia que se viesse a adoptar na realização do programa experimental deveria pressupor que estes parâmetros fossem incluídos no procedimento de cálculo das argamassas e que fossem produzidas amassaduras experimentais para avaliar as propriedades dessas argamassas nos estados fresco e endurecido. Em consequência disso, o programa experimental foi estruturado em três fases: *Estudo da Composição das Argamassas*; *Avaliação das Propriedades das Argamassas no Estado Fresco* e, por último, a *Avaliação das Propriedades das Argamassas no Estado Endurecido*.

7.5.2 – Estudo da composição das argamassas

7.5.2.1 - Generalidades

Um dos aspectos que tem sido discutido no que respeita ao estudo da composição dos betões auto-compactáveis está relacionado com a contabilização, ou não, da contribuição para o volume de finos proveniente dos agregados. Rigorosamente, esta contribuição deve ser encarada na sua globalidade, ou seja, no estudo da composição dos betões, já que esses finos poderão ser também transportados pelos agregados grossos,

embora normalmente em menor escala. Por hipótese, se a quantidade de finos transportada pelos agregados grossos fosse significativa, isso dificultaria a análise separada da argamassa já que esses finos teriam sempre que ser contabilizados.

Objectivamente, na execução deste trabalho e após uma análise aprofundada sobre o assunto, optou-se por desprezar a contribuição para o volume de finos proveniente dos agregados, por duas razões fundamentais: em primeiro lugar, após várias simulações, concluiu-se que essa contribuição era desprezável uma vez que os agregados normalmente utilizados são lavados e a quantidade de finos que transportam (diâmetro $< 0,075$ mm) é pouco significativa; em segundo lugar pretendeu-se construir um modelo de cálculo que fosse suficientemente simples de executar.

A curva granulométrica de referência e por inerência, as percentagens unitárias em volume absoluto dos agregados finos são assumidas como constantes ao longo deste trabalho. Importa referir a este respeito que a curva de referência apresentada poderá ser facilmente reproduzida em qualquer situação prática utilizando-se outros agregados finos de fusos granulométricos próximos. Bastaria, para tal, determinar a melhor combinação dos agregados que conduzem ao menor afastamento da curva de referência, como aliás se faz para os betões correntes. Contudo, salienta-se que a curva de referência pode não corresponder efectivamente à curva ideal, já que a influência da distribuição granulométrica não será avaliada neste trabalho e nada se poderá concluir a esse respeito.

A metodologia adoptada nesta fase do programa experimental pressupõe a seguinte abordagem:

1) Será utilizada uma única curva de referência para os agregados finos, conforme se definiu no Sub-Capítulo 7.3. Daqui resulta que não será avaliada a influência da distribuição granulométrica dos agregados finos na argamassa;

2) Serão utilizados os seguintes parâmetros chave para o estudo da composição das argamassas: a família de finos (mistura de finos, tal como definida no Sub-Capítulo 7.4), V_p/V_s (relação em volume absoluto entre a dosagem de materiais finos e a dosagem de agregados finos na argamassa), V_w/V_p (relação em volume absoluto entre a dosagem de

água e a dosagem de materiais finos na argamassa) e finalmente Sp/p% (relação expressa em percentagem entre a dosagem em massa de superplastificante e a dosagem em massa de materiais finos). Será desprezada a contribuição do volume de vazios;

3) Para o estudo das argamassas será desenvolvida uma folha de cálculo EXCEL, que a partir dos parâmetros chave e da curva granulométrica de referência determina a dosagem final da argamassa.

7.5.2.2 – Cálculo das argamassas

O procedimento de cálculo que se apresenta a seguir é exemplificativo para uma situação em que se dispõe de dois agregados finos e uma qualquer mistura de finos, seleccionada de entre os seis materiais finos utilizados neste trabalho. No entanto, este raciocínio é extensivo a outras situações similares, quaisquer que sejam o número de agregados finos ou o tipo de misturas de finos, sejam elas binárias, ternárias, etc.. Basta que, para tal, sejam feitas as adaptações necessárias.

Uma vez conhecidos os parâmetros das argamassas o seu cálculo torna-se bastante simples. Importa, neste caso, esclarecer quais os parâmetros utilizados e as premissas assumidas.

Foram utilizados os seguintes parâmetros:

1) Os parâmetros que definem a constituição dos agregados finos, nomeadamente a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 01 (a_1) e a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 05 (a_2), ambas referidas ao volume absoluto do total de agregados finos (V_s). A seguinte expressão traduz a participação de cada tipo de areia no volume de agregados finos:

$$V_s = a_1 \times V_s + a_2 \times V_s \quad (7.1)$$

2) Os parâmetros que definem a família de finos são: as percentagens unitárias em volume absoluto do cimento tipo I 42,5R (fc_1), do cimento tipo II/B-L32,5N (fc_2), das cinzas volantes (fcv), da microssilica (fms), do fíler calcário (ffc) e finalmente do fíler granítico (ffg). Estas percentagens são referidas ao volume absoluto do total de material fino (V_p). A seguinte expressão traduz a participação relativa dos vários componentes:

$$V_p = fc_1 \times V_p + fc_2 \times V_p + fcv \times V_p + fms \times V_p + ffc \times V_p + ffg \times V_p \quad (7.2)$$

3) O parâmetro (V_p/V_s) que pretende representar a relação em volume absoluto entre as quantidades de finos e de agregados finos;

4) O parâmetro (V_w/V_p) que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e de materiais finos;

5) O parâmetro ($S_p/p\%$) que representa a relação percentual em massa entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos.

Foi assumida a seguinte premissa:

1) O volume de vazios (V_v) será desprezado para efeitos do cálculo das argamassas:

Assumindo como unidade de volume o m^3 , a fórmula fundamental do cálculo das argamassas assume a seguinte expressão:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad (7.3)$$

Onde:

V_p é o volume absoluto de materiais finos em m^3/m^3 ,

V_w é o volume de água em m^3/m^3 ,

V_s é o volume absoluto de agregados finos em m^3/m^3 ,

V_{sp} é o volume de superplastificante em m^3/m^3 ,

V_v é o volume de vazios em m^3/m^3 ,

Desprezando a contribuição do volume de vazios resulta:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = 1,0 \quad (7.4)$$

Ou seja:

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times V_p + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = 1,0 \quad (7.5)$$

Deste modo obtêm-se as seguintes expressões:

$$V_p = \frac{1}{1 + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right)} \quad (7.6)$$

$$V_w = \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p \quad (7.7)$$

$$V_{sp} = \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p \quad (7.8)$$

$$V_s = \frac{V_p}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \quad (7.9)$$

Note-se ainda que:

$$\left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) = \left(\frac{S_p}{P}\right) \times \frac{\delta_p}{\delta_{SP}} \quad (7.10)$$

Onde:

$$\delta_p = fc1 \times \delta_{C1} + fc2 \times \delta_{C2} + fcv \times \delta_{CV} + fms \times \delta_{ms} + ffc \times \delta_{FC} + ffg \times \delta_{FG} \quad (7.11)$$

e

$$\left(\frac{S_p}{P}\right) = \left(\frac{S_p}{P}\right) / 100 \quad (7.12)$$

Uma vez conhecido o valor de V_p , podem ser determinadas as dosagens dos materiais finos a partir das seguintes expressões:

$$V_{C1} = fc1 \times V_p ; \quad V_{C2} = fc2 \times V_p \quad (7.13, 7.14)$$

$$V_{CV} = fcv \times V_p ; \quad V_{MS} = fms \times V_p \quad (7.15, 7.16)$$

$$V_{FC} = ffc \times V_p ; \quad V_{FG} = ffg \times V_p \quad (7.17, 7.18)$$

Onde:

V_{C1} é o volume absoluto de cimento tipo I 42,5R, em m^3/m^3 ,

V_{C2} é o volume absoluto de cimento tipo II/B-L32,5N, em m^3/m^3 ,

V_{CV} é o volume absoluto de cinzas volantes, em m^3/m^3 ,

V_{MS} é o volume absoluto de microssílica, em m^3/m^3 ,

V_{FC} é o volume absoluto de fíler calcário, em m^3/m^3 ,

V_{FG} é o volume absoluto de fíler granítico, em m^3/m^3 ,

Os restantes parâmetros assumem o significado já anteriormente referido.

Da mesma forma, conhecido o valor de V_s podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados finos a partir das seguintes expressões:

$$V_{S1} = a_1 \times V_s \quad e \quad V_{S2} = a_2 \times V_s \quad (7.19, 7.20)$$

Onde:

V_{S1} é o volume absoluto do agregado fino 1 (Areia 01), em m^3/m^3 ,

V_{S2} é o volume absoluto do agregado fino 2 (Areia 05), em m^3/m^3 ,

a_1 é a percentagem unitária do agregado fino 1 (Areia 01),

a_2 é a percentagem unitária do agregado fino 2 (Areia 05).

Uma vez conhecidas todas as dosagens em volume absoluto, a sua conversão para valores em massa é feita a partir das massas volúmicas respectivas. Os resultados assim obtidos referem-se a dosagens por metro cúbico de argamassa.

7.5.2.3 – Folha de cálculo EXCEL para argamassas

A previsão de um elevado número de argamassas a produzir em laboratório no decurso deste trabalho e a necessidade destas serem rapidamente calculadas entre cada ensaio laboratorial, conduziu ao desenvolvimento de uma folha de cálculo (EXCEL) para o estudo da composição de argamassas. Um exemplo da resposta fornecida pela folha de cálculo é ilustrado no Quadro 7.5, na situação particular de uma mistura em que: $a_1= 0,40$; $a_2= 0,60$; $fc_1= 0,60$; $ffc= 0,40$; $Vp/Vs= 0,70$; $Vw/Vp= 0,80$ e $Sp/p\%= 1,60$. Os valores apresentados a azul representam os dados de entrada.

Quadro 7.5 – Exemplo da folha de cálculo EXCEL desenvolvida para argamassas

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																			
Identificação da argamassa A.9.0.70.3			Identificação da mistura de finos 60C1+40FC				Data 18-05-2004																																																												
Parâmetros da composição			<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>							Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05									Mistura (Curva Real)																																																								
	a1	a2																																																																	
	0,40	0,60																																																																	
Percentagem de passados																																																																			
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																
Módulos de finura																																																																			
	1,494	2,704	2,220																																																																
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,70	0,80	1,60																																																														
Composição da mistura de finos																																																																			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																														
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																														
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																														
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																														
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																			
δs1	δs2	---	---	---	---																																																														
2590	2610	---	---	---	---																																																														
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																			
δsp	---	---	---	---	---																																																														
1050	---	---	---	---	---																																																														
<table border="1"> <tbody> <tr> <td>δp=</td> <td>2972,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,045288 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,30545 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,24436 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,013833 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,436357 m³/m³</td> </tr> </tbody> </table>						δp=	2972,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,045288 m ³ /m ³	Vp=	0,30545 m ³ /m ³	Vw=	0,24436 m ³ /m ³	Vsp=	0,013833 m ³ /m ³	Vs=	0,436357 m ³ /m ³																																																		
δp=	2972,00 kg/m ³																																																																		
Vsp/Vp=	0,045288 m ³ /m ³																																																																		
Vp=	0,30545 m ³ /m ³																																																																		
Vw=	0,24436 m ³ /m ³																																																																		
Vsp=	0,013833 m ³ /m ³																																																																		
Vs=	0,436357 m ³ /m ³																																																																		
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros					Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																														
C1=	575,5 kg				C1=	920,7 g																																																													
C2=	0,0 kg				C2=	0,0 g																																																													
CV=	0,0 kg				CV=	0,0 g																																																													
MS=	0,0 kg	Massa total, em kg			MS=	0,0 g	Massa total, em g																																																												
FC=	332,3 kg	2302,1			FC=	531,7 g	3683,3																																																												
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)			FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																												
W=	244,4 litros	0,425			W=	391,0 ml	0,425																																																												
Sp=	13,83 litros				Sp=	22,13 ml																																																													
S1=	452,1 kg	Razão água/finos			S1=	723,3 g	Razão água/finos																																																												
S2=	683,3 kg	0,269			S2=	1093,3 g	0,269																																																												

A formatação da folha de cálculo admite qualquer mistura de finos (seleccionados de entre os seis materiais finos utilizados neste trabalho) e a utilização de dois agregados finos. Os parâmetros, siglas e expressões matemáticas incorporados na folha de cálculo são os mesmos já apresentados no Sub-Capítulo 7.5.2.2.

7.5.3 – Avaliação das propriedades da argamassa no estado fresco

7.5.3.1 – Generalidades

Foi já referido anteriormente que todas as argamassas que passariam à segunda fase deste trabalho, concretamente ao estudo dos betões, deveriam apresentar propriedades reológicas semelhantes e que tais propriedades seriam aquelas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis. Impunha-se, deste modo, estabelecer os meios e a forma de se atingir tal objectivo. Nesse sentido, a metodologia adoptada nesta fase do programa experimental pressupõe a seguinte abordagem:

1) A definição das propriedades reológicas a avaliar e a selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio a utilizar para esse fim, tendo em consideração a pesquisa bibliográfica efectuada sobre o assunto;

2) A definição de um intervalo admissível para a variação dos parâmetros reológicos das argamassas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis. Este intervalo de variação foi definido com base nas propostas de diferentes autores;

3) A definição dos procedimentos experimentais a adoptar com vista à obtenção de argamassas com o comportamento reológico predefinido. Sem descurar a necessária precisão que se impunha, os procedimentos experimentais a definir deveriam ser suficientemente expeditos, de tal forma que pudessem ser facilmente reproduzidos e incluídos em qualquer procedimento de cálculo que se viesse a definir para o estudo da composição dos betões auto-compactáveis;

4) A realização de ensaios laboratoriais em argamassas, combinando os diferentes parâmetros utilizados. Para cada família (mistura de finos) e para cada um dos seguintes valores adoptados para o parâmetro V_p/V_s (0,60; 0,65; 0,70; 0,75 e 0,80) serão realizadas amassaduras experimentais fazendo variar V_w/V_p e $S_p/p\%$. Os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$ que conduzirem à obtenção das propriedades reológicas pretendidas serão a resposta das amassaduras experimentais. Assim, para cada família (mistura de finos) e para cada V_p/V_s resultarão os parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$ que conduzem às propriedades reológicas estabelecidas.

7.5.3.2 – Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio

Tem sido referido que a medição de parâmetros reológicos de argamassas, como sejam a tensão de corte e a viscosidade plástica, requerem o uso de reómetros. Contudo, devido ao seu elevado custo, poucos laboratórios dispõem de reómetros para este efeito e, por outro lado, estes equipamentos têm-se mostrado pouco expeditos para uso generalizado. Como forma de solucionar esse problema têm sido propostos dois equipamentos alternativos que permitem medir parâmetros estreitamente relacionados com os parâmetros reológicos medidos pelo reómetro [13]. Por exemplo, a tensão de corte está relacionada com a deformabilidade medida através do diâmetro de espalhamento de um tronco cónico de argamassa, enquanto a viscosidade plástica está relacionada com a fluidez medida pelo tempo de escoamento deste material num funil de faces planas. Esses ensaios têm sido usados por diferentes autores e o seu uso tem sido muito generalizado em todo o mundo; são frequentemente designados por “ensaio de espalhamento” e “ensaio de fluidez”.

As dimensões típicas dos equipamentos utilizados nos ensaios de espalhamento e de fluidez, com aplicação em argamassas, foram já anteriormente apresentadas no Capítulo 6. Uma vez que nenhum destes equipamentos de ensaio se encontrava à data disponível no mercado, entendeu-se adequado proceder à sua fabricação em empresas metalomecânicas da região. As dimensões adoptadas para os equipamentos de ensaio foram aquelas

propostas por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] para o estudo do comportamento reológico das argamassas.

Considerando que algumas das opções tomadas ao longo deste trabalho, no que concerne à metodologia adotada, tiveram como referência o método de Okamura et al. [11, 35, 47, 51], impunha-se a utilização de equipamentos com dimensões semelhantes às aquelas propostas por estes autores, ainda que não necessariamente iguais. Apesar da insistência para que as dimensões fossem respeitadas com o maior rigor, o certo é que se verificou, em alguns casos, pequenas diferenças dimensionais comparativamente aos equipamentos propostos por Okamura et al. Em síntese, para o ensaio das argamassas foi produzido um “cone de espalhamento” e um “Funil-V” cujas dimensões finais se apresentam respectivamente na Figura 7.9 e Figura 7.10.

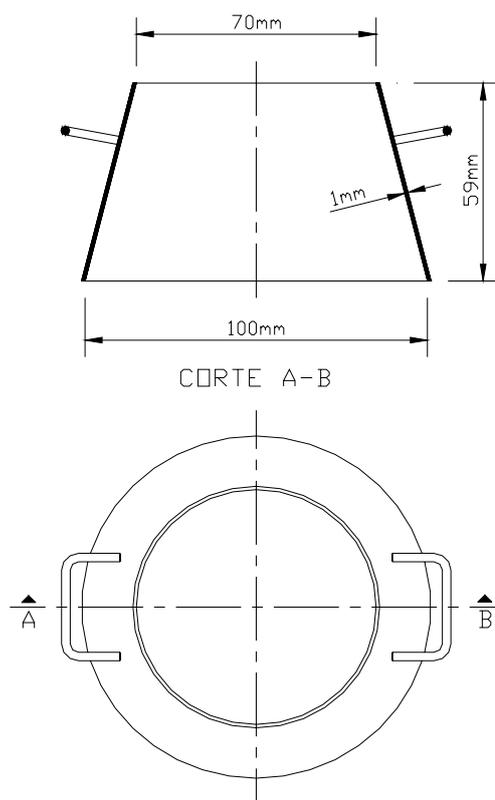


Figura 7.9 – Cone para o ensaio de espalhamento em argamassas

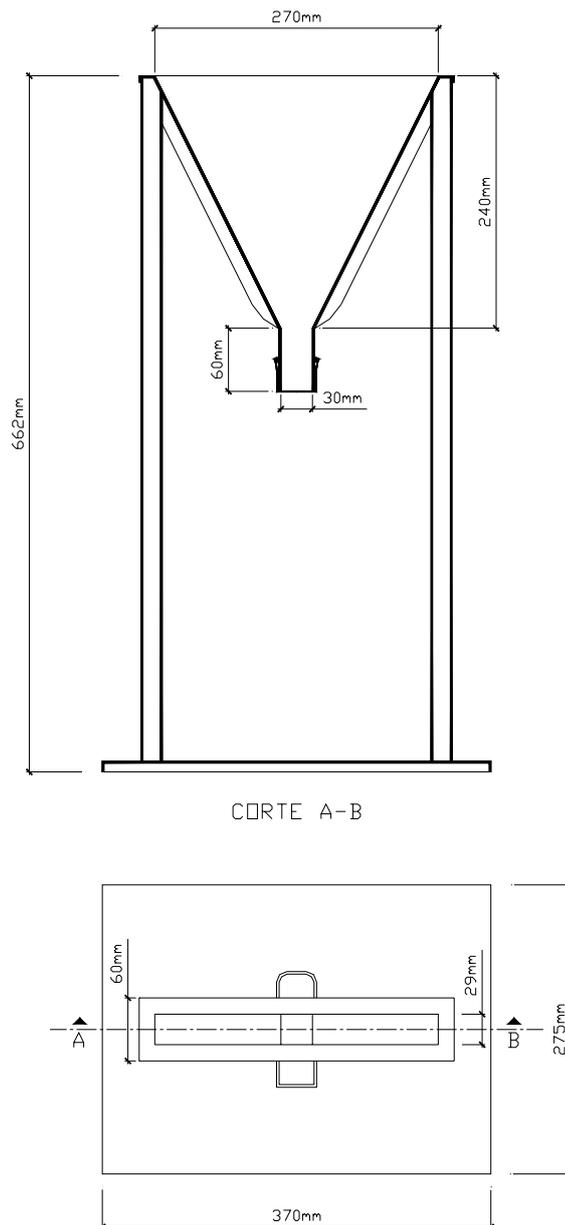


Figura 7.10 – Funil-V para o ensaio de fluidez das argamassas

7.5.3.3 – Definição do comportamento reológico pretendido

Os parâmetros reológicos das argamassas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis foram definidos por Okamura et al. [11, 35, 47, 51]. Tais parâmetros são avaliados com recurso aos ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V) e são expressos, respectivamente, em termos da área de espalhamento relativa (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm). Os parâmetros Gm e Rm assumem nesse método os seguintes valores:

$G_m=5$ e $R_m=1$. A Figura 7.11 identifica a posição relativa da proposta de Okamura et al. [11, 35, 47, 51] face a outros trabalhos de investigação [13].

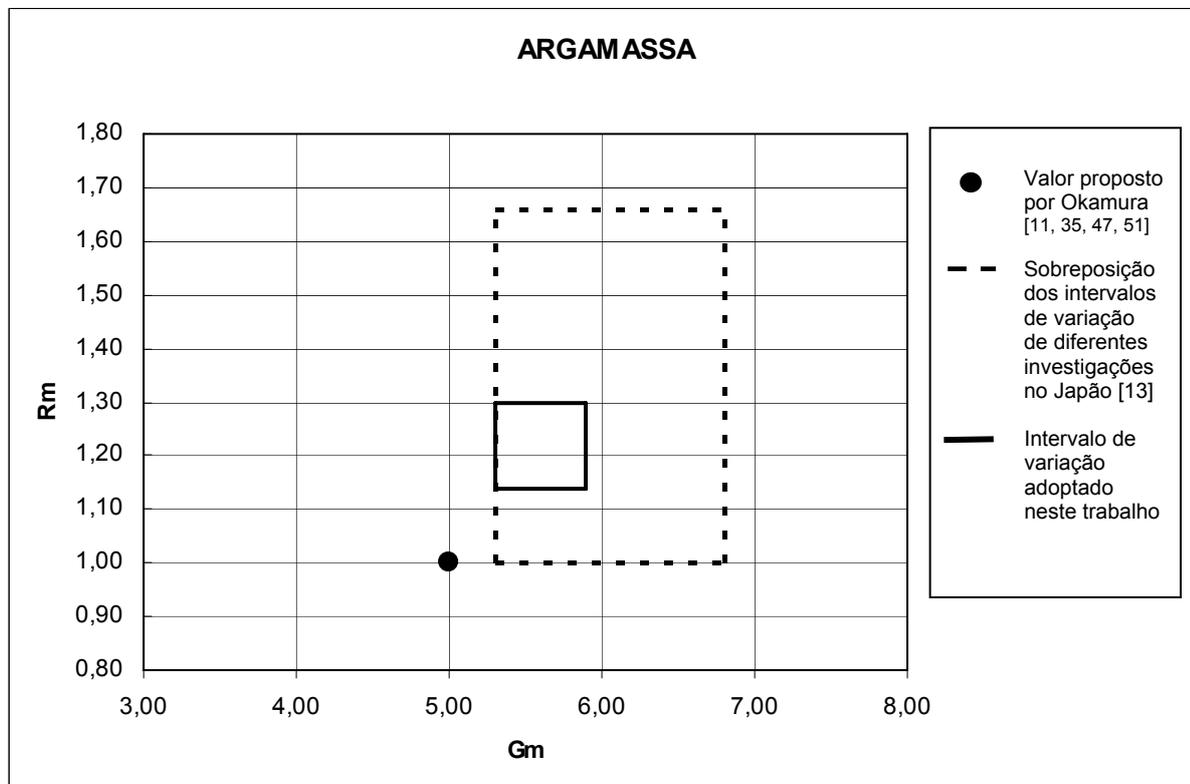


Figura 7.11 – Intervalo de variação dos parâmetros reológicos adoptados

Ao resumir diferentes trabalhos de investigação realizados no Japão, Domone et al. [13] referem a utilização de intervalos distintos daquele proposto por Okamura et al. e que igualmente conduziram à obtenção de betões auto-compactáveis. A sobreposição desses intervalos é apresentada na Figura 7.11.

A prática laboratorial tem demonstrado que os valores de G_m e de R_m são muito sensíveis a qualquer pequena variação das dosagens de água e superplastificante. Consequência deste facto, torna-se quase impraticável obter uma argamassa que apresente exactamente uma única combinação dos dois parâmetros intervenientes, ou seja, um único valor no gráfico que se apresenta na Figura 7.11. Por exemplo, a obtenção de $G_m=5$ e $R_m=1$ equivale a uma argamassa que simultaneamente apresenta um diâmetro médio de

espalhamento de 245 mm e um tempo de escoamento no Funil-V de 10 segundos. As alterações ao método geral propostas por Ouchi et al. [51] permitem, de certa forma, facilitar a obtenção destes valores. Este método inclui um procedimento que permite estimar as dosagens de V_w/V_p e $S_p/p\%$ conducentes à obtenção dos valores de G_m e de R_m pretendidos. Contudo, mesmo este procedimento representa apenas numa estimativa, ainda que suportado por ensaios experimentais. Obviamente, ao especificar os valores de G_m e de R_m , Okamura et al. admitiam algum intervalo de variação inerente ao erro de estimativa.

Pelo exposto, parece mais prático estabelecer um intervalo de variação do que estabelecer uma única combinação de valores de G_m e de R_m . Nesse sentido optou-se, neste trabalho, por definir o intervalo de variação ou “alvo” que se apresenta na Figura 7.11. Neste “alvo” o valor de G_m varia de 5,3 a 5,9 e o valor de R_m varia de 1,14 a 1,30, o que equivale, respectivamente, a uma variação do diâmetro médio de espalhamento entre 251 e os 263 mm e uma variação do tempo de escoamento entre os 7,69 e os 8,77 segundos.

Para a fixação deste intervalo contribuíram os seguintes factores:

1) Tem sido por vezes referido [45, 76] que os valores de $G_m=5$ e $R_m=1$ conduzem a betões auto-compactáveis com algum défice de água de amassadura, em especial quando, simultaneamente, se aumenta o volume de agregados e se reduz a sua máxima dimensão (abaixo dos 20 mm), sendo necessário introduzir pequenas correcções no decurso das amassadura experimentais. Nesse sentido, considerando a utilização de agregados com máxima dimensão inferior a 20 mm e a possibilidade de se aumentar o seu volume, optou-se por especificar valores de G_m e de R_m que pressupunham já na fase das argamassas a utilização de um ligeiro acréscimo do volume de água, com aumentos da razão V_w/V_p da ordem dos 2% a 3%. Tendo por referência o valor proposto por Okamura et al. e uma dosagem constante de superplastificante, o aumento da dosagem de água na proporção indicada conduz sensivelmente à posição proposta para o “alvo” neste trabalho;

2) Os parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$ utilizados neste trabalho são arredondados, respectivamente, aos múltiplos de 0,01 e de 0,05 mais próximos. Uma variação da ordem de 0,01 no parâmetro V_w/V_p quando $S_p/p\%$ permanece constante, ou uma variação da ordem

de 0,05 no parâmetro $Sp/p\%$ quando Vw/Vp permanece constante, produz uma translação da posição no gráfico normalmente superior à amplitude de abertura especificada. Evita-se, neste caso, o risco de uma indefinição quanto ao valor adequado a adoptar para Vw/Vp ou $Sp/p\%$, já que dificilmente dois valores consecutivos de Vw/Vp ou $Sp/p\%$ coincidirão no “alvo” especificado. Este facto só foi perceptível no decurso dos ensaios laboratoriais que se apresentam neste trabalho e conduziu a pequenos ajustamentos do alvo, no sentido da redução da sua amplitude. Inicialmente o alvo era ligeiramente maior. Nos casos em que não foi possível evitar que dois valores consecutivos de Vw/Vp ou $Sp/p\%$ coincidissem no “alvo” especificado, foi necessário optar por um ou outro valor. Por exemplo, entre os valores de $Vw/Vp=0,86$ ou $Vw/Vp=0,87$ ou entre os valores de $Sp/p\%=1,65$ ou $Sp/p=1,70$;

3) Observando a Figura 7.11 constata-se que o “alvo” definido para este trabalho converge para a média dos valores propostos na sobreposição das várias investigações efectuadas no Japão caso nas amassaduras experimentais do betão auto-compactável seja necessário aumentar a dosagem de água de amassadura. Ainda que a opção incida sobre um ligeiro aumento da dosagem de superplastificante, os valores continuam a convergir satisfatoriamente à luz desse pressuposto.

7.5.3.4 – Procedimento adoptado para o acerto da reologia das misturas

Tal como se referiu anteriormente, na alteração ao método geral proposta por Ouchi et al. [51] é descrito um procedimento para a estimativa dos valores de Vw/Vp e $Sp/p\%$. Nessa proposta os autores apresentam um estudo detalhado do comportamento reológico das argamassas, tendo identificado um padrão de comportamento que serviu de base à metodologia que aqui se propõe. A Figura 7.12 e a Figura 7.13 identificam o padrão de comportamento a que se fez referência. Ouchi et al. [51] verificaram que a regressão linear traçada para valores constantes de $Sp/p\%$ e variação de Vw/Vp converge para a origem e que a sua inclinação traduz o efeito do superplastificante (Figura 7.12). A inclinação da recta aumenta com o aumento de $Sp/p\%$. Por outro lado, para valores constantes de Vw/Vp e variação de $Sp/p\%$, a equação assume a tendência que se ilustra na Figura 7.13.

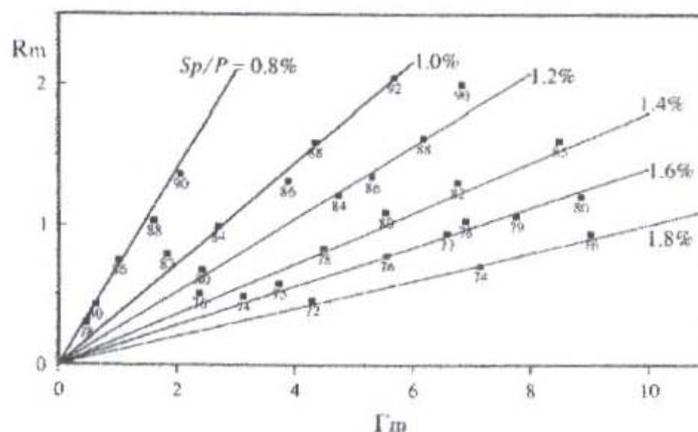


Figura 7.12 – Comportamento reológico das argamassas para $Sp/p\%$ constante [51]

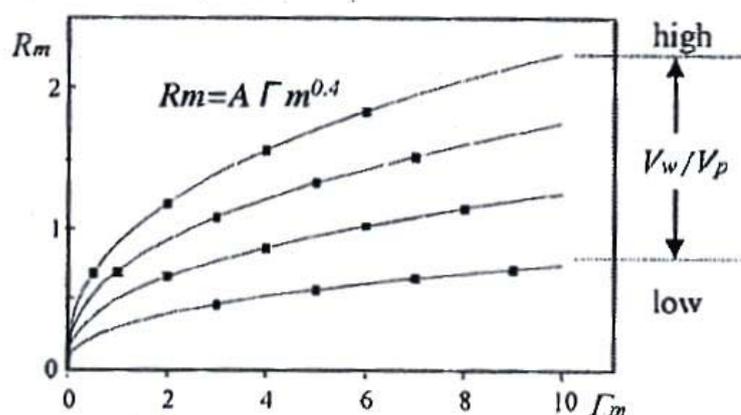


Figura 7.13 – Comportamento reológico das argamassas para V_w/V_p constante [51]

Assumindo esse padrão de comportamento, foi estabelecido um procedimento experimental que permite determinar os valores de V_w/V_p e $Sp/p\%$ das argamassas, conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis. Este procedimento é inteiramente suportado por ensaios laboratoriais e, ao contrário da proposta de Ouchi et al., os valores obtidos são os valores efectivamente medidos em laboratório e não os valores estimados.

A Figura 7.14 ilustra, em termos esquemáticos, as alterações induzidas nas propriedades reológicas das argamassas quando se aumenta V_w/V_p mantendo-se constante o valor de $Sp/p\%$. Da mesma forma, a Figura 7.15 ilustra essas alterações quando se aumenta $Sp/p\%$, mantendo-se constante V_w/V_p . A conjugação destes dois comportamentos permite fazer uma aproximação sucessiva aos valores pretendidos, ou seja, ao “alvo” predefinido.

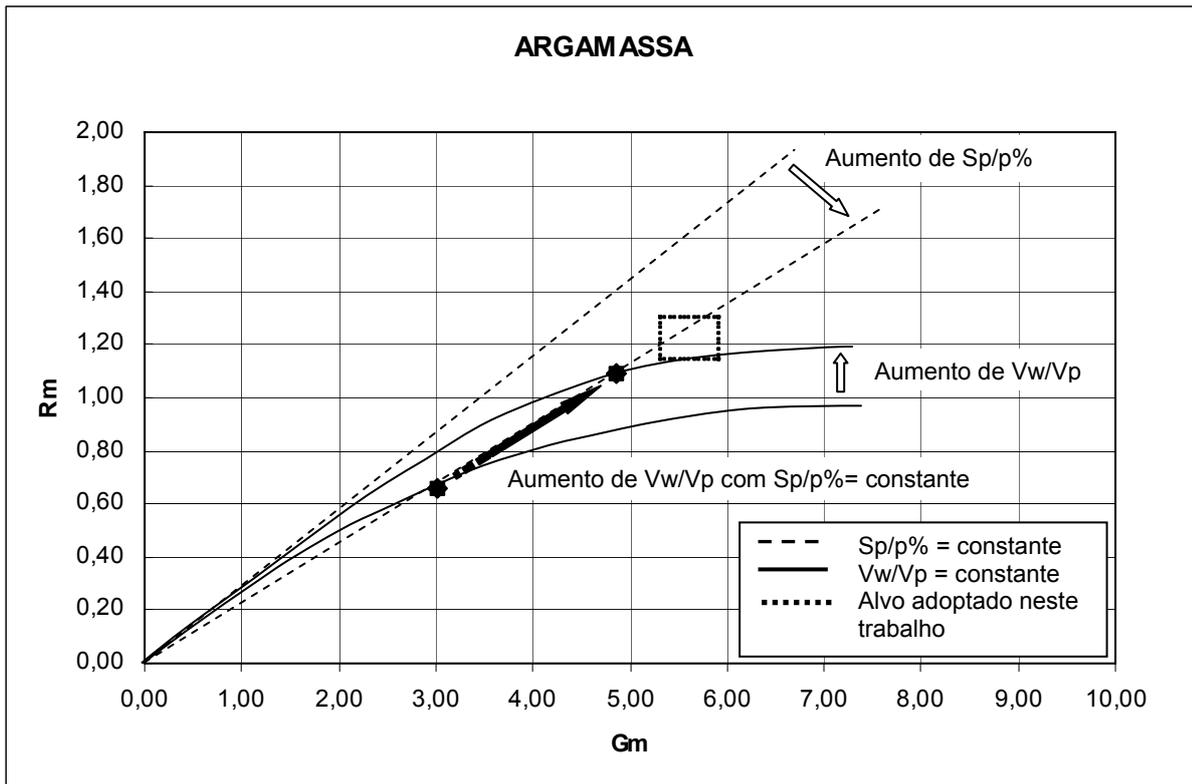


Figura 7.14 – Alterações na reologia com o aumento de V_w/V_p mantendo $S_p/p\%$ constante

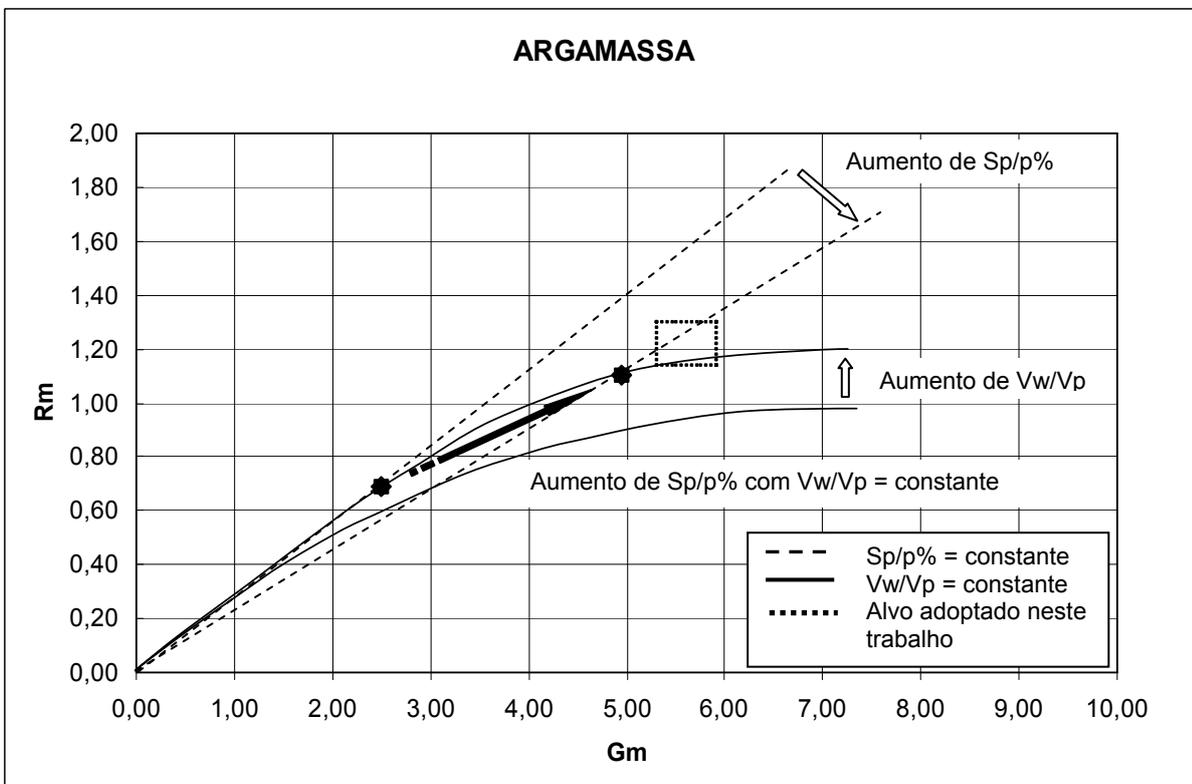


Figura 7.15 – Alterações na reologia com o aumento de $S_p/p\%$ mantendo V_w/V_p constante

A forma mais simples de descrever este procedimento é através da sua exemplificação. Nesse sentido, são apresentados a seguir três situações típicas verificadas.

A Figura 7.16 ilustra uma das situações típicas identificadas no decurso deste trabalho. Concretamente, pode observar-se a forma como foi induzida a alteração das propriedades reológicas fazendo aumentar V_w/V_p , mantendo constante $Sp/p\%$.

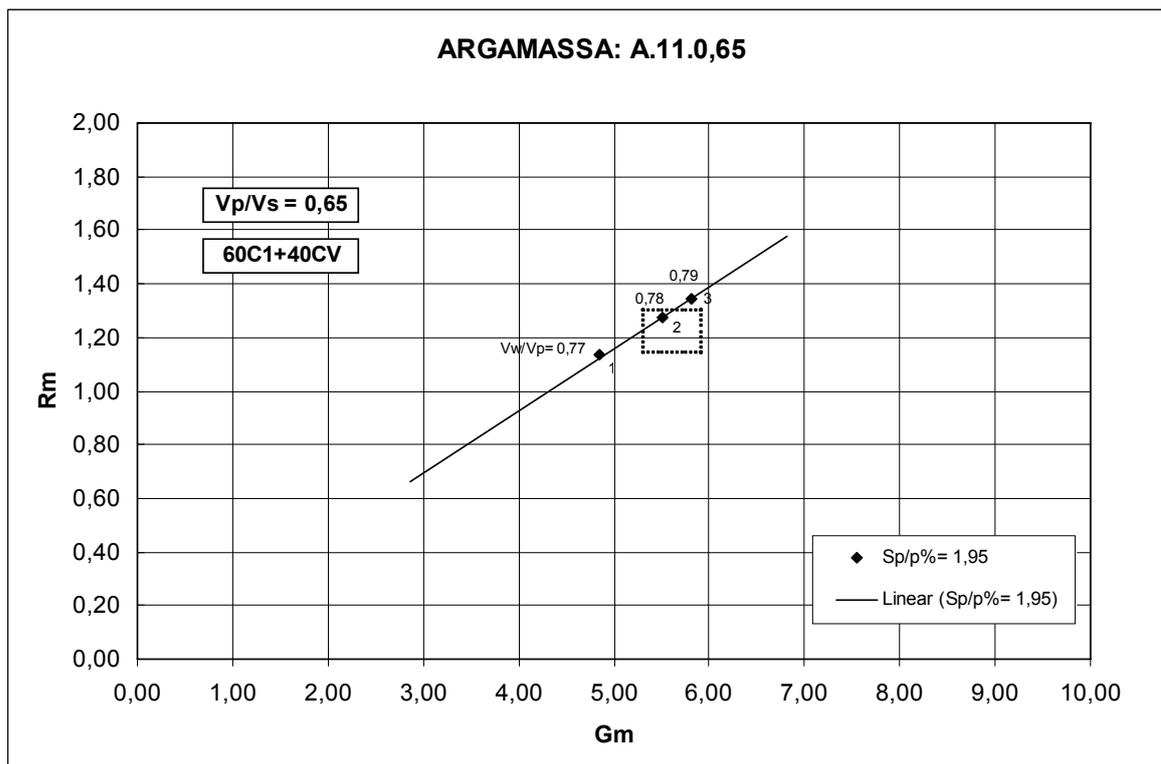


Figura 7.16 – Alterações na reologia com o aumento de V_w/V_p mantendo $Sp/p\%$ constante

Na primeira etapa foram arbitrados os valores de $V_w/V_p=0,77$ e $Sp/p\%=1,95$. Após a primeira amassadura experimental mediram-se os parâmetros reológicos G_m e R_m utilizando, respectivamente, os ensaios de espalhamento e de fluidez. Esses valores foram desenhados num gráfico semelhante àquele que se apresenta na Figura 7.16, tendo-se obtido a posição 1, a qual se situa fora do “alvo” predefinido. Nesse mesmo gráfico é traçada uma recta que passa pelo ponto 1 e converge para a origem. Analisando a situação, verifica-se que a dosagem de superplastificante, expressa em termos de $Sp/p\%$ é correcta e que a convergência se fará aumentando ligeiramente a dosagem de água, expressa em termos de

Vw/Vp. Nesse sentido, procedeu-se ao cálculo de uma nova argamassa utilizando a folha de cálculo EXCEL, introduzindo desta vez os valores de Vw/Vp=0,78 e Sp/p%=1,95. Foi efectuada uma segunda amassadura experimental e verificou-se que os valores de Gm e Rm (ponto 2) respondiam satisfatoriamente, ou seja Vw/Vp=0,78 e Sp/p%=1,95 constituem o resultado final. No âmbito deste trabalho optou-se por identificar sempre pelo menos três pontos da recta. Nesse sentido, o processo iterativo seguiu com mais uma amassadura experimental utilizando desta feita Vw/Vp=0,79 e Sp/p%=1,95. Com estes valores obteve-se o ponto 3 representado no gráfico.

O exemplo que se apresenta na Figura 7.17 representa a situação em que a alteração induzida nas propriedades reológicas se fez à custa do aumento de Sp/p% mantendo Vw/Vp constante.

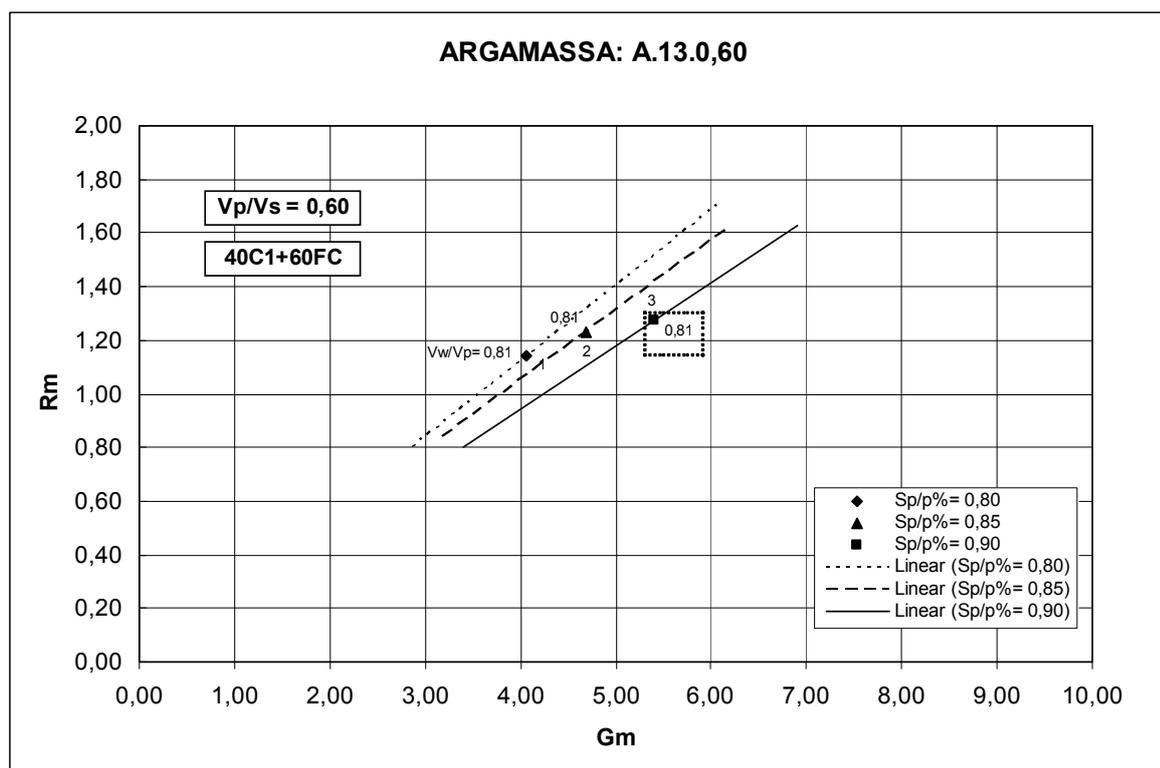


Figura 7.17 – Alterações na reologia com o aumento de Sp/p% mantendo Vw/Vp constante

Após a primeira amassadura experimental com Vw/Vp=0,81 e Sp/p%=0,80 foi identificada a localização do ponto 1 e foi traçada a recta que converge para a origem. Neste

caso parece evidente que o aumento de V_w/V_p não constitui a solução adequada. Contudo, a opção pelo aumento de $Sp/p\%$ também não oferece garantias suficientes de convergência, já que a curva de tendência poderia tangenciar o alvo. Apesar disso, arriscou-se por esta solução (aumento de $Sp/p\%$). Realizada uma nova amassadura com $V_w/V_p=0,81$ e $Sp/p\%=0,85$, localizado o ponto 2 e traçada a nova recta convergente para a origem, a situação ficou mais clara. Talvez fosse possível conseguir a convergência através do aumento de $Sp/p\%$. Testada nova amassadura com $V_w/V_p=0,81$ e $Sp/p\%=0,90$ e localizado o ponto 3 constatou-se que a convergência se deu com sucesso.

A situação que se descreve na Figura 7.18 é a mais usual. Neste caso, a convergência das propriedades reológicas da argamassa é induzida através da alteração concertada das dosagens de água e superplastificante, ou melhor, da alteração concertada dos parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$.

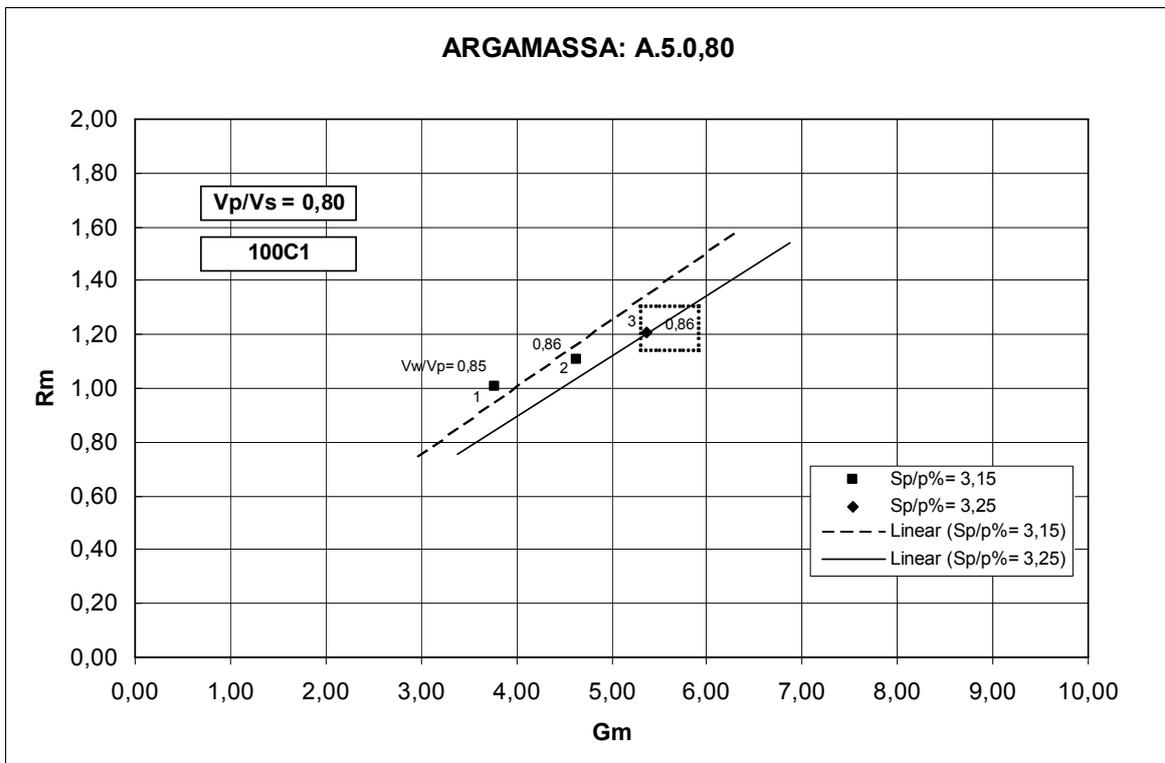


Figura 7.18 – Alterações na reologia com a modificação concertada de $Sp/p\%$ e V_w/V_p

Após o segundo processo iterativo resultaram as localizações dos pontos 1 e 2, que permitiram definir melhor a recta que converge para a origem. Analisada a situação, tornou-se perceptível que o aumento de (V_w/V_p) conduziria à obtenção de uma recta tangente ao alvo e que esta não era a solução a adoptar. Por outro lado, partindo do ponto 2, parece evidente que a solução consiste no aumento de $Sp/p\%$, o que de facto se verificou. Os valores de V_w/V_p e $Sp/p\%$ que conduziram à obtenção do ponto 3 constituem a solução neste caso.

7.5.3.5 – Ensaios laboratoriais

7.5.3.5.1 – Generalidades

Tal como se referiu anteriormente, a metodologia adoptada neste trabalho pressupõe a utilização de parâmetros chave no estudo da composição das argamassas, nomeadamente: a família de finos, V_p/V_s , V_w/V_p e $Sp/p\%$. Os parâmetros família de finos e V_p/V_s são utilizados para controlar a resistência das argamassas e são estabelecidos a priori enquanto que os parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ são determinados experimentalmente de forma a cumprir a premissa assumida quanto ao comportamento reológico.

As diferentes famílias de finos ou associações de materiais finos a estudar ao longo deste trabalho foram já apresentadas no Sub-Capítulo 7.4, enquanto o parâmetro V_p/V_s assume os seguintes valores: 0,60; 0,65; 0,70; 0,75 e 0,80. O intervalo de variação proposto para V_p/V_s coincide sensivelmente com o correspondente intervalo de variação de V_s/V_m (volume absoluto de areia na argamassa) proposto por diferentes autores. O comportamento reológico pretendido para as argamassas foi já estabelecido no Sub-Capítulo 7.5.3.3, através da definição do intervalo de variação admissível para os parâmetros G_m e R_m . Do mesmo modo, foi já estabelecido no Sub-Capítulo 7.5.3.4 o procedimento utilizado para a determinação de V_w/V_p e $Sp/p\%$ que conduz à obtenção de argamassas com o comportamento reológico predefinido.

A campanha laboratorial relativa aos ensaios das propriedades das argamassas no estado fresco, apesar de extensa, não envolve, em cada etapa, um número significativo de ensaios, já que apenas serão realizados os ensaios de espalhamento e de fluidez. A sua extensão resulta basicamente do número de combinações entre os parâmetros chave que controlam a resistência e da maior ou menor dificuldade com que é feito o acerto das misturas para obtenção das propriedades reológicas predefinidas. Resumidamente, para cada família de finos e para cada um dos seguintes valores adoptados para o parâmetro V_p/V_s (0,60; 0,65; 0,70; 0,75 e 0,80) serão realizadas amassaduras experimentais fazendo variar V_w/V_p e $S_p/p\%$. Os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$ que conduzirem à obtenção das propriedades reológicas pretendidas serão a resposta das amassaduras experimentais. Em síntese, para cada família de finos e para cada V_p/V_s resultarão os parâmetros V_w/V_p e $S_p/p\%$ que conduzem às propriedades reológicas estabelecidas.

Neste capítulo importa sobretudo descrever os procedimentos adoptados durante a campanha experimental no que diz respeito ao acondicionamento e medição dos componentes, à realização das amassaduras e à execução dos ensaios de espalhamento e de fluidez.

7.5.3.5.2 – Acondicionamento e medição dos materiais

Acondicionamento dos materiais

Na composição das argamassas foram utilizadas combinações de entre os seguintes materiais sólidos previamente seleccionados para este trabalho: dois agregados finos (Areia 01 e Areia 05), dois ligantes (cimento tipo II/B-L32,5N e cimento tipo I 42,5R), duas adições do tipo II (cinzas volantes e microsilica) e duas adições do tipo I (fíler calcário e fíler granítico). A esses materiais sólidos acrescentam-se os materiais líquidos constituídos pela água e pelo superplastificante.

Logo após a sua recepção, os agregados finos foram armazenados no interior do laboratório em compartimentos adequados, conforme se ilustra na Figura 7.19 e na Figura

7.20. Os restantes materiais sólidos (cimentos e adições) foram colocados separadamente em barricas bem seladas, protegidas da humidade e devidamente catalogadas. Importa apenas acrescentar que o filer granítico necessitou de tratamento prévio antes da sua armazenagem.



Figura 7.19 – Armazenamento da Areia 01



Figura 7.20 – Armazenamento da Areia 05

O filer granítico foi recolhido directamente na empresa de corte de pedras ornamentais, imediatamente após o processo de separação dos finos descrito no Sub-Capítulo 7.2.4. Quando foi transportado para o laboratório apresentava uma consistência

semelhante à “plasticina”, ou seja, transportava humidade suficiente para que as partículas permanecessem aglomeradas. Para evitar que o material transportasse água para as misturas, foi necessário proceder à sua secagem. A secagem ocorreu no interior do laboratório durante cerca de dois meses, dispendo-se o material numa fina camada em tabuleiros de grandes dimensões colocados próximos de fontes de calor (radiadores do aquecimento central do edifício). Após este processo de secagem o material apresentava-se aparentemente seco, tendo sido então triturado num moinho de maxilas para separar os grãos. Após mais uma semana de secagem o fíler granítico foi finalmente acondicionado em barricas tal como os restantes materiais finos.

O superplastificante utilizado (Sika ViscoCrete-3000) foi fornecido em recipientes de 5 litros cada, devidamente rotulados e selados. Após a sua recepção, estes recipientes foram armazenados num compartimento fechado, ao abrigo da luz e do calor.

Medição dos materiais

Cada amassadura experimental de argamassa foi calculada para um volume de 1,60 litros. Todos os componentes da argamassa foram medidos em massa, incluindo o superplastificante e a água de amassadura. Para a pesagem dos materiais foi utilizada uma balança electrónica com divisão de escala de 0,1 gramas e capacidade máxima de 6 kg. Os dois agregados finos utilizados apresentavam-se, na altura da pesagem e da amassadura, saturados de água e com a superfície seca, enquanto que os materiais finos se apresentavam no estado seco.

7.5.3.5.3 – Procedimentos de amassadura

Foram já abordados, no capítulo referente à revisão bibliográfica sobre este assunto, diversos procedimentos de amassadura adoptados para as argamassas. Contudo, poderão destacar-se em especial os estudos realizados por Domone et al. [13]. Concretamente, estes autores identificaram os procedimentos adequados em função do tipo de materiais utilizados. Quando utilizaram um superplastificante de última geração à base de

carboxilatos modificados, Domone et al. [13] verificaram que a maximização dos parâmetros reológicos ocorria quando o superplastificante era introduzido na misturadora decorrido um minuto de amassadura. Este procedimento é ilustrado de forma esquemática na Figura 7.21.

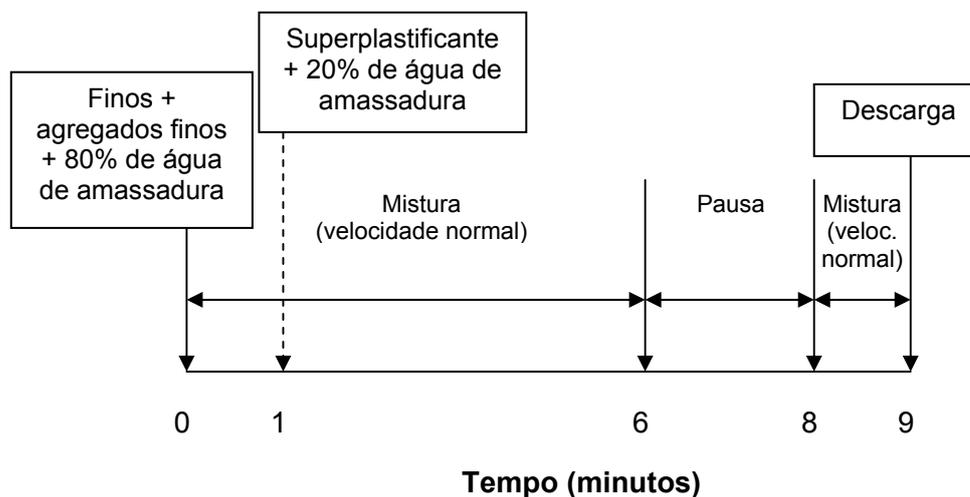


Figura 7.21 – Sequência de mistura das argamassas proposta por Domone et al. [13]

Analisadas as diferentes propostas, entendeu-se adequado adoptar para este trabalho um procedimento o mais próximo possível daquele proposto por Domone et al. [13]. Contudo, foi necessário proceder a algumas alterações que a prática laboratorial revelou necessárias. Em primeiro lugar, tornou-se necessário introduzir a totalidade da água de amassadura logo de início para evitar que a mistura fosse projectada do recipiente da misturadora, o que sucede sempre que a mistura é excessivamente seca. Por outro lado, foi necessário prever uma paragem para limpeza das pás da misturadora de modo a obter garantias de uma mistura homogénea. Introduzidas as referidas adaptações, obteve-se o procedimento ilustrado na Figura 7.22.

Para a realização das amassaduras foi utilizada a misturadora que se ilustra na Figura 7.23 e na Figura 7.24. Trata-se de uma misturadora programável destinada normalmente à produção de pastas e argamassas normalizadas. Apesar de possuir mecanismos automáticos de entrada dos agregados finos e da água de amassadura, estes

não foram utilizados. Todo o processo de entrada dos componentes e de paragem e arranque da misturadora foi controlado manualmente. O tempo de mistura foi medido com um cronómetro que parava sempre que a mistura era interrompida para a limpeza das pás. A introdução do superplastificante foi efectuada sem interrupção do movimento das pás.

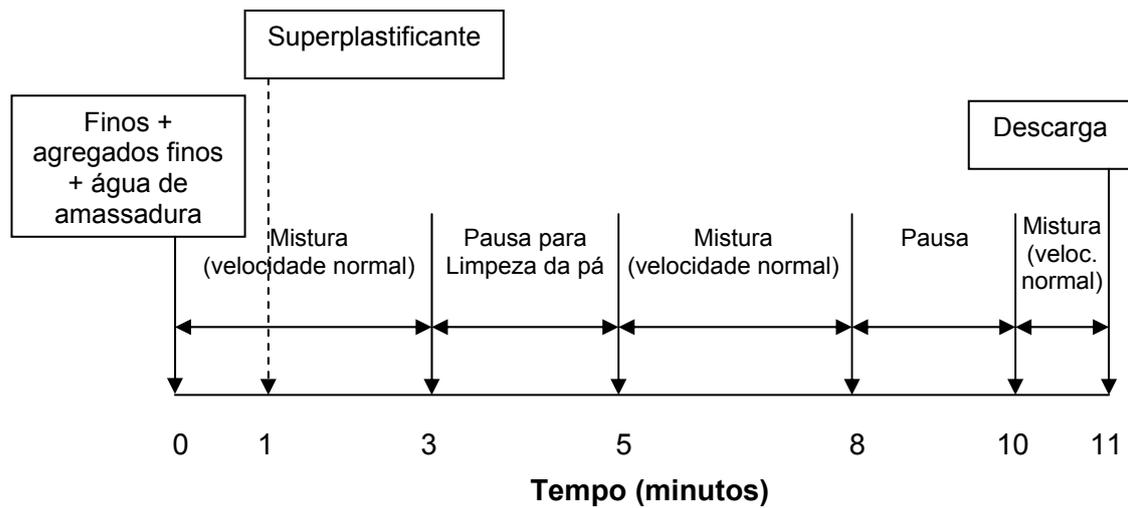


Figura 7.22 – Sequência de amassadura adoptada neste trabalho



Figura 7.23 – Misturadora adoptada neste trabalho



Figura 7.24 – Pormenor da misturadora

7.5.3.5.4 – Procedimentos de ensaio

7.5.3.5.4.1 – Ensaio de espalhamento

Para os dois ensaios aqui apresentados (ensaio de espalhamento e ensaio de fluidez) não existem ainda disposições normativas nacionais ou estrangeiras aplicáveis. Por esse motivo, optou-se por incluir neste Sub-Capítulo uma descrição sumária dos procedimentos de ensaio adoptados, assim como a interpretação dos resultados obtidos.

Procedimento de ensaio

A execução do ensaio exige que o cone de espalhamento seja colocado sobre uma superfície lisa, desempenada, nivelada e sem saliências ou reentrâncias que influenciem o movimento da argamassa durante a sua deformação. O cone e a superfície que lhe serve de base devem ser limpos antes do ensaio com recurso a um pano ligeiramente humedecido.

O ensaio de espalhamento inicia-se com o enchimento do tronco cónico com argamassa no estado fresco e logo após a sua amassadura, conforme se ilustra na Figura 7.25. A superfície superior poderá ser alisada mas não deverá ser aplicada qualquer vibração ou outro modo de compactação.



Figura 7.25 – Fase 1 do ensaio de espalhamento

De seguida, o tronco cónico é levantado (veja-se a Figura 7.26) e a argamassa espalha-se até atingir o seu diâmetro máximo de espalhamento, o que coincide com o instante em que o movimento cessa.



Figura 7.26 – Fase 2 do ensaio de espalhamento

Uma vez cessado o movimento da argamassa, procede-se à medição de dois diâmetros segundo duas direcções sensivelmente perpendiculares. A Figura 7.27 e a Figura 7.28 mostram a forma como devem medir-se esses diâmetros. A resposta do ensaio é traduzida pelo diâmetro médio de espalhamento (D_m).



Figura 7.27 – Fase 3 do ensaio de espalhamento

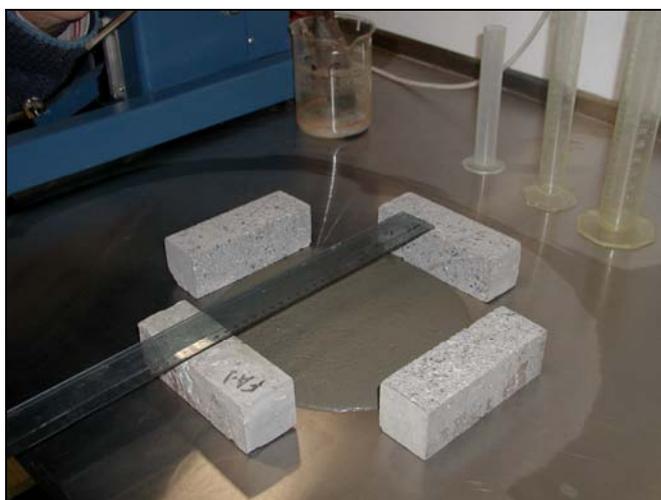


Figura 7.28 – Fase 3 do ensaio de espalhamento

Interpretação dos resultados

O resultado do ensaio de espalhamento pode ser expresso directamente pelo parâmetro medido, ou seja, o diâmetro médio de espalhamento (D_m). Contudo, uma outra

forma de expressar o resultado deste ensaio, consiste na determinação da área de espalhamento relativa, traduzida pela seguinte expressão utilizada no método desenvolvido por Okamura e seus colaboradores [11, 35, 47, 51]:

$$G_m = \left(\frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (7.21)$$

Onde:

G_m é a área de espalhamento relativa;

D_m é o diâmetro médio de espalhamento, em mm;

D_0 é o diâmetro inicial na base do cone, em mm.

7.5.3.5.4.2 – Ensaio de Fluidez

Procedimento de ensaio

A primeira etapa do ensaio consiste na limpeza do funil com um pano ligeiramente humedecido e no seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada. No decurso do ensaio deverá ainda garantir-se que não ocorram movimentos sobre o funil que influenciem o escoamento da argamassa.

Garantidas as condições referidas no parágrafo anterior procede-se ao enchimento do funil conforme se ilustra na Figura 7.29. Após o enchimento, a superfície superior poderá ser alisada mas não deverá ser aplicada qualquer vibração ou outro modo de compactação.

Na etapa seguinte, a comporta inferior é aberta e com o recurso a um cronómetro procede-se à medição do tempo de escoamento. O tempo de escoamento decorre desde o momento exacto em que se abre a referida comporta até que, observando o funil de cima para baixo, surja o primeiro raio de luz no fundo do funil. A Figura 7.30 ilustra o escoamento da mistura após a abertura da comporta.



Figura 7.29 – Enchimento do Funil-V para argamassas



Figura 7.30 – Escoamento da argamassa no Funil-V

Interpretação dos resultados

O resultado do ensaio de fluidez pode ser expresso directamente pelo tempo de escoamento (t), medido em segundos. Contudo, uma outra forma de expressar o resultado deste ensaio, consiste na determinação da velocidade relativa de escoamento, traduzida pela seguinte expressão utilizada no método desenvolvido por Okamura et al. [11, 35, 47, 51]:

$$R_m = \frac{10}{t} \quad (7.22)$$

Onde:

R_m é a velocidade relativa de escoamento, em s^{-1} ;

t é o tempo de escoamento, em segundos.

7.5.4 – Avaliação das propriedades da argamassa no estado endurecido

7.5.4.1 – Generalidades

De acordo com a metodologia proposta para este trabalho, a avaliação das propriedades da argamassa no estado endurecido limita-se apenas à determinação da resistência à compressão. Mais concretamente, limita-se à determinação da resistência à compressão das argamassas que respondam satisfatoriamente aos requisitos de comportamento reológico estabelecidos.

À data da realização deste trabalho, os Laboratórios de Construção da UBI dispunham de uma prensa de compressão electrónica, com controlo semi-automático da taxa de compressão, calibrada e aferida para o ensaio de provetes de betão. A capacidade máxima desta prensa era de 3000 kN.

Sendo aplicada em betões, a calibração da referida prensa é normalmente efectuada em 10 pontos distribuídos entre os 300 kN e os 3000 kN. Contudo, para o ensaio de argamassas os valores da carga de rotura são normalmente inferiores a 300 kN devido à pequena dimensão dos provetes normalmente utilizados. A realização de ensaios em

argamassas nestas condições poderia por em causa os resultados obtidos. Para contornar este problema foram consideradas algumas acções, que na prática se vieram a revelar suficientemente adequadas.

As acções consideradas são a seguir resumidas:

1) Os provetes normalmente moldados para o ensaio à compressão apresentam as dimensões de $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$. Estes provetes são divididos ao meio e cada uma das metades é ensaiada comprimindo uma área de $40 \times 40 \text{ mm}^2$. Adoptando este procedimento as cargas de compressão são geralmente muito baixas, mesmo para argamassas de alta resistência, exigindo por isso prensas de compressão adequadas. Para aumentar a carga de rotura dos provetes optou-se neste trabalho por utilizar provetes cúbicos de 50 mm de aresta. Neste caso as cargas de rotura atingem em média valores próximos dos 200 kN.

2) A segunda acção consistiu numa nova calibração e aferição da prensa de compressão disponível, adoptando desta vez valores e intervalos de calibração mais baixos. Nesse sentido foi solicitado que o intervalo da zona de carga a calibrar se situasse entre os 200 kN e os 2900 kN.

7.5.4.2 – Produção e preparação de provetes para os ensaios de compressão

Para a produção de provetes cúbicos de 50 mm de aresta impunha-se novamente uma solução alternativa, uma vez que não se dispunha de moldes para o efeito. Neste caso, a solução passou pela moldagem de provetes de maiores dimensões procedendo-se posteriormente ao seu corte.

Sempre que as argamassas cumpriram os requisitos impostos para os parâmetros reológicos medidos pelos ensaios de espalhamento e de fluidez, procedeu-se à sua amostragem para avaliação da resistência à compressão. Para esse efeito foram utilizados moldes cúbicos de 150 mm de aresta. Após a aplicação de óleo descofrante, os moldes foram parcialmente cheios com o volume de 1,60 litros de argamassa resultantes da amassadura experimental, conforme se ilustra na Figura 7.31. Não foi aplicada qualquer forma de compactação.

Os provetes assim obtidos permaneceram no interior do laboratório durante 24 horas. Após este período, os provetes foram identificados (Figura 7.32) e descofrados (Figura 7.33). Na face inferior dos provetes, em relação à posição de betonagem, foi desenhado um tracejado de modo a facilitar o posicionamento dos provetes após o corte. Este tracejado pode ser identificado, por exemplo, na Figura 7.38. De seguida estes provetes foram colocados num tanque de cura, imersos em água à temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, onde permaneceram até perfazerem 28 dias de idade (Figura 7.34).



Figura 7.31 – Enchimento do molde para amostragem



Figura 7.32 – Identificação dos provetes para o ensaio de compressão

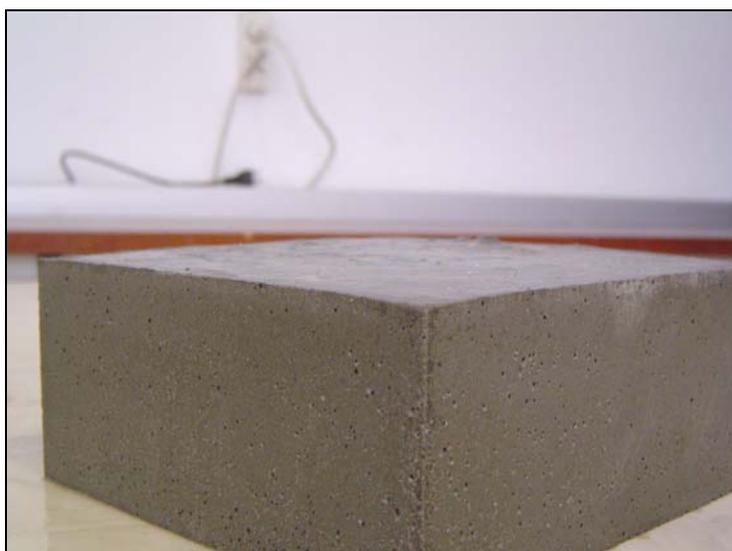


Figura 7.33 – Provete após descofragem



Figura 7.34 – Tanques de cura

Aos 28 dias de idade cada amostra de argamassa foi retirada do tanque de cura e cortada de modo a obter-se 4 provetes cúbicos com aproximadamente 50 mm de aresta. As fracções restantes não foram utilizadas neste trabalho.

A Figura 7.35, a Figura 7.36 e a Figura 7.37 ilustram o procedimento de corte. O critério adoptado para o corte foi igual em todas as amostras. Cada um dos 4 provetes

obtidos foi retirado de um dos cantos da amostra inicial, resultando para cada provete três faces moldadas e três faces não moldadas. O tracejado a que se fez referência anteriormente permitiu identificar a posição dos provetes após o corte de modo que o ensaio de compressão se fizesse perpendicularmente à direcção de moldagem. A Figura 7.38 ilustra todas as fracções resultantes do corte de uma amostra. Após o corte, as amostras foram devidamente identificadas conforme se ilustra na Figura 7.39.

Durante o ensaio de compressão, o contacto dos pratos da prensa com os provetes preparados para este trabalho faz-se através de uma face moldada e outra cortada. Uma vez que o procedimento de corte pode provocar algumas pequenas irregularidades nas faces cortadas dos provetes e em consequência influenciar os resultados do ensaio de compressão, optou-se por proceder ao polimento da face cortada conforme se mostra na Figura 7.40.



Figura 7.35 – Corte dos provetes - vista 1



Figura 7.36 – Corte dos provetes - vista 2



Figura 7.37 – Corte dos provetes - vista 3



Figura 7.38 – Provetes resultantes do corte

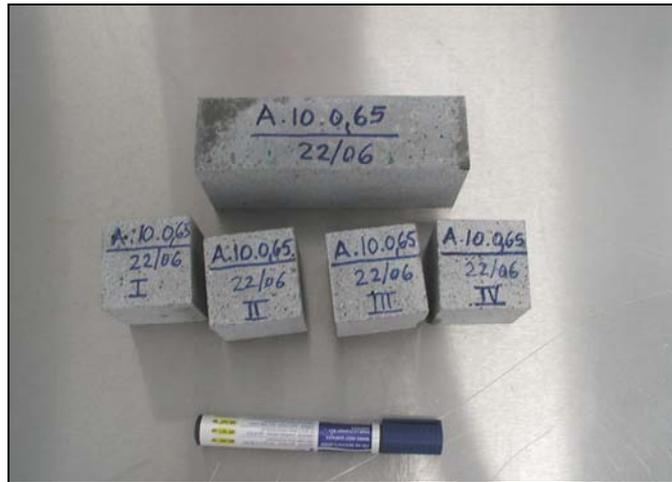


Figura 7.39 – identificação dos provetes



Figura 7.40 – Polimento dos provetes

7.5.4.3 – Ensaios de compressão

Antes do ensaio de compressão procedeu-se à medição e registo das dimensões de cada provete segundo as três direcções ortogonais com referência à posição de ensaio, conforme se mostra na Figura 7.41. Para se avaliar de forma aproximada a massa volúmica aparente das argamassas no estado endurecido foi ainda medida e registada a massa de cada provete.

Após a medição e pesagem dos provetes procedeu-se à realização do ensaio de compressão utilizando a prensa que se ilustra na Figura 7.42 e Figura 7.43. Os provetes foram convenientemente posicionados no prato inferior da prensa de compressão de forma

a serem comprimidos segundo uma direcção perpendicular à direcção de moldagem. A taxa de compressão aplicada foi de 1,5 kN/s e em todos os provetes foi possível identificar uma rotura do tipo normal. A Figura 7.44, Figura 7.45 e Figura 7.46 mostram os provetes após o ensaio de compressão.



Figura 7.41 – Medição das dimensões dos provetes



Figura 7.42 – Ensaio à compressão das argamassas



Figura 7.43 – Ensaio à compressão das argamassas - pormenor



Figura 7.44 – Geometria de rotura dos provetes - vista 1



Figura 7.45 – Geometria de rotura dos provetes - vista 2



Figura 7.46 – Geometria de rotura dos provetes - vista 3

7.6 – Estudos em betões

7.6.1 – Introdução

A metodologia adoptada neste trabalho foi delineada considerando a análise separada das argamassas como uma abordagem muito útil e suficientemente rica em informação para se estabelecer um procedimento de cálculo expedito para os betões auto-compactáveis, cuja primeira e fundamental abordagem seria suportada por ensaios em argamassas. Uma vez conhecidas as propriedades das argamassas, bastaria estimar o volume de agregados grossos adoptando determinados critérios de dosagem previamente estabelecidos, os quais deveriam incluir as características dos agregados e parâmetros de auto-compactabilidade. Adoptando este procedimento, as amassaduras experimentais em betões serviriam apenas para confirmação e realização de pequenos ajustamentos.

Para viabilizar qualquer método de cálculo assente neste pressuposto, seria necessário avaliar a influência dos agregados grossos no comportamento dos betões auto-compactáveis. Alguns dos principais factores inerentes aos agregados grossos e à sua interacção com as argamassas, capazes de influenciar a auto-compactabilidade e a resistência à compressão, foram investigados neste trabalho. Essa investigação passou pela realização de amassaduras experimentais de betões combinando as argamassas estudadas na fase anterior com diferentes dosagens de agregados grossos. Como resposta, foram

avaliadas as propriedades do betão no estado fresco (auto-compactabilidade) e no estado endurecido (resistência à compressão). Algumas considerações acerca da metodologia adoptada e das opções relativamente aos parâmetros utilizados são a seguir expostas.

A maioria dos métodos disponíveis para o estudo da composição de betões auto-compactáveis opta por estabelecer como parâmetro de cálculo a dosagem em volume absoluto de agregado grosso por metro cúbico de betão (V_g). Por exemplo, a JSCE [11, 35] estabelece um intervalo de variação para V_g entre 0,30 e 0,32 m^3/m^3 de betão. O método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] estabelece um parâmetro ligeiramente diferente, denominado de percentagem de volume aparente compactado ($V_{ap.}\%$), que de certa forma tem em conta a distribuição granulométrica dos agregados; em termos médios este parâmetro conduz a valores de V_g entre 0,29 e 0,30 m^3/m^3 de betão.

Para a realização deste trabalho optou-se pela introdução de um parâmetro diferente (V_m/V_g), que representa a proporção em volume absoluto entre a matriz argamassa e os agregados grossos imersos nessa matriz, independentemente do volume de vazios do betão e, por outro lado, pretende representar o traço volumétrico entre a matriz que controla a resistência e os agregados grossos. Este parâmetro assumiu os seguintes valores: 2,0; 2,2; 2,4 e 2,6. O intervalo de variação dos valores adoptados para (V_m/V_g) corresponde sensivelmente ao intervalo de variação dos valores de (V_g) para os quais tem sido possível fabricar betões auto-compactáveis. A campanha de ensaios laboratoriais em betões incluirá a realização de amassaduras experimentais combinado o parâmetro V_m/V_g com os parâmetros das argamassas: família de finos, V_p/V_s , V_w/V_p e $S_p/p\%$. Em particular, a combinação dos parâmetros V_m/V_g e V_p/V_s permitirá avaliar, não só a influência da proporção de agregados grossos na mistura, mas também a interacção entre os agregados grossos e as argamassas com diferentes volumes de agregados finos.

Um dos aspectos que não será avaliado neste trabalho diz respeito à influência da distribuição granulométrica dos agregados grossos na mistura, já que será utilizada uma única curva de referência para estes materiais. No entanto, o facto de se combinarem diferentes valores de V_m/V_g e de V_p/V_s conduzirá inevitavelmente à obtenção de misturas

com diferentes proporções entre os agregados grossos e os agregados finos. Em consequência resultarão diferentes curvas granulométricas para a totalidade dos agregados da mistura. Nesse sentido, será indirectamente avaliada a influência da utilização de diferentes curvas de referência na composição dos betões.

A maioria dos modelos para o estudo da composição dos betões estabelece recomendações quanto à máxima dimensão a adoptar para os agregados. Em geral, a máxima dimensão recomendada para os agregados grossos situa-se entre os 20 mm e os 25 mm quando o betão se destina a estruturas com taxas de armaduras normais. Em estruturas densamente armadas são geralmente propostos valores abaixo dos 20 mm.

De modo a permitir a aplicação do betão auto-compactável em qualquer condição estrutural, entendeu-se que o método a propor deveria conduzir à verificação da auto-compactabilidade nas condições mais severas em termos estruturais, condições essas que foram implementadas nos ensaios mediante a adopção da classe de obstáculos mais desfavorável de entre as diferentes propostas da bibliografia revisada. Pelo exposto, o presente trabalho avalia a auto-compactabilidade para agregados com a máxima dimensão de 19,1 mm, tendo por referência a série de peneiros normalizada. Daqui resulta que não será avaliada a influência da máxima dimensão dos agregados mais grossos na auto-compactabilidade.

Regra geral, os diferentes métodos de cálculo dos betões auto-compactáveis apresentam propostas para os valores do volume de vazios a adoptar nas misturas. No método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] é sugerida a adopção de um volume de vazios entre os 4,0% e os 7,0%, enquanto no método da JSCE [11, 35] são propostos valores da ordem de 4%. Outros estudos apontam para valores inferiores, entre 3 e 4%, em betões sem introdutores de ar [28]. Investigações realizadas por Sandra Nunes [45] revelaram também valores inferiores do volume de vazios.

Para a realização deste trabalho entendeu-se adequado a adopção de um volume de vazios de 3%, que corresponde a $0,030 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de betão. Este valor é superior àquele normalmente verificado em betões correntes e corresponde aproximadamente ao volume de

vazios das argamassas correntes. Contudo, situa-se ligeiramente abaixo dos valores propostos nos principais métodos de estudo da composição de betões auto-compactáveis. Note-se porém que os métodos a que se fez referência prevêem a utilização de introdutores de ar na composição dos betões. Será então de admitir que, na ausência de introdutores de ar, como sucede no trabalho que aqui se apresenta, o volume de vazios possa descer ligeiramente.

À semelhança das argamassas, a metodologia adoptada no estudo dos betões conduziu ao desenvolvimento de um programa experimental que envolve três fases: *O Estudo da Composição dos Betões, a Avaliação das Propriedades do Betão no Estado Fresco e a Avaliação das Propriedades do Betão no Estado Endurecido.*

7.6.2 – Estudo da composição dos betões

7.6.2.1 – Generalidades

O betão auto-compactável é constituído pela argamassa, por um determinado volume de agregados grossos e um determinado volume de vazios. Considerando que os parâmetros chave relativos ao estudo das argamassas foram já definidos na fase anterior, resta agora acrescentar os parâmetros chave relativos ao volume de vazios, ao volume de agregados grossos e às percentagens unitárias em volume absoluto de cada um dos agregados grossos presentes na mistura. Algumas considerações relativamente a estes parâmetros chave são a seguir expostas:

1) O procedimento de cálculo desenvolvido para os betões admite a utilização de qualquer valor para o volume de vazios (V_v). Contudo, tal como se referiu anteriormente, o volume de vazios (V_v) será mantido constante em todas as misturas previstas neste trabalho, assumindo o valor de $V_v=0,030 \text{ m}^3/\text{m}^3$;

2) A contabilização do volume de agregados grossos será feita indirectamente através do parâmetro (V_m/V_g), o qual representa a relação em volume absoluto entre o volume de argamassa e o volume de agregados grossos. No procedimento de cálculo que a

seguir se apresenta o parâmetro V_m/V_g é considerado um dos dados de entrada e pode assumir qualquer valor. Em particular, para o trabalho que aqui se apresenta e para cada uma das amassaduras experimentais produzidas, o parâmetro V_m/V_g assumirá um dos seguintes valores: 2,0; 2,2; 2,4 e 2,6.

3) O procedimento de cálculo prevê a utilização de três agregados grossos e a consequente entrada de três valores para as percentagens unitárias em volume absoluto que definem a curva de referência desta classe de agregados. A este respeito importa acrescentar que neste trabalho apenas serão utilizados dois agregados grossos.

7.6.2.2 – Cálculo dos betões

O procedimento de cálculo que se apresenta a seguir é exemplificativo para uma situação em que se dispõe de dois agregados finos, três agregados grossos e uma qualquer mistura de finos, seleccionada de entre os seis materiais finos utilizados neste trabalho. No entanto, tal como referido para as argamassas, este raciocínio é extensivo a outras situações similares, quaisquer que sejam o número de agregados ou o tipo de misturas de finos, sejam elas binárias, ternárias, etc. Basta para tal que sejam feitas as adaptações necessárias.

Em síntese, para o cálculo dos betões foram utilizados os seguintes parâmetros e foram assumidas as seguintes premissas:

Foram utilizados os seguintes parâmetros:

1) Os parâmetros que definem a constituição dos agregados finos, nomeadamente: a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 01 (a_1) e a percentagem unitária em volume absoluto da Areia 05 (a_2), ambas referidas ao volume absoluto total de agregados finos (V_s). A seguinte expressão traduz a participação de cada tipo de areia no volume de agregados finos.

$$V_s = a_1 \times V_s + a_2 \times V_s \quad (7.23)$$

2) Os parâmetros que definem a constituição dos agregados grossos, nomeadamente: a percentagem unitária em volume absoluto da Brita 3/6 (g_1), a percentagem unitária em volume absoluto da Brita 6/15 (g_2) e a percentagem unitária em volume absoluto da Brita 15/25 (g_3), todas elas referidas ao volume absoluto total de agregados grossos (V_g). A seguinte expressão revela a participação relativa das várias britas.

$$V_g = g_1 \times V_g + g_2 \times V_g + g_3 \times V_g \quad (7.24)$$

3) Os parâmetros que definem a família (mistura de finos), nomeadamente: as percentagens unitárias em volume absoluto do cimento tipo I 42,5R (fc_1), do cimento tipo II/B-L32,5N (fc_2), das cinzas volantes (fcv), da microssilica (fms), do filer calcário (ffc) e finalmente do filer granítico (ffg). Estas percentagens são referidas ao volume absoluto total de material fino (V_p). A seguinte expressão traduz a participação relativa dos componentes.

$$V_p = fc_1 \times V_p + fc_2 \times V_p + fcv \times V_p + fms \times V_p + ffc \times V_p + ffg \times V_p \quad (7.25)$$

4) O parâmetro (V_m/V_g) que pretende representar a relação em volume absoluto entre as quantidades de argamassa e de agregados grossos;

5) O parâmetro (V_p/V_s) que pretende representar a relação em volume absoluto entre as quantidades de finos e de agregados finos;

6) O parâmetro (V_w/V_p) que representa a relação em volume absoluto entre as quantidades de água e de materiais finos;

7) O parâmetro ($S_p/p\%$) que representa a relação percentual em massa entre as dosagens de superplastificante e de materiais finos.

Foi assumida a seguinte premissa:

1) O volume de vazios (V_v) assume um valor constante de $0,030 \text{ m}^3$ por metro cúbico de betão.

Assumindo como unidade de volume o m^3 , a fórmula fundamental do cálculo dos betões assume a seguinte expressão:

$$V_p + V_w + V_s + V_g + V_{sp} + V_v = 1,0 \quad (7.26)$$

Onde:

V_p é o volume absoluto de materiais finos em m^3/m^3 ,

V_w é o volume absoluto de água em m^3/m^3 ,

V_s é o volume absoluto de agregados finos em m^3/m^3 ,

V_g é o volume absoluto de agregados grossos em m^3/m^3 ,

V_{sp} é o volume absoluto de superplastificante em m^3/m^3 ,

V_v é o volume absoluto de vazios em m^3/m^3 ,

Considerando:

$$V_m = 1 - V_g - V_v \quad (7.27)$$

Da fórmula fundamental resulta a seguinte expressão:

$$V_p + V_w + V_s + V_{sp} = V_m \quad (7.28)$$

Ou seja:

$$V_p + \left(\frac{V_w}{V_p}\right) \times V_p + \frac{1}{\left(\frac{V_p}{V_s}\right)} \times V_p + \left(\frac{V_{sp}}{V_p}\right) \times V_p = V_m \quad (7.29)$$

Onde:

$$V_m = V_g \times \left(\frac{V_m}{V_g}\right) \quad (7.30)$$

Deste modo, obtêm-se as seguintes expressões para o cálculo dos betões:

$$Vg = \frac{1 - Vv}{1 + \left(\frac{Vm}{Vg}\right)} \quad (7.31)$$

$$Vm = Vg \times \left(\frac{Vm}{Vg}\right) \quad (7.32)$$

$$Vp = \frac{Vm}{1 + \left(\frac{Vw}{Vp}\right) + \frac{1}{\left(\frac{Vp}{Vs}\right)} + \left(\frac{Vsp}{Vp}\right)} \quad (7.33)$$

$$Vw = \left(\frac{Vw}{Vp}\right) \times Vp \quad (7.34)$$

$$Vsp = \left(\frac{Vsp}{Vp}\right) \times Vp \quad (7.35)$$

$$Vs = \frac{Vp}{\left(\frac{Vp}{Vs}\right)} \quad (7.36)$$

Note-se ainda que:

$$\left(\frac{Vsp}{Vp}\right) = \left(\frac{Sp}{P}\right) \times \frac{\delta_P}{\delta_{SP}} \quad (7.37)$$

Onde:

$$\delta_P = fc1 \times \delta_{C1} + fc2 \times \delta_{C2} + fcv \times \delta_{CV} + fms \times \delta_{ms} + ffc \times \delta_{FC} + ffg \times \delta_{FG} \quad (7.38)$$

e

$$\left(\frac{S_P}{P}\right) = \left(\frac{Sp}{P}\right) \% / 100 \quad (7.39)$$

Uma vez conhecido o valor de V_p podem ser determinadas as dosagens dos materiais finos a partir das seguintes expressões:

$$V_{C1} = fc1 \times V_p ; \quad V_{C2} = fc2 \times V_p \quad (7.40, 7.41)$$

$$V_{CV} = fcv \times V_p ; \quad V_{MS} = fms \times V_p \quad (7.42, 7.43)$$

$$V_{FC} = ffc \times V_p ; \quad V_{FG} = ffg \times V_p \quad (7.44, 7.45)$$

Onde:

V_{C1} é o volume absoluto de cimento tipo I 42,5R, em m^3/m^3 ,

V_{C2} é o volume absoluto de cimento tipo II/B-L32,5N, em m^3/m^3 ,

V_{CV} é o volume absoluto de cinzas volantes, em m^3/m^3 ,

V_{MS} é o volume absoluto de microssílica, em m^3/m^3 ,

V_{FC} é o volume absoluto de fíler calcário, em m^3/m^3 ,

V_{FG} é o volume absoluto de fíler granítico, em m^3/m^3 ,

Os restantes parâmetros assumem o significado já anteriormente referido.

Da mesma forma, conhecido o valor de V_s podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados finos a partir das seguintes expressões:

$$V_{S1} = a_1 \times V_s \quad e \quad V_{S2} = a_2 \times V_s \quad (7.46, 7.47)$$

Onde:

V_{S1} é o volume do agregado fino 1 (Areia 01), em m^3/m^3 ,

V_{S2} é o volume do agregado fino 2 (Areia 05), em m^3/m^3 ,

a_1 é a percentagem unitária do agregado fino 1 (Areia 01) em volume absoluto no total de agregados finos,

a_2 é a percentagem unitária do agregado fino 2 (Areia 05) em volume absoluto no total de agregados finos.

Conhecido ainda o valor de V_g podem ser determinadas as dosagens dos diferentes agregados grossos a partir das seguintes expressões:

$$V_{g1} = g_1 \times V_g, \quad V_{g2} = g_2 \times V_g \quad \text{e} \quad V_{g3} = g_3 \times V_g \quad (7.48, 7.49, 7.50)$$

Onde:

V_{g1} é o volume do agregado grosso 1 (Brita 3/6), em m^3/m^3 ,

V_{g2} é o volume do agregado grosso 2 (Brita 6/15), em m^3/m^3 ,

V_{g3} é o volume do agregado grosso 3 (Brita 15/25), em m^3/m^3 ,

g_1 é a percentagem unitária do agregado grosso 1 Brita 3/6) em volume absoluto no total de agregados grossos,

g_2 é a percentagem unitária do agregado grosso 2 (Brita 6/15) em volume absoluto no total de agregados grossos,

g_3 é a percentagem unitária do agregado grosso 3 (Brita 15/25) em volume absoluto no total de agregados grossos.

Finalmente, uma vez conhecidas todas as dosagens em volume absoluto, a sua conversão para valores em massa é feita a partir das massas volúmicas respectivas. Os resultados assim obtidos referem-se a dosagens por metro cúbico de betão.

7.6.2.3 – Folha de cálculo EXCEL para betões

À semelhança do que sucedeu com as argamassas houve necessidade de desenvolver uma folha de cálculo EXCEL que facilitasse o doseamento dos betões no decurso da campanha experimental. Essa folha de cálculo é apresentada no Quadro 7.6.

Os parâmetros utilizados na folha de cálculo assumem o mesmo significado já descrito no procedimento de cálculo. Os valores apresentados a azul dizem respeito aos dados de entrada.

Quadro 7.6 – Exemplo da folha de cálculo EXCEL desenvolvida para betões

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS						
Identificação do betão		Identificação da mistura de finos			Data	
B.12.1		50C1+50FC			02-11-2004	
Parâmetros da composição						
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		
2,400	0,030	0,800	0,710	1,000		
Composição da mistura de finos						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	
0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	
3140	3040	2380	2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³						
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3		
2590	2610	2710	2700	2700		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³						
δsp1	---	---	---	---		
1050	---	---	---	---		
<p>δp= 2930,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,027905</p> <p>Vg= 0,285294 m³/m³ Vm= 0,684706 m³/m³ Vp= 0,229159 m³/m³ Vw= 0,162703 m³/m³ Vsp= 0,006395 m³/m³ Vs= 0,286449 m³/m³ Vs/Vm= 0,418353</p>						
Abertura da malha (mm)						
9,520	100,00	100,00	100,00			
4,760	100,00	99,94	99,96			
2,380	99,97	98,56	99,12			
1,190	99,89	84,75	90,81			
0,590	91,06	43,13	62,30			
0,297	48,16	2,97	21,05			
0,149	11,49	0,21	4,72			
0,074	2,04	0,05	0,85			
Resíduo	0,00	0,00	0,00			
Módulos de finura						
1,494	2,704	2,220				
Abertura da malha (mm)						
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00		
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00		
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00		
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57		
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90		
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54		
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99		
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24		
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31		
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79		
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50		
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28		
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00		
Módulos de finura						
5,084	6,471	7,311	5,777			
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros						
C1=	359,78 kg					
C2=	0,00 kg					
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,00 kg					
FC=	311,66 kg	2357,9				
FG=	0,00 kg					
W=	162,70 litros	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>				
Sp=	6,39 litros					
S1=	296,76 kg	0,452				
S2=	448,58 kg					
G1=	386,57 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G2=	385,15 kg					
G3=	0,00 kg	0,242				
Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros						
C1=	8,994 kg					
C2=	0,000 kg					
CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,000 kg					
FC=	7,791 kg	58,95				
FG=	0,000 kg					
W=	4,068 litros	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>				
Sp=	0,160 litros					
S1=	7,419 kg	0,452				
S2=	11,214 kg					
G1=	9,664 kg	<u>Razão água/finos</u>				
G2=	9,629 kg					
G3=	0,000 kg	0,242				

7.6.3 – Avaliação das propriedades dos betões no estado fresco

7.6.3.1 – Generalidades

Tal como se referiu anteriormente, o programa experimental envolveu a realização de amassaduras experimentais combinando os diferentes parâmetros chave intervenientes. A avaliação da influência desses parâmetros chave no betão auto-compactável exigiu a medição de propriedades do betão no estado fresco com interesse para a auto-compactabilidade. Essas propriedades incluem a capacidade e velocidade de deformação, capacidade de enchimento, capacidade de passagem e resistência à segregação.

Para a avaliação das propriedades a que se fez referência têm sido propostos alguns equipamentos de ensaio. Contudo, importa salientar que a maioria desses equipamentos de ensaio não permitem avaliar isoladamente cada uma das propriedades referidas. Assim, os resultados obtidos devem antes ser interpretados como uma sobreposição, ainda pouco definida, entre as várias propriedades. Apesar disso, a utilização conjugada de vários ensaios tem-se revelado suficientemente eficaz na avaliação da auto-compactabilidade e na fixação de critérios de auto-compactabilidade a cumprir. Nesse sentido, é possível identificar em qualquer método de cálculo de betões auto-compactáveis, a gama de valores admissíveis para os diferentes ensaios. Em alguns métodos a gama de valores admissível depende do nível de auto-compactabilidade pretendido e das condições “in situ” de cada estrutura.

Tendo em consideração os vários aspectos referidos, a metodologia adoptada neste trabalho para a avaliação das propriedades do betão auto-compactável no estado fresco impunha o desenvolvimento sequencial das seguintes etapas:

- 1) Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio de entre as várias propostas actualmente existentes;
- 2) Definição do comportamento reológico pretendido com vista à obtenção de betões auto-compactáveis;

3) Definição dos procedimentos a adoptar perante a eventual necessidade de proceder ao acerto da reologia das misturas;

4) Descrição dos ensaios laboratoriais utilizados na campanha experimental.

7.6.3.2 – Selecção e caracterização dos equipamentos de ensaio

Para a avaliação da capacidade de deformação e da velocidade de deformação dos betões auto-compactáveis foram utilizados, respectivamente, os ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V). O princípio básico subjacente a estes dois métodos de ensaio é similar àquele descrito para as argamassas, salvaguardando obviamente o facto de apresentarem nos dois casos proporções e dimensões diferentes.

No que diz respeito à avaliação das restantes características de auto-compactabilidade dos betões utilizados, a opção recaiu pelos seguintes modelos de ensaio que se têm mostrado de uso mais generalizado: o ensaio da “Caixa” e o ensaio da “Caixa-L”. Estes ensaios correspondem, respectivamente, ao modelo Japonês (adaptação da Caixa-U) e ao modelo Europeu. A inclusão destes dois equipamentos de ensaio no programa experimental que aqui se apresenta, permitirá comparar os resultados obtidos com as propostas apresentadas em diferentes modelos de cálculo. Note-se que os modelos de cálculo existentes apenas fazem referência a um dos dois ensaios referidos. Estes equipamentos raramente são utilizados em simultâneo.

À excepção do ensaio de espalhamento do betão, para o qual se dispunha já do “Cone de Abrams” (apesar de ser ainda necessária a mesa de espalhamento), nenhum dos restantes ensaios se encontrava à data disponível no mercado. Entendeu-se então adequado proceder à sua produção em empresas metalomecânicas da região. Tal como sucedeu nos ensaios para as argamassas, estes equipamentos apresentam, em alguns casos, pequenas diferenças face às dimensões previstas. Para além disso, ambos os ensaios de auto-compactabilidade (Caixa e Caixa-L) deveriam utilizar varões nervurados. Porém, ao contrário do que estava previsto, o ensaio da “Caixa” foi produzido com varões lisos. As dimensões típicas destes equipamentos foram já apresentadas no Capítulo 4.

Em síntese, os equipamentos produzidos para avaliar as propriedades dos betões no estado fresco incluem: uma mesa para o ensaio de espalhamento, que se apresenta juntamente com o “Cone de Abrams” na Figura 7.47; um “Funil-V” ilustrado na Figura 7.48; uma “Caixa” ilustrada na Figura 7.49 e, finalmente, uma “Caixa-L” que se apresenta na Figura 7.50. As dimensões apresentadas para os equipamentos referidos correspondem àquelas efectivamente usadas no presente trabalho.

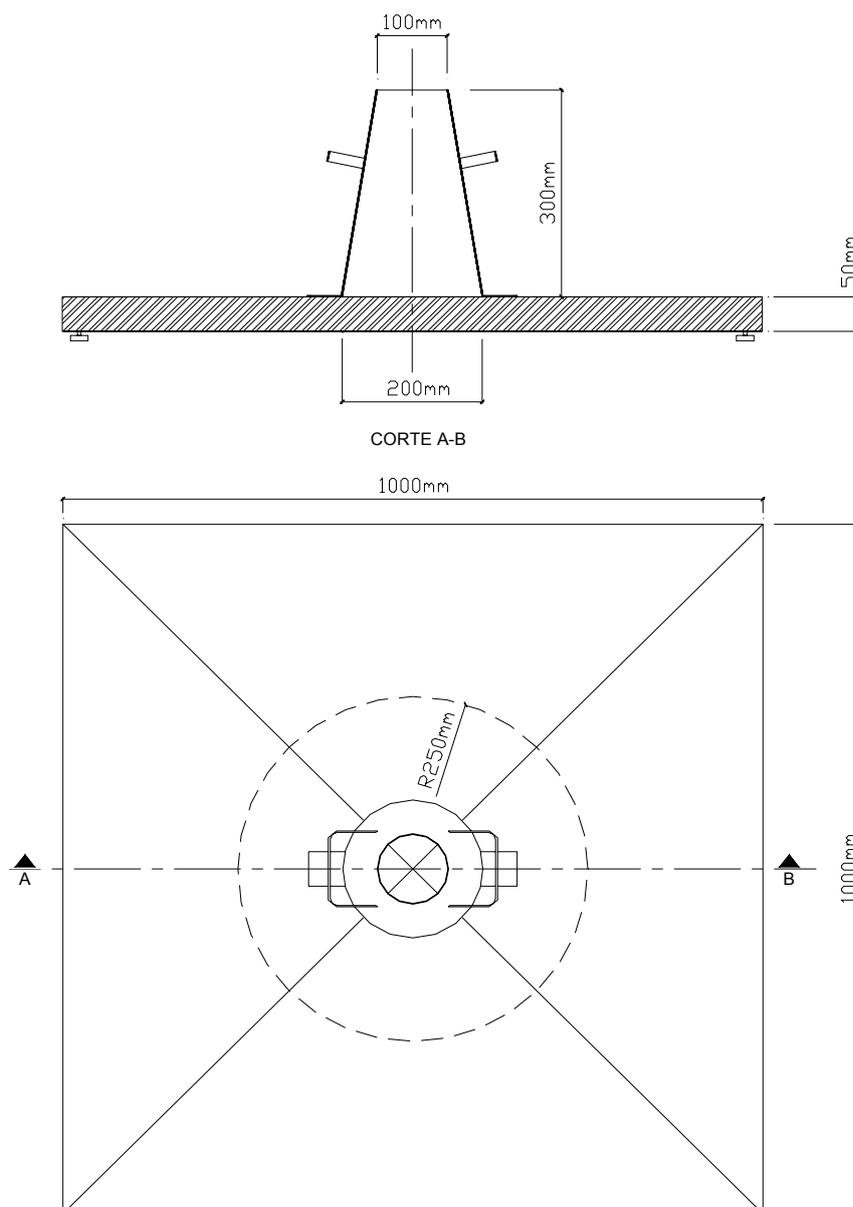


Figura 7.47 – Ensaio de espalhamento para o betão

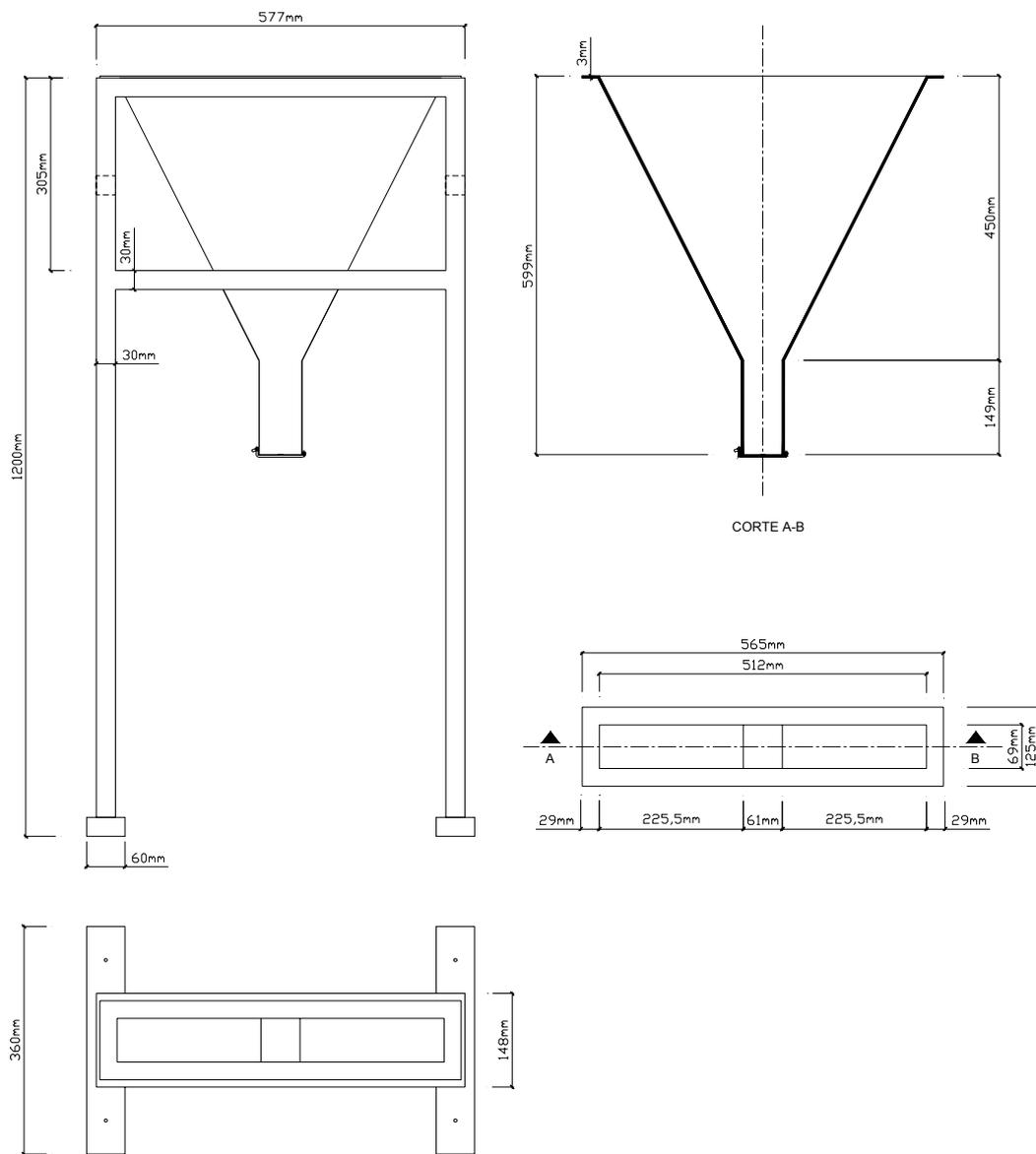


Figura 7.48 – Funil-V para o ensaio de fluidez do betão

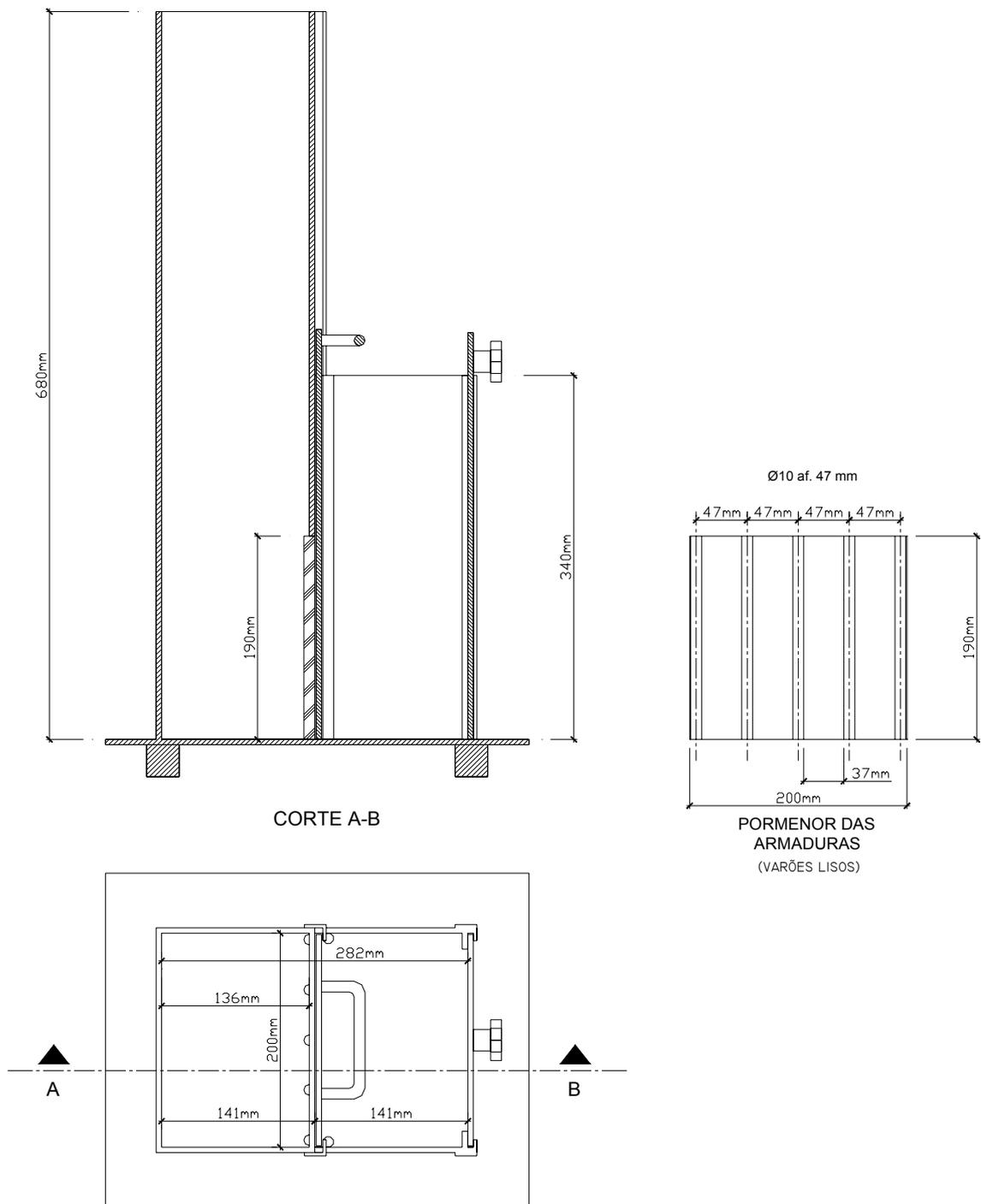


Figura 7.49 – Caixa para o ensaio de auto-compactabilidade do betão

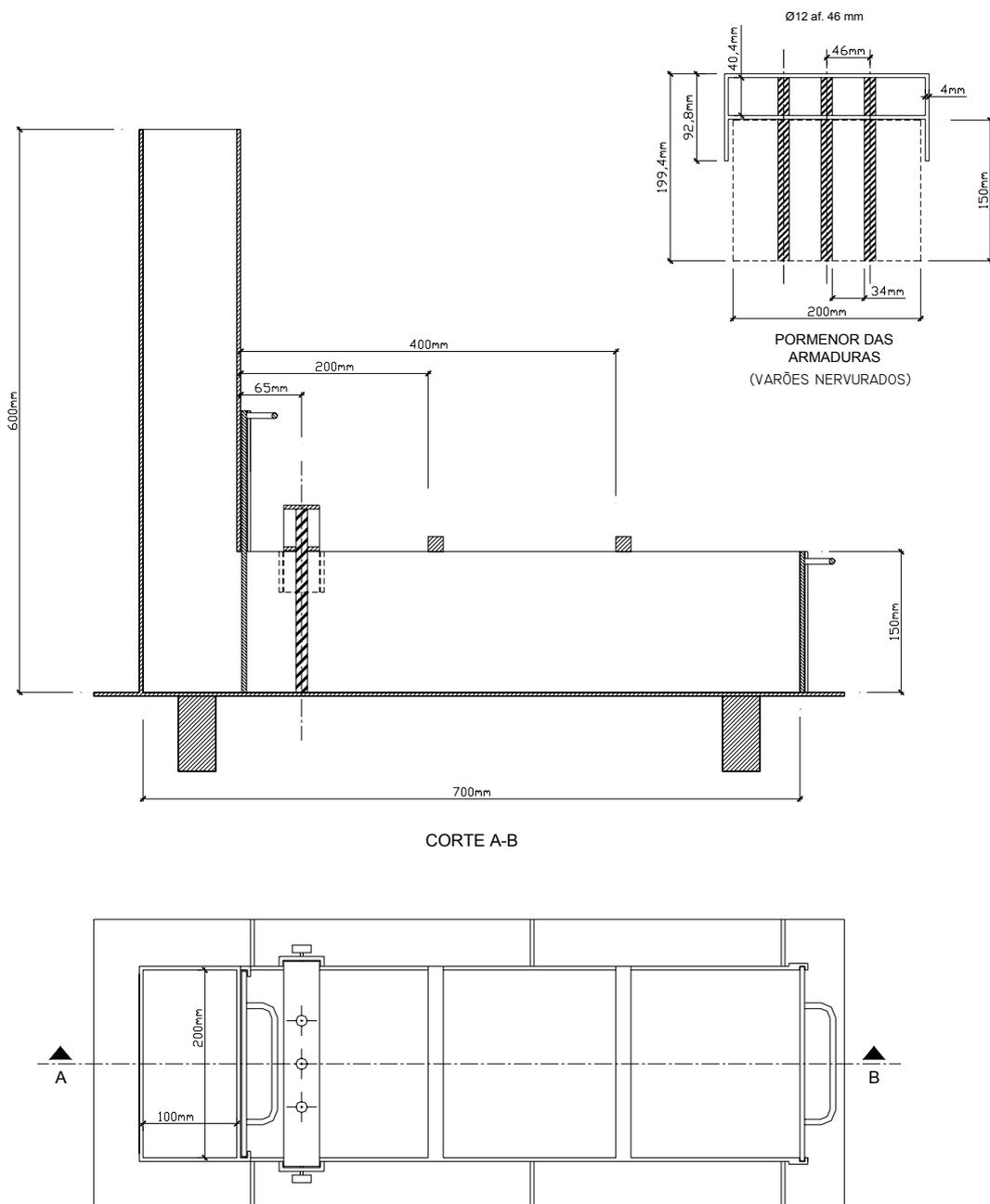


Figura 7.50 – Caixa-L para o ensaio de auto-compactabilidade do betão

7.6.3.3 – Definição do comportamento reológico pretendido

A metodologia adoptada para este trabalho foi assente no pressuposto de que as argamassas estudadas na fase anterior seriam adequadas para a produção de betões auto-compactáveis e, como tal, os ensaios nos betões deveriam reflectir isso mesmo. A forma mais adequada de averiguar a correspondência entre argamassas e betões consiste na averiguação da correlação entre grandezas comparáveis, medidas por ensaios comparáveis. Os únicos ensaios que reúnem estas condições são os ensaios de espalhamento e de fluidez, sendo as grandezas comparáveis a área de espalhamento relativa e a velocidade relativa de escoamento. Este raciocínio pressupõe que não ocorrem fenómenos de segregação ou bloqueio da mistura em ambos os ensaios mencionados.

Pelo exposto, os valores da área de espalhamento relativa do betão (G_c) e da velocidade relativa de escoamento do betão (R_c), deveriam apresentar uma boa correlação com os correspondentes valores nas argamassas, respectivamente, (G_m) e (R_m). Em termos práticos, se esta correlação se verificasse, os valores de (G_c) e de (R_c) deveriam cumprir automaticamente os critérios de auto-compactabilidade estabelecidos para estes parâmetros.

Seguindo as recomendações do método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], foram definidos os valores a obter para o diâmetro de espalhamento e para o tempo de escoamento no Funil-V. O diâmetro de espalhamento deveria situar-se entre os 600 mm e os 700 mm, enquanto que o tempo de escoamento deveria situar-se entre os 10 e os 20 segundos. Quando estes valores são expressos, respectivamente, em termos de área de espalhamento relativa (G_c) e de velocidade relativa de escoamento (R_c), obtém-se o intervalo de variação representado na Figura 7.51.

Em síntese, todos os betões produzidos durante a campanha experimental deveriam apresentar valores de G_c entre 8,00 e 11,25 e valores de R_c entre 0,50 e 1,00. Os restantes ensaios das propriedades do betão fresco só deveriam prosseguir se esta primeira premissa relativamente a G_c e R_c fosse satisfeita.

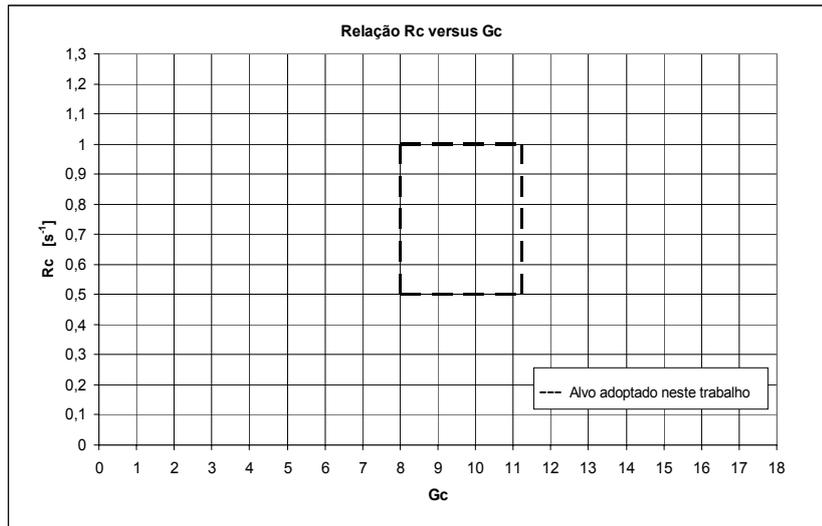


Figura 7.51 – Intervalo de variação definido para os parâmetros Gc e Rc

7.6.3.4 – Procedimento adoptado no acerto da reologia das misturas

Considerando a premissa assumida quanto aos valores de Gc e de Rc, importa esclarecer de que forma serão efectuadas as correcções da mistura caso esses valores não sejam obtidos e qual a amplitude das correcções admissíveis.

Considerações acerca dos procedimentos a adoptar na correcção das misturas

1) Após a realização das amassaduras experimentais é efectuado o ensaio de espalhamento e são medidos dois diâmetros, segundo duas direcções sensivelmente perpendiculares. Sempre que se verificar um valor do diâmetro médio de espalhamento inferior a 600 mm, procede-se a um ligeiro acréscimo de água ou superplastificante na mistura. Importa ainda referir que o betão utilizado neste ensaio é reintroduzido na betoneira antes das correcções. A opção pelo acréscimo de água ou superplastificante será ditada unicamente pela experiência laboratorial. De facto, à medida que essa experiência foi ganhando consistência no decurso do programa experimental, tornou-se possível, apenas pela observação e manuseio do betão, com uma colher de pedreiro, detectar os acertos necessários com o betão ainda na betoneira e antes de se medir o diâmetro de espalhamento. Este foi aliás o procedimento adoptado na maioria dos casos em que se verificou a necessidade de correcções.

2) Em todos os betões ensaiados as correcções nunca foram ditadas pelos resultados dos ensaios de fluidez. De facto, sempre que o betão cumpriu os requisitos estabelecidos para o ensaio de espalhamento, automaticamente cumpriu os requisitos do ensaio de fluidez. Este facto foi perceptível logo nos primeiros ensaios da campanha experimental e conduziu à seguinte decisão: uma vez verificados os requisitos quanto ao ensaio de espalhamento, prosseguia-se normalmente com a realização dos ensaios de fluidez, da Caixa-L e da Caixa.

Considerações acerca da amplitude das correcções admissíveis

1) As correcções acima referidas só serão consideradas admissíveis se forem suficientemente pequenas. Estas correcções serão consideradas suficientemente pequenas se as quantidades de água e/ou superplastificante adicionadas ou subtraídas à mistura não provocarem alterações superiores a 0,02 nas razões água/cimento ou água/(materiais cimentícios), ambas expressas em massa.

2) Em princípio, as argamassas adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis deveriam incluir a quantidade de água suficiente para permitir a molhagem da superfície dos agregados grossos. Contudo, a variação da superfície específica destes agregados poderá contribuir para a necessidade de pequenas correcções das misturas.

3) Para a necessidade de ajustamentos da mistura pode ainda concorrer o próprio efeito de escala. Este efeito de escala traduz as diferenças entre os volumes ensaiados nas argamassas e os volumes ensaiados nos betões. Se as correcções forem pequenas, estas poderão preferencialmente ser atribuídas ao factor de escala.

7.6.3.5 – Ensaio laboratoriais

7.6.3.5.1 – Generalidades

A campanha experimental relativa à avaliação das propriedades do betão auto-compactável no estado fresco envolveu, tal como se referiu anteriormente, a realização de

amassaduras experimentais combinando os parâmetros chave definidos para os betões com os parâmetros chave já definidos para cada uma das argamassas estudadas na fase anterior. Cada amassadura experimental de betão foi calculada para um volume de 25 litros.

Se todas as argamassas estudadas na fase anterior fossem combinadas com os vários valores assumidos para os parâmetros chave dos betões, o número de amassaduras a realizar seria muito elevado e impraticável no âmbito deste trabalho. Analisando detalhadamente as várias combinações possíveis e atendendo aos objectivos estabelecidos para este trabalho, constatou-se que nem todas as amassaduras seriam necessárias. Nesse sentido, procedeu-se a uma selecção criteriosa das combinações necessárias e suficientes de modo a cumprir os objectivos propostos com um nível de confiança satisfatório. Objectivando a obtenção de betões com a maior gama possível de resistências, a selecção concentrou-se em primeiro lugar na utilização de argamassas com razões água/cimento convenientemente distribuídas entre os valores máximo e mínimo registados na primeira fase. Em segundo lugar, cada uma das argamassas seleccionadas dessa forma foi combinada com os parâmetros chave dos betões. No total resultaram 60 combinações dos parâmetros chave que conduziram à obtenção de 60 valores da resistência à compressão uniformemente distribuídos entre os valores máximo e mínimo possíveis.

A seguir são descritos os procedimentos adoptados no acondicionamento e medição dos componentes, na realização das amassaduras e na realização dos ensaios do betão fresco. Os ensaios do betão fresco incluem o ensaio de espalhamento, o ensaio de fluidez, o ensaio da “Caixa-L” e o ensaio da “Caixa”

7.6.3.5.2 – Acondicionamento e medição dos materiais

Acondicionamento dos materiais

Na fase anterior referente às argamassas foram já descritos os procedimentos adoptados no acondicionamento da quase totalidade dos materiais. Para completar essa descrição no que diz respeito aos betões, importa apenas acrescentar que os

procedimentos adoptados no acondicionamento dos agregados grossos foram os mesmos adoptados para os agregados finos.

Medição dos materiais

À semelhança do procedimento adoptado para as argamassas, todos os materiais utilizados nas amassaduras experimentais de betões auto-compactáveis foram medidos em massa. Para a medição das dosagens de água e superplastificante recorreu-se à mesma balança já antes utilizada nas argamassas e que apresenta uma divisão de escala de 0,1 gramas e uma capacidade máxima de 6 kg. Para a medição dos materiais finos, agregados finos e agregados grossos utilizou-se uma balança electrónica com uma divisão de escala de 0,010 kg e capacidade máxima de 60 kg.

Todos os agregados utilizados apresentavam-se, na altura da pesagem e da amassadura, saturados de água e com a superfície seca, enquanto que os materiais finos se apresentavam no estado seco. A Figura 7.52 mostra os materiais já pesados e prontos para a realização de uma das amassaduras estudadas.



Figura 7.52 – Exemplo dos materiais utilizados numa amassadura de betão

7.6.3.5.3 – Procedimentos de amassadura

À semelhança do que sucede com as argamassas, a sequência de amassadura dos betões auto-compactáveis pode influenciar o seu comportamento no estado fresco, principalmente se a avaliação desse comportamento é feita logo após a amassadura. Pelo exposto, seria aceitável admitir que o estudo das argamassas conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis tivesse em consideração os procedimentos de amassadura a adoptar nas duas fases.

Com o objectivo de minimizar as alterações ao comportamento das argamassas estudadas na fase anterior, entendeu-se que a sequência de amassadura dos betões auto-compactáveis deveria reproduzir, tanto quanto possível, a sequência de amassadura utilizada nas argamassas. Contudo, para que o procedimento a adoptar fosse considerado viável seria necessário introduzir alguns pequenos ajustamentos. A Figura 7.53 ilustra esquematicamente a sequência de amassadura adoptada para os betões. Em comparação com o procedimento adoptado nas argamassas, pode referir-se que apenas foi excluída a paragem para limpeza das pás.

Para a realização das amassaduras dos betões auto-compactáveis foi utilizada a betoneira de mistura forçada que se ilustra na Figura 7.54. A Figura 7.55 mostra o aspecto do betão após uma das amassaduras efectuadas.

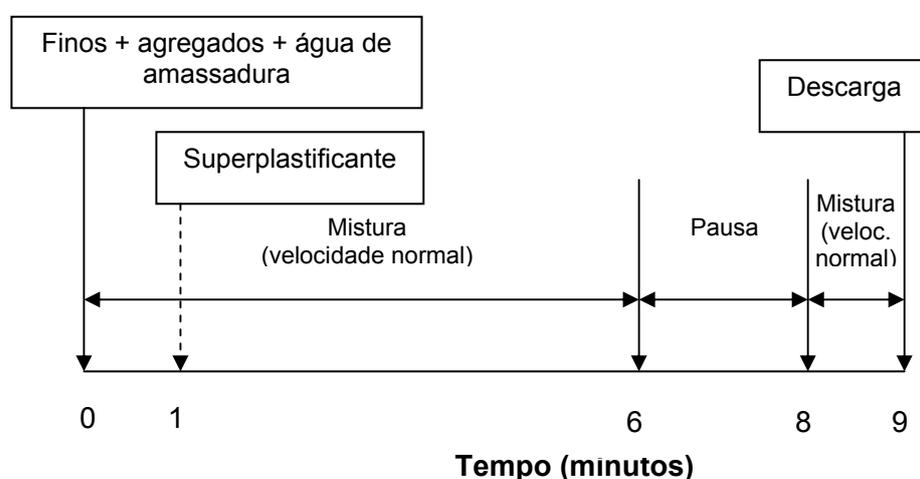


Figura 7.53 – Sequência de amassadura adoptada para os betões



Figura 7.54 – Betoneira misturadora utilizada na produção dos betões



Figura 7.55 – Aspecto do betão após uma das amassaduras efectuadas

7.6.3.5.4 – Procedimentos de ensaio

Os equipamentos de ensaio utilizados para avaliação das propriedades do betão no estado fresco foram já anteriormente descritos e as suas dimensões devidamente apresentadas no Sub-Capítulo 7.6.3.2. Uma vez que não existem ainda disposições normativas, nacionais ou estrangeiras, aplicáveis a estes ensaios, optou-se por incluir neste

Sub-Capítulo uma descrição sucinta dos procedimentos adoptados e da forma como foi feita a interpretação dos resultados. Esta descrição será apresentada pela mesma ordem em que os equipamentos foram utilizados durante o programa experimental.

7.6.3.5.4.1 – Ensaio de espalhamento

O parâmetro mais correntemente medido no ensaio de espalhamento é o diâmetro médio de espalhamento (Dm). Um outro parâmetro por vezes medido é o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 50 cm (T50). Estes dois parâmetros (Dm) e (T50) são medidos neste trabalho.

Procedimento de ensaio

A execução do ensaio exige que o cone de espalhamento seja colocado sobre uma superfície lisa, desempenada, nivelada e sem saliências ou reentrâncias que influenciem o movimento do betão durante a sua deformação. O cone e a superfície que lhe serve de base devem ser limpos antes do ensaio com recurso a um pano ligeiramente humedecido. A fase de preparação do ensaio é ilustrada nas Figuras 7.56 e 7.57.

O ensaio de espalhamento consiste no enchimento do tronco cone com betão no estado fresco e logo após a sua amassadura, conforme se ilustra na Figura 7.58. A superfície superior poderá ser alisada mas não deverá ser aplicada qualquer vibração ou outro modo de compactação. O tronco cone é levantado (veja-se a Figura 7.59) e simultaneamente é accionado o cronómetro para medição do parâmetro T50. O cronómetro deverá ser desligado no preciso momento em que o betão, no seu processo de deformação, transpõe o círculo com 50 cm de diâmetro desenhado na mesa de espalhamento. Quando o betão atinge o seu diâmetro máximo de espalhamento, o que coincide com o instante em que o movimento cessa, são medidos dois diâmetros segundo duas direcções sensivelmente perpendiculares. As Figuras 7.60 e 7.61 mostram a forma como devem ser medidos esses diâmetros. A resposta do ensaio é traduzida pelo diâmetro médio de espalhamento (Dm) e pelo tempo T50.



Figura 7.56 – Preparação do ensaio de espalhamento: Fase 1



Figura 7.57 – Preparação do ensaio de espalhamento: Fase 2



Figura 7.58 – Enchimento do cone no ensaio de espalhamento



Figura 7.59 – Levantamento do cone



Figura 7.60 – Medição do diâmetro de espalhamento: Fase 1



Figura 7.61 – Medição do diâmetro de espalhamento: Fase 2

Interpretação dos resultados

O valor T50 é traduzido directamente pelo tempo medido no ensaio, expresso em segundos. Da mesma forma, o resultado do ensaio de espalhamento pode ser expresso directamente pelo parâmetro medido, ou seja, o diâmetro médio de espalhamento (Dm). Contudo, uma outra forma de expressar o resultado deste ensaio, consiste na determinação da área de espalhamento relativa, traduzida pela seguinte expressão:

$$G_c = \left(\frac{D_m}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (7.51)$$

Onde:

G_c é a área de espalhamento relativa do betão;

D_m é o diâmetro médio de espalhamento, em mm;

D₀ é o diâmetro inicial na base do cone, em mm.

7.6.3.5.4.2 – Ensaio de fluidez

O único parâmetro normalmente medido através do ensaio de fluidez com o Funil-V é o tempo de escoamento (t), expresso em segundos.

Procedimento de ensaio

A primeira etapa do ensaio consiste na limpeza do funil com um pano ligeiramente humedecido e no seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada. No decurso do ensaio deverá ainda garantir-se que não ocorram movimentos sobre o funil que influenciem o escoamento do betão.

Garantidas as condições referidas no parágrafo anterior procede-se ao enchimento do funil conforme se ilustra na Figura 7.62. Após o enchimento, a superfície superior poderá ser alisada mas não deverá ser aplicada qualquer vibração ou outro modo de compactação (Figura 7.63).



Figura 7.62 – Enchimento do Funil-V para betões: Fase 1



Figura 7.63 – Enchimento do Funil-V para betões: Fase 2

Na etapa seguinte, a comporta colocada na base do funil é aberta e simultaneamente é accionado o cronómetro, dando-se início à medição do tempo de escoamento. O tempo de escoamento decorre desde o momento exacto em que se abre a referida comporta até que, observando o funil de cima para baixo, surja o primeiro raio de luz no fundo do funil. A Figura 7.64 ilustra o momento exacto em que a comporta é aberta.



Figura 7.64 – Abertura da comporta no Funil-V

Interpretação dos resultados

O resultado do ensaio de fluidez pode ser expresso directamente pelo tempo de escoamento medido (t), expresso em segundos. Contudo, uma outra forma de expressar o resultado deste ensaio, consiste na determinação da velocidade relativa de escoamento, traduzida pela seguinte expressão:

$$Rc = \frac{10}{t} \quad (7.52)$$

Onde:

Rc é a velocidade relativa de escoamento do betão, expressa em s^{-1} ;

t é o tempo de escoamento, expresso em segundos.

7.6.3.5.4.3 – Ensaio da Caixa-L

Os parâmetros normalmente medidos no ensaio da Caixa-L incluem:

- A medição da altura de betão na coluna vertical (H1) e na extremidade da caixa (H2), ambas após cessar o movimento do betão;

- A medição do tempo que o betão demora a percorrer as distâncias de 20 cm (T20) e de 40 cm (T40), após a abertura da comporta. A caixa utilizada neste trabalho possui duas barras horizontais situadas a 20 cm e a 40 cm que servem de referência à medição destes valores.

No presente trabalho serão medidos apenas os parâmetros H1, H2 e T40.

Procedimento de ensaio

A primeira etapa do ensaio consiste na limpeza da caixa com um pano ligeiramente humedecido e no seu posicionamento sobre uma base firme e nivelada. Para esse efeito optou-se por posicionar o equipamento sobre uma pequena mesa previamente nivelada, como se ilustra na Figura 7.65. Este procedimento permite, não só facilitar o nivelamento da caixa, como também, facilitar a descarga do betão após o ensaio. No decurso do ensaio deverá ainda garantir-se que não ocorram movimentos sobre a caixa que influenciem o escoamento do betão.

Garantidas as condições referidas no parágrafo anterior procede-se ao enchimento da Caixa-L conforme se ilustra na Figura 7.66. Após o enchimento, a superfície superior poderá ser alisada mas não deverá ser aplicada qualquer vibração ou outro modo de compactação. No momento em que se procede à abertura da comporta deverá accionar-se o cronómetro para permitir a medição do parâmetro T40. A operação de abertura da comporta pode ser observada na Figura 7.67. A Figura 7.68, Figura 7.69 e Figura 7.70 ilustram o escoamento do betão através do obstáculo em três instantes diferentes, que decorrem desde a abertura da comporta até cessação do movimento.

Uma vez cessado o movimento do betão procede-se à medição dos parâmetros H1 e H2, conforme se ilustra na Figura 7.71 e na Figura 7.72. Após a realização de todas as

leituras, a descarga da caixa pode ser efectuada facilmente mediante a abertura de uma comporta posicionada na sua extremidade, conforme se pode observar na Figura 7.73.



Figura 7.65 – Preparação do ensaio com a Caixa-L



Figura 7.66 – Enchimento da Caixa-L



Figura 7.67 – Abertura da comporta na Caixa-L



Figura 7.68 – Passagem do betão pelo obstáculo na Caixa-L : Fase 1



Figura 7.69 – Passagem do betão pelo obstáculo na Caixa-L : Fase 2

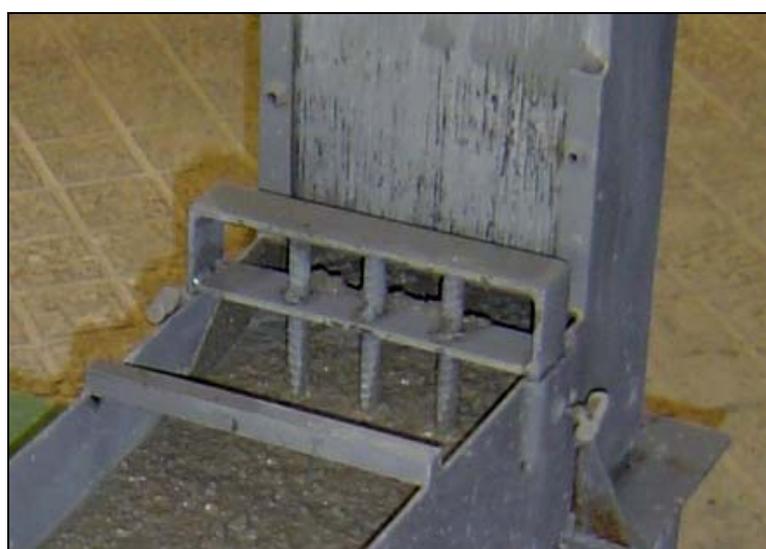


Figura 7.70 – Passagem do betão pelo obstáculo na Caixa-L : Fase 3



Figura 7.71 – Medição para determinação da altura H1 na Caixa-L



Figura 7.72 – Medição para determinação da altura H2 na Caixa-L



Figura 7.73 – Mecanismo de descarga para limpeza da Caixa-L

7.6.3.5.4.4 – Ensaio da Caixa

O único parâmetro medido no ensaio efectuado com a Caixa é a altura da coluna de betão (H) registada após cessar o movimento, expressa em mm.

Procedimento de ensaio

Garantidas as mesmas condições quanto à preparação do ensaio já referidas para o ensaio da Caixa-L, procede-se ao enchimento da caixa conforme se ilustra na Figura 7.74. Após o enchimento, a superfície superior poderá ser alisada mas não deverá ser aplicada qualquer vibração ou outro modo de compactação (Figura 7.75). De seguida a comporta é aberta e o betão escoar para o compartimento confinante (Figura 7.76). Após cessar o movimento procede-se à medição da altura da coluna de betão conforme se pode observar na Figura 7.77. Após a realização de todas as leituras, a descarga da caixa pode ser efectuada facilmente mediante a abertura de uma comporta posicionada na parte frontal, conforme se ilustra na Figura 7.78.



Figura 7.74 – Enchimento da Caixa: Fase 1



Figura 7.75 – Enchimento da Caixa: Fase 2



Figura 7.76 – Abertura da comporta da Caixa



Figura 7.77 – Medição da altura da coluna de betão na Caixa



Figura 7.78 – Mecanismo de descarga para limpeza da Caixa

Interpretação dos resultados

O parâmetro H assume directamente o valor da altura da coluna de betão medida no ensaio, expressa em mm.

7.6.4 – Avaliação das propriedades do betão no estado endurecido

7.6.4.1 – Generalidades

De acordo com a metodologia proposta para este trabalho, a avaliação das propriedades do betão no estado endurecido limitou-se apenas à determinação da resistência à compressão. Os procedimentos adoptados, quer na produção e preparação dos provetes, quer na realização dos ensaios à compressão, são a seguir descritos.

7.6.4.2 – Produção e preparação de provetes para os ensaios de compressão

Para cada amassadura experimental, após a execução dos ensaios para avaliação das propriedades dos betões no estado fresco, procedeu-se à moldagem de cinco provetes cúbicos de 150 mm de aresta destinados aos ensaios à compressão. O betão fresco foi simplesmente vertido nos moldes e a superfície alisada com uma colher de pedreiro,

conforme se observa na Figura 7.79 e Figura 7.80. Não foi aplicada vibração ou qualquer outra forma de compactação ao betão.



Figura 7.79 – Moldagem de provetes para o ensaio à compressão: Fase 1



Figura 7.80 – Moldagem de provetes para o ensaio à compressão: Fase 2

Os provetes assim moldados permaneceram no interior do laboratório durante 24 horas. Após esse período os provetes foram identificados, descofrados e colocados em tanques de cura, onde permaneceram imersos em água à temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ até à data em que foram ensaiados à compressão (Figura 7.81), em conformidade com a Especificação do LNEC E255 [20]. Dos cinco provetes produzidos em cada amassadura, dois foram ensaiados aos 7 dias de idade e os restantes três foram ensaiados aos 28 dias de idade.



Figura 7.81 – Tanque de cura

7.6.4.3 – Ensaio de compressão

Uma vez completado o tempo de cura previsto, os provetes destinados ao ensaio à compressão foram retirados do tanque de cura e limpos com um pano. Antes ainda de se proceder ao ensaio à compressão, cada um dos provetes foi pesado e o seu valor registado para uma posterior estimativa da massa volúmica aparente.

Completado o procedimento anterior, procedeu-se de imediato ao ensaio à compressão utilizando a mesma prensa já descrita nos ensaios das argamassas (Figura 7.82). Os provetes foram ensaiados segundo a direcção perpendicular à direcção de betonagem, ou seja, com a face superior em relação à moldagem voltada para o observador

(Figura 7.83). A taxa de compressão adoptada no ensaio foi de 13,5 kN/s e todos os provetes apresentaram uma geometria de rotura normal. Em síntese, os ensaios decorreram de acordo com a especificação do LNEC E226-1968 [16].



Figura 7.82 – Prensa utilizada no ensaio à compressão de betões



Figura 7.83 – Rotura de um provete de betão à compressão

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

CAPÍTULO 8 – APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

8.1 – Introdução

No presente capítulo é feita a apresentação dos resultados obtidos ao longo da campanha experimental executada da forma descrita no Capítulo 7. A apresentação dos resultados segue a mesma sequência descrita no programa experimental, envolvendo, por esta ordem: a caracterização dos materiais, a definição das curvas de referência dos agregados, os estudos em argamassas e os estudos em betões.

No Sub-Capítulo 8.2 são apresentados os resultados obtidos na caracterização dos materiais constituintes. A definição das curvas de referência para os agregados finos e grossos é descrita no Sub-Capítulo 8.3. Seguem-se os estudos em argamassas apresentados no Sub-Capítulo 8.4 e, por último, os estudos em betões apresentados no Sub-Capítulo 8.5.

8.2 – Caracterização dos materiais utilizados

8.2.1 – Ligantes

O Quadro 8.1 mostra os resultados obtidos nos ensaios realizados para a determinação da massa volúmica dos dois cimentos utilizados. Este foi aliás o único parâmetro medido em laboratório para caracterizar estes materiais.

De forma a complementar a informação relativa à caracterização dos cimentos, optou-se por apresentar os resultados fornecidos pelo fabricante (SECIL) relativos aos ensaios de auto-controlo efectuados no mesmo mês em que os referidos cimentos foram produzidos. Os resultados do auto-controlo incluem os ensaios mecânicos (Quadro 8.2), os ensaios físicos (Quadro 8.3) e os ensaios químicos (Quadro 8.4).

Quadro 8.1 – Massas volúmicas dos ligantes

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Ligante	CEM I 42,5R	δ_{c1} = 3140
Ligante	CEM II/B-L32,5N	δ_{c2} = 3040

Quadro 8.2 – Ensaio mecânicos dos ligantes

LIGANTES	Idade [dias]	ENSAIOS MECÂNICOS [NP EN 196-1]			
		Resistências [MPa]			
		Flexão		Compressão	
		Mensal	Anual	Mensal	Anual
CEM I 42,5R	2	5,5	6,1	32,5	33,4
	7	7,6	8,0	47,8	46,3
	28	8,8	9,2	59,3	58,0
CEM II/B-L32,5N	2	3,3	3,9	17,1	19,2
	7	5,0	5,6	27,9	30,0
	28	6,5	6,9	38,2	39,2

Observações: Anual – Valor médio dos últimos 12 meses

Quadro 8.3 – Ensaio físicos dos ligantes

ENSAIOS FÍSICOS		LIGANTES			
		CEM I 42,5R		CEM II/B-L32,5N	
		Mensal	Anual	Mensal	Anual
Peso Específico (g/cm ³)		3,13	3,12	2,97	3,02
Resíduo de peneiração (%)	90 µm	---	---	---	---
	63 µm	---	---	---	---
	45 µm	3,4	4,4	8,9	12,7
	32 µm	---	---	---	---
Superfície Específica de Blaine (cm ² /g) [NP EN 196-6]		4009	3848	4454	4617
Água na Pasta Normal (%) [NP EN 196-3]		28,7	28,7	26,4	26,1
Tempo de presa (min) [NP EN 196-3]	Início	106	104	133	129
	Fim	137	136	168	164
Expansibilidade (mm) [NP EN 196-3]		0,9	0,9	0,8	0,8
Índice de Brancura (0 a 100)		---	---	---	---

Observações: Anual – Valor médio dos últimos 12 meses

Quadro 8.4 – Análise química dos ligantes

ANÁLISE QUÍMICA			LIGANTES			
			CEM I 42,5R		CEM II/B-L32,5N	
			Mensal	Anual	Mensal	Anual
Perda ao Fogo	%	P.F.	1,8	1,5	11,0	10,7
Resíduo Insolúvel	%	RI	1,1	1,3	2,2	2,2
Óxido de Silício	%	SiO ₂	20,31	21,08	16,56	16,95
Óxido de Alumínio	%	Al ₂ O ₃	4,33	4,84	4,23	3,73
Óxido de Ferro	%	Fe ₂ O ₃	3,11	3,12	2,64	2,68
Óxido de Cálcio	%	CaO	61,86	62,08	59,06	58,90
Óxido de Magnésio	%	MgO	3,60	3,41	3,00	2,74
Sulfatos	%	SO ₃	3,69	3,19	3,22	2,98
Óxido de Potássio	%	K ₂ O	---	---	---	---
Óxido de Sódio	%	Na ₂ O	---	---	---	---
Cloretos	%	Cl ⁻	0,02	0,02	0,03	0,02
Cal livre	%	---	1,49	1,67	1,20	1,23
N/D (não doseados)	%	---	1,50	1,03	0,35	1,33

Observações: Anual – Valor médio dos últimos 12 meses

8.2.2 – Adições minerais

Os ensaios laboratoriais efectuados para caracterizar as adições incluem a determinação da massa volúmica e a análise de parâmetros físicos das partículas com recurso ao equipamento de ensaio COULTER LS200 existente na Universidade da Beira interior.

Os resultados obtidos nos ensaios para determinação da massa volúmica das adições são apresentados no Quadro 8.5. O analisador de partículas COULTER LS 200 forneceu os parâmetros físicos que se apresentam no Quadro 8.6 e os diagramas cumulativo e diferencial da fracção volumétrica em função do tamanho das partículas que se apresentam, respectivamente, na Figura 8.1 e na Figura 8.2.

A caracterização das cinzas volantes e do fíler calcário foi complementada a partir dos ensaios de auto-controlo efectuados pelos respectivos fabricantes. Os Quadros 8.7 e 8.8 resumem, respectivamente, alguns dos parâmetros químicos e físicos das cinzas volantes fornecidas. Para o fíler calcário, os parâmetros químicos e físicos são apresentados, respectivamente, nos Quadros 8.9 e 8.10.

Quadro 8.5 – Massas volúmicas das adições minerais

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Cinzas volantes	---	$\bar{\delta}_{CV} = 2380$
Microssilica	SIKACRETE HD	$\bar{\delta}_{MS} = 2170$
Fíler calcário	MICRO 100 AB	$\bar{\delta}_{FC} = 2720$
Fíler granítico	---	$\bar{\delta}_{FG} = 2650$

Quadro 8.6 – Parâmetros físicos das adições medidos no COULTER LS200

Parâmetros medidos	Adições			
	Cinzas volantes	Microssilica	Fíler calcário	Fíler granítico
Diâmetro médio das partículas [µm]	34,30	80,17	14,81	25,16
Superfície específica [cm ² /g]	4009	1295	5088	3349
d ₁₀ [µm] (<10%)	2,671	8,449	1,879	2,462
d ₂₅ [µm] (<25%)	6,347	23,39	2,808	5,001
d ₅₀ [µm] (<50%)	15,71	62,36	5,455	13,28
d ₇₅ [µm] (<75%)	44,47	113,2	21,63	31,16
d ₉₀ [µm] (<90%)	101,6	194,3	45,02	64,67

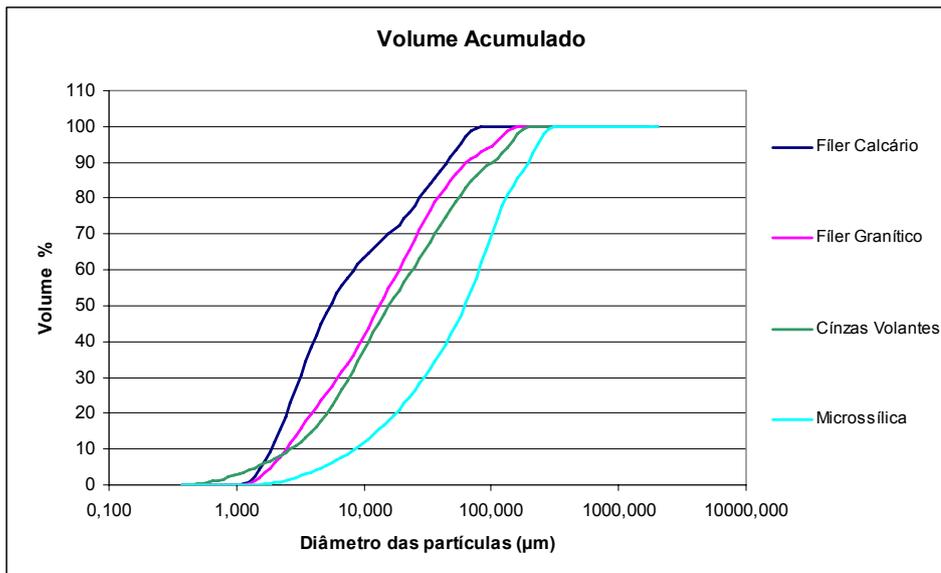


Figura 8.1 – Diagrama cumulativo da fracção volumétrica (COULTER LS200)

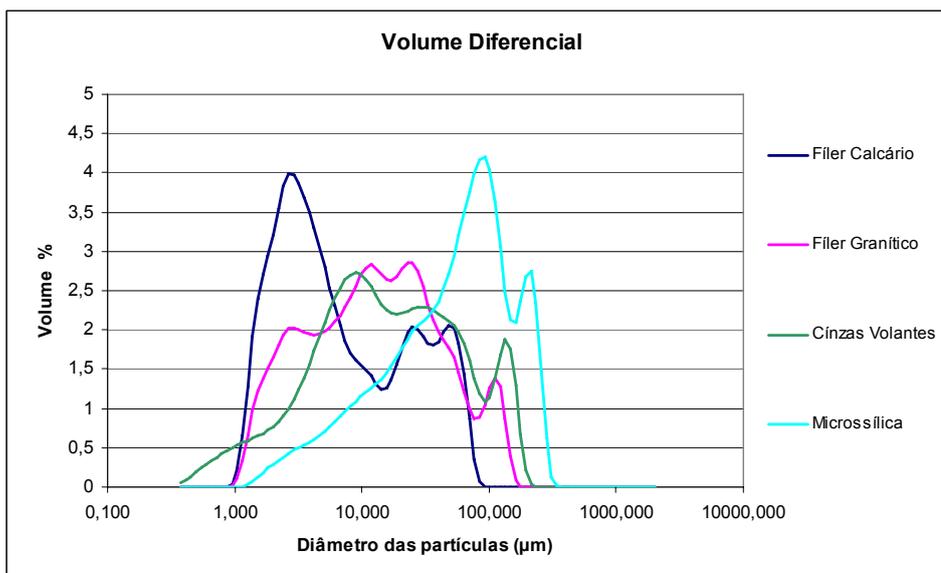


Figura 8.2 – Diagrama diferencial da fracção volumétrica (COULTER LS200)

Quadro 8.7 – Características químicas das cinzas volantes

CINZAS VOLANTES	
Características químicas	Resultados (valores médios)
Inqueimados	3,8 %
Cloretos (Cl ⁻)	0 %
Sulfatos (SO ₃)	0,65 %
Cal livre (CaO livre)	0,14 %
Observação: Os resultados apresentados foram obtidos a partir de valores fornecidos pela empresa BETECNA para 15 amostras de cinzas volantes.	

Quadro 8.8 – Características físicas das cinzas volantes

CINZAS VOLANTES	
Características físicas	Resultados (valores médios)
Finura (peneiro 45 µm)	14 %
Actividade resistente a 28 dias	89
Actividade resistente a 90 dias	159
Estabilidade volumétrica (Le Chatelier)	0,5 mm
Observação: Os resultados apresentados foram obtidos a partir de valores fornecidos pela empresa BETECNA para 15 amostras de cinzas volantes.	

Quadro 8.9 – Características químicas do fíler calcário

FÍLER CALCÁRIO: MICRO 100 AB	
Características químicas	Resultados (valores médios)
Carbonato de cálcio (CaCO ₃)	99,00 %
Óxido de Alumínio (Al ₂ O ₃)	< 0,22 %
Óxido de Ferro (Fe ₂ O ₃)	< 0,03 %
Insolúveis em HCl	< 0,04 %
Observação: Os resultados apresentados foram fornecidos pela empresa COMITAL	

Quadro 8.10 – Características físicas do fíler calcário

FÍLER CALCÁRIO: MICRO 100 AB	
Características físicas	Resultados (valores médios)
Dureza na escala de Mohs	3
Índice de refração	1,55
Peso específico	2,7 g/cm ³
Perda ao fogo	43,36 %
pH - (ISO 787/9)	9
Teor de humidade (na expedição) - (ISO 787/2)	0,10 %
Densidade aparente - (ISO 903)	0,90 g/cm ³
Partículas < 325 µm - (ISO 787/7)	100 %
Corte superior - (ISO 787/2)	125 µm
Partículas < 80 µm - (ISO 787/7)	92,0 %
Partículas < 2 µm – (Sedigraph 5100)	15,0 %
Diâmetro médio (d50%) - (Sedigraph 5100)	5 µm
Observação: Os resultados apresentados foram fornecidos pela empresa COMITAL	

8.2.3 – Agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados incluíram a determinação das massas volúmicas (Quadro 8.11), a determinação da baridade (Quadro 8.12), a medição da absorção de água (Quadro 8.13) e a análise granulométrica (Quadro 8.14). A Figura 8.3

representa graficamente a distribuição granulométrica dos quatro agregados utilizados ao longo deste trabalho.

Quadro 8.11 – Massas volúmicas dos agregados

Material		Massa volúmica
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Agregado fino	Areia 01	$\delta_{a1} = 2590$
Agregado fino	Areia 05	$\delta_{a2} = 2610$
Agregado grosso	Brita 3/6	$\delta_{g1} = 2710$
Agregado grosso	Brita 6/15	$\delta_{g2} = 2700$

Quadro 8.12 – Baridade dos agregados secos compactados

Material		Baridade
Tipo	Designação comercial	Valor médio [kg/m ³]
Agregado fino	Areia 01	$B_{a1} = 1490$
Agregado fino	Areia 05	$B_{a2} = 1570$
Agregado grosso	Brita 3/6	$B_{g1} = 1520$
Agregado grosso	Brita 6/15	$B_{g2} = 1540$

Quadro 8.13 – Absorção de água dos agregados

Material		Absorção de água
Tipo	Designação comercial	
Agregado fino	Areia 01	$A_{a1}\% = 0,31$
Agregado fino	Areia 05	$A_{a2}\% = 0,42$
Agregado grosso	Brita 3/6	$A_{g1}\% = 0,15$
Agregado grosso	Brita 6/15	$A_{g2}\% = 0,14$

Quadro 8.14 – Análise granulométrica dos agregados

Peneiro	Malha [mm]	Areia 01	Areia 05	Brita 3/6	Brita 6/15
		Percentagens acumuladas de material que passa nos peneiros			
3"	76,20	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) 2"	50,80	100,00	100,00	100,00	100,00
1" ½	38,10	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) 1"	25,40	100,00	100,00	100,00	100,00
¾"	19,10	100,00	100,00	100,00	100,00
(*) ½"	12,70	100,00	100,00	100,00	89,14
⅜"	9,52	100,00	100,00	100,00	49,79
N.º 4	4,76	100,00	99,94	70,84	2,24
N.º 8	2,38	99,97	98,56	11,68	0,29
N.º 16	1,19	99,89	84,75	4,28	0,20
N.º 30	0,590	91,06	43,13	2,46	0,16
N.º 50	0,297	48,16	2,97	1,46	0,12
N.º 100	0,149	11,49	0,21	0,90	0,09
N.º 200	0,074	2,04	0,05	0,50	0,05
Resíduo		0,00	0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ▶		1,494	2,705	5,084	6,471
(*) Série secundária					
Peneiros para o cálculo do módulo de finura					

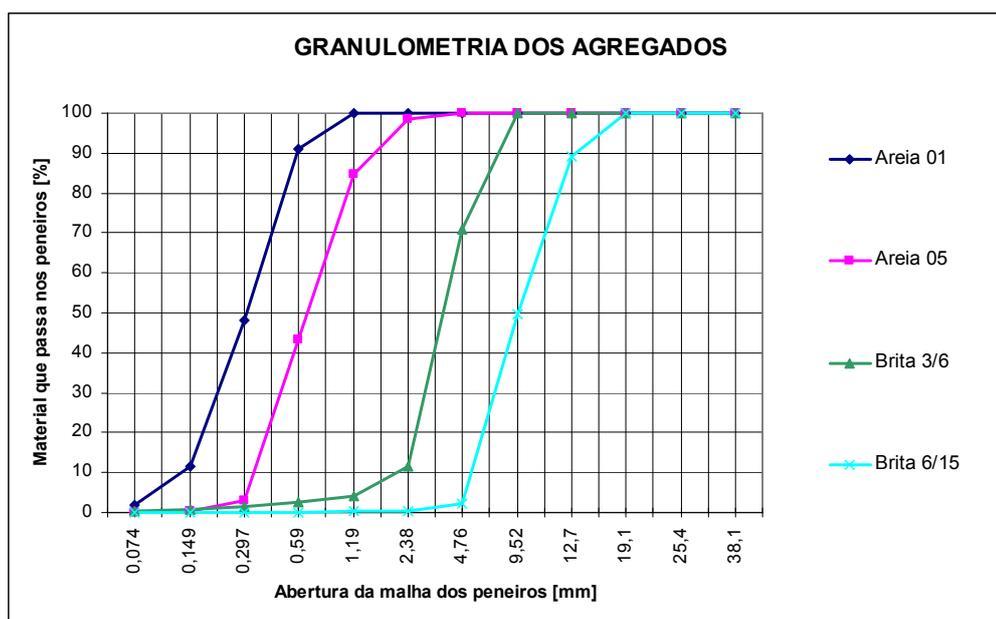


Figura 8.3 – Curvas granulométricas dos agregados

8.2.4 – Adjuvantes

O superplastificante seleccionado para a campanha experimental desenvolvida no âmbito deste trabalho é produzido pela empresa SIKA e é comercialmente designado de Sika ViscoCrete-3000. As principais características deste adjuvante foram fornecidas pelo

fabricante e constam da ficha técnica do produto. O Quadro 8.15 resume algumas dessas características.

Quadro 8.15 – Características do Superplastificante

SIKA VISCOCRETE 3000	
Base	Carboxilatos modificados
Aspecto	Líquido levemente amarelado
Massa volúmica	1,05 ± 0,02 kg/l
pH	5,0 ± 1,0
Dosagem para SCC	1,0% a 2,0% da massa do cimento

8.3 – Curvas de referência dos agregados

8.3.1 – Generalidades

Adoptando o procedimento descrito no programa experimental foi determinada uma curva de referência para os agregados finos e outra para os agregados grossos. A curva de referência obtida para os agregados finos é descrita no Sub-Capítulo 8.3.2, enquanto que a curva de referência dos agregados grossos é apresentada no Sub-Capítulo 8.3.3.

8.3.2 – Curvas de referência para os agregados finos

O Quadro 8.16 apresenta os resultados obtidos na medição da baridade das diferentes associações de Areia 01 e Areia 05. No mesmo quadro é ainda apresentada a correspondente compacidade e a máxima dimensão do conjunto de agregados de cada associação. A máxima compacidade foi obtida para valores de $a_1=0,40$ e $a_2=0,60$. Isto significa que o volume absoluto de agregados finos determinado em cada composição de argamassa ou betão (V_s) será constituído por 40% de Areia 01 e 60% de Areia 05.

O Quadro 8.17 apresenta a distribuição granulométrica da curva de referência, obtida a partir da distribuição granulométrica de cada um dos agregados finos e das percentagens com que estes entram na mistura. A Figura 8.4 ilustra graficamente os valores apresentados no Quadro 8.17.

Quadro 8.16 - Proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05

Mistura	Parâmetros da mistura				Baridade da mistura			Compacidade da mistura	Máxima dimensão da mistura
	Relação volumétrica dos agregados (vol. absoluto)		Massas dos agregados		Leituras		Baridade		
			Areia 01	Areia 05	Volume	Massa			
a1	a2	M1 [kg]	M2 [kg]	V [dm ³]	M [kg]	B [kg/m ³]	Cp [m ³ /m ³]	D _{máx} [mm]	
0	1,00	0,00	---	---	---	---	1487	0,574	0,590
1	0,90	0,10	5,000	0,560	3,00	4,567	1522	0,587	1,190
2	0,80	0,20	5,000	1,260	3,00	4,630	1543	0,595	1,190
3	0,70	0,30	5,000	2,159	3,00	4,697	1566	0,603	1,190
4	0,60	0,40	5,000	3,359	3,00	4,758	1586	0,610	1,190
5	0,50	0,50	5,000	5,039	3,00	4,774	1591	0,612	1,190
6	0,40	0,60	3,308	5,000	3,00	4,794	1598	0,614	1,190
7	0,30	0,70	2,126	5,000	3,00	4,786	1595	0,613	2,380
8	0,20	0,80	1,240	5,000	3,00	4,775	1592	0,611	2,380
9	0,10	0,90	0,551	5,000	3,00	4,734	1578	0,605	2,380
10	0,00	1,00	---	---	---	---	1574	0,603	2,380

Quadro 8.17 – Curva de referência dos agregados finos

Peneiro	Malha [mm]	Areia 01	Areia 05	Mistura (Curva de Referência)
		a ₁	a ₂	
		0,40	0,60	
Percentagens acumuladas de passados				
3"	76,20	100,00	100,00	100,00
(*) 2"	50,80	100,00	100,00	100,00
1" 1/2	38,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1"	25,40	100,00	100,00	100,00
3/4"	19,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1/2"	12,70	100,00	100,00	100,00
3/6"	9,52	100,00	100,00	100,00
N.º 4	4,76	100,00	99,94	99,96
N.º 8	2,38	99,97	98,56	99,12
N.º 16	1,19	99,89	84,75	90,81
N.º 30	0,590	91,06	43,13	62,30
N.º 50	0,297	48,16	2,97	21,05
N.º 100	0,149	11,49	0,21	4,72
N.º 200	0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo		0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ►		1,494	2,705	2,220
(*) Série secundária				
Peneiros para o cálculo do módulo de finura				

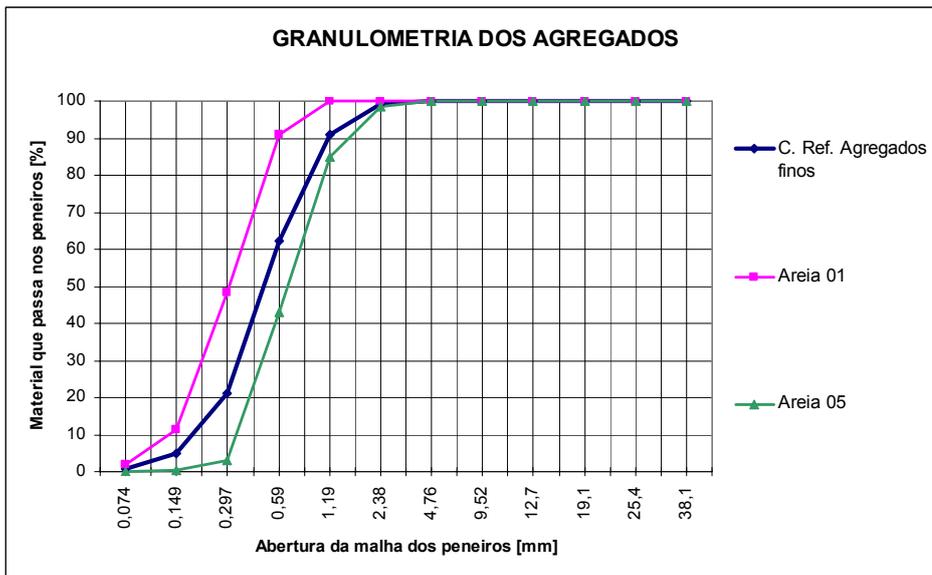


Figura 8.4 – Curva de referência dos agregados finos

8.3.3 – Curvas de referência para os agregados grossos

O Quadro 8.18 apresenta os resultados obtidos na medição da baridade das diferentes associações de Brita 3/6 e Brita 6/15. No mesmo quadro é ainda apresentada a correspondente compactidade e a máxima dimensão do conjunto de agregados de cada associação. A máxima compactidade foi obtida para valores de $g_1=0,50$ e $g_2=0,50$. Isto significa que o volume absoluto de agregados grossos (V_g), determinado em cada uma das composições de betão auto-compactável, será constituído por 50% de Brita 3/6 e 50% de Brita 6/15.

O Quadro 8.19 apresenta a distribuição granulométrica da curva de referência, obtida a partir da distribuição granulométrica de cada um dos agregados grossos e das percentagens com que estes entram na mistura. A Figura 8.5 ilustra graficamente os valores apresentados no Quadro 8.19.

Quadro 8.18 - Proporções em volume absoluto entre a Brita 3/6 e a Brita 6/15

Mistura	Parâmetros da mistura				Baridade da mistura			Compacidade da mistura	Máxima dimensão da mistura
	Relação volumétrica dos agregados (vol. absoluto)		Massas dos agregados		Leituras		Baridade		
					Volume	Massa			
	g1	g2	M1 [kg]	M2 [kg]	V [dm ³]	M [kg]	B [kg/m ³]		
0	1,00	0,00	---	---	---	---	1520	0,561	9,520
1	0,90	0,10	16,000	1,771	10,00	15,58	1558	0,575	9,520
2	0,80	0,20	16,000	3,985	10,00	15,82	1582	0,584	12,700
3	0,70	0,30	16,000	6,832	10,00	16,04	1604	0,593	12,700
4	0,60	0,40	16,000	10,627	10,00	16,20	1620	0,599	12,700
5	0,50	0,50	16,000	15,941	10,00	16,42	1642	0,607	12,700
6	0,40	0,60	10,706	16,000	10,00	16,38	1638	0,606	12,700
7	0,30	0,70	6,883	16,000	10,00	16,32	1632	0,604	12,700
8	0,20	0,80	4,015	16,000	10,00	16,16	1616	0,598	12,700
9	0,10	0,90	1,784	16,000	10,00	16,00	1600	0,592	12,700
10	0,00	1,00	---	---	---	---	1540	0,570	19,100

Quadro 8.19 – Curva de referência dos agregados grossos

Peneiro	Malha [mm]	Brita 3/6	Brita 6/15	Mistura (Curva de Referência)
		g1	g2	
		0,50	0,50	
Percentagens acumuladas de passados				
3"	76,20	100,00	100,00	100,00
(*) 2"	50,80	100,00	100,00	100,00
1" ½	38,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1"	25,40	100,00	100,00	100,00
¾"	19,10	100,00	100,00	100,00
(*) ½"	12,70	100,00	89,14	94,57
⅜"	9,52	100,00	49,79	74,90
N.º 4	4,76	70,84	2,24	36,54
N.º 8	2,38	11,68	0,29	5,99
N.º 16	1,19	4,28	0,20	2,24
N.º 30	0,590	2,46	0,16	1,31
N.º 50	0,297	1,46	0,12	0,79
N.º 100	0,149	0,90	0,09	0,50
N.º 200	0,074	0,50	0,05	0,28
Resíduo		0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ►		5,084	6,471	5,777
(*) Série secundária				
Peneiros para o cálculo do módulo de finura				

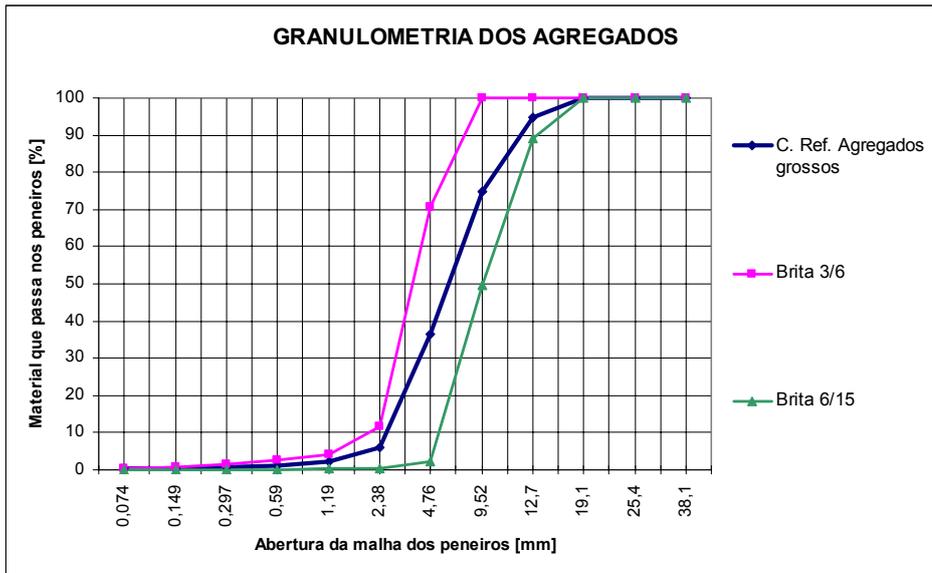


Figura 8.5 – Curva de referência dos agregados grossos

8.4 – Estudos em argamassas

8.4.1 – Generalidades

O programa experimental descrito no Capítulo 7 envolveu a realização de amassaduras e a execução de ensaios para avaliação dos parâmetros reológicos de um total de 247 argamassas. De entre as 247 argamassas produzidas, 74 cumpriram os requisitos impostos quanto ao comportamento reológico e foram posteriormente ensaiadas para avaliação das suas propriedades no estado endurecido. Os procedimentos que conduziram à obtenção das argamassas com o comportamento reológico pretendido foram já amplamente descritos na apresentação do programa experimental.

Considerando a quantidade significativa de informação produzida no estudo das argamassas, entendeu-se conveniente apresentar no Anexo A.1 o tratamento prévio dos resultados obtidos durante a campanha experimental, reservando para o Sub-Capítulo 8.4.2 apenas a síntese desses resultados. Assim, o Anexo A.1 inclui os estudos de composição das misturas (Anexo A.1.1), os estudos reológicos (Anexo A.1.2) e os ensaios à compressão das argamassas (Anexo A.1.3). Uma descrição mais detalhada de cada um destes anexos é a seguir apresentada.

No anexo A.1.1 são apresentados os estudos de composição das 74 argamassas que cumpriram os critérios reológicos. Esses estudos incluem, para além dos parâmetros de cálculo da composição, outros parâmetros relevantes que serão utilizados na análise e discussão dos resultados e para comparação com outros trabalhos similares da bibliografia consultada. Considerando que os parâmetros relevantes para o estudo da composição dos betões auto-compactáveis são aqueles obtidos nas argamassas que cumprem os critérios reológicos estabelecidos, considerou-se desnecessária a apresentação neste anexo do estudo da composição das restantes 173 argamassas produzidas.

No Anexo A.1.2 são apresentados os estudos reológicos efectuados em cada uma das 74 combinações estudadas (combinação entre a família de finos e o parâmetro V_p/V_s). Estes estudos reológicos incluem os resultados dos ensaios das argamassas no estado fresco e o tratamento de dados que conduziu à obtenção dos parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ adequados para cada combinação estudada.

O Anexo A.1.3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios à compressão das 74 argamassas que cumpriram os critérios reológicos. Para cada argamassa é apresentado o valor médio, o desvio padrão e o coeficiente de variação de um conjunto de quatro provetes ensaiados à compressão.

8.4.2 – Ensaio das argamassas nos estados fresco e endurecido

A síntese dos resultados obtidos no estudo das argamassas é apresentada do Quadro 8.20 ao Quadro 8.35. Cada um dos quadros apresentados resume informações relativas aos parâmetros da composição, estudos reológicos e resistência à compressão, provenientes, respectivamente, do Anexo A.1.1, do Anexo A.1.2 e do Anexo A.1.3.

Para facilitar a organização do trabalho optou-se por agrupar em cada um dos quadros os resultados obtidos por família de argamassas, exceptuando-se o último quadro que inclui todas as famílias que incorporam microssilica na sua composição. Assim, para cada família de argamassas e para cada um dos valores de V_p/V_s adoptados, são apresentados os valores dos parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ que conduzem às propriedades

reológicas pretendidas, as razões expressas em massa de W/C (água/cimento), W/MC (água/materiais cimentícios) e W/F (água/finos) resultantes do estudo da composição e o valor médio da resistência à compressão aos 28 dias de idade ($f_{m,28}$). Incluiu-se ainda o volume absoluto de materiais finos e os consumos de cimento, água e superplastificante.

Para a identificação das argamassas foi utilizada uma sigla composta por uma sequência que se inicia com a letra “A” (argamassa), seguida de um número que identifica a família de argamassa e de um outro que corresponde ao parâmetro V_p/V_s adoptado.

Quadro 8.20 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.1

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	$f_{m,28}$ [MPa]	V_p/V_s	V_w/V_p	$Sp/p\%$	W/C	W/MC	W/F	V_p [m^3/m^3]	C [kg/m^3]	W [l/m^3]	Sp [l/m^3]	
A1 100C2	A.1.0,60	55,3	0,60	0,95	2,40	0,313	0,313	0,313	0,271	824,7	257,7	18,85
	A.1.0,65	57,3	0,65	0,91	2,40	0,299	0,299	0,299	0,284	864,1	258,7	19,75
	A.1.0,70	61,9	0,70	0,86	2,55	0,283	0,283	0,283	0,297	904,1	255,8	21,96
	A.1.0,75	59,9	0,75	0,84	2,45	0,276	0,276	0,276	0,308	937,0	258,9	21,86
	A.1.0,80	66,5	0,80	0,82	2,50	0,270	0,270	0,270	0,318	967,4	260,9	23,03

Quadro 8.21 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.2

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	$f_{m,28}$ [MPa]	V_p/V_s	V_w/V_p	$Sp/p\%$	W/C	W/MC	W/F	V_p [m^3/m^3]	C [kg/m^3]	W [l/m^3]	Sp [l/m^3]	
A2 80C2+20FC	A.2.0,60	48,4	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	0,302	0,276	670,9	248,3	16,03
	A.2.0,65	50,8	0,65	0,85	2,05	0,350	0,350	0,286	0,290	705,6	246,6	16,86
	A.2.0,70	52,8	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	0,272	0,303	737,4	245,6	18,05
	A.2.0,75	58,2	0,75	0,79	2,05	0,325	0,325	0,265	0,314	764,4	248,3	18,26
	A.2.0,80	57,5	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	0,255	0,326	792,3	247,6	19,39

Quadro 8.22 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.3

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	$f_{m,28}$ [MPa]	V_p/V_s	V_w/V_p	$Sp/p\%$	W/C	W/MC	W/F	V_p [m^3/m^3]	C [kg/m^3]	W [l/m^3]	Sp [l/m^3]	
A3 80C2+20FG	A.3.0,60	45,8	0,60	0,95	2,10	0,391	0,391	0,321	0,272	661,6	258,4	16,12
	A.3.0,65	49,9	0,65	0,91	2,10	0,374	0,374	0,307	0,285	693,3	259,4	16,89
	A.3.0,70	55,3	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	0,294	0,298	724,0	259,0	18,05
	A.3.0,75	56,2	0,75	0,84	2,15	0,345	0,345	0,284	0,309	752,0	259,7	18,75
	A.3.0,80	57,7	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	0,277	0,319	776,8	261,9	19,37

Quadro 8.23 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.4

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	$f_{m,28}$ [MPa]	V_p/V_s	V_w/V_p	$Sp/p\%$	W/C	W/MC	W/F	V_p [m^3/m^3]	C [kg/m^3]	W [l/m^3]	Sp [l/m^3]	
A4 80C2+20CV	A.4.0,60	51,3	0,60	0,89	2,05	0,366	0,306	0,306	0,277	673,0	246,3	15,71
	A.4.0,65	54,2	0,65	0,84	2,05	0,345	0,289	0,289	0,291	708,0	244,5	16,53
	A.4.0,70	58,9	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	0,279	0,303	737,7	245,7	17,64
	A.4.0,75	60,2	0,75	0,78	2,10	0,321	0,268	0,268	0,315	766,8	245,9	18,34
	A.4.0,80	61,7	0,80	0,76	2,10	0,312	0,261	0,261	0,326	792,7	247,7	18,96

Quadro 8.24 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.5

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A5 100C1	A.5.0.60	83,3	0,60	0,98	3,00	0,312	0,312	0,312	0,268	840,4	262,3	24,01
	A.5.0.65	88,2	0,65	0,93	3,10	0,296	0,296	0,296	0,281	881,7	261,2	26,03
	A.5.0.70	90,8	0,70	0,90	3,10	0,287	0,287	0,287	0,292	917,8	263,1	27,10
	A.5.0.75	91,0	0,75	0,87	3,30	0,277	0,277	0,277	0,303	950,9	263,5	29,89
	A.5.0.80	91,8	0,80	0,86	3,25	0,274	0,274	0,274	0,312	979,1	268,1	30,30

Quadro 8.25 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.6

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A6 70C1+30FC	A.6.0.60	69,8	0,60	0,89	2,20	0,405	0,405	0,295	0,276	607,2	245,9	17,45
	A.6.0.65	71,9	0,65	0,84	2,30	0,382	0,382	0,279	0,290	638,1	243,9	19,17
	A.6.0.70	74,0	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	0,269	0,303	665,1	245,1	19,98
	A.6.0.75	76,7	0,75	0,78	2,30	0,355	0,355	0,259	0,315	691,3	245,3	20,77
	A.6.0.80	76,8	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	0,255	0,324	711,9	249,4	21,85

Quadro 8.26 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.7

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A7 70C1+30FG	A.7.0.60	58,7	0,60	0,97	2,50	0,441	0,441	0,324	0,270	592,8	261,6	19,22
	A.7.0.65	62,4	0,65	0,92	2,50	0,419	0,419	0,307	0,283	622,7	260,6	20,19
	A.7.0.70	64,8	0,70	0,89	2,50	0,405	0,405	0,297	0,295	648,4	262,5	21,02
	A.7.0.75	65,3	0,75	0,87	2,50	0,396	0,396	0,291	0,305	671,2	265,7	21,76
	A.7.0.80	70,7	0,80	0,85	2,50	0,387	0,387	0,284	0,315	693,1	268,0	22,47

Quadro 8.27 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.8

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A8 70C1+30CV	A.8.0.60	72,2	0,60	0,86	2,45	0,391	0,295	0,295	0,278	611,5	239,2	18,90
	A.8.0.65	74,3	0,65	0,82	2,50	0,373	0,282	0,282	0,292	641,2	239,2	20,23
	A.8.0.70	74,4	0,70	0,79	2,50	0,359	0,271	0,271	0,304	668,5	240,3	21,09
	A.8.0.75	78,3	0,75	0,77	2,50	0,350	0,264	0,264	0,315	692,8	242,7	21,85
	A.8.0.80	80,6	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	0,258	0,326	716,1	244,4	22,59

Quadro 8.28 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.9

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A9 60C1+40FC	A.9.0.60	53,6	0,60	0,87	1,60	0,462	0,462	0,293	0,279	526,0	242,9	12,64
	A.9.0.65	60,0	0,65	0,83	1,60	0,441	0,441	0,279	0,293	551,9	243,1	13,27
	A.9.0.70	64,7	0,70	0,80	1,60	0,425	0,425	0,269	0,305	575,5	244,4	13,83
	A.9.0.75	65,5	0,75	0,78	1,65	0,414	0,414	0,262	0,316	596,2	246,8	14,78
	A.9.0.80	65,1	0,80	0,76	1,65	0,403	0,403	0,256	0,327	616,4	248,6	15,28

Quadro 8.29 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.10

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A10 60C1+40FG	A.10.0,60	52,0	0,60	0,97	1,95	0,515	0,515	0,329	0,271	510,4	262,8	14,81
	A.10.0,65	55,3	0,65	0,92	1,95	0,488	0,488	0,313	0,285	536,3	261,9	15,56
	A.10.0,70	57,2	0,70	0,89	1,95	0,472	0,472	0,302	0,296	558,5	263,8	16,21
	A.10.0,75	60,3	0,75	0,86	1,95	0,456	0,456	0,292	0,308	580,0	264,8	16,83
	A.10.0,80	62,6	0,80	0,84	1,95	0,446	0,446	0,285	0,318	599,1	267,1	17,39

Quadro 8.30 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.11

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A11 60C1+40CV	A.11.0,60	63,6	0,60	0,81	1,95	0,430	0,286	0,286	0,283	533,8	229,5	14,92
	A.11.0,65	71,1	0,65	0,78	1,95	0,414	0,275	0,275	0,297	558,9	231,4	15,62
	A.11.0,70	74,4	0,70	0,75	1,95	0,398	0,264	0,264	0,309	583,1	232,1	16,30
	A.11.0,75	75,3	0,75	0,73	1,95	0,388	0,257	0,257	0,321	604,6	234,3	16,90
	A.11.0,80	76,0	0,80	0,72	1,95	0,382	0,254	0,254	0,331	623,3	238,2	17,42

Quadro 8.31 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.12

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A12 50C1+50FC	A.12.0,60	50,9	0,60	0,82	1,00	0,522	0,522	0,280	0,285	446,7	233,3	7,94
	A.12.0,70	56,9	0,70	0,75	1,00	0,478	0,478	0,256	0,312	489,6	233,9	8,70
	A.12.0,80	65,4	0,80	0,71	1,00	0,452	0,452	0,242	0,335	525,5	237,6	9,34

Quadro 8.32 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.13

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A13 40C1+60FC	A.13.0,60	38,0	0,60	0,81	0,90	0,645	0,645	0,280	0,286	358,7	231,3	7,07
	A.13.0,70	45,0	0,70	0,74	0,80	0,589	0,589	0,256	0,313	393,7	231,9	6,90
	A.13.0,80	50,2	0,80	0,70	0,80	0,557	0,557	0,242	0,336	422,6	235,5	7,40

Quadro 8.33 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.14

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A14 60C2+40FC	A.14.0,60	34,0	0,60	0,80	1,55	0,439	0,439	0,275	0,285	519,7	227,9	12,25
	A.14.0,70	37,3	0,70	0,73	1,35	0,400	0,400	0,251	0,313	570,7	228,4	11,71
	A.14.0,80	44,6	0,80	0,69	1,30	0,378	0,378	0,237	0,336	612,9	231,9	12,11

Quadro 8.34 – Síntese dos resultados obtidos na família de argamassas A.15

ARGAMASSAS												
Identificação da Argamassa	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]	
A15 50C2+50FC	A.15.0,60	25,9	0,60	0,79	1,25	0,520	0,520	0,274	0,286	435,4	226,3	9,82
	A.15.0,70	30,1	0,70	0,72	1,15	0,474	0,474	0,250	0,314	478,0	226,4	9,92
	A.15.0,80	35,6	0,80	0,68	1,15	0,447	0,447	0,236	0,338	513,2	229,6	10,65

Quadro 8.35 – Síntese dos resultados obtidos nas famílias de argamassas A.I a A.VII

ARGAMASSAS: A.I - A.VII												
Identif. da Argamassa	Mistura de finos	fm,28 [MPa]	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	W/F	Vp [m ³ /m ³]	C [kg/m ³]	W [l/m ³]	Sp [l/m ³]
A.I.0,80	93C1+7MS	77,4	0,80	0,77	9,50	0,264	0,251	0,251	0,303	885,5	233,5	84,3
A.II.0,80	65C1+5MS+30FC	75,1	0,80	0,72	4,80	0,353	0,335	0,243	0,322	657,2	231,8	43,7
A.III.0,80	65C1+5MS+30FG	65,2	0,80	0,81	5,70	0,397	0,377	0,275	0,311	633,9	251,6	49,6
A.IV.0,80	65C1+5MS+30CV	71,6	0,80	0,72	5,70	0,353	0,251	0,251	0,320	653,0	230,4	49,7
A.V.0,80	56C1+4MS+40FC	68,6	0,80	0,70	3,40	0,398	0,379	0,239	0,328	577,5	229,9	31,2
A.VI.0,80	56C1+4MS+40FG	60,0	0,80	0,80	4,20	0,455	0,434	0,275	0,316	555,4	252,7	36,7
A.VII.0,80	56C1+4MS+40CV	70,3	0,80	0,70	4,20	0,398	0,250	0,250	0,327	574,3	228,6	36,5

8.5 – Estudos em betões

8.5.1 – Generalidades

Tal como se referiu na descrição do programa experimental, um dos objectivos estabelecidos para o estudo dos betões auto-compactáveis consistia na obtenção de uma gama variada de resistências à compressão. Nesse sentido, procedeu-se à selecção criteriosa das famílias de argamassas produzidas na fase anterior de forma a abranger uniformemente toda a gama de resistências registadas. Para além disso, as famílias de argamassas deveriam ainda ser seleccionadas de forma a incluir a combinação binária entre cada uma das seguintes adições (cinzas volantes, filer calcário e filer granítico) e cada um dos cimentos utilizados (CEM II/B L32,5N e CEM I 42,5R). Seguindo este critério foram seleccionadas as famílias de argamassas A.2, A.3, A.4, A.5, A.6, A.7, A.8, A.12, A.13, A.14 e A.15 que deram origem às famílias de betões com o mesmo nome, respectivamente, B.2, B.3, B.4, B.5, B.6, B.7, B.8, B.12, B.13, B.14 e B.15. Por exemplo, um betão da família B.2 é constituído por um determinado volume de agregados grossos, um determinado volume de vazios e por um determinado volume de argamassa da família A.2.

Para a identificação dos betões foi utilizada uma sigla composta por uma sequência que se inicia com a letra “B” (betão), seguida de um primeiro número que identifica a família de betão e de um segundo número associado à combinação entre Vp/Vs e Vm/Vg de cada mistura. Sempre que é efectuada mais do que uma amassadura de um mesmo betão, a respectiva sigla é acrescida das letras (“A”, “B”, “C”, ..., etc.) para distinguir essas

amassaduras. O termo “SPN” que surge associado a algumas siglas indica que o respectivo betão foi produzido com o “superplastificante novo”, ou melhor, com a segunda remessa do mesmo superplastificante (Sika ViscoCrete-3000).

O Quadro 8.36 ajuda a esclarecer a relação entre o segundo número utilizado na sigla que identifica cada betão e a combinação dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g . No mesmo quadro é ainda referenciado o parâmetro “MN” que se entendeu designar por número de mistura (“**M**ixture **N**umber”). Este parâmetro representa o produto de V_p/V_s por V_m/V_g e pretende traduzir um número de mistura associado à combinação dos dois parâmetros. Por exemplo, um betão com a sigla B.2.10 significa um betão da família 2 com um parâmetro $MN= 1,82$, resultante do produto de $V_p/V_s=0,70$ por $V_m/V_g= 2,60$.

Quadro 8.36 – Identificação das amassaduras de betão

Número utilizado na sigla	V_p/V_s	V_m/V_g	MN
1	0,80	2,40	1,92
2	0,80	2,20	1,76
3	0,80	2,00	1,60
4	0,70	2,40	1,68
5	0,70	2,20	1,54
6	0,70	2,00	1,40
7	0,60	2,40	1,44
8	0,60	2,20	1,32
9	0,60	2,60	1,56
10	0,70	2,60	1,82

A campanha experimental relativa ao estudo dos betões envolveu a realização de um total de 60 amassaduras. Tal como previsto no programa experimental, no decurso dessas amassaduras, para que os betões registassem as propriedades reológicas pretendidas, medidas pelos ensaios de espalhamento e de fluidez, houve necessidade de se proceder a pequenos ajustamentos das dosagens de água e de superplastificante. Em geral, os ajustamentos efectuados foram muito pequenos e as alterações introduzidas nas composições iniciais quase desprezáveis. Contudo, em rigor, deverá referir-se que as propriedades dos betões no estado fresco e no estado endurecido foram medidas nas amassaduras corrigidas. A avaliação das propriedades no estado fresco incluiu a realização

do ensaio de espalhamento, do ensaio de fluidez e dos ensaios de auto-compactabilidade com a Caixa-L e a Caixa. No estado endurecido, os betões produzidos foram ensaiados à compressão aos 7 e aos 28 dias de idade.

À semelhança do procedimento adoptado no estudo das argamassas, optou-se por apresentar no Anexo A.2 os registos efectuados nos ensaios laboratoriais relativos ao estudo dos betões e, em alguns casos, o seu tratamento prévio. Assim, o Anexo A.2 inclui os estudos da composição das misturas (Anexo A.2.1), os ensaios do betão no estado fresco (Anexo A.2.2) e, por último, os ensaios do betão no estado endurecido (Anexo A.2.3). Por uma questão de organização, e também por terem sido efectivamente registadas nessa fase, as correcções das dosagens de água e de superplastificante efectuadas nas misturas são apresentadas no Anexo A.2.2, juntamente com os respectivos resultados dos ensaios do betão no estado fresco.

Tendo por base os elementos incluídos no Anexo A.2, elaborou-se a síntese de resultados que se apresenta neste Sub-Capítulo. A apresentação dos resultados foi estruturada de modo a possibilitar a sua fácil leitura, enquadrando, sempre que viável, os resultados obtidos em cada fase com a apresentação dos parâmetros relevantes da composição de cada mistura, ou mesmo, elementos relativos à fase das argamassas. No Sub-Capítulo 8.5.2 são apresentadas as correcções efectuadas nas misturas. No Sub-Capítulo 8.5.3 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios do betão no estado fresco, enquanto que no Sub-Capítulo 8.5.4 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios de compressão dos betões aos 7 e 28 dias de idade.

8.5.2 – Correcções das misturas

O Quadro 8.37 resume as alterações induzidas nos parâmetros chave da composição em consequência das correcções efectuadas nas dosagens de água e de superplastificante de cada uma das amassaduras produzidas. Tal como se referiu anteriormente, as correcções registadas em cada uma das amassaduras experimentais de 25 litros foram apresentadas no Anexo A.2.2.

8.5.3 – Ensaio dos betões no estado fresco

A síntese dos resultados obtidos na avaliação das propriedades dos betões no estado fresco é apresentada do Quadro 8.38 ao Quadro 8.48. Cada um desses quadros resume os resultados de diferentes amassaduras de uma mesma família de betão. Cada uma dessas amassaduras corresponde a um valor de MN, ou seja, a uma combinação entre os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g . Os resultados dos ensaios do betão fresco provêm do Anexo A.2.2 e os parâmetros apresentados assumem o significado já anteriormente descrito. Para facilitar a interpretação dos resultados, os referidos quadros incluem ainda alguns parâmetros das misturas estudadas, provenientes do Anexo A.2.1, com exceção do parâmetro ($V_{ap}\%$).

O parâmetro $V_{ap}\%$ representa a razão, expressa em percentagem, entre o volume absoluto de agregados grossos da mistura e o volume absoluto ocupado pelas partículas de agregado grosso seco compactado, na unidade de volume de 1 m^3 , subtraído do volume de vazios. A Equação 8.1 traduz o significado deste parâmetro.

$$V_{ap} \% = \frac{V_g}{\frac{B}{\bar{\delta}}(1 - V_v)} \times 100 \quad (8.1)$$

Onde:

V_g é o volume absoluto do conjunto dos agregados grossos, em m^3/m^3 ;

B é a baridade do conjunto dos agregados grossos, em kg/m^3 ;

$\bar{\delta}$ é a massa volúmica do conjunto dos agregados grossos, em kg/m^3 ;

V_v é o volume de vazios do betão, em m^3/m^3 .

No estudo que se apresenta neste trabalho, o volume de vazios do betão, a baridade do conjunto dos agregados grossos secos compactados e a massa volúmica do conjunto dos agregados grossos permanecem constantes em todas as amassaduras e assumem os seguintes valores: $V_v = 0,030\text{ m}^3/\text{m}^3$; $B = 1642\text{ kg}/\text{m}^3$ e $\bar{\delta} = 2705\text{ kg}/\text{m}^3$.

Note-se que a baridade (B) e a massa volúmica ($\bar{\delta}$) dizem respeito ao conjunto dos agregados grossos constituídos por 50% de Brita 3/6 e 50% de Brita 6/15. Pelo exposto, para o presente trabalho, a Equação 8.1 pode ser simplificada da seguinte forma:

$$V_{ap} \% = V_g \times 169,833 \quad (8.2)$$

O parâmetro Vap% é utilizado no método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] para determinar o volume absoluto de agregados grossos (Vg). A sua inclusão neste trabalho teve como única finalidade permitir a comparação dos resultados obtidos com aqueles propostos por Okamura et al. No método proposto por Okamura et al., o parâmetro Vap% assume um valor fixo de 50%. Conhecido Vap% determina-se o volume absoluto do conjunto dos agregados grossos da mistura (Vg) utilizando a Equação 8.1. Segundo os autores, assumindo o valor de Vap%=50%, garante-se um volume de agregados grossos adequado à obtenção de betões auto-compactáveis. Importa ainda referir que no presente trabalho foi adoptada uma gama de valores de Vg de tal forma que os correspondentes valores de Vap% variaram abaixo e acima de 50%. Desta forma foi possível avaliar a influência deste parâmetro e inferir acerca da adequabilidade dos valores propostos.

Quadro 8.38 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.2 (80C2+20FC)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m ³]	Vs/Vm	Vg [m ³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.2.1	0,80	2,40	1,92	0,223	0,407	0,285	48,4	1,35	695	11,08	11,27	0,89	3,22	0,90	327
B.2.2	0,80	2,20	1,76	0,217	0,407	0,303	51,5	2,01	670	10,22	11,14	0,90	4,96	0,84	325
B.2.3	0,80	2,00	1,60	0,211	0,407	0,323	54,9	2,36	625	8,77	10,39	0,96	5,16	0,79	323
B.2.4	0,70	2,40	1,68	0,208	0,433	0,285	48,4	2,63	620	8,61	11,84	0,84	5,69	0,81	323
B.2.5	0,70	2,20	1,54	0,202	0,433	0,303	51,5	2,71	630	8,92	13,15	0,76	6,90	0,78	323
B.2.6-A	0,70	2,00	1,40	0,196	0,433	0,323	54,9	4,31	600	8,00	18,53	0,54	8,50	0,64	316
B.2.6-B	0,70	2,00	1,40	0,196	0,433	0,323	54,9	3,60	630	8,92	14,95	0,67	8,56	0,71	320
B.2.7	0,60	2,40	1,44	0,189	0,460	0,285	48,4	2,81	645	9,40	10,25	0,98	5,29	0,73	318
B.2.8	0,60	2,20	1,32	0,184	0,460	0,303	51,5	3,61	625	8,77	13,03	0,77	8,08	0,62	315
B.2.9	0,60	2,60	1,56	0,193	0,460	0,269	45,7	2,71	610	8,30	9,91	1,01	4,56	0,74	318
B.2.10	0,70	2,60	1,82	0,212	0,433	0,269	45,7	3,17	645	9,40	9,15	1,09	4,52	0,86	325

Quadro 8.39 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.3 (80C2+20FG)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m ³]	Vs/Vm	Vg [m ³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.3.1	0,80	2,40	1,92	0,219	0,399	0,285	48,4	2,72	660	9,89	10,96	0,91	4,59	0,85	329
B.3.2	0,80	2,20	1,76	0,213	0,399	0,303	51,5	3,64	635	9,08	14,03	0,71	5,05	0,81	323
B.3.3	0,80	2,00	1,60	0,207	0,399	0,323	54,9	3,41	630	8,92	15,49	0,65	7,63	0,77	320
B.3.4	0,70	2,40	1,68	0,204	0,425	0,285	48,4	2,55	630	8,92	11,45	0,87	5,18	0,81	325
B.3.5	0,70	2,20	1,54	0,199	0,425	0,303	51,5	3,56	655	9,73	12,47	0,80	5,27	0,81	322
B.3.6	0,70	2,00	1,40	0,193	0,425	0,323	54,9	2,95	635	9,08	16,13	0,62	5,85	0,73	320
B.3.7	0,60	2,40	1,44	0,186	0,453	0,285	48,4	2,76	615	8,46	11,27	0,89	6,49	0,67	317
B.3.9	0,60	2,60	1,56	0,191	0,453	0,269	45,7	2,86	605	8,15	10,06	0,99	5,16	0,73	319
B.3.10	0,70	2,60	1,82	0,209	0,425	0,269	45,7	2,76	640	9,24	10,12	0,99	4,03	0,85	323

Quadro 8.40 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.4 (80C2+20CV)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m ³]	Vs/Vm	Vg [m ³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.4.1	0,80	2,40	1,92	0,223	0,407	0,285	48,4	2,25	650	9,56	9,98	1,00	3,93	0,84	323
B.4.3	0,80	2,00	1,60	0,211	0,407	0,323	54,9	3,12	615	8,46	12,65	0,79	5,52	0,77	320
B.4.4	0,70	2,40	1,68	0,208	0,433	0,285	48,4	2,31	625	8,77	9,73	1,03	4,06	0,80	319
B.4.5	0,70	2,20	1,54	0,202	0,433	0,303	51,5	3,06	635	9,08	10,97	0,91	4,97	0,77	319
B.4.7	0,60	2,40	1,44	0,189	0,461	0,285	48,4	2,43	625	8,77	11,59	0,86	5,52	0,70	315
B.4.9	0,60	2,60	1,56	0,194	0,461	0,269	45,7	2,55	630	8,92	10,29	0,97	4,09	0,77	322
B.4.10	0,70	2,60	1,82	0,213	0,433	0,269	45,7	3,28	640	9,24	11,62	0,86	4,23	0,83	324

Quadro 8.41 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.5 (100C1)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m ³]	Vs/Vm	Vg [m ³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.5.1	0,80	2,40	1,92	0,213	0,390	0,285	48,4	3,13	620	8,61	10,38	0,96	4,74	0,81	320
B.5.3	0,80	2,00	1,60	0,202	0,390	0,323	54,9	3,40	635	9,08	13,24	0,76	5,26	0,79	324
B.5.4	0,70	2,40	1,68	0,200	0,418	0,285	48,4	3,54	615	8,46	11,57	0,86	5,27	0,77	321
B.5.7	0,60	2,40	1,44	0,183	0,446	0,285	48,4	2,97	645	9,40	13,25	0,75	5,24	0,75	317
B.5.9	0,60	2,60	1,56	0,187	0,446	0,269	45,7	3,25	640	9,24	10,63	0,94	4,39	0,75	317
B.5.10	0,70	2,60	1,82	0,205	0,418	0,269	45,7	3,82	630	8,92	9,94	1,01	4,89	0,86	325

Quadro 8.42 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.6 (70C1+30FC)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m ³]	Vs/Vm	Vg [m ³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.6.1	0,80	2,40	1,92	0,222	0,405	0,285	48,4	3,08	620	8,61	12,51	0,80	4,91	0,81	322
B.6.2-A	0,80	2,20	1,76	0,216	0,405	0,303	51,5	3,24	635	9,08	12,96	0,77	4,99	0,83	325
B.6.2-B	0,80	2,20	1,76	0,216	0,405	0,303	51,5	3,34	645	9,40	11,67	0,86	4,36	0,84	325
B.6.3-A	0,80	2,00	1,60	0,209	0,405	0,323	54,9	3,70	675	10,39	11,04	0,91	5,24	0,88	328
B.6.3-B	0,80	2,00	1,60	0,209	0,405	0,323	54,9	4,05	645	9,40	14,05	0,71	5,51	0,83	325
B.6.4	0,70	2,40	1,68	0,207	0,432	0,285	48,4	3,29	630	8,92	14,93	0,67	6,71	0,80	323
B.6.5-SPN	0,70	2,20	1,54	0,202	0,432	0,303	51,5	4,02	685	10,73	16,52	0,61	6,91	0,89	328
B.6.7-SPN	0,60	2,40	1,44	0,189	0,460	0,285	48,4	4,06	680	10,56	14,76	0,68	6,10	0,80	324
B.6.9	0,60	2,60	1,56	0,194	0,460	0,269	45,7	3,45	650	9,56	12,70	0,79	5,31	0,83	325
B.6.10	0,70	2,60	1,82	0,212	0,432	0,269	45,7	3,43	640	9,24	11,25	0,89	3,69	0,84	324
B.6.10-SPN	0,70	2,60	1,82	0,212	0,432	0,269	45,7	3,80	700	11,25	10,06	0,99	4,32	0,93	329

Quadro 8.43 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.7 (70C1+30FG)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m³]	Vs/Vm	Vg [m³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.7.1	0,80	2,40	1,92	0,216	0,394	0,285	48,4	3,22	630	8,92	12,52	0,80	5,03	0,82	324
B.7.10	0,70	2,60	1,82	0,207	0,421	0,269	45,7	3,27	670	10,22	11,38	0,88	4,23	0,92	327

Quadro 8.44 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.8 (70C1+30CV)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m³]	Vs/Vm	Vg [m³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.8.1	0,80	2,40	1,92	0,223	0,407	0,285	48,4	4,07	655	9,73	10,51	0,95	4,42	0,84	327
B.8.2	0,80	2,20	1,76	0,217	0,407	0,303	51,5	3,77	630	8,92	12,35	0,81	5,30	0,79	322
B.8.3	0,80	2,00	1,60	0,211	0,407	0,323	54,9	3,80	645	9,40	13,30	0,75	6,17	0,80	325
B.8.4	0,70	2,40	1,68	0,208	0,434	0,285	48,4	3,28	640	9,24	10,82	0,92	5,23	0,83	326
B.8.9	0,60	2,60	1,56	0,195	0,464	0,269	45,7	3,34	655	9,73	11,33	0,88	3,98	0,82	326
B.8.10	0,70	2,60	1,82	0,213	0,434	0,269	45,7	3,20	635	9,08	10,09	0,99	5,65	0,83	327

Quadro 8.45 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.12 (50C1+50FC)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m³]	Vs/Vm	Vg [m³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.12.1	0,80	2,40	1,92	0,229	0,418	0,285	48,4	4,20	620	8,61	14,93	0,67	5,82	0,77	319
B.12.10	0,70	2,60	1,82	0,218	0,446	0,269	45,7	4,31	650	9,56	12,61	0,79	5,40	0,80	322

Quadro 8.46 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.13 (40C1+60FC)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m³]	Vs/Vm	Vg [m³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.13.1	0,80	2,40	1,92	0,230	0,421	0,285	48,4	3,40	660	9,89	10,99	0,91	4,20	0,85	324
B.13.10	0,70	2,60	1,82	0,220	0,448	0,269	45,7	3,21	655	9,73	11,99	0,83	4,94	0,85	326

Quadro 8.47 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.14 (60C2+40FC)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m³]	Vs/Vm	Vg [m³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.14.1	0,80	2,40	1,92	0,230	0,420	0,285	48,4	3,30	640	9,24	12,18	0,82	6,40	0,86	322
B.14.10	0,70	2,60	1,82	0,219	0,447	0,269	45,7	3,36	655	9,73	11,79	0,85	5,07	0,85	324

Quadro 8.48 – Síntese da análise no estado fresco da família de betões B.15 (50C2+50FC)

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura							Ensaio do betão fresco							
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Vp [m³]	Vs/Vm	Vg [m³]	Vap [%]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
								T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.15.1	0,80	2,40	1,92	0,231	0,422	0,285	48,4	3,46	670	10,22	10,41	0,96	5,38	0,88	327
B.15.10	0,70	2,60	1,82	0,220	0,449	0,269	45,7	3,76	650	9,56	11,27	0,89	4,79	0,86	323

8.5.4 – Ensaios dos betões no estado endurecido

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão do betão aos 28 dias de idade são apresentados do Quadro 8.49 ao Quadro 8.59 e seguem a mesma sequência descrita para os ensaios do betão no estado fresco. Para facilitar a interpretação dos resultados, os referidos quadros incluem a correspondência entre as argamassas e os betões.

A relação entre os valores médios obtidos nos ensaios de compressão do betão aos 7 e 28 dias de idade (R7/R28) é apresentada do Quadro 8.60 ao Quadro 8.70, separadamente para cada uma das famílias de betão ensaiadas.

Quadro 8.49 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.2

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros							fcm,28				
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A2 80C2+20FC	A.2.0,80	0,80	0,76	2,10	0,313	57,5	2,7	4,7	B.2.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	63,7	0,4	0,7
	A.2.0,80	0,80	0,76	2,10	0,313	57,5	2,7	4,7	B.2.2	19,1	0,030	2,20	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	66,3	0,1	0,1
	A.2.0,80	0,80	0,76	2,10	0,313	57,5	2,7	4,7	B.2.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	64,8	0,3	0,5
	A.2.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	52,8	1,4	2,6	B.2.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	60,4	0,5	0,8
	A.2.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	52,8	1,4	2,6	B.2.5	19,1	0,030	2,20	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	60,0	1,4	2,4
	A.2.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	52,8	1,4	2,6	B.2.6-A	19,1	0,030	2,00	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	59,9	1,2	2,0
	A.2.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	52,8	1,4	2,6	B.2.6-B	19,1	0,030	2,00	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	58,0	0,6	1,0
	A.2.0,60	0,60	0,90	2,05	0,370	48,4	0,9	1,9	B.2.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	50,5	0,7	1,4
	A.2.0,60	0,60	0,90	2,05	0,370	48,4	0,9	1,9	B.2.8	19,1	0,030	2,20	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	49,9	0,6	1,1
	A.2.0,60	0,60	0,90	2,05	0,370	48,4	0,9	1,9	B.2.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	50,9	1,7	3,2
A.2.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	52,8	1,4	2,6	B.2.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	60,3	0,7	1,2	

Quadro 8.50 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.3

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros							fcm,28				
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A3 80C2+20FG	A.3.0,80	0,80	0,82	2,15	0,337	57,7	1,1	1,9	B.3.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	59,7	1,1	1,9
	A.3.0,80	0,80	0,82	2,15	0,337	57,7	1,1	1,9	B.3.2	19,1	0,030	2,20	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	59,7	1,0	1,7
	A.3.0,80	0,80	0,82	2,15	0,337	57,7	1,1	1,9	B.3.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	58,5	1,1	1,9
	A.3.0,70	0,70	0,87	2,15	0,358	55,3	0,6	1,0	B.3.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	53,0	0,3	0,5
	A.3.0,70	0,70	0,87	2,15	0,358	55,3	0,6	1,0	B.3.5	19,1	0,030	2,20	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	52,9	0,5	0,9
	A.3.0,70	0,70	0,87	2,15	0,358	55,3	0,6	1,0	B.3.6	19,1	0,030	2,00	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	53,3	0,5	1,0
	A.3.0,60	0,60	0,95	2,10	0,391	45,8	0,8	1,6	B.3.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,95	2,10	0,391	0,391	45,7	1,2	2,6
	A.3.0,60	0,60	0,95	2,10	0,391	45,8	0,8	1,6	B.3.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,95	2,10	0,391	0,391	44,6	1,0	2,3
	A.3.0,70	0,70	0,87	2,15	0,358	55,3	0,6	1,0	B.3.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	54,3	1,0	1,8

Quadro 8.51 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.4

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros							fcm,28				
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.4 80C2+20CV	A.4.0,80	0,80	0,76	2,10	0,312	61,7	0,7	1,1	B.4.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,76	2,10	0,312	0,261	69,1	0,7	1,0
	A.4.0,80	0,80	0,76	2,10	0,312	61,7	0,7	1,1	B.4.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,76	2,10	0,312	0,261	67,5	1,3	1,9
	A.4.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	58,9	0,5	0,9	B.4.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	63,1	1,0	1,6
	A.4.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	58,9	0,5	0,9	B.4.5	19,1	0,030	2,20	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	64,8	1,0	1,5
	A.4.0,60	0,60	0,89	2,05	0,366	51,3	1,2	2,3	B.4.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,89	2,05	0,366	0,306	59,6	1,5	2,5
	A.4.0,60	0,60	0,89	2,05	0,366	51,3	1,2	2,3	B.4.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,89	2,05	0,366	0,306	56,8	0,3	0,5
	A.4.0,70	0,70	0,81	2,10	0,333	58,9	0,5	0,9	B.4.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	63,6	1,1	1,7

Quadro 8.52 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.5

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros						fcm,28					
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.5 100C1	A.5.0.80	0,80	0,86	3,25	0,274	91,8	1,7	1,9	B.5.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,86	3,25	0,274	0,274	85,0	2,4	2,8
	A.5.0.80	0,80	0,86	3,25	0,274	91,8	1,7	1,9	B.5.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,86	3,25	0,274	0,274	86,8	1,8	2,0
	A.5.0.70	0,70	0,90	3,10	0,287	90,8	1,6	1,7	B.5.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,90	3,10	0,287	0,287	82,9	1,0	1,2
	A.5.0.60	0,60	0,98	3,00	0,312	83,3	1,8	2,2	B.5.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,98	3,00	0,312	0,312	77,8	1,0	1,2
	A.5.0.60	0,60	0,98	3,00	0,312	83,3	1,8	2,2	B.5.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,98	3,00	0,312	0,312	76,8	0,1	0,1
A.5.0.70	0,70	0,90	3,10	0,287	90,8	1,6	1,7	B.5.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,90	3,10	0,287	0,287	81,9	1,0	1,2	

Quadro 8.53 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.6

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros						fcm,28					
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.6 70C1+30FC	A.6.0.80	0,80	0,77	2,35	0,350	76,8	3,3	4,4	B.6.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	78,4	0,5	0,6
	A.6.0.80	0,80	0,77	2,35	0,350	76,8	3,3	4,4	B.6.2-A	19,1	0,030	2,20	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	77,4	1,6	2,1
	A.6.0.80	0,80	0,77	2,35	0,350	76,8	3,3	4,4	B.6.2-B	19,1	0,030	2,20	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	79,2	0,6	0,7
	A.6.0.80	0,80	0,77	2,35	0,350	76,8	3,3	4,4	B.6.3-A	19,1	0,030	2,00	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	78,7	1,4	1,7
	A.6.0.80	0,80	0,77	2,35	0,350	76,8	3,3	4,4	B.6.3-B	19,1	0,030	2,00	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	77,9	1,4	1,8
	A.6.0.70	0,70	0,81	2,30	0,369	74,0	1,8	2,5	B.6.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	74,7	2,1	2,8
	A.6.0.70	0,70	0,81	2,30	0,369	74,0	1,8	2,5	B.6.5-SPN	19,1	0,030	2,20	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	79,3	1,1	1,4
	A.6.0.60	0,60	0,89	2,20	0,405	69,8	1,5	2,2	B.6.7-SPN	19,1	0,030	2,40	0,60	0,89	2,20	0,405	0,405	70,7	1,7	2,4
	A.6.0.60	0,60	0,89	2,20	0,405	69,8	1,5	2,2	B.6.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,89	2,20	0,405	0,405	66,8	1,3	1,9
	A.6.0.70	0,70	0,81	2,30	0,369	74,0	1,8	2,5	B.6.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	72,1	1,0	1,3
	A.6.0.70	0,70	0,81	2,30	0,369	74,0	1,8	2,5	B.6.10-SPN	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	77,8	0,8	1,0

Quadro 8.54 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.7

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros						fcm,28					
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.7 70C1+30FG	A.7.0.80	0,80	0,85	2,50	0,387	70,7	3,2	4,5	B.7.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,85	2,50	0,387	0,387	74,1	0,3	0,5
	A.7.0.70	0,70	0,89	2,50	0,405	64,8	3,3	5,1	B.7.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,89	2,50	0,405	0,405	70,5	0,9	1,2

Quadro 8.55 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.8

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros						fcm,28					
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.8 70C1+30CV	A.8.0.80	0,80	0,75	2,50	0,341	80,6	4,6	5,7	B.8.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	80,3	1,2	1,4
	A.8.0.80	0,80	0,75	2,50	0,341	80,6	4,6	5,7	B.8.2	19,1	0,030	2,20	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	79,2	1,0	1,2
	A.8.0.80	0,80	0,75	2,50	0,341	80,6	4,6	5,7	B.8.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	78,2	2,8	3,5
	A.8.0.70	0,70	0,79	2,50	0,359	74,4	0,7	0,9	B.8.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,79	2,50	0,359	0,271	74,5	0,3	0,5
	A.8.0.60	0,60	0,86	2,45	0,391	72,2	1,8	2,5	B.8.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,86	2,45	0,391	0,295	69,9	1,6	2,3
	A.8.0.70	0,70	0,79	2,50	0,359	74,4	0,7	0,9	B.8.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,79	2,50	0,359	0,271	75,7	0,4	0,5

Quadro 8.56 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.12

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros						fcm,28					
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.12 50C1+50FC	A.12.0.80	0,80	0,71	1,00	0,450	65,4	1,2	1,9	B.12.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,71	1,00	0,452	0,452	69,1	0,7	0,9
	A.12.0.70	0,70	0,75	1,00	0,480	56,9	1,3	2,3	B.12.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,75	1,00	0,478	0,478	62,8	0,1	0,1

Quadro 8.57 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.13

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28			Identificação do Betão	Parâmetros						fcm,28					
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]		Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.13 40C1+60FC	A.13.0.80	0,80	0,70	0,80	0,560	50,2	0,4	0,8	B.13.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,70	0,80	0,557	0,557	54,3	1,1	2,1
	A.13.0.70	0,70	0,74	0,80	0,590	45,0	0,3	0,6	B.13.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,74	0,80	0,589	0,589	51,3	0,4	0,7

Quadro 8.58 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.14

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28				Identificação do Betão	Parâmetros							fcm,28			
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Dmáx. [mm]		Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.14	A.14.0.80	0,80	0,69	1,30	0,380	44,6	0,7	1,5	B.14.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,69	1,30	0,378	0,378	50,9	1,1	2,2
60C2+40FC	A.14.0.70	0,70	0,73	1,35	0,400	37,3	0,6	1,5	B.14.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,73	1,35	0,400	0,400	46,7	0,8	1,7

Quadro 8.59 – Síntese da análise no estado endurecido da família de betões B.15

ARGAMASSAS									BETÕES											
Identificação da Argamassa	Parâmetros				fm,28				Identificação do Betão	Parâmetros							fcm,28			
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Dmáx. [mm]		Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	
A.15	A.15.0.80	0,80	0,68	1,15	0,450	35,6	1,0	2,7	B.15.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,68	1,15	0,447	0,447	42,5	0,5	1,1
50C2+50FC	A.15.0.70	0,70	0,72	1,15	0,470	30,1	0,3	1,0	B.15.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,72	1,15	0,474	0,474	38,3	0,8	2,1

Quadro 8.60 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.2 (80C2+20FC)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.2.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	49,5	0,7	1,4	63,7	0,4	0,7	0,78	0,77
B.2.2	19,1	0,030	2,20	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	49,8	0,9	1,8	66,3	0,1	0,1	0,75	
B.2.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,76	2,10	0,313	0,313	50,6	0,4	0,9	64,8	0,3	0,5	0,78	
B.2.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	45,7	0,8	1,8	60,4	0,5	0,8	0,76	
B.2.5	19,1	0,030	2,20	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	46,2	0,4	0,9	60,0	1,4	2,4	0,77	
B.2.6-A	19,1	0,030	2,00	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	47,2	0,5	1,0	59,9	1,2	2,0	0,79	
B.2.6-B	19,1	0,030	2,00	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	46,6	0,5	1,1	58,0	0,6	1,0	0,80	
B.2.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	40,1	0,9	2,3	50,5	0,7	1,4	0,79	
B.2.8	19,1	0,030	2,20	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	38,7	1,0	2,6	49,9	0,6	1,1	0,78	
B.2.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,90	2,05	0,370	0,370	38,2	2,1	5,4	50,9	1,7	3,2	0,75	
B.2.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,10	0,333	0,333	46,1	0,1	0,3	60,3	0,7	1,2	0,76	

Quadro 8.61 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.3 (80C2+20FG)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.3.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	47,6	2,0	4,2	59,7	1,1	1,9	0,80	0,80
B.3.2	19,1	0,030	2,20	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	47,8	1,1	2,3	59,7	1,0	1,7	0,80	
B.3.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,82	2,15	0,337	0,337	47,8	1,5	3,0	58,5	1,1	1,9	0,82	
B.3.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	41,7	1,4	3,5	53,0	0,3	0,5	0,79	
B.3.5	19,1	0,030	2,20	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	43,7	1,0	2,3	52,9	0,5	0,9	0,83	
B.3.6	19,1	0,030	2,00	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	43,8	0,8	1,8	53,3	0,5	1,0	0,82	
B.3.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,95	2,10	0,391	0,391	36,5	2,1	5,9	45,7	1,2	2,6	0,80	
B.3.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,95	2,10	0,391	0,391	35,8	1,1	3,0	44,6	1,0	2,3	0,80	
B.3.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,87	2,15	0,358	0,358	42,7	0,2	0,4	54,3	1,0	1,8	0,79	

Quadro 8.62 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.4 (80C2+20CV)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.4.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,76	2,10	0,312	0,261	54,1	1,3	2,3	69,1	0,7	1,0	0,78	0,78
B.4.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,76	2,10	0,312	0,261	55,9	0,4	0,7	67,5	1,3	1,9	0,83	
B.4.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	49,6	0,3	0,6	63,1	1,0	1,6	0,79	
B.4.5	19,1	0,030	2,20	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	50,4	0,7	1,3	64,8	1,0	1,5	0,78	
B.4.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,89	2,05	0,366	0,306	44,1	0,2	0,4	59,6	1,5	2,5	0,74	
B.4.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,89	2,05	0,366	0,306	43,0	0,9	2,1	56,8	0,3	0,5	0,76	
B.4.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,10	0,333	0,279	50,4	0,4	0,7	63,6	1,1	1,7	0,79	

Quadro 8.63 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.5 (100C1)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.5.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,86	3,25	0,274	0,274	74,5	2,2	3,0	85,0	2,4	2,8	0,88	0,87
B.5.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,86	3,25	0,274	0,274	76,2	0,1	0,1	86,8	1,8	2,0	0,88	
B.5.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,90	3,10	0,287	0,287	70,8	2,6	3,7	82,9	1,0	1,2	0,85	
B.5.7	19,1	0,030	2,40	0,60	0,98	3,00	0,312	0,312	67,7	0,5	0,7	77,8	1,0	1,2	0,87	
B.5.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,98	3,00	0,312	0,312	65,3	0,9	1,4	76,8	0,1	0,1	0,85	
B.5.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,90	3,10	0,287	0,287	72,3	2,5	3,5	81,9	1,0	1,2	0,88	

Quadro 8.64 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.6 (70C1+30FC)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.6.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	66,8	0,3	0,5	78,4	0,5	0,6	0,85	0,87
B.6.2-A	19,1	0,030	2,20	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	69,9	1,0	1,4	77,4	1,6	2,1	0,90	
B.6.2-B	19,1	0,030	2,20	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	68,1	0,4	0,6	79,2	0,6	0,7	0,86	
B.6.3-A	19,1	0,030	2,00	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	69,2	0,7	1,0	78,7	1,4	1,7	0,88	
B.6.3-B	19,1	0,030	2,00	0,80	0,77	2,35	0,350	0,350	67,0	1,2	1,7	77,9	1,4	1,8	0,86	
B.6.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	63,6	3,3	5,2	74,7	2,1	2,8	0,85	
B.6.5-SPN	19,1	0,030	2,20	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	68,9	0,8	1,1	79,3	1,1	1,4	0,87	
B.6.7-SPN	19,1	0,030	2,40	0,60	0,89	2,20	0,405	0,405	59,7	0,4	0,7	70,7	1,7	2,4	0,84	
B.6.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,89	2,20	0,405	0,405	57,2	0,3	0,4	66,8	1,3	1,9	0,86	
B.6.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	63,9	2,1	3,3	72,1	1,0	1,3	0,89	
B.6.10-SPN	19,1	0,030	2,60	0,70	0,81	2,30	0,369	0,369	67,8	0,9	1,4	77,8	0,8	1,0	0,87	

Quadro 8.65 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.7 (70C1+30FG)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.7.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,85	2,50	0,387	0,387	63,1	0,9	1,5	74,1	0,3	0,5	0,85	0,85
B.7.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,89	2,50	0,405	0,405	59,4	0,1	0,2	70,5	0,9	1,2	0,84	

Quadro 8.66 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.8 (70C1+30CV)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.8.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	65,4	0,1	0,1	80,3	1,2	1,4	0,81	0,82
B.8.2	19,1	0,030	2,20	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	62,8	0,4	0,6	79,2	1,0	1,2	0,79	
B.8.3	19,1	0,030	2,00	0,80	0,75	2,50	0,341	0,258	63,9	2,5	3,9	78,2	2,8	3,5	0,82	
B.8.4	19,1	0,030	2,40	0,70	0,79	2,50	0,359	0,271	62,2	1,7	2,7	74,5	0,3	0,5	0,83	
B.8.9	19,1	0,030	2,60	0,60	0,86	2,45	0,391	0,295	57,3	0,9	1,5	69,9	1,6	2,3	0,82	
B.8.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,79	2,50	0,359	0,271	62,5	1,0	1,6	75,7	0,4	0,5	0,83	

Quadro 8.67 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.12 (50C1+50FC)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.12.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,71	1,00	0,452	0,452	60,5	0,5	0,9	69,1	0,7	0,9	0,88	0,87
B.12.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,75	1,00	0,478	0,478	54,1	0,4	0,8	62,8	0,1	0,1	0,86	

Quadro 8.68 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.13 (40C1+60FC)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.13.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,70	0,80	0,557	0,557	47,4	1,5	3,2	54,3	1,1	2,1	0,87	0,85
B.13.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,74	0,80	0,589	0,589	42,7	0,5	1,1	51,3	0,4	0,7	0,83	

Quadro 8.69 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.14 (60C2+40FC)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.14.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,69	1,30	0,378	0,378	40,9	0,6	1,5	50,9	1,1	2,2	0,80	0,80
B.14.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,73	1,35	0,400	0,400	37,6	0,1	0,2	46,7	0,8	1,7	0,80	

Quadro 8.70 – Relação (R7/R28) para a família de betões B.15 (50C2+50FC)

BETÕES																
Identificação do Betão	Parâmetros								fcm,7			fcm,28			R7/R28	
	Dmáx. [mm]	Vv	Vm/Vg	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	W/C	W/MC	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Média [MPa]	Sd [MPa]	Cv [%]	Valor indiv.	Média (Série)
B.15.1	19,1	0,030	2,40	0,80	0,68	1,15	0,447	0,447	33,5	0,2	0,7	42,5	0,5	1,1	0,79	0,78
B.15.10	19,1	0,030	2,60	0,70	0,72	1,15	0,474	0,474	29,6	0,4	1,2	38,3	0,8	2,1	0,77	

**DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS
NO ESTUDO DAS ARGAMASSAS**

CAPÍTULO 9 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DAS ARGAMASSAS

9.1 – Introdução

Todo o programa experimental desenvolvido no âmbito deste trabalho foi direccionado apenas para a análise dos aspectos relativos ao comportamento físico e mecânico dos betões auto-compactáveis do tipo finos, e a discussão dos resultados que se apresenta neste Sub-Capítulo deverá reflectir isso mesmo.

As fases que precederam os estudos em argamassas e betões, nomeadamente, aquelas que envolveram a caracterização dos materiais constituintes e a definição das curvas de referência dos agregados, devem ser entendidas como fases preparatórias que, à partida, se completaram no Sub-Capítulo 8 com a apresentação dos resultados obtidos. A influência destes materiais será posteriormente avaliada pela sua acção no comportamento das argamassas e betões.

Tem sido já referido por inúmeras vezes que o betão auto-compactável pode ser encarado como sendo constituído por agregados grossos dispersos numa matriz formada pela argamassa. A partir do momento em que foram definidas as propriedades da matriz argamassa, adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis, tornou-se possível isolar o estudo das argamassas do estudo dos betões. Uma primeira justificação para a análise separada das argamassas reside na maior facilidade da sua execução comparativamente com os betões. Esta facilidade resulta sobretudo da possibilidade de se ensaiarem volumes menores e da maior rapidez na execução das amassaduras e na execução dos ensaios de comportamento reológico. Em consequência, à excepção dos parâmetros relativos aos agregados grossos e à definição do volume de vazios, todos os restantes parâmetros da composição dos betões auto-compactáveis podem ser facilmente determinados mediante o

estudo das argamassas. No presente trabalho, esses parâmetros incluem a definição da “família de finos”, V_p/V_s , V_w/V_p e $S_p/p\%$.

O principal objectivo da campanha experimental desenvolvida no âmbito deste trabalho consistiu na produção de diferentes argamassas que, cumprindo os critérios reológicos pré-estabelecidos, apresentassem diferentes níveis de resistência à compressão. Nesse sentido, os parâmetros “família de finos” e V_p/V_s foram arbitrados tendo em vista a obtenção de diferentes níveis de resistência à compressão. Para cada “família de finos” fez-se variar V_p/V_s , o que permitiu avaliar de forma isolada a contribuição deste último parâmetro. Contudo, a resistência à compressão não é governada apenas por estes dois parâmetros. Para cada combinação entre a “família de finos” e V_p/V_s , a resistência à compressão dependerá ainda da dosagem de água de amassadura que, por sua vez, dependerá da capacidade de redução de água do superplastificante usado e das propriedades reológicas a obter.

A relação entre os vários parâmetros referidos no parágrafo anterior será analisada e discutida neste trabalho, na perspectiva de detectar padrões de comportamento de âmbito geral que permitam relacionar a resistência à compressão com os parâmetros “chave” da composição das argamassas. Todas as argamassas apresentam como elemento comum o mesmo comportamento reológico, medido em termos do diâmetro de espalhamento e do tempo de escoamento.

No Sub-Capítulo 9.2 será efectuada uma análise da composição das misturas e serão tecidas algumas considerações acerca da influência dos materiais sólidos dessas misturas na quantificação das dosagens de água e superplastificante, que conduziram à obtenção das propriedades reológicas pretendidas. As argamassas serão ainda avaliadas do ponto de vista da razoabilidade das dosagens dos seus componentes, em especial as dosagens de cimento e de superplastificante, tendo em vista a exequibilidade dos betões que venham a incorporar essas argamassas.

No Sub-Capítulo 9.3 serão avaliadas as correlações entre os parâmetros da composição das argamassas. Mais concretamente, serão correlacionados entre si alguns

dos parâmetros “chave” da composição, serão estabelecidas correlações com a resistência à compressão e será avaliado o efeito da percentagem de substituição do cimento pelas adições na razão W/C das argamassas e, indirectamente, na sua resistência. Por último, no Sub-Capítulo 9.4, serão apresentadas as conclusões finais do estudo das argamassas.

9.2 – Análise das misturas

9.2.1 – Generalidades

Em termos médios, as argamassas representam cerca de 65% a 70% do volume absoluto dos betões auto-compactáveis produzidos neste trabalho. Em consequência, as dosagens dos componentes de uma determinada argamassa, expressos na unidade de volume de 1 metro cúbico, multiplicados por um valor entre 0,65 e 0,70, conduzem aos correspondentes valores das dosagens desses mesmos componentes por metro cúbico do betão que incorpora essa argamassa. Pelo contrário, os parâmetros chave quantificados para as argamassas assumem exactamente os mesmos valores no cálculo dos betões, já que estes parâmetros apenas representam razões (expressas em massa ou em volume absoluto) entre diferentes componentes que constituem a fase argamassa.

A análise das misturas é feita separadamente para as associações binárias e ternárias de materiais finos. As associações binárias, por sua vez, dividem-se entre aquelas que utilizaram na sua composição o cimento CEM II/B-L32,5N e aquelas que utilizaram o cimento CEM I 42,5R. Os dois grupos de associações binárias e o grupo das associações ternárias são sempre acompanhados da respectiva mistura padrão que serviu de referência em cada um desses grupos.

Os elementos que se apresentaram do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34, incluem os dois grupos de associações binárias e as respectivas misturas de referência que utilizam apenas como material fino o ligante. Os elementos apresentados no Quadro 8.35 incluem as misturas ternárias e uma mistura binária que serviu de referência, tendo todas elas em comum o facto de incorporarem o cimento CEM I 42,5R e microssílica na sua composição.

9.2.2 – Misturas binárias

A primeira análise a efectuar incidirá sobre as dosagens em volume absoluto de água e superplastificante que conduziram às propriedades reológicas pretendidas e a sua relação com a natureza e dosagem dos diferentes materiais sólidos que compõem as argamassas, em especial os materiais finos.

A partir dos elementos apresentados do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34, elaboraram-se as Figuras 9.1 e 9.2 que ilustram, respectivamente, as dosagens de água de amassadura e de superplastificante de cada uma das argamassas produzidas. As argamassas avaliadas são aquelas que cumpriram os critérios reológicos.

Como se pode observar na Figura 9.1, para cada família de argamassas existe nitidamente um “patamar” para a dosagem de água de amassadura. Em cada “patamar”, por sua vez, existe uma ligeira tendência para o aumento da dosagem de água de amassadura com o aumento do parâmetro V_p/V_s , ou seja, com o aumento da proporção entre o volume de materiais finos e o volume de agregados finos.

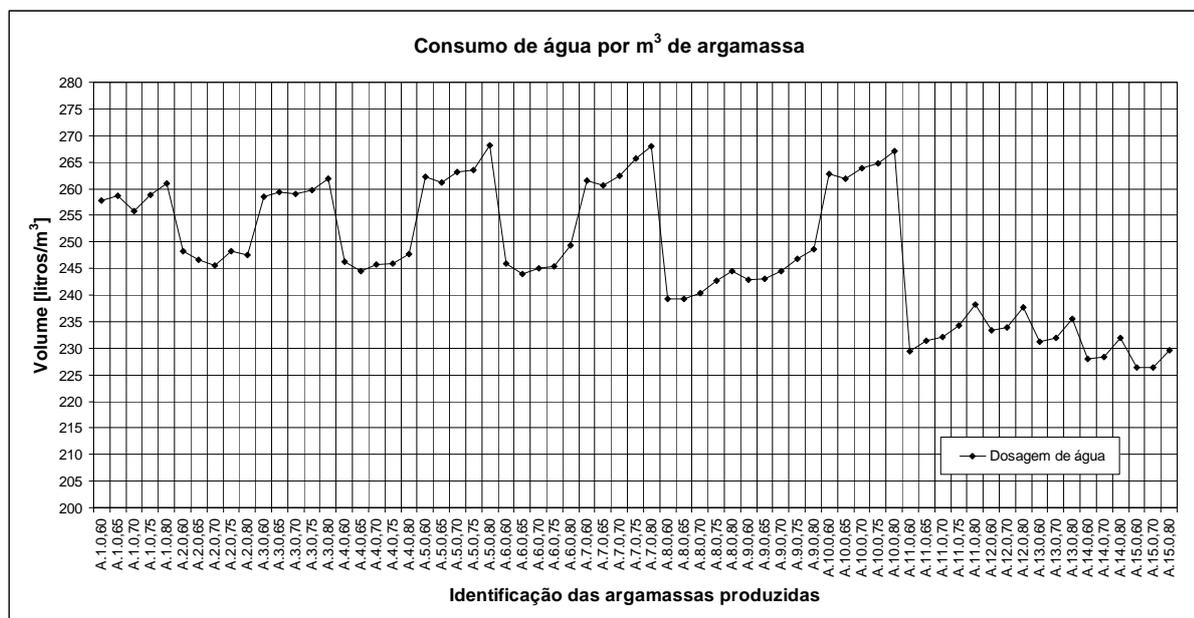


Figura 9.1 – Dosagem de água por metro cúbico de argamassa

Na Figura 9.2 é possível identificar igualmente a existência de um “patamar” no consumo de superplastificante em cada família de argamassas, destacando-se claramente, pelo seu maior consumo, a família de argamassas A.5 (mistura de referência só com cimento do tipo CEM I 42,5R). Por outro lado, para cada família de argamassas, é evidente o aumento da dosagem de superplastificante com o aumento do parâmetro V_p/V_s .



Figura 9.2 – Dosagem de superplastificante por metro cúbico de argamassa

De forma a proporcionar uma análise mais detalhada dos consumos de água de amassadura, optou-se por separar as argamassas com CEM II/B-L32,5N das argamassas com CEM I 42,5R. Com o mesmo objectivo, para cada um dos cimentos utilizados, os vários patamares detectados nas diferentes famílias de argamassas foram sobrepostos num mesmo gráfico, onde se representou no eixo das abcissas o parâmetro V_p/V_s e em ordenadas a dosagem de água de amassadura. Em consequência, foram produzidas as Figuras 9.3 e 9.4, que a seguir se apresentam.

Analisando detalhadamente os gráficos apresentados nas Figuras 9.3 e 9.4, observa-se efectivamente uma ligeira tendência para o aumento da dosagem de água de amassadura com o aumento de V_p/V_s em todas as famílias de argamassas. Se bem que

este aumento tenha ocorrido independentemente do tipo de cimento, ele foi mais expressivo nas misturas com cimento CEM I 42,5R.

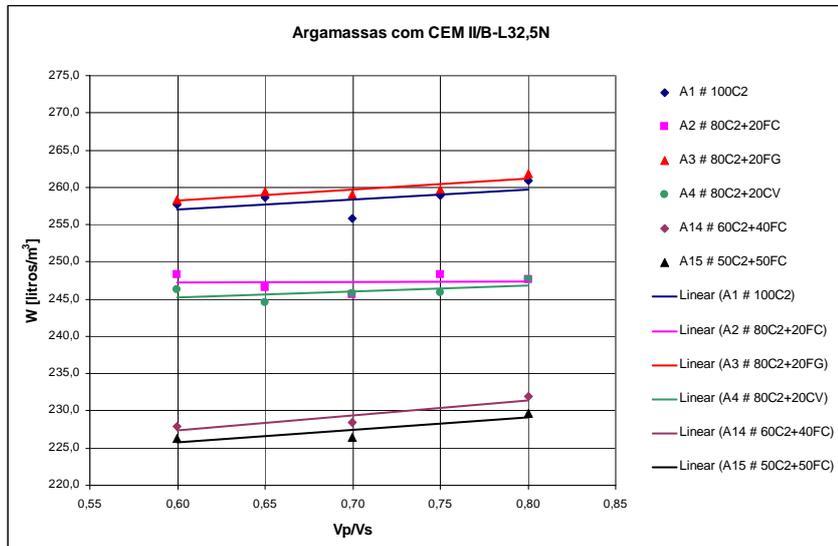


Figura 9.3 – Consumo de água em função de Vp/Vs para CEM II/B-L32,5N

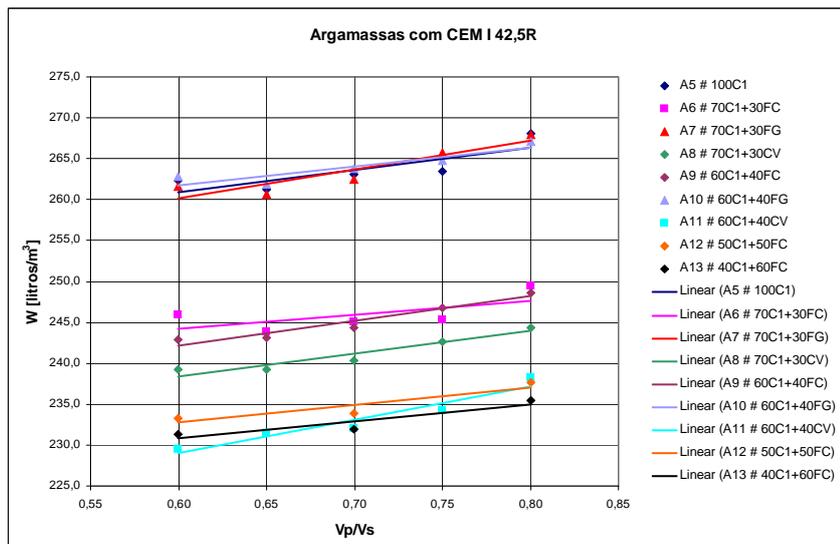


Figura 9.4 – Consumo de água em função de Vp/Vs para CEM I 42,5R

As famílias de argamassas A.2, A.3 e A.4 representadas na Figura 9.3 possuem a mesma percentagem de substituição do cimento pelas adições. Neste caso, será possível estabelecer uma comparação entre o consumo médio de água de cada uma destas famílias de argamassas e o consumo médio de água da família de argamassas A.1, utilizada como referência. A família de argamassas A.3, cuja adição é constituída por fíler granítico,

apresenta valores da dosagem de água de amassadura muito próximos daqueles obtidos na família de argamassas A.1, cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento, enquanto que as famílias de argamassas A.2 e A.4, cujas adições são constituídas, respectivamente, por fíler calcário e cinzas volantes, apresentam valores inferiores de consumo de água de amassadura e relativamente próximos entre elas.

Analisando as famílias de argamassas apresentadas na Figura 9.4, que incorporaram na sua composição o cimento CEM I 42,5R, observa-se um efeito semelhante àquele descrito no parágrafo anterior. Também neste caso, as famílias de argamassas A.7 e A.10, com adições de fíler granítico, se destacam das restantes por apresentarem um consumo de água de amassadura praticamente coincidente com aquele registado na família de argamassas de referência A.5, cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento. Parece também evidenciar-se o facto de que este consumo de água é independente da percentagem de substituição do cimento por fíler granítico. Todas as restantes famílias de argamassas apresentadas na Figura 9.4, que incorporaram adições constituídas por fíler calcário e cinzas volantes, apresentaram valores inferiores da dosagem de água de amassadura, comparativamente com a família de argamassas de referência.

Observando a Figura 9.3, e analisadas as famílias de argamassas A.2, A.14 e A.15, que utilizaram como adição o fíler calcário, observa-se que, em termos médios, a dosagem de água de amassadura diminui quando se aumenta a percentagem de substituição do cimento pela adição. A mesma tendência de redução da dosagem de água com o aumento da percentagem de substituição foi perceptível nas misturas apresentadas na Figura 9.4, que incorporam cimento CEM I 42,5R, nomeadamente, nas famílias de argamassas A.6, A.9, A.12 e A.13, cuja adição é constituída por fíler calcário, e nas famílias A.8 e A.11, cuja adição é constituída por cinzas volantes. Note-se, porém, que as famílias de argamassas A.12, A.13, A.14 e A.15 foram produzidas com a segunda remessa do mesmo superplastificante, a qual, durante os ensaios laboratoriais, evidenciou um ligeiro aumento na capacidade de redução de água. Contudo, este facto não seria suficiente para mascarar o efeito da redução de água com o aumento da percentagem de substituição do cimento

pela adição, até porque este efeito se registou também para as famílias de argamassas que utilizaram a mesma remessa de superplastificante.

Em síntese, as famílias de argamassas cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento e aquelas em que este cimento foi substituído, em parte, por fíler granítico, registaram os maiores consumos de água de amassadura, destacando-se claramente das argamassas em que o mesmo cimento foi parcialmente substituído por fíler calcário ou cinzas volantes. Por outro lado, a dosagem de água de amassadura tende a reduzir com o aumento da percentagem de substituição do cimento pela adição, sempre que essa adição seja constituída por fíler calcário ou por cinzas volantes. Para as famílias de argamassas que incorporam adições de fíler granítico, os resultados obtidos, apesar de escassos, parecem indicar que a dosagem de água é independente da percentagem de substituição e que, em todos os casos, é sempre equivalente à dosagem de água obtida na mistura de referência, cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento.

Os gráficos que se ilustram nas Figuras 9.5 e 9.6 representam o consumo de superplastificante para as famílias de argamassas que utilizaram, respectivamente, o cimento CEM II/B-L32,5N e o cimento CEM I 42,5R. Em ambas as figuras observa-se um aumento da dosagem de superplastificante com o aumento do parâmetro V_p/V_s , se bem que, para as famílias de argamassas que incorporaram a nova remessa de superplastificante (A.12, A.13, A.14 e A.15) esse aumento seja quase imperceptível.

Tendo por referência a Figura 9.5, e comparando as famílias de argamassas com a mesma percentagem de substituição das adições (A.2, A.3 e A.4), constata-se que os consumos médios de superplastificante foram similares para os três tipos de adições utilizadas neste trabalho. Estes valores contrariam aqueles obtidos por Ho et al. [28], que apontavam para maiores consumos de superplastificante (policarboxilatos) em misturas com fíler granítico, comparativamente às misturas com fíler calcário, em igualdade de comportamento reológico. Esta diferença poderá ter resultado das características físicas do material utilizado nas duas situações. Ho et al. [28] utilizou um fíler granítico resultante do processo de britagem, enquanto que neste trabalho o material resultou do corte de pedras

graníticas por serragem. Na Figura 9.5 verifica-se ainda que o maior consumo de superplastificante foi obtido na família de argamassas de referência A.1.

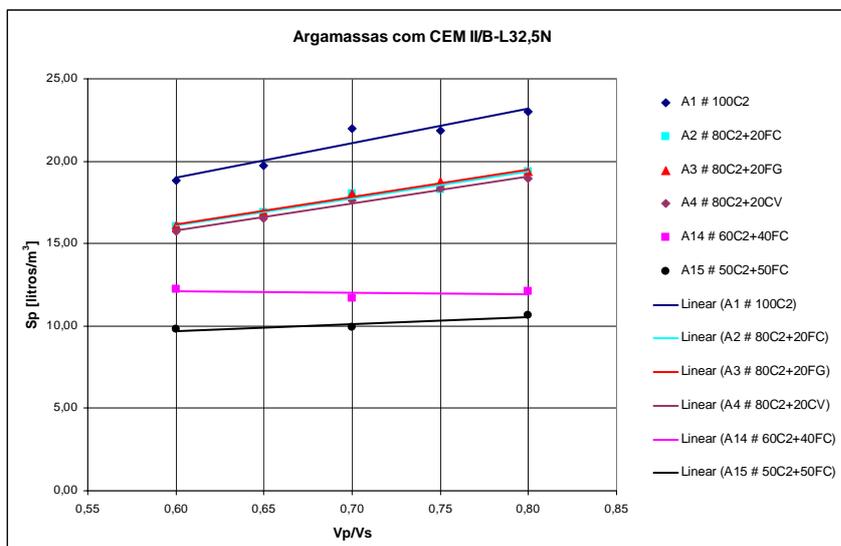


Figura 9.5 – Consumo de superplastificante em função de Vp/Vs para CEM II/B-L32,5N

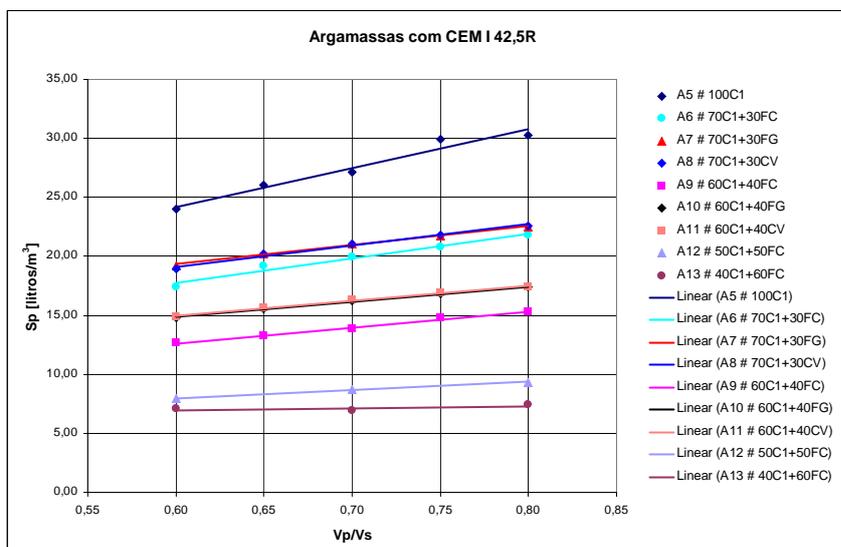


Figura 9.6 – Consumo de superplastificante em função de Vp/Vs para CEM I 42,5R

Observando a Figura 9.6, é possível identificar, para as famílias de argamassas que utilizaram o cimento CEM I 42,5R, um padrão de comportamento similar àquele detectado nas famílias de argamassas que utilizaram o cimento CEM II/B-L32,5N. Tal como no caso anterior, o maior consumo de superplastificante foi obtido na família de argamassas de

referência A.5. Similarmente, o consumo médio de superplastificante tende a coincidir em todas as famílias de argamassas que possuem o mesmo valor de percentagem de substituição do cimento pela adição, independentemente do tipo de adição. Observe-se por exemplo o grupo constituído pelas famílias de argamassas A.6, A.7 e A.8, com percentagem de substituição de 30%, e o grupo constituído pelas famílias A.9, A.10 e A.11, com percentagem de substituição de 40%.

Atente-se novamente nas Figuras 9.5 e 9.6. Analisando separadamente as famílias de argamassas que incorporam o mesmo tipo de adição, torna-se evidente que o consumo de superplastificante nessas famílias diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento pela adição. Em certa medida, este facto indicia alguma tendência para o aumento do consumo de superplastificante com o aumento da dosagem de cimento. Note-se que, no balanço efectuado nas misturas de finos binárias, a uma diminuição da percentagem de substituição do cimento pela adição corresponde um aumento da percentagem de cimento.

Os gráficos apresentados nas Figuras 9.7 e 9.8 mostram a variação do consumo de superplastificante face à variação do consumo de cimento, respectivamente, para as famílias de argamassas que utilizam o cimento CEM II/B-L32,5N e para aquelas que utilizam o cimento CEM I 42,5R. A análise destes dois gráficos evidencia claramente um padrão de comportamento geral, que se traduz numa mais que provável correlação entre a dosagem de superplastificante e a dosagem de cimento. Contudo, parece evidenciar-se o facto de que estas correlações dependem do tipo de cimento.

A correlação entre as dosagens de superplastificante e as dosagens de cimento, referidas no parágrafo anterior dependerá também, certamente, do tipo e natureza do superplastificante usado. Porém, neste trabalho foi utilizado um único superplastificante fornecido em duas remessas. Deste modo, a única comparação possível relativamente ao efeito do superplastificante poderá residir na comparação das duas remessas. Este facto parece relevante, uma vez que, durante os ensaios experimentais, foram detectadas ligeiras diferenças na capacidade de redução de água para as duas remessas deste material.

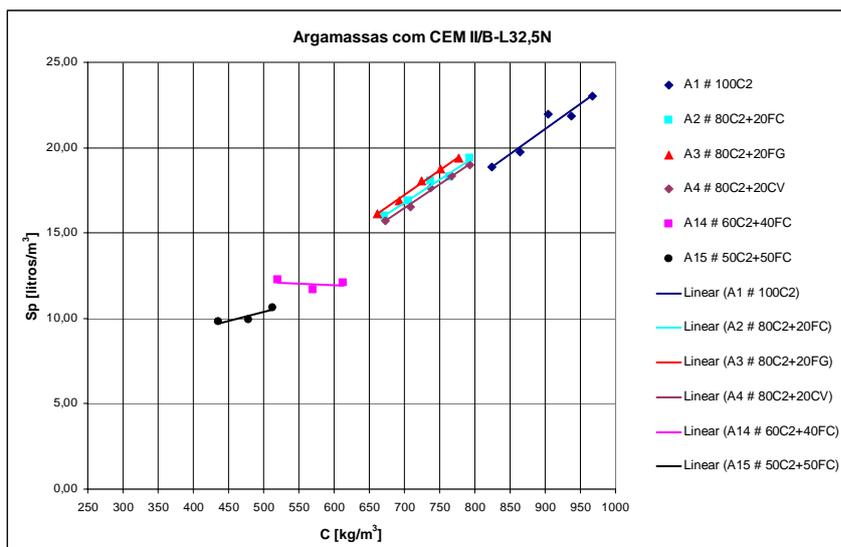


Figura 9.7 – Consumo de superplastificante em função da dosagem de CEM II/B-L32,5N

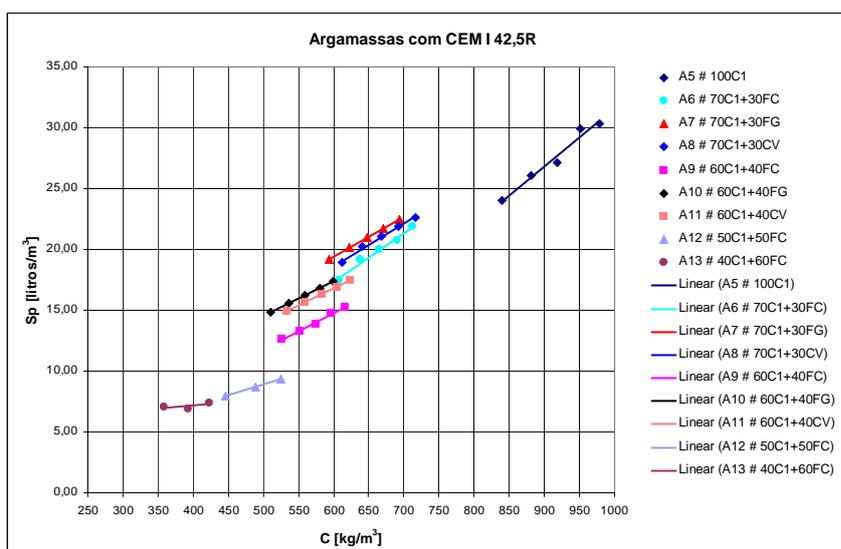


Figura 9.8 – Consumo de superplastificante em função da dosagem de CEM I 42,5R

Para analisar em pormenor a influência dos tipos de cimento e superplastificante na correlação entre as dosagens destes dois componentes, foram elaborados os gráficos que se apresentam nas Figuras 9.9 e 9.10.

O gráfico da Figura 9.9 ilustra a correlação entre as dosagens de cada um dos cimentos utilizados e as dosagens de superplastificante, independentemente deste último ser proveniente da primeira ou segunda remessas. A análise deste gráfico deixa antever que, efectivamente, existem correlações distintas para cada um dos cimentos utilizados. A

correlação para as misturas que incorporaram o cimento CEM II/B-L32,5N mostrou-se contudo mais evidente. Numa primeira análise, tal como seria de esperar, não se detectou uma evidência muito clara de que as duas remessas de superplastificante tenham apresentado características muito diferentes.

O gráfico da Figura 9.10 apresenta a mesma correlação, distinguindo, desta feita, as misturas que contêm superplastificante da primeira e da segunda remessa. A segunda remessa é identificada no gráfico pela sigla “+SPN”. A análise deste gráfico parece indicar alguma melhoria nas correlações entre as dosagens de superplastificante e as dosagens de cimento quando estas são separadas para cada remessa de superplastificante e para cada cimento utilizado. As diferenças na inclinação das regressões lineares para as misturas que incorporaram a primeira e a segunda remessas de superplastificante parecem evidenciar que, efectivamente, poderá ter-se verificado alguma pequena diferença entre os dois fornecimentos. Contudo, em termos absolutos, essas diferenças são muito pequenas, podendo admitir-se que as duas remessas representam satisfatoriamente o mesmo material.

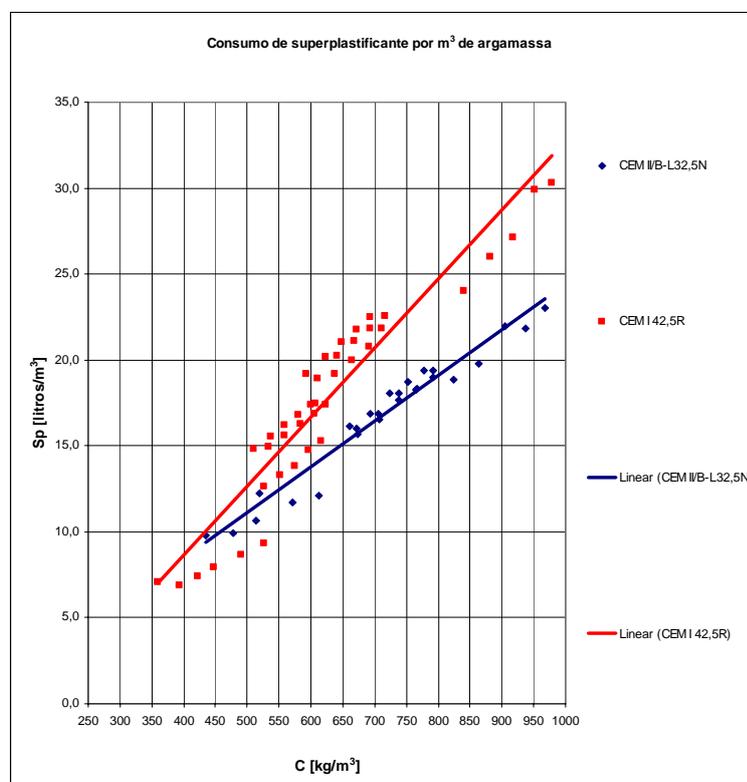


Figura 9.9 – Dosagens de superplastificante em função do consumo de cimento

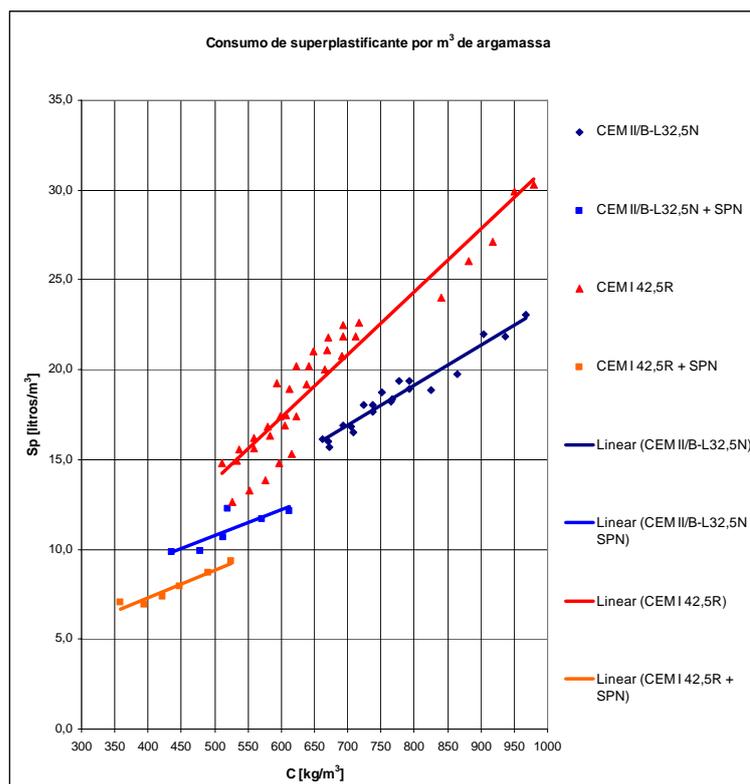


Figura 9.10 – Dosagens de superplastificante em função do consumo de cimento

9.2.3 – Misturas ternárias

As misturas ternárias produzidas neste trabalho experimental combinaram o cimento do tipo CEM I 42,5R com duas adições minerais. A adição de microsílica esteve presente em todas as misturas, sendo a segunda adição constituída por fíler calcário, fíler granítico ou cinzas volantes. Os materiais finos da mistura de referência incorporaram apenas o cimento do tipo CEM I 42,5R e microsílica. As misturas produzidas foram já ilustradas no Quadro 9.35.

A introdução de uma adição à base de sílica de fumo (aqui designada de microsílica), teve como principal objectivo verificar a possibilidade de se obterem betões auto-compactáveis de elevada resistência, à semelhança do que sucede nos betões correntes sujeitos a vibração. Estudos realizados por Ivan Almeida [1] em betões de alta resistência sujeitos a vibração, obtidos a partir de misturas binárias associando o cimento do tipo CEM I 42,5R com adições à base de escórias de alto-forno, cinzas volantes ou sílica de fumo, mostraram que as resistências mais elevadas foram obtidas quando se utilizou esta

última adição (sílica de fumo) e que a percentagem óptima de substituição do cimento por este material se situou próxima dos 10% (em massa). A consistência das misturas produzidas por Ivan Almeida [1] situou-se nos 40 mm de abaixamento no ensaio com o “cone de Abrams” e o nível máximo de resistência obtida rondou os 105 MPa (aos 28 dias de idade). Outros estudos, entretanto realizados pelo signatário deste trabalho [36], revelaram ser possível obter betões vibrados com resistências médias à compressão de 105 MPa (aos 28 dias de idade) e com um abaixamento de 200 mm, utilizando misturas binárias que associaram o Cimento CEM I 42,5R com a mesma adição à base de sílica de fumo seleccionada para o presente trabalho. Nestas misturas, 10% do cimento foi substituído pela adição à base de sílica de fumo.

Analisando a especificidade dos betões auto-compactáveis, nomeadamente a necessidade de uma grande quantidade de materiais finos, entendeu-se que seria inviável utilizar a microssílica como única adição em misturas binárias, uma vez que este material é, em geral, excessivamente dispendioso em comparação com os outros componentes do betão. Nesse sentido, optou-se por produzir misturas ternárias, onde uma percentagem de aproximadamente 10% do cimento (em massa) seria substituída por microssílica, enquanto outra percentagem, de 30% ou 40% do cimento (em volume), seria substituída por uma das outras três adições seleccionadas para este trabalho.

Os primeiros estudos laboratoriais exploratórios, realizados no âmbito do presente trabalho com a mistura binária de referência, composta por 90% de cimento CEM I 42,5R e 10% de microssílica (em massa), revelaram um fenómeno que viria a conduzir à formulação da hipótese de não se prosseguir com o estudo da microssílica no âmbito deste trabalho. Desde logo, verificou-se que, mesmo para dosagens baixas de superplastificante, a deformabilidade, medida em termos do diâmetro de espalhamento, era facilmente conseguida. Contudo, a velocidade de escoamento no “Funi-V” era muito elevada, registando-se tempos de escoamento muito abaixo do “alvo” definido. Neste caso, a única solução seria reduzir a dosagem de água e aumentar a dosagem de superplastificante, o que efectivamente se veio a verificar. Contudo, as dosagens de superplastificante

necessárias para atingir o “alvo” estabelecido para a deformabilidade e viscosidade, revelaram-se muito elevadas, atingindo valores de Sp/p% acima de 12% (em massa).

Tendo em vista a redução da dosagem de superplastificante, optou-se por reduzir em 50% a quantidade de microssílica presente nas misturas, ainda que isso resultasse em prejuízo da resistência à compressão. Pelo exposto, o estudo que se apresenta neste trabalho (Quadro 8.35) refere-se a esta segunda etapa, onde foram utilizadas percentagens de substituição do cimento por microssílica da ordem dos 5% (em massa), a que correspondem cerca de 7% (em volume absoluto). A proporção entre a dosagem de cimento e de microssílica, expressa em volume absoluto, foi mantida praticamente constante em todas as argamassas. Por outro lado, importa ainda referir que o parâmetro V_p/V_s assumiu o valor de 0,80 em todas as misturas ternárias produzidas, por se tratar do valor que conduz à resistência mais elevada, tendo em conta a gama de valores de V_p/V_s seleccionadas para este trabalho.

Seguindo a mesma sequência já antes adoptada para as misturas binárias, a análise dos resultados inicia-se com a apresentação do gráfico que consta na Figuras 9.11, relativo aos consumos de água das argamassas ternárias, expressos em volume absoluto.

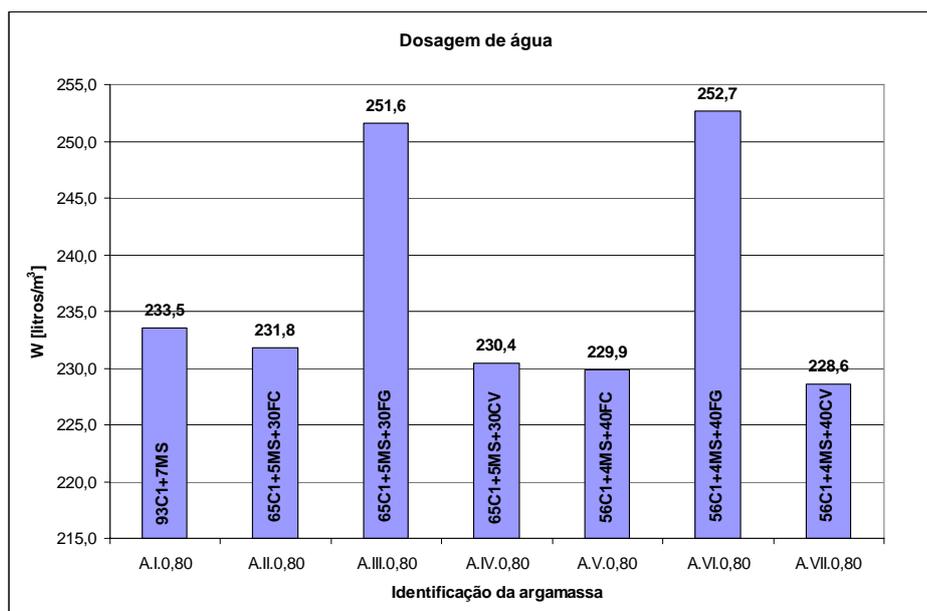


Figura 9.11 – Dosagens de água para as misturas ternárias

Observando o gráfico apresentado na Figura 9.11, verifica-se desde logo que as misturas com fíler granítico foram aquelas que consumiram maiores dosagens de água de amassadura, destacando-se claramente das restantes misturas ternárias. As misturas que incorporaram fíler calcário ou cinzas volantes apresentaram consumos de água muito semelhantes entre elas. Estes consumos permaneceram razoavelmente constantes mesmo quando a percentagem de substituição do cimento por fíler calcário ou cinzas volantes variou de 30% para 40%.

Atente-se novamente na Figura 9.11 relativa aos consumos de água das misturas ternárias e na Figura 9.4 (Sub-Capítulo 9.2.2) relativa aos consumos de água das misturas binárias. Estabelecendo uma comparação entre as argamassas com igual valor do parâmetro V_p/V_s e a mesma percentagem de substituição do cimento pelas adições de fíler calcário, fíler granítico ou cinzas volantes, poderá observar-se uma redução das dosagens de água com a introdução de microssílica na composição das argamassas.

Observando a Figura 9.12 que a seguir se apresenta, relativa aos consumos de superplastificante das misturas ternárias, constata-se que a redução de água a que se fez referência no parágrafo anterior foi compensada por um acréscimo significativo das dosagens de superplastificante. Nesta perspectiva, efectuando um pequeno cálculo do somatório das dosagens de água e superplastificante para misturas ternárias e para as misturas binárias, verifica-se que, à excepção das misturas que incorporaram o fíler calcário, esse somatório foi sempre superior para as misturas ternárias, fazendo aumentar a parte líquida dessas misturas. Deste modo, não foi possível obter a gama de resistências inicialmente prevista e, em consequência, o uso de microssílica para obtenção de resistências elevadas parece não se justificar.

As elevadas dosagens de superplastificante obtidas em misturas com microssílica poderiam levar a ponderar acerca da possível incompatibilidade entre estes materiais. Apesar dessa hipótese não ter sido completamente colocada de parte, a bibliografia consultada permitiu encontrar alguns elementos que apontam para um padrão de comportamento das misturas com microssílica semelhante àquele obtido neste trabalho.

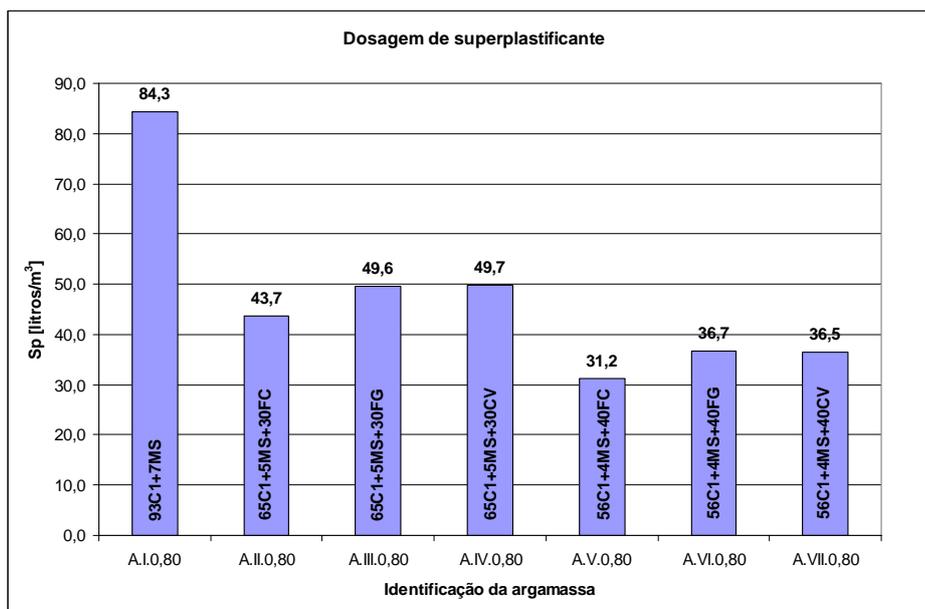


Figura 9.12 – Dosagem de superplastificante para as misturas ternárias

A partir de estudos realizados por Domone et al. [13], para avaliar os efeitos na reologia inicial e nas propriedades de retenção da trabalhabilidade, foi possível identificar a utilização de um superplastificante à base de policarboxilatos modificados, cuja base química é semelhante àquela que constitui o superplastificante utilizado neste trabalho. Importa referir que o autor estudou quatro superplastificantes diferentes, tendo concluído que aquele constituído por policarboxilatos modificados conduzia a menores consumos e à máxima eficiência na reologia inicial.

Na investigação realizada por Domone et al. [13] foram produzidas associações binárias e ternárias de diferentes materiais finos, incluindo cimento Portland, escórias granuladas de alto-forno, cinzas volantes, microssílica e fíler calcário. Neste estudo é possível observar que, na mistura binária em que o cimento Portland foi substituído em 15% (volume) por microssílica, se registou um consumo de superplastificante 2,33 vezes superior àquele registado na mistura padrão só com cimento e 3,89 vezes superior àquele registado na mistura binária em que o cimento foi substituído em 40% (volume) por fíler calcário. Em misturas ternárias associando, em volume absoluto, 50% de cimento Portland, 40% de fíler calcário e 10% de microssílica, o consumo de superplastificante foi da ordem de 49%

daquele obtido na mistura binária, composta por 85% de cimento e 15% de microssílica, e cerca de 1,13 vezes superior àquele obtido na mistura só com cimento.

A dosagem de superplastificante referida nos trabalhos de investigação realizados por Domone et al. [13], não se apresenta em volume absoluto, mas em termos de massa dos sólidos totais. Em consequência não foi possível estabelecer uma comparação em termos absolutos com os valores obtidos no presente trabalho experimental. Contudo, em termos relativos, os trabalhos realizados por Domone et al. [13] revelaram que a introdução da microssílica conduziu sensivelmente à mesma ordem de grandeza de alteração da dosagem de superplastificante registada no presente trabalho.

Domone et al. [13] referem ainda que a introdução de microssílica se revelou muito útil na retenção da trabalhabilidade quando utilizada em combinações ternárias com os outros componentes. No presente trabalho não foram efectuadas medições da retenção da trabalhabilidade e desta forma nada se poderá concluir a esse respeito. Poderá no entanto referir-se que as misturas com microssílica produzidas no presente trabalho revelaram sempre valores superiores dos tempos de presa e de endurecimento em comparação com as outras misturas. Contudo, este efeito foi atribuído à excessiva dosagem de superplastificante.

A Figura 9.13 apresenta a razão volumétrica água/finos para cada família de argamassas produzidas, enquanto que a Figura 9.14 apresenta o consumo de superplastificante expresso em percentagem do volume de materiais finos. Tal como se pode constatar a partir da Figura 9.14, as percentagens de superplastificante são em geral muito elevadas, em especial para a mistura de referência. Em termos de exequibilidade poderia eventualmente considerar-se a mistura A.V.0,80, que apresenta uma dosagem de superplastificante da ordem dos 3,4%. Contudo, como se pode observar no Quadro 8.35, a resistência à compressão desta argamassa ronda os 70 MPa. Este valor pode ser considerado manifestamente baixo para justificar a utilização de duas adições na mistura, já que com recurso a misturas binárias menos dispendiosas facilmente se obtém esta gama de resistência. Pelo exposto, entendeu-se que o estudo das misturas ternárias não deveria

prosseguir para a fase dos betões, uma vez que dificilmente se encontraria justificação para a sua aplicação. No entanto, apesar de não existirem dados que o corroborem, acredita-se que possa eventualmente existir alguma incompatibilidade associada ao pH das misturas. Esta situação deverá ser averiguada no futuro já que as misturas com microsílica poderão revelar-se muito úteis em situações exigentes do ponto de vista da durabilidade.

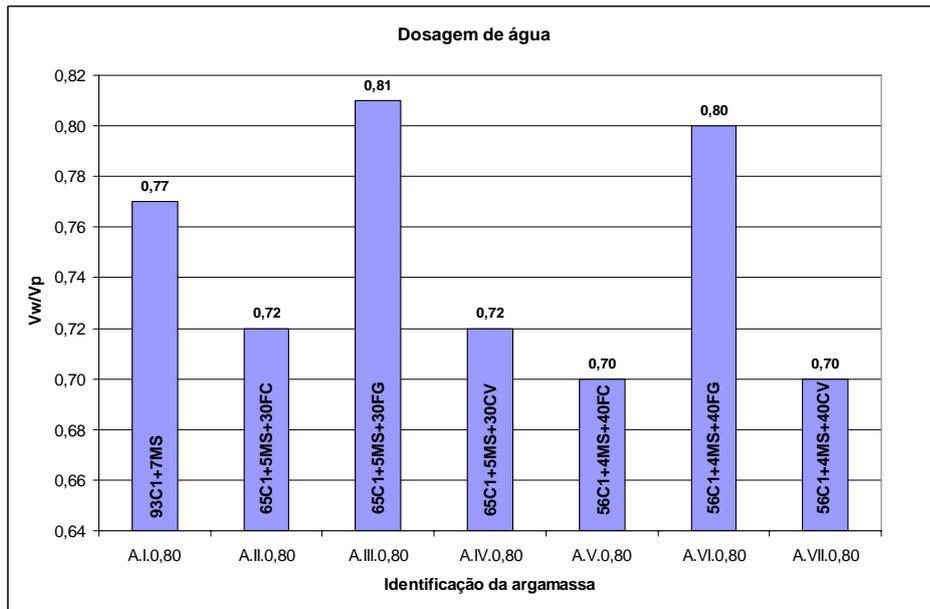


Figura 9.13 – Volume de água em percentagem do volume de finos

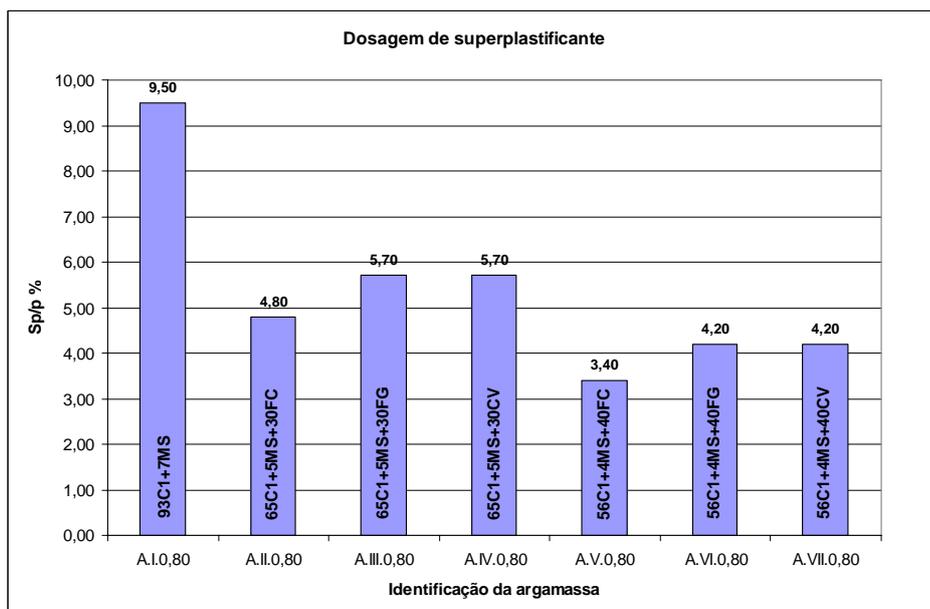


Figura 9.14 – Volume de superplastificante em percentagem do volume de finos

Por último, apresentam-se nas Figuras 9.15 e 9.16 as correlações estabelecidas entre as resistências à compressão aos 28 dias de idade e, respectivamente, as razões em massa W/C (água /cimento) e W/MC (água/materiais cimentíceos).

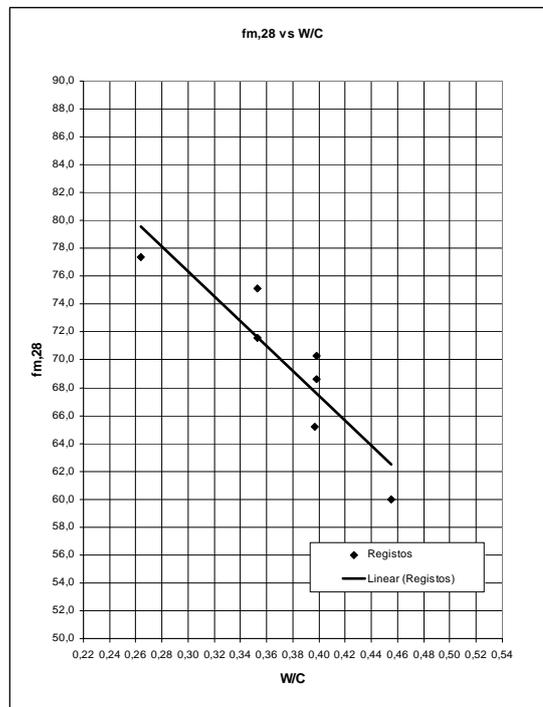


Figura 9.15 – Relação fm,28 versus razão W/C

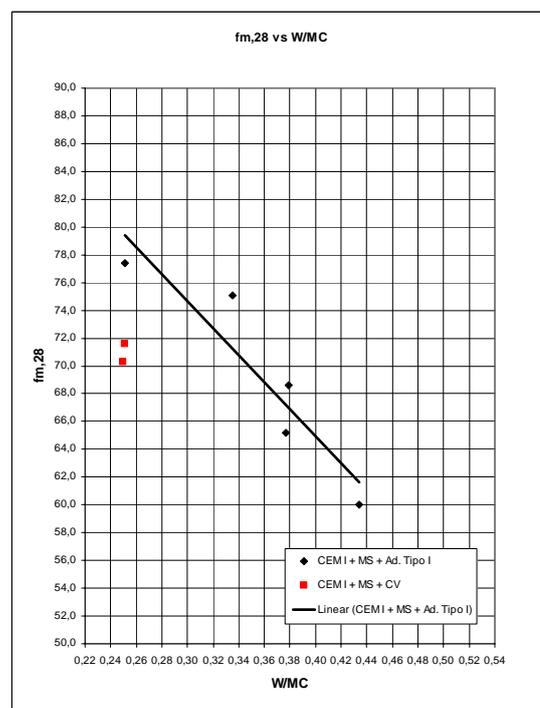


Figura 9.16 – Relação fm,28 versus razão W/MC

9.3 – Correlação entre os parâmetros da composição das argamassas

9.3.1 – Generalidades

A análise que se apresenta neste Sub-Capítulo refere-se apenas ao grupo das misturas binárias produzidas durante a campanha experimental. Pelas razões anteriormente referidas, foram excluídas desta análise as misturas ternárias.

Os resultados obtidos nas 15 famílias de argamassas pertencentes ao grupo das misturas binárias, incluindo neste grupo as famílias de argamassas de referência, foram apresentados do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34. A discussão dos resultados relativamente às correlações entre os diferentes parâmetros “chave” da composição das argamassas será apresentada no Sub-Capítulo 9.3.2. No Sub-Capítulo 9.3.3 serão discutidas as diferentes correlações entre a resistência à compressão e alguns dos parâmetros da composição das argamassas, nomeadamente, a razão volumétrica V_p/V_s , a razão em massa W/C , a razão em massa W/MC e a razão em massa W/F . Por último, no Sub-Capítulo 9.3.4, a razão W/C será correlacionada com a percentagem de substituição de cimento pelas adições.

9.3.2 – Correlação entre os parâmetros “chave” da composição

Os parâmetros “chave” da composição das argamassas incluem os parâmetros necessários ao cálculo das argamassas, como sejam, a definição da família de finos, a razão volumétrica V_p/V_s , a razão volumétrica V_w/V_p e a razão em massa $Sp/p\%$, expressa em percentagem. Uma vez que estes parâmetros serão utilizados no cálculo dos betões, importa efectuar uma análise mais detalhada para cada família de argamassas, antes de prosseguir com a comparação das correlações das diferentes famílias de argamassas.

Tendo por referência os valores apresentados do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34, foi estabelecida, para cada família de argamassas, a correlação entre os parâmetros V_p/V_s e V_w/V_p e a correlação entre os parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$. As correlações entre V_p/V_s e V_w/V_p são apresentadas da Figura 9.17 à Figura 9.31, enquanto que as correlações entre V_w/V_p e $Sp/p\%$ são apresentadas da Figura 9.32 à Figura 9.46.

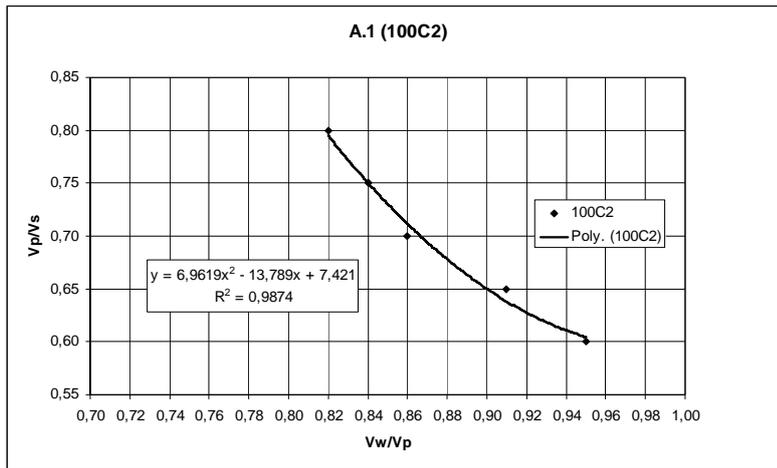


Figura 9.17 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.1

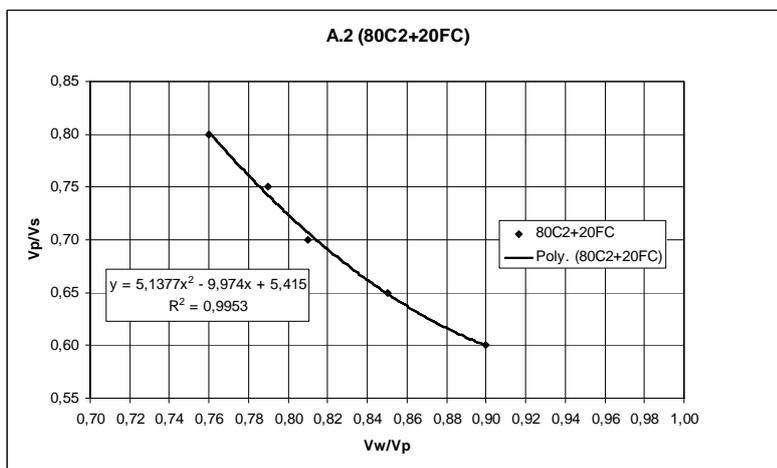


Figura 9.18 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.2

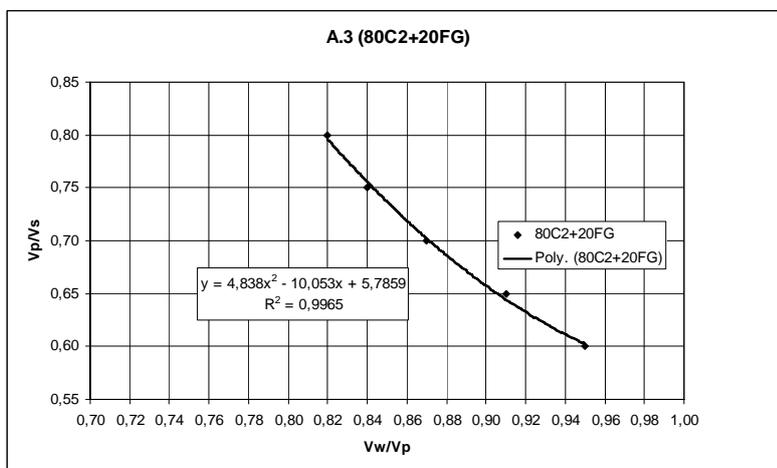


Figura 9.19 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.3

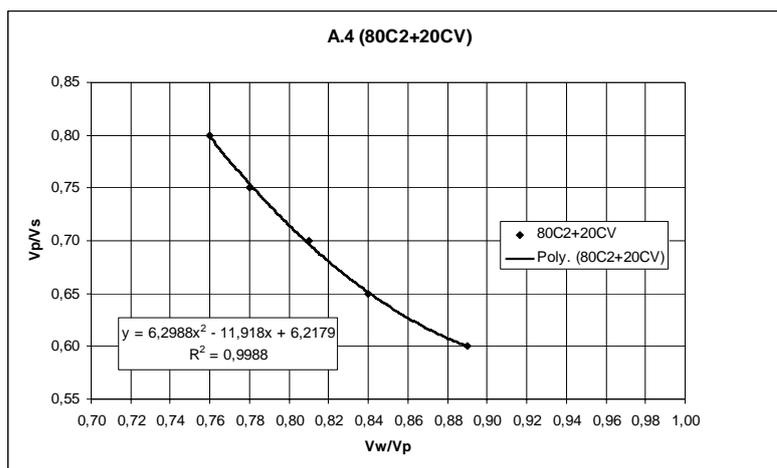


Figura 9.20 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.4

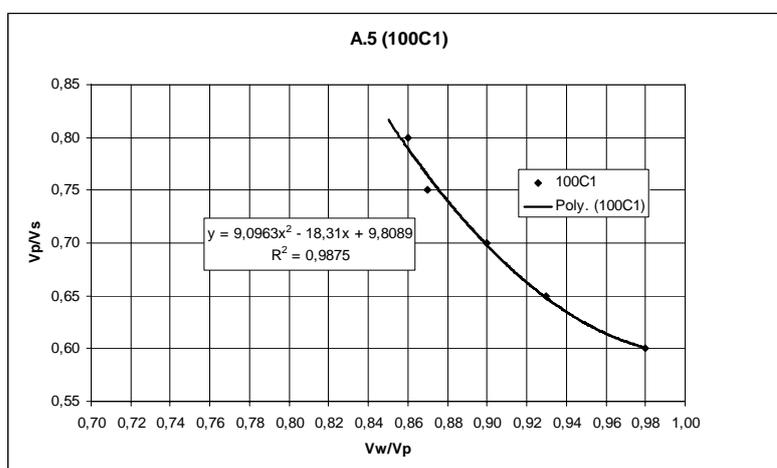


Figura 9.21 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.5

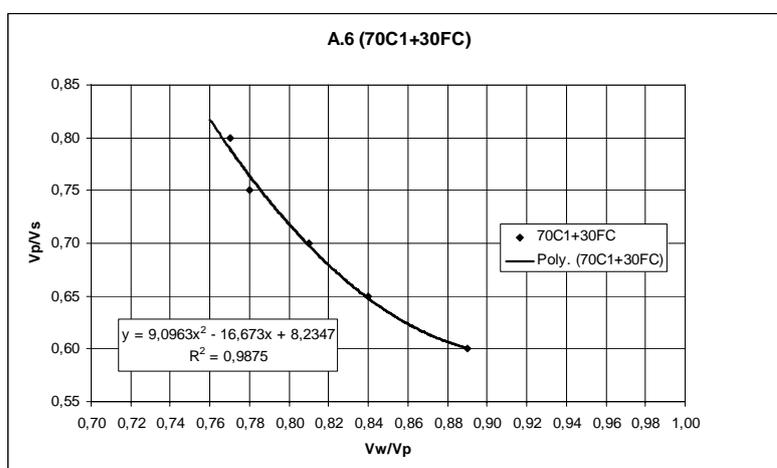


Figura 9.22 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.6

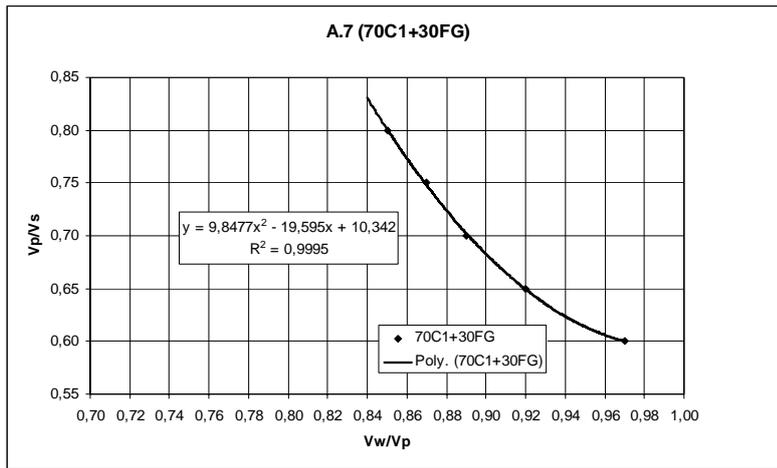


Figura 9.23 – Relação Vp/Vs versus Vw/Vp para a família de argamassas A.7

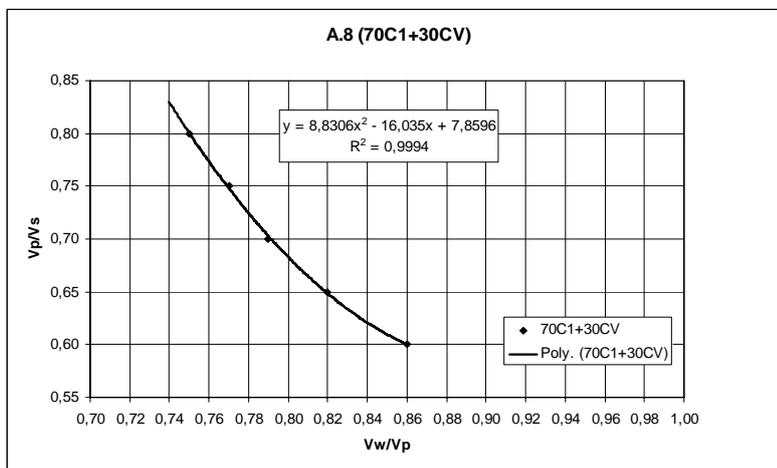


Figura 9.24 – Relação Vp/Vs versus Vw/Vp para a família de argamassas A.8

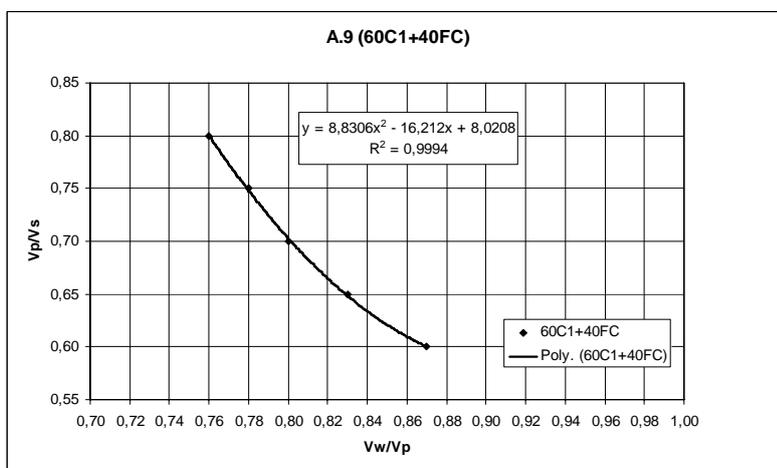


Figura 9.25 – Relação Vp/Vs versus Vw/Vp para a família de argamassas A.9

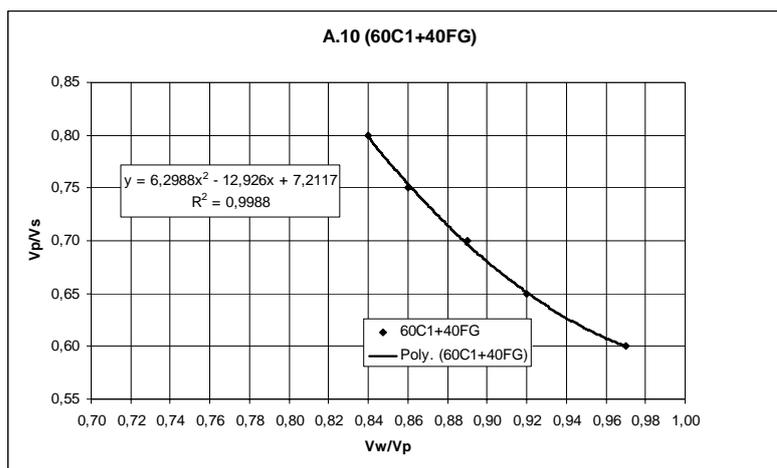


Figura 9.26 – Relação Vp/Vs versus Vw/Vp para a família de argamassas A.10

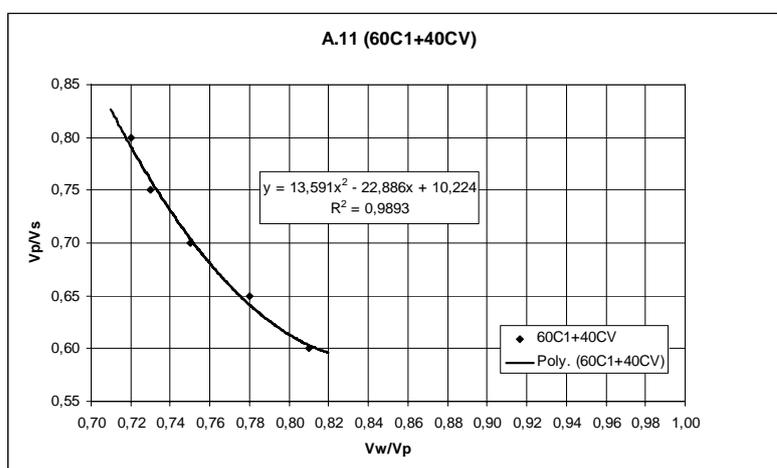


Figura 9.27 – Relação Vp/Vs versus Vw/Vp para a família de argamassas A.11

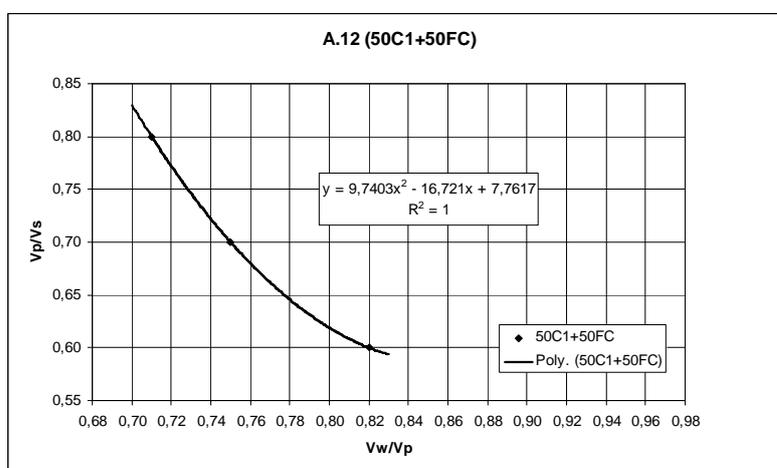


Figura 9.28 – Relação Vp/Vs versus Vw/Vp para a família de argamassas A.12

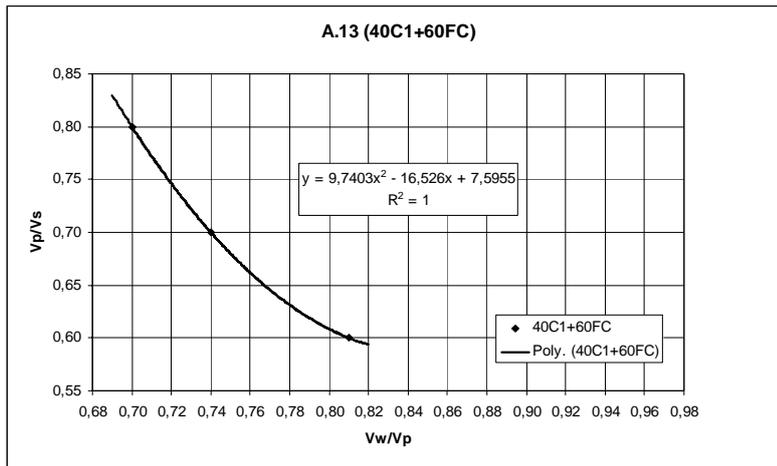


Figura 9.29 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.13

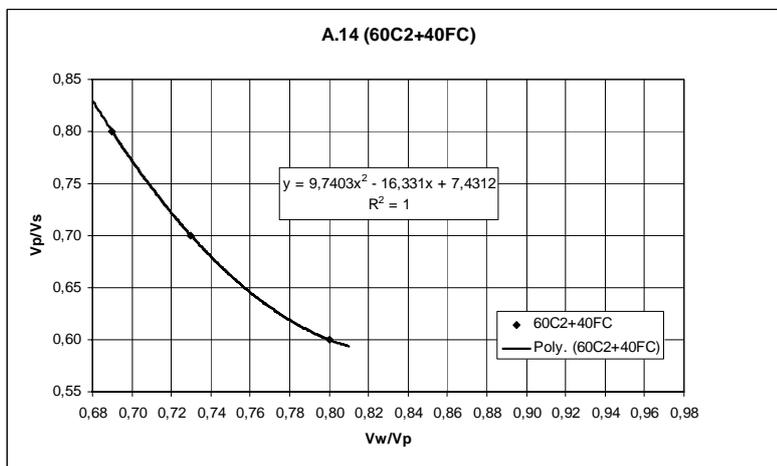


Figura 9.30 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.14

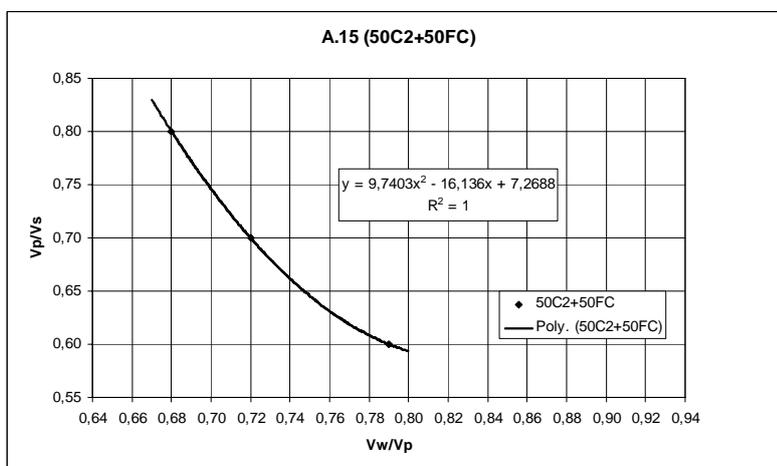


Figura 9.31 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para a família de argamassas A.15

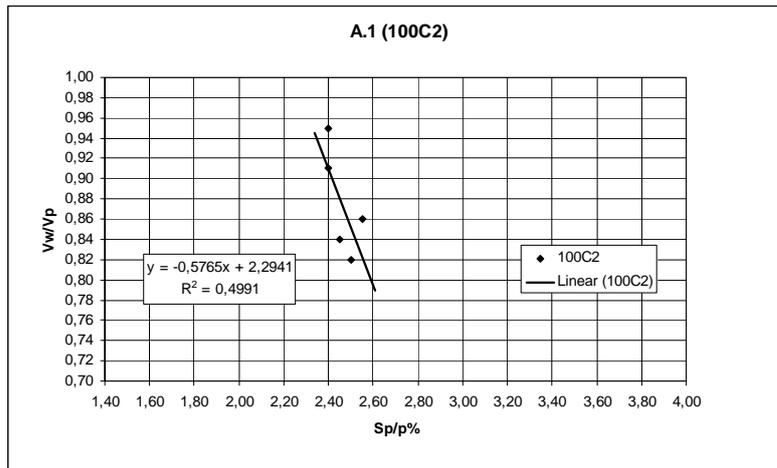


Figura 9.32 – Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.1

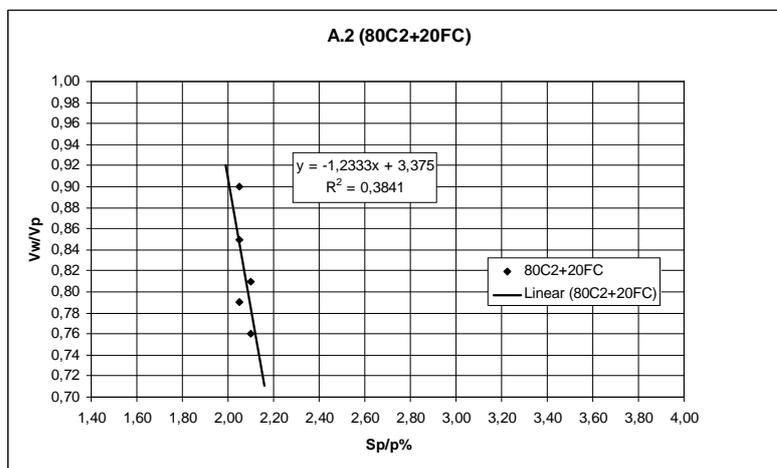


Figura 9.33 – Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.2

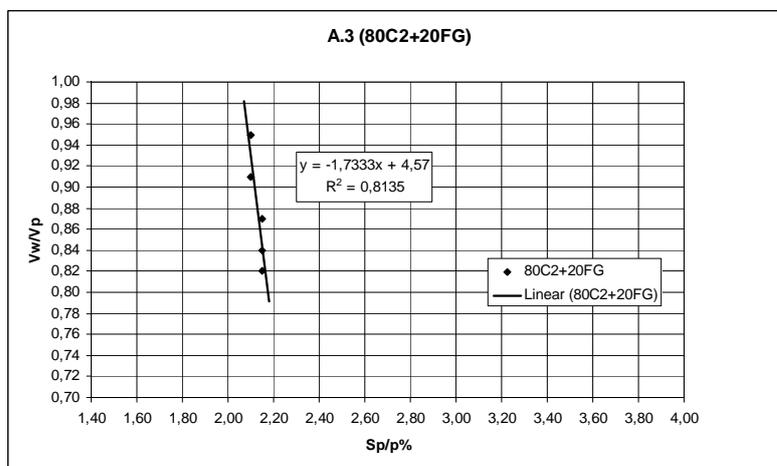


Figura 9.34 – Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para a família de argamassas A.3

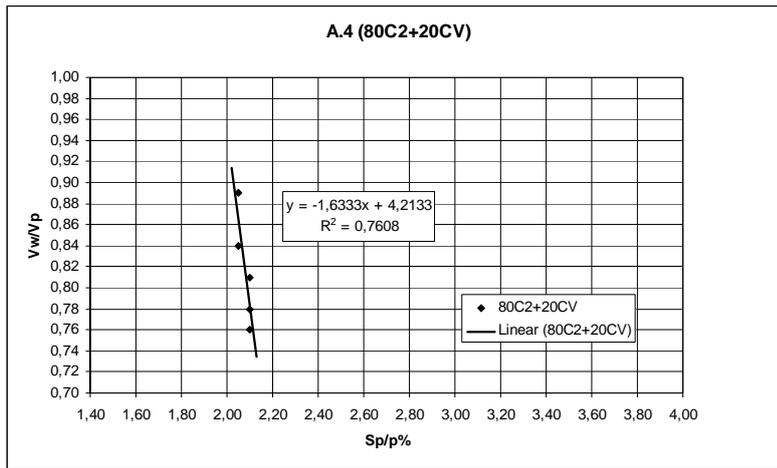


Figura 9.35 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.4

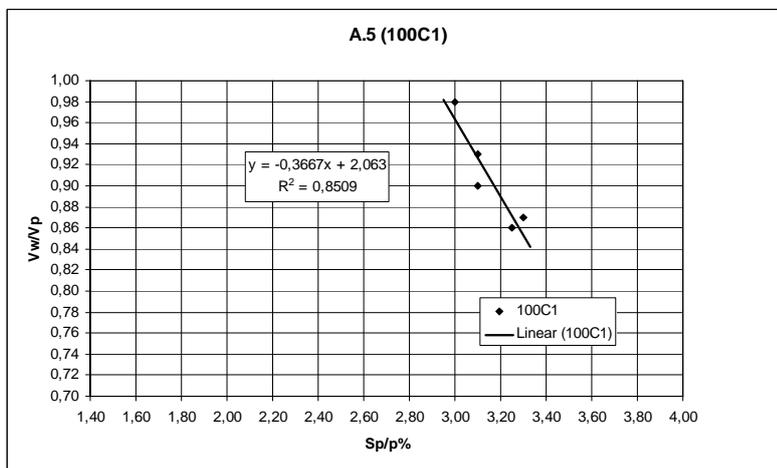


Figura 9.36 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.5

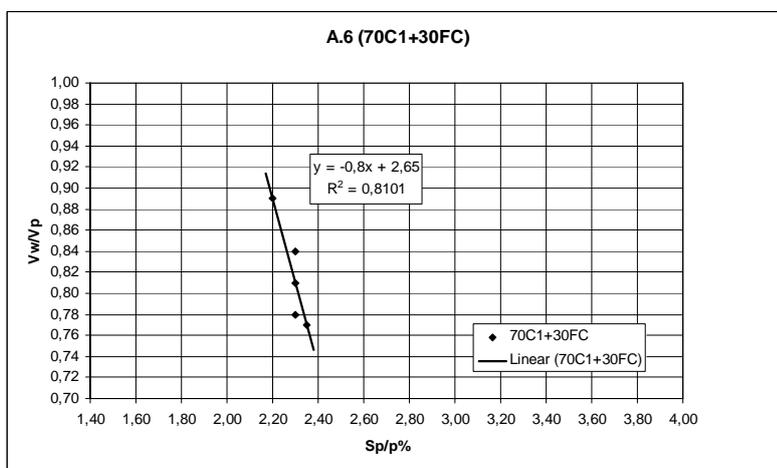


Figura 9.37 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.6

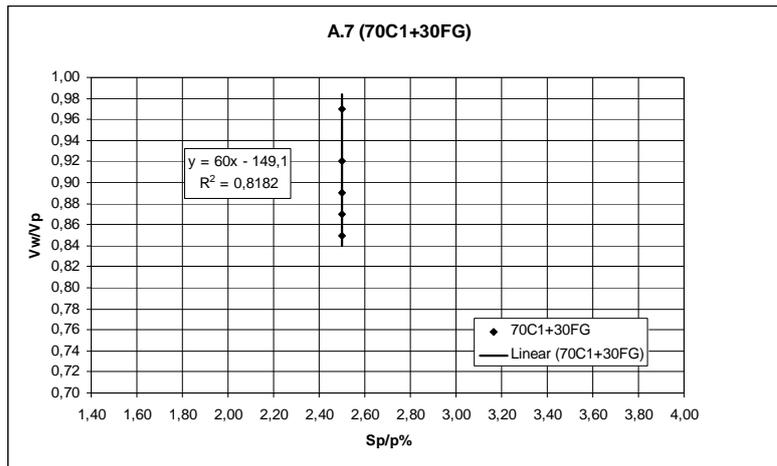


Figura 9.38 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.7

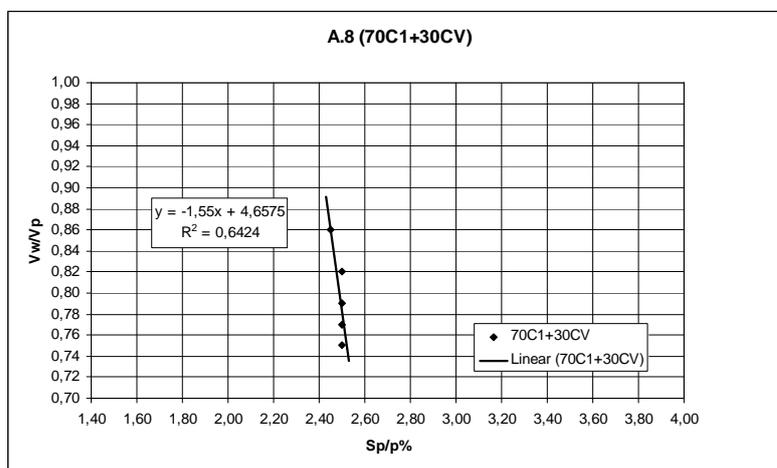


Figura 9.39 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.8

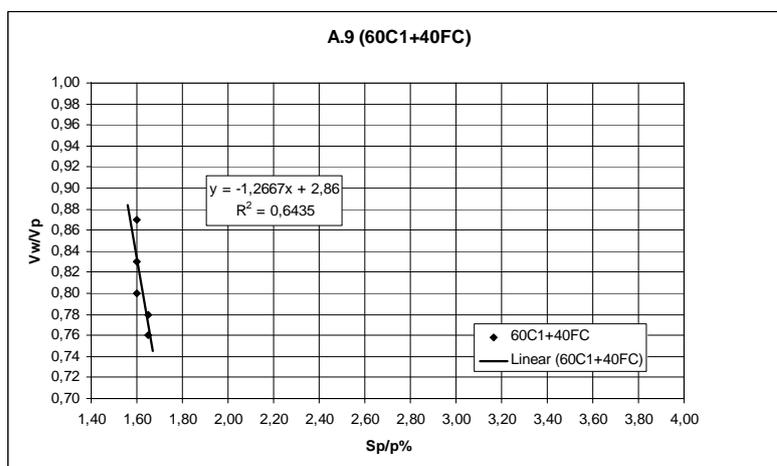


Figura 9.40 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.9

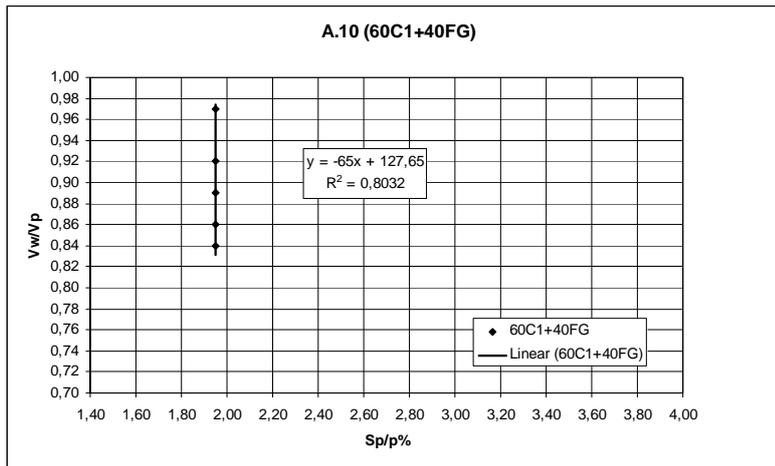


Figura 9.41 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.10

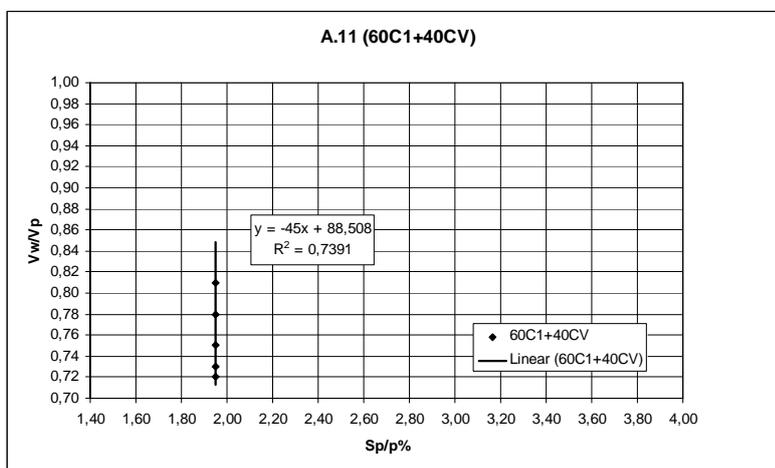


Figura 9.42 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.11

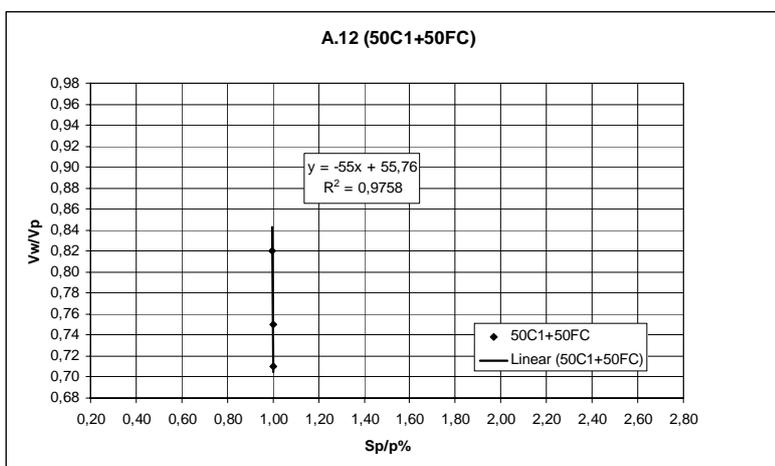


Figura 9.43 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.12

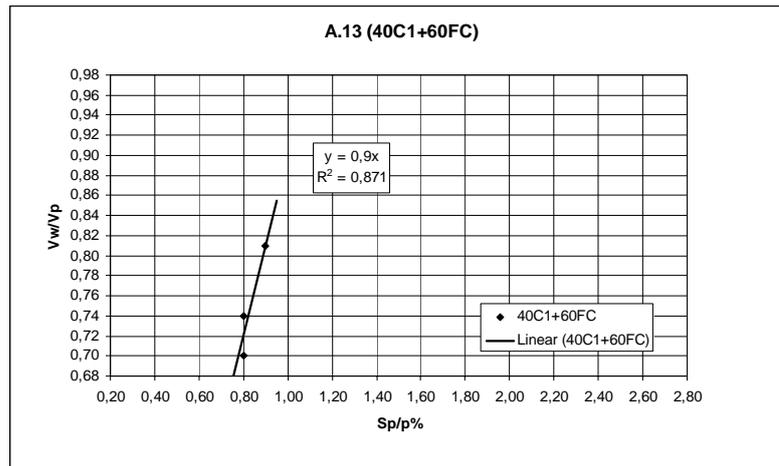


Figura 9.44 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.13

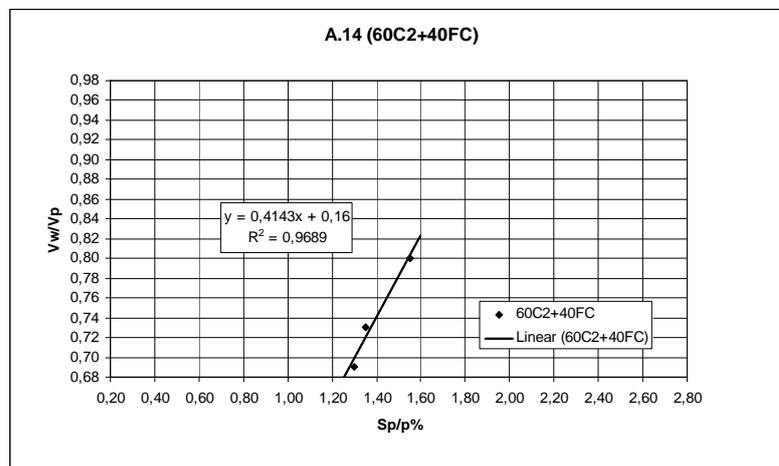


Figura 9.45 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.14

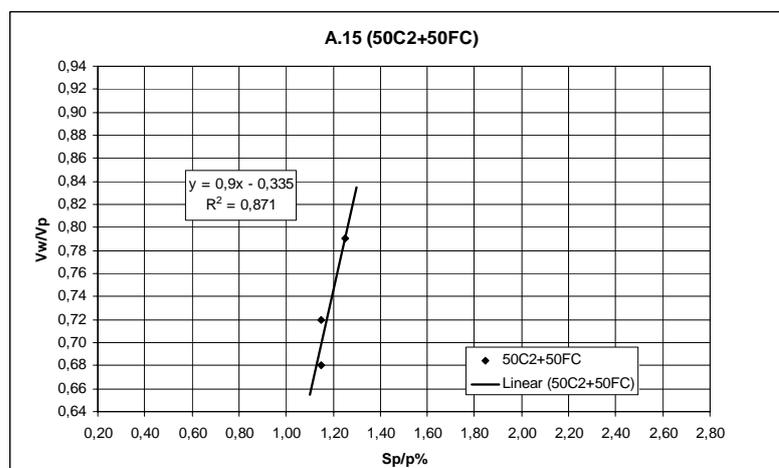


Figura 9.46 – Relação Vw/Vp versus Sp/p% para a família de argamassas A.15

A partir dos gráficos apresentados da Figura 9.17 à Figura 9.31 é possível observar-se em cada família de argamassas, que o aumento do parâmetro V_p/V_s conduz a menores razões volumétricas entre a água e os materiais finos (V_w/V_p). Isto sucede porque a dosagem de materiais finos (V_p) aumenta com o aumento de V_p/V_s , enquanto que a dosagem de água não sofre variações muito significativas em cada família, conforme se observou nas Figuras 9.3 e 9.4. Efectivamente, apesar do aumento de V_p/V_s conduzir também a um aumento da quantidade de água de amassadura (V_w), esse aumento é sempre muito inferior ao aumento da dosagem de materiais finos (V_p), o que conduz a uma diminuição de V_w/V_p com o aumento de V_p/V_s .

Analisando os gráficos ilustrados da Figura 9.32 à Figura 9.46 é possível observar-se em cada família de argamassas, que a dosagem de superplastificante, expressa em termos de $Sp/p\%$, não sofre alterações significativas com a variação de V_w/V_p , ou indirectamente, com a variação de V_p/V_s . Contudo, apesar de pouco significativa, verifica-se uma ligeira tendência para a redução de $Sp/p\%$ com o aumento da razão V_w/V_p . Efectivamente, se perante um aumento de (V_p/V_s), o volume de materiais finos (V_p) aumenta e a percentagem de superplastificante ($Sp/p\%$) permanece razoavelmente constante, isto significa que se obtêm dosagens crescentes de superplastificante em volume absoluto com o aumento do parâmetro V_p/V_s , tal como anteriormente se observou nas Figuras 9.5 e 9.6 (Sub-Capítulo 9.2.2).

A comparação das correlações entre os parâmetros V_p/V_s e V_w/V_p , obtidas nas diferentes famílias de argamassas, resulta da sobreposição dos gráficos apresentados da Figura 9.17 à Figura 9.31. Essa sobreposição é ilustrada na Figura 9.47 englobando todas as famílias de argamassas, ou nas Figuras 9.48 e 9.49 quando estas famílias são separadas em função do tipo de cimento.

A comparação das correlações entre os parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ é apresentada na Figura 9.50, em resultado da sobreposição dos gráficos apresentados da Figura 9.32 à Figura 9.46. As Figuras 9.51 e 9.52 apresentam os mesmos resultados da Figura 9.50, separados em função do tipo de cimento utilizado.

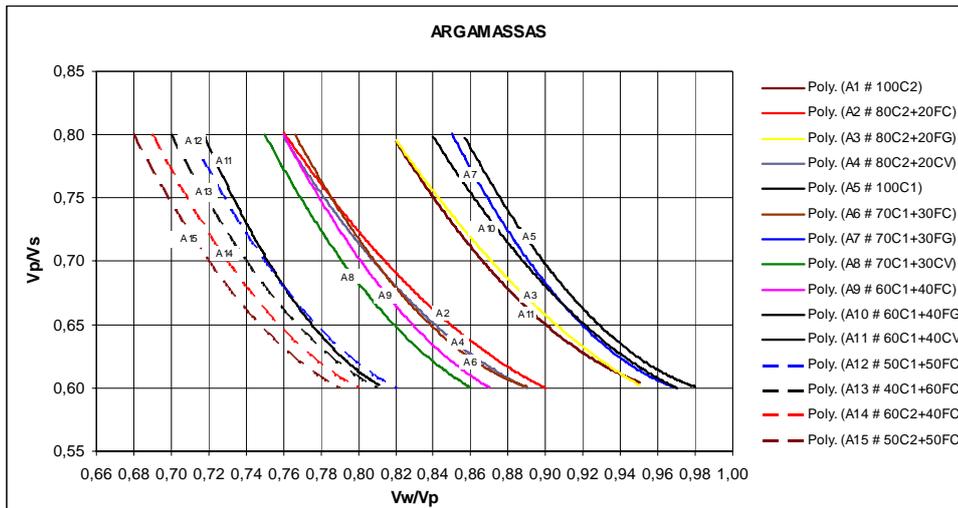


Figura 9.47 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para todas as famílias de argamassas

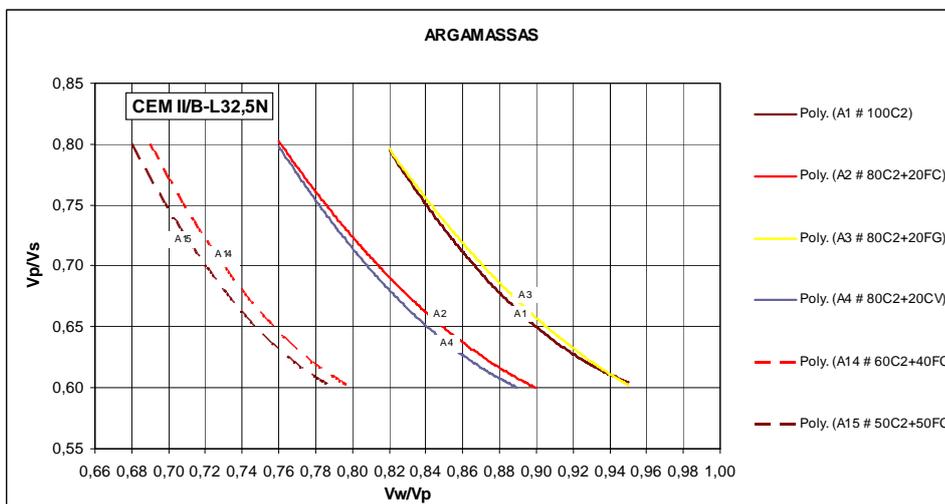


Figura 9.48 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM II/B-L32,5N

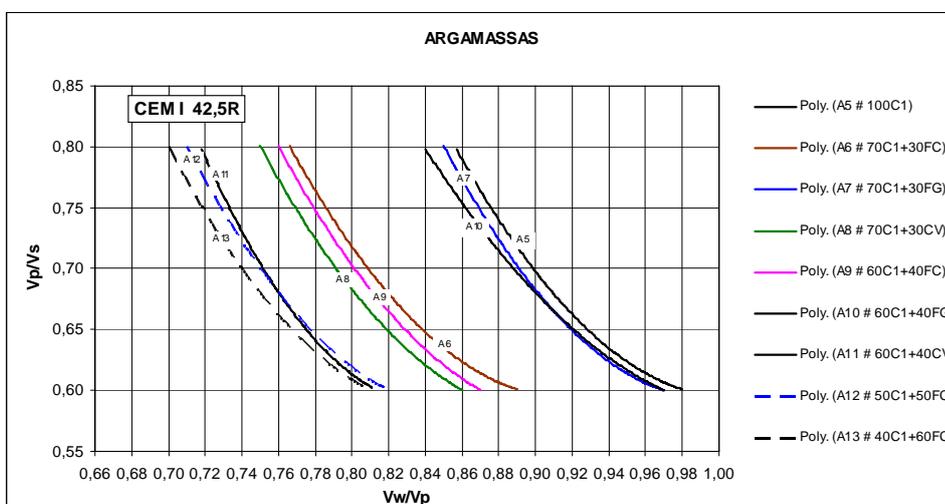


Figura 9.49 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM I 42,5R

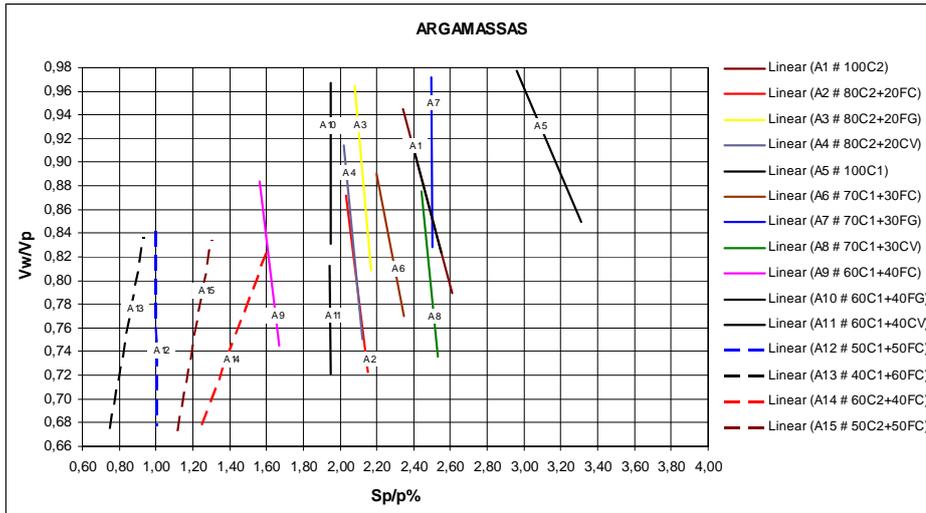


Figura 9.50 – Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para todas as famílias de argamassas

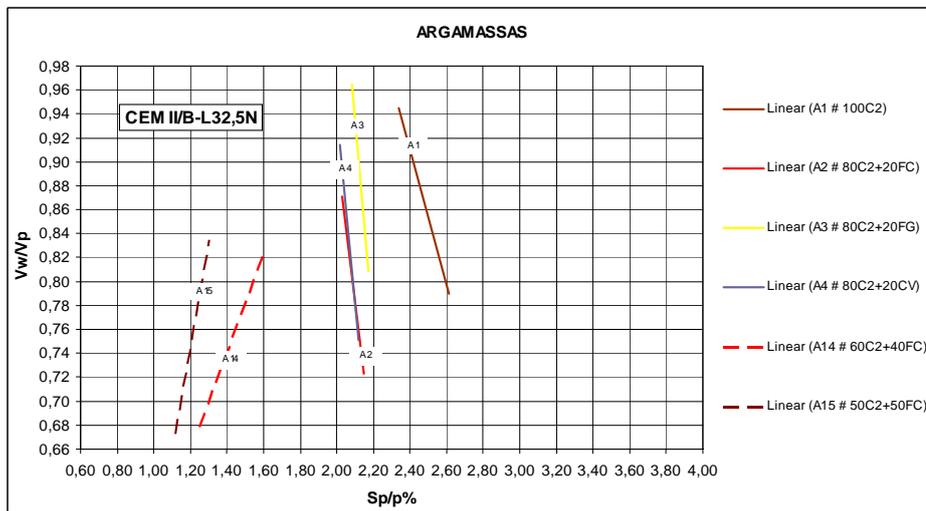


Figura 9.51 – Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para as famílias com CEM II/B-L32,5N

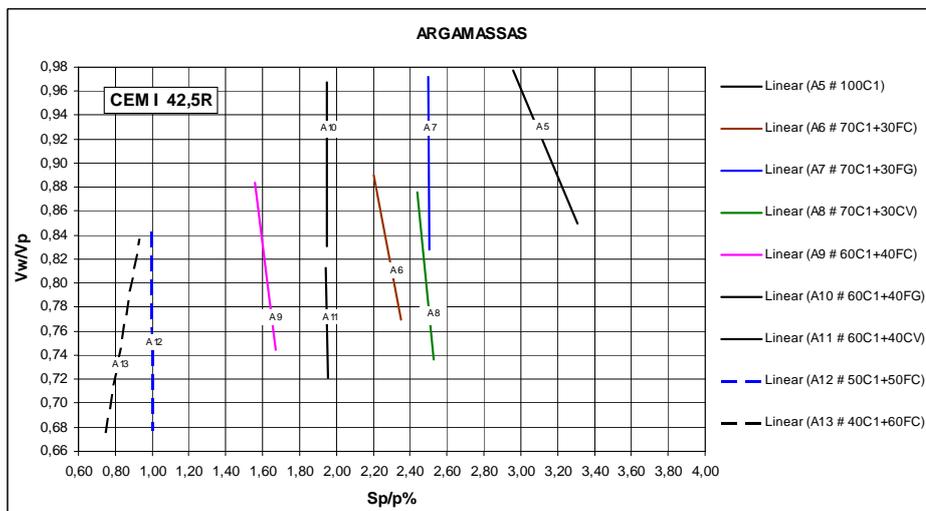


Figura 9.52 – Relação V_w/V_p versus $S_p/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R

Nos gráficos apresentados da Figura 9.47 à Figura 9.52, as famílias de argamassas que incorporaram a segunda remessa de superplastificante são representadas a traço interrompido para as distinguir das restantes.

A análise das Figuras 9.47, 9.48 e 9.49 permite verificar, para um mesmo valor de V_p/V_s e comparando as famílias de argamassas com o mesmo tipo de cimento e de adição, que a razão V_w/V_p diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento por essa adição. Efectivamente, para um mesmo valor de V_p/V_s , a dosagem de materiais finos (V_p) permanece razoavelmente constante. Por outro lado, ao aumentar a percentagem de substituição do cimento pela adição ocorre uma diminuição da dosagem de água, como se constatou anteriormente (Sub-Capítulo 9.2.2). Nestas condições, o aumento da percentagem de substituição conduz a uma redução da razão V_w/V_p .

Estabelecendo ainda a comparação entre famílias de argamassas nas condições referidas no parágrafo anterior verifica-se, no entanto, que uma diminuição de V_w/V_p não corresponde a um aumento de resistência, mas sim à sua redução. Isto ocorre porque a redução da dosagem de cimento em massa, em consequência do aumento da percentagem de substituição, é sempre superior em valor absoluto comparativamente com a redução da dosagem de água, o que conduz a um aumento da razão W/C e, em consequência, a uma redução da resistência.

Observando as Figuras 9.50, 9.51 e 9.52 e estabelecendo uma comparação entre as misturas com o mesmo tipo de cimento e de adição, verifica-se que a dosagem de superplastificante, expressa pelo parâmetro $S_p/p\%$, tende a diminuir quando se aumenta a percentagem de substituição do cimento pela adição.

A análise comparativa das diferentes famílias de argamassas, apresentadas da Figuras 9.47 à Figura 9.52, não revelou nenhuma correlação de âmbito geral entre os parâmetros intervenientes. Contudo, detectou-se um padrão de comportamento comum a todas as famílias de argamassas no que respeita à forma das equações estabelecidas. Esse padrão de comportamento parece ser independente do tipo de cimento, do tipo de adições utilizadas, ou mesmo, do facto do superplastificante ser proveniente da primeira ou da

segunda remessa. O conhecimento deste padrão de comportamento, comum às diferentes famílias de argamassas, pode revelar-se muito útil no decurso dos ensaios laboratoriais para acerto das misturas. Considere-se, por exemplo, uma argamassa de uma determinada família de finos e um determinado valor de V_p/V_s , para a qual tenham sido determinados os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$ conducentes às propriedades reológicas pretendidas. Nesta situação, facilmente se poderá estimar os novos valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$ de uma outra argamassa da mesma família quando se faz variar o parâmetro V_p/V_s , sem necessidade de recorrer a novos ensaios experimentais.

9.3.3 – Parâmetros correlacionados com a resistência

9.3.3.1 – O parâmetro V_p/V_s

As correlações entre a resistência à compressão aos 28 dias de idade e o parâmetro V_p/V_s , para cada uma das famílias de argamassas estudadas, são apresentadas da Figura 9.53 à Figura 9.67. Em geral, observa-se um aumento da resistência à compressão com o aumento de V_p/V_s em cada família de argamassas.

O parâmetro V_p/V_s representa um traço em volume absoluto entre o volume de materiais finos e o volume de agregados finos da argamassa. Tal como se verificou anteriormente (Sub-Capítulo 9.2.2), em cada família de argamassas, o aumento de V_p/V_s conduz a um aumento simultâneo das dosagens de cimento e de água de amassadura. Contudo, perante um aumento do parâmetro V_p/V_s , constatou-se que o aumento da dosagem de cimento em massa foi sempre muito superior ao aumento da dosagem de água, resultando em consequência uma razão W/C menor, que conduz ao aumento da resistência.

A gama de variação da resistência à compressão em cada família de argamassas situa-se em média nos 10 MPa, quando o parâmetro V_p/V_s varia de 0,60 a 0,80. Isto corrobora a hipótese inicial de que, para além da família de finos, o parâmetro V_p/V_s poderia contribuir para o controle da resistência à compressão.

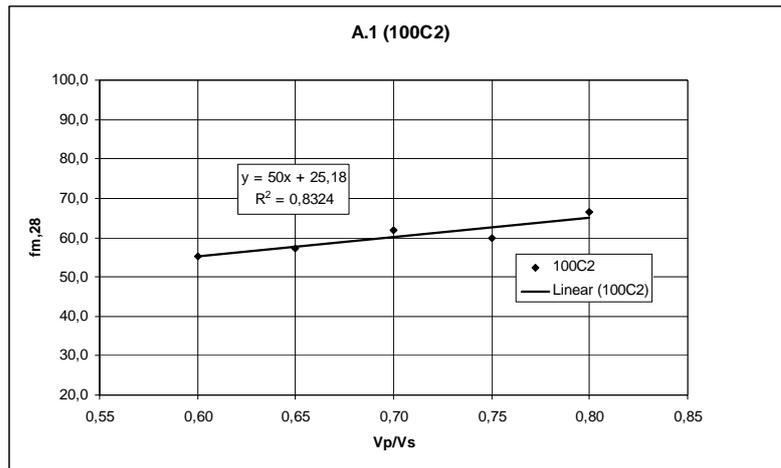


Figura 9.53 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.1

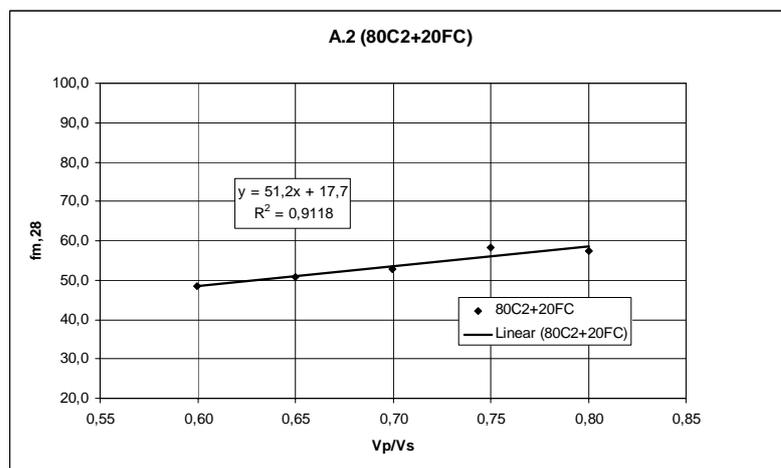


Figura 9.54 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.2

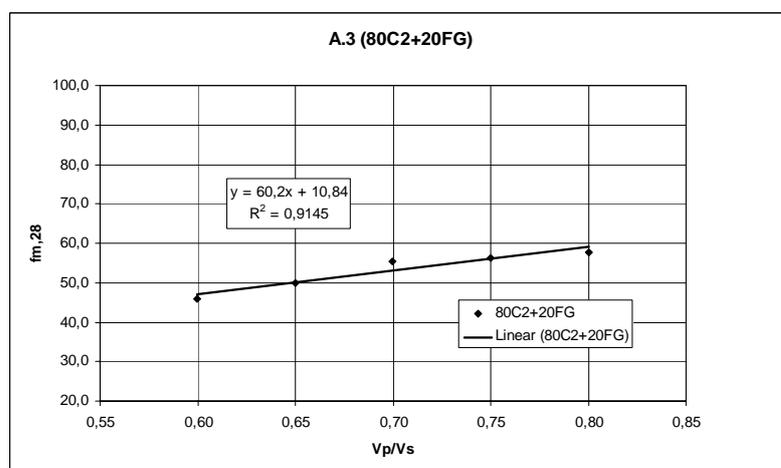


Figura 9.55 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.3

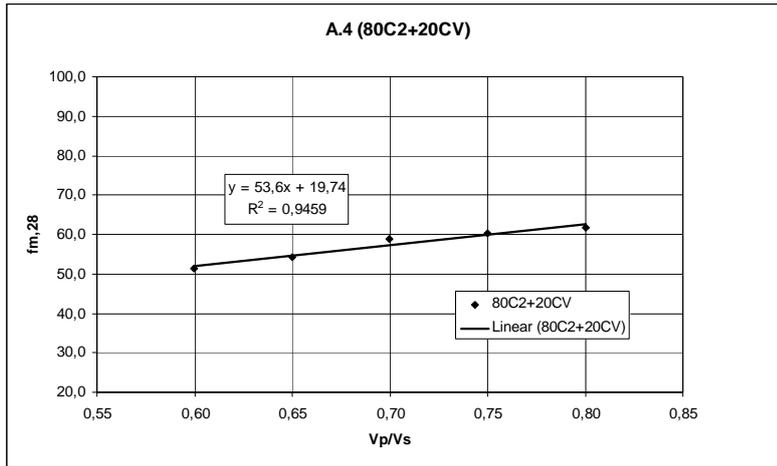


Figura 9.56 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.4

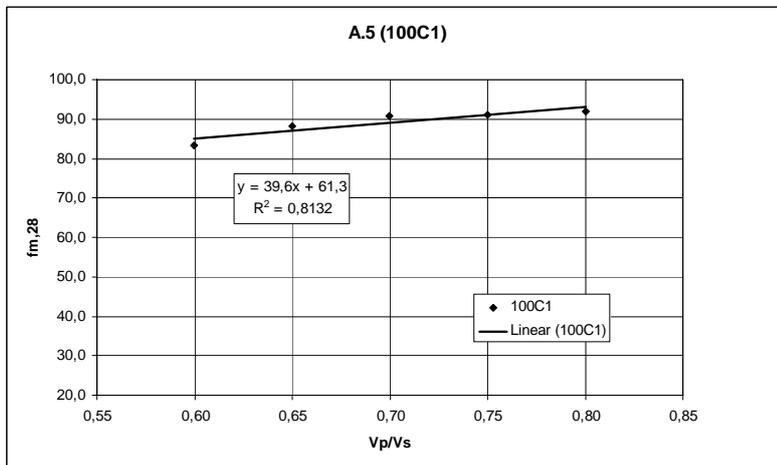


Figura 9.57 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.5

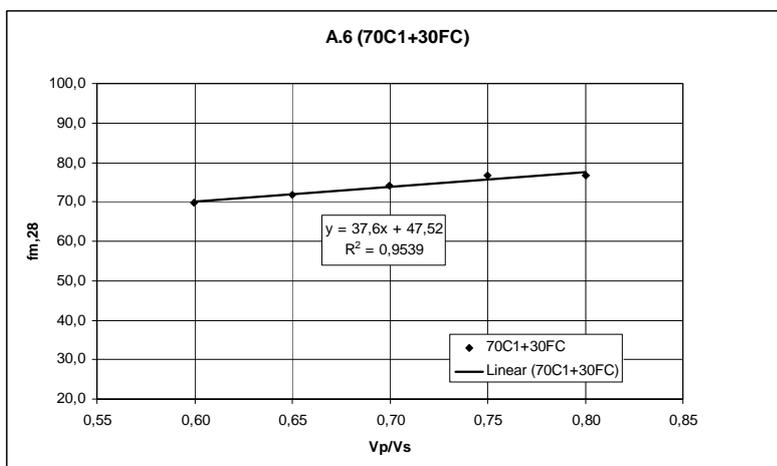


Figura 9.58 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.6

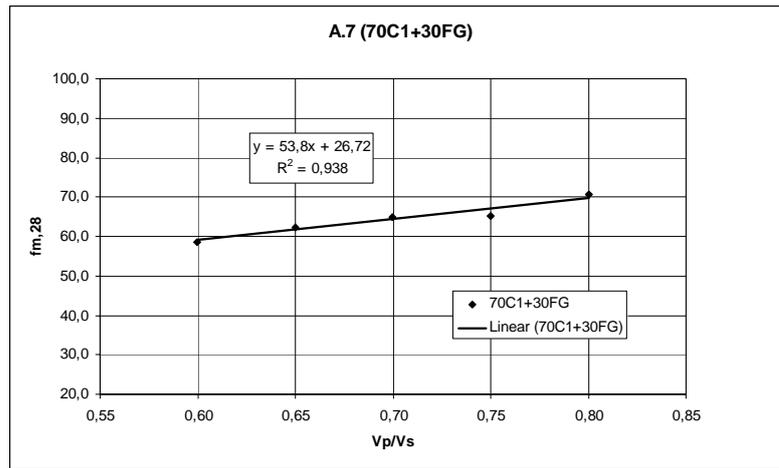


Figura 9.59 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.7

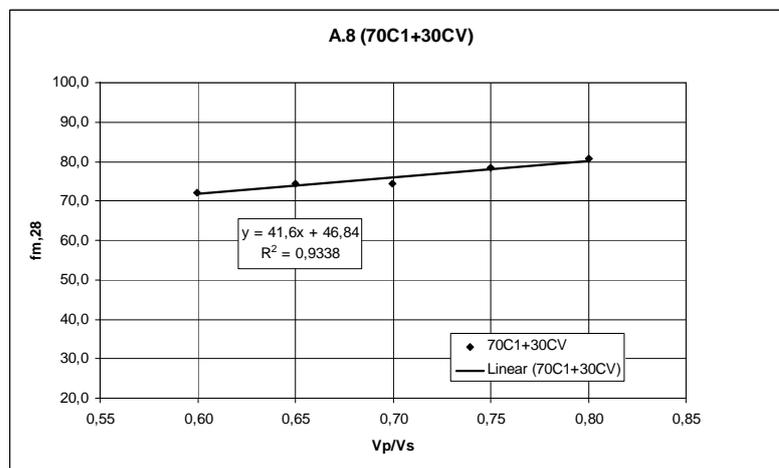


Figura 9.60 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.8

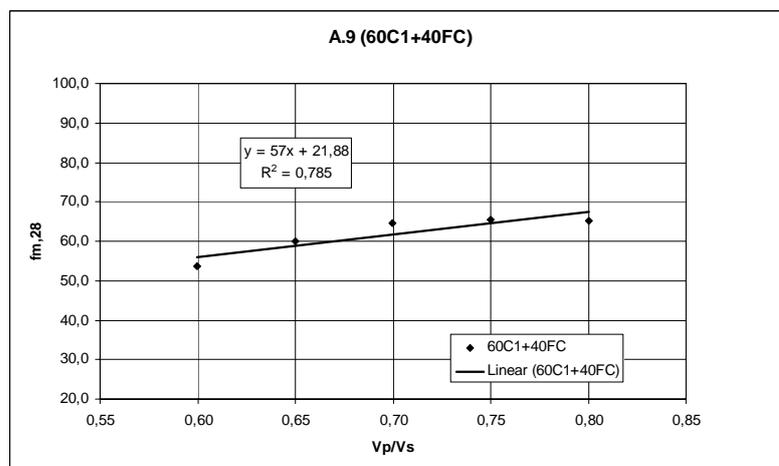


Figura 9.61 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.9

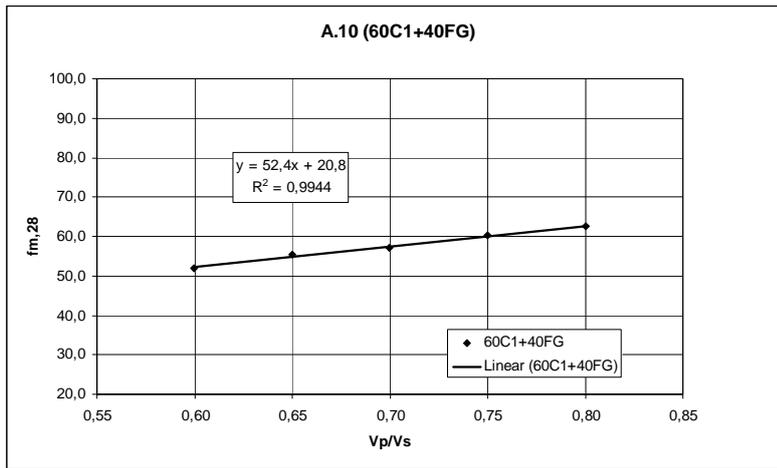


Figura 9.62 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.10

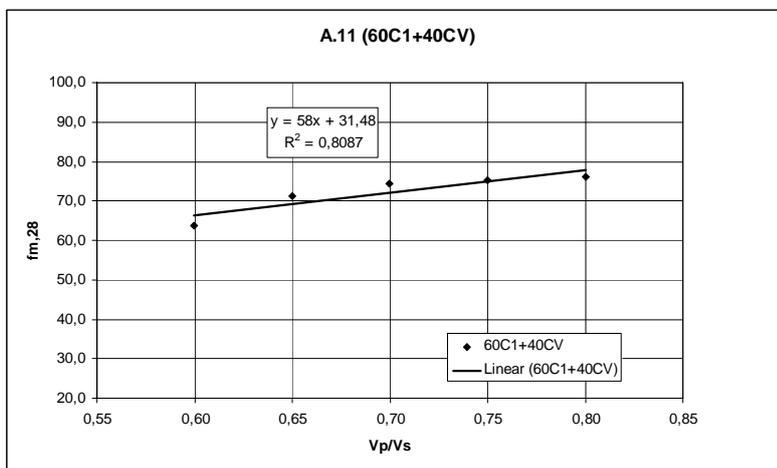


Figura 9.63 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.11

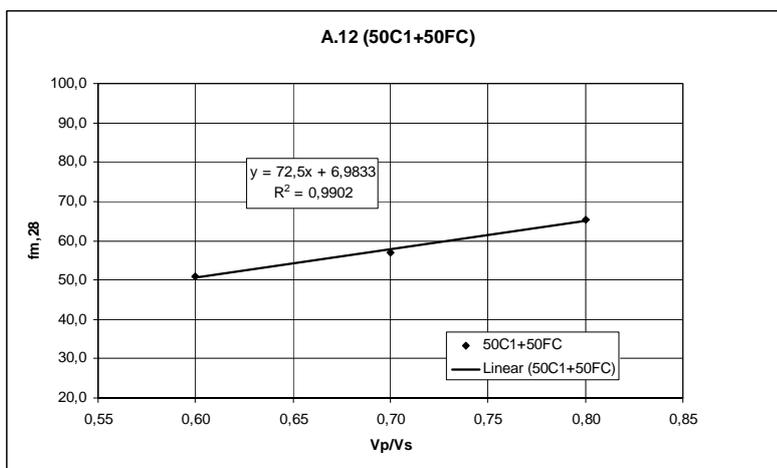


Figura 9.64 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.12

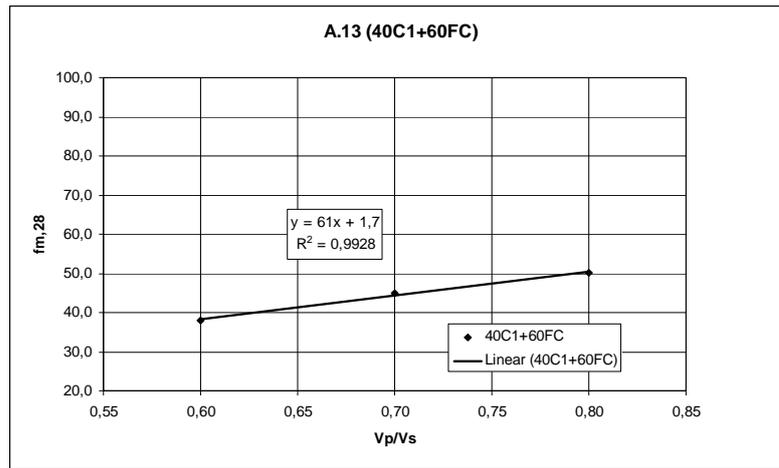


Figura 9.65 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.13

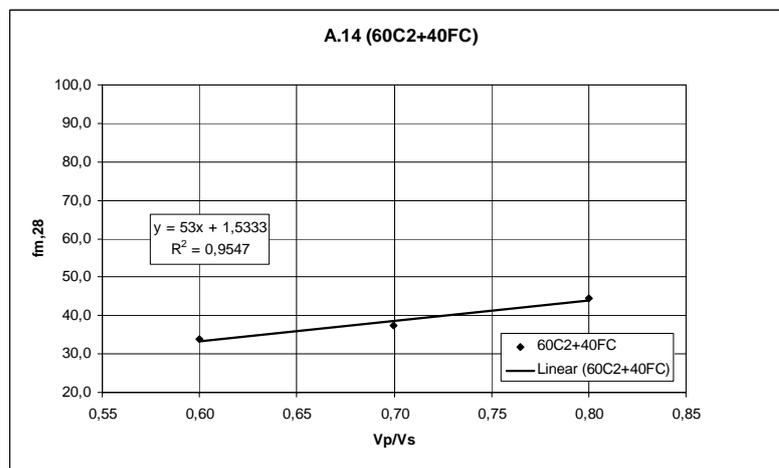


Figura 9.66 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.14

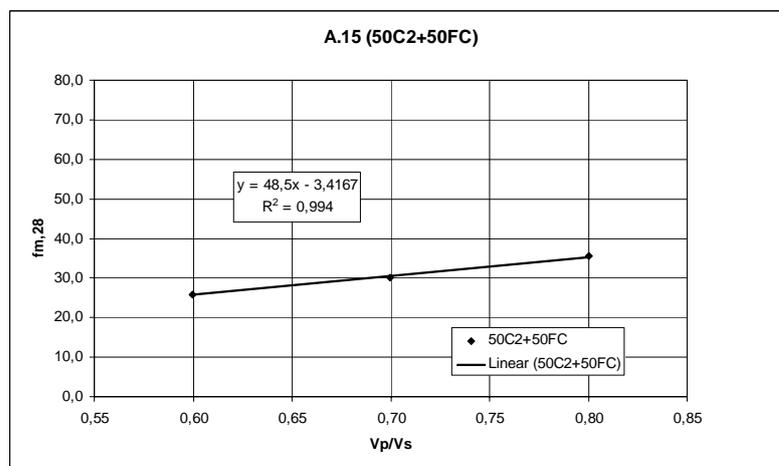


Figura 9.67 – Relação fm,28 versus Vp/Vs para a família de argamassas A.15

As correlações apresentadas da Figura 9.53 à Figura 9.67, para cada uma das famílias de argamassas estudadas neste trabalho, são sobrepostas no gráfico que se apresenta na Figura 9.68 de forma a estabelecer a sua comparação. Tal como sucedeu anteriormente, as famílias de argamassas que incorporaram a segunda remessa de superplastificante são desenhadas a traço interrompido na Figura 9.68.

Os resultados apresentados na Figura 9.68 permitem verificar que a gama de resistências à compressão das argamassas se situou aproximadamente entre os 25 MPa e os 95 MPa. Em termos gerais, poderá admitir-se que o objectivo inicial de se obter uma gama variada de resistências foi plenamente conseguido. Se forem garantidos os mesmos materiais e as mesmas condições do presente trabalho, é possível, a partir da gama de resistências seleccionada no gráfico que se apresenta na Figura 9.68, decidir acerca da família de finos a utilizar e acerca do valor de V_p/V_s mais adequado. Em última análise, a partir da família de finos e do valor de V_p/V_s , poderiam determinar-se os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$ da forma referida no Sub-Capítulo anterior. Deste modo, estariam definidos todos os parâmetros do cálculo da argamassa, exceptuando-se a granulometria dos agregados finos. Necessariamente, a curva granulométrica dos agregados finos deveria corresponder à curva de referência definida para este trabalho.

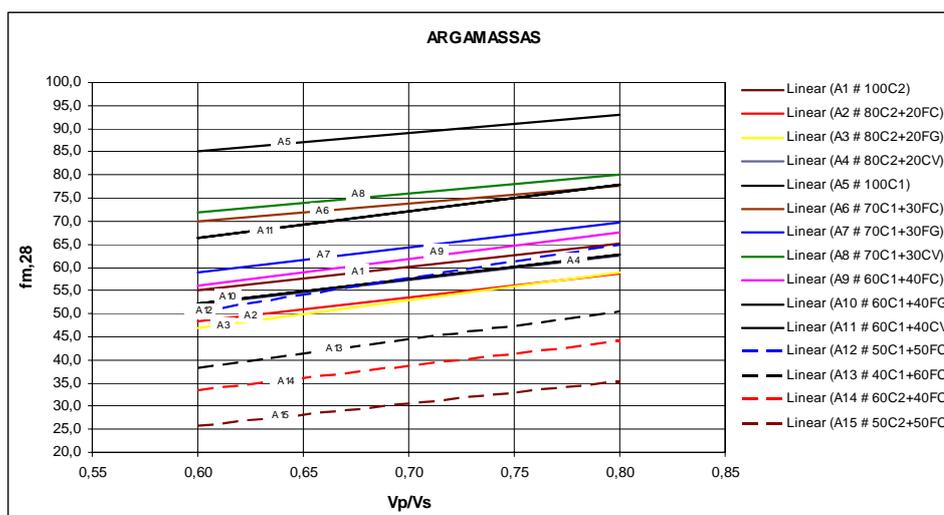


Figura 9.68 – Relação $f_{m,28}$ versus V_p/V_s para todas as famílias de argamassas

A comparação apresentada na Figura 9.68 exclui a existência de uma correlação de âmbito geral entre a resistência à compressão e o parâmetro V_p/V_s . Contudo, essa correlação existe nitidamente para cada uma das famílias de argamassas quando avaliada isoladamente.

Apesar de não existir uma correlação de âmbito geral, observa-se na Figura 9.68 um padrão de comportamento comum a todas as famílias de argamassas e que se relaciona com o tipo e inclinação da regressão linear. Este padrão de comportamento é independente do tipo de cimento, do tipo de adição, da percentagem de substituição, ou mesmo, do facto do superplastificante ser da primeira ou da segunda remessa. Este aspecto pode ser relevante para a realização das correcções das misturas nos ensaios laboratoriais. Por exemplo, se para uma determinada família de argamassas e um determinado V_p/V_s se conhece o valor da resistência à compressão, então será possível, para a mesma família de argamassas, estimar a modificação a efectuar no parâmetro V_p/V_s de forma a corrigir a resistência à compressão. Também neste caso, a partir do novo valor de V_p/V_s se poderiam estimar os novos valores de V_w/V_p e $Sp/p\%$, tal como sugerido no Sub-Capítulo anterior, sem necessidade de proceder a mais ensaios experimentais.

9.3.3.2 – O parâmetro W/C

À semelhança do procedimento adoptado anteriormente tendo por base os resultados apresentados do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34, foram produzidas, para cada uma das famílias de argamassas estudadas, as correlações entre a resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade e a razão W/C, em massa. Essas correlações são apresentadas da Figura 9.69 à Figura 9.83.

Tal como seria de esperar, a resistência à compressão diminui com o aumento da razão W/C, em massa. Tratando-se de intervalos muito curtos em termos de variação da resistência à compressão em cada uma das famílias de argamassa, a equação utilizada para estabelecer as correlações entre a resistência à compressão e a razão W/C foi do tipo linear.

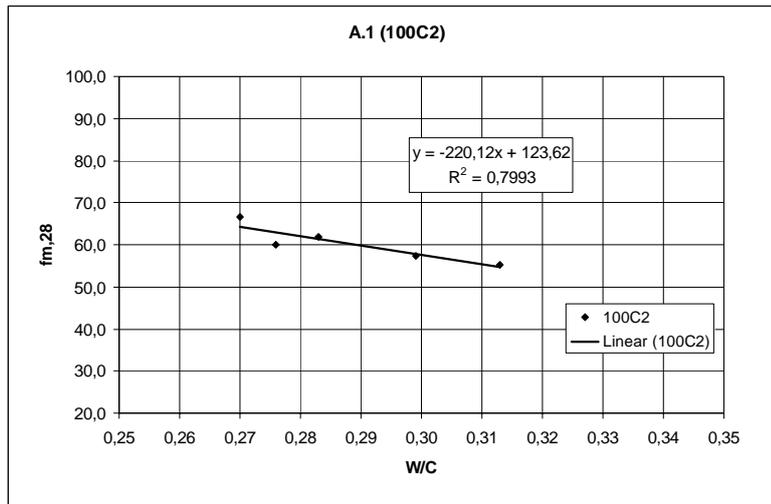


Figura 9.69 – Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A.1

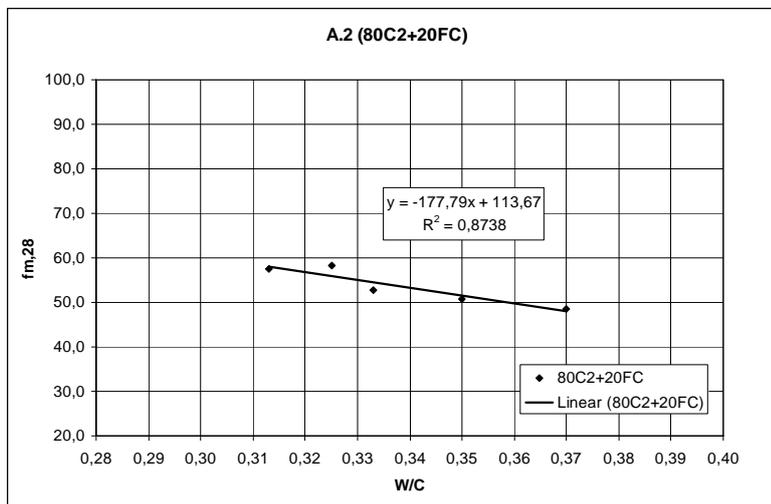


Figura 9.70 – Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A.2

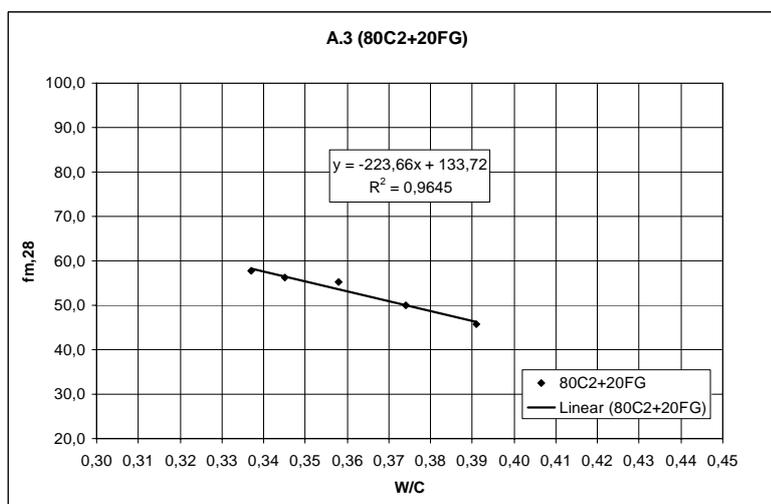


Figura 9.71 – Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A.3

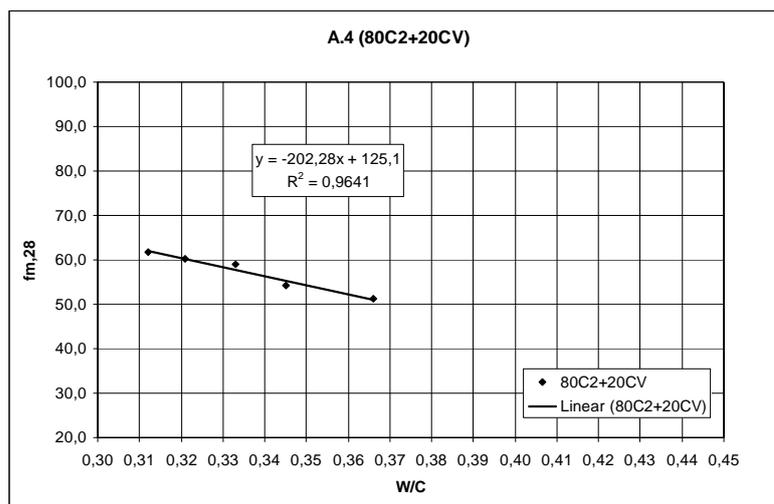


Figura 9.72 – Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A.4

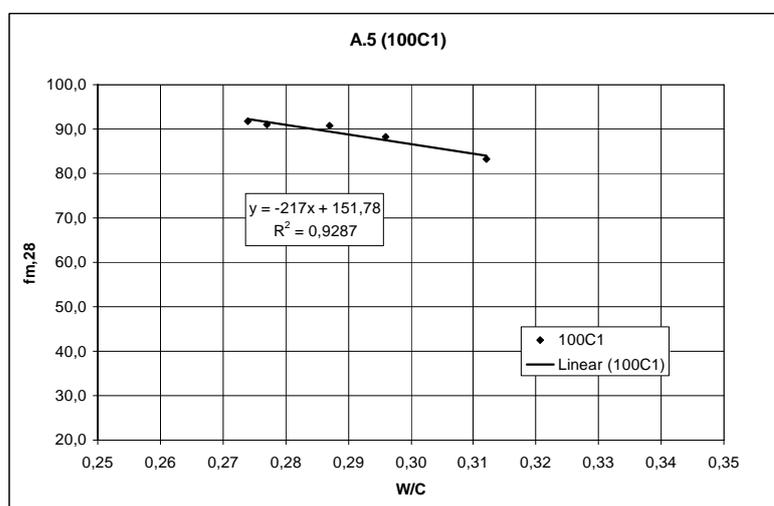


Figura 9.73 – Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A.5

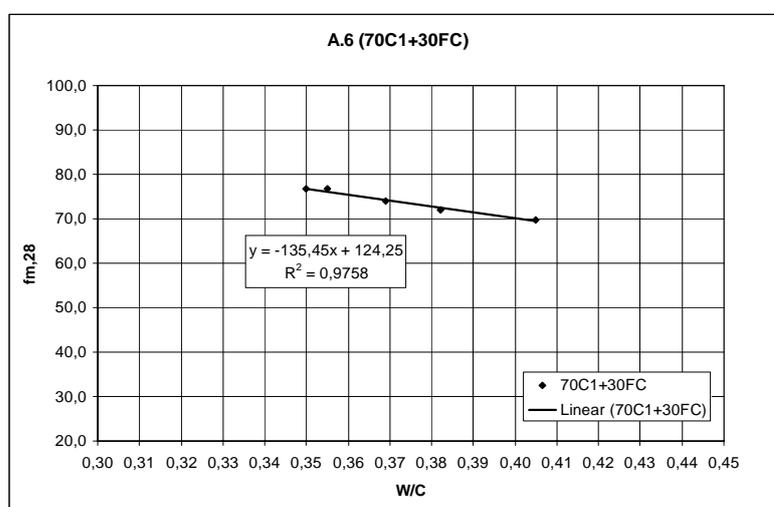


Figura 9.74 – Relação fm,28 versus W/C para a família de argamassas A.6

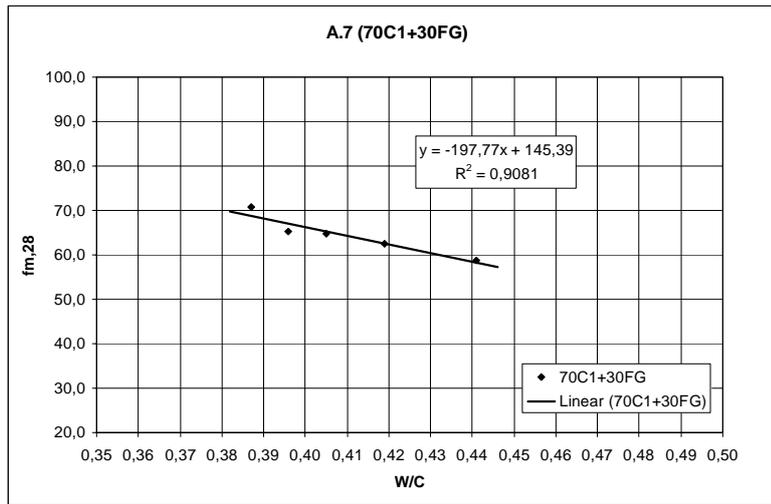


Figura 9.75 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.7

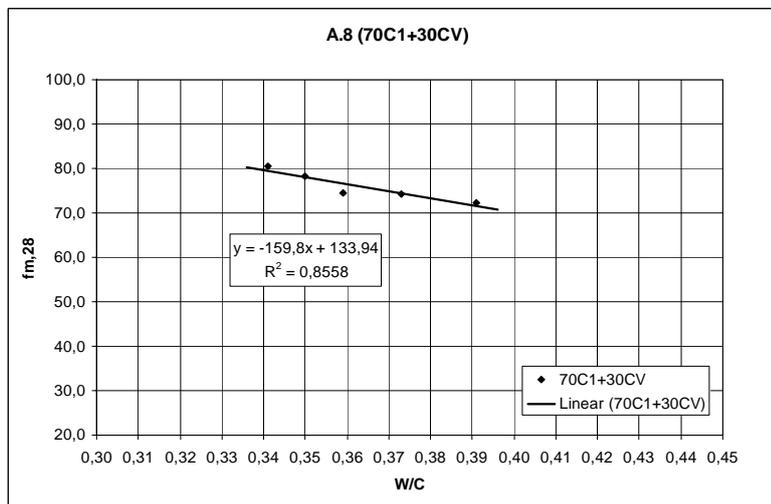


Figura 9.76 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.8

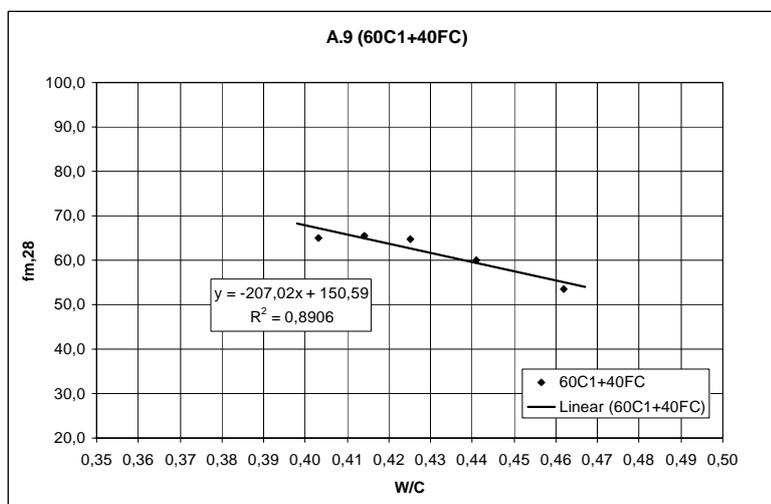


Figura 9.77 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.9

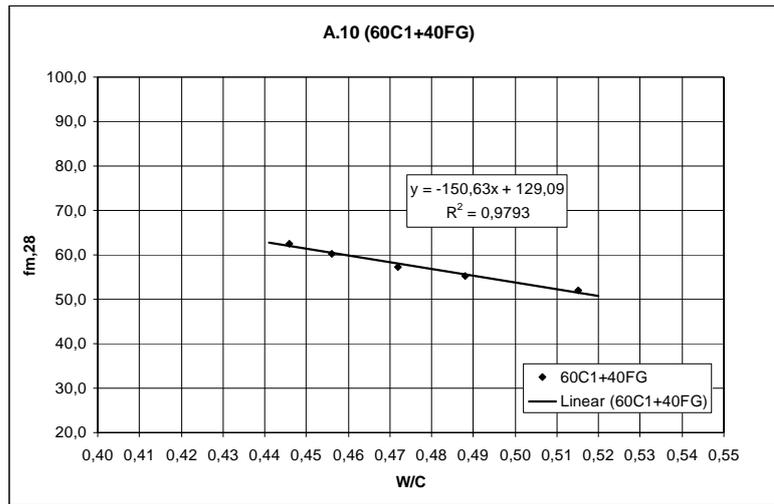


Figura 9.78 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.10

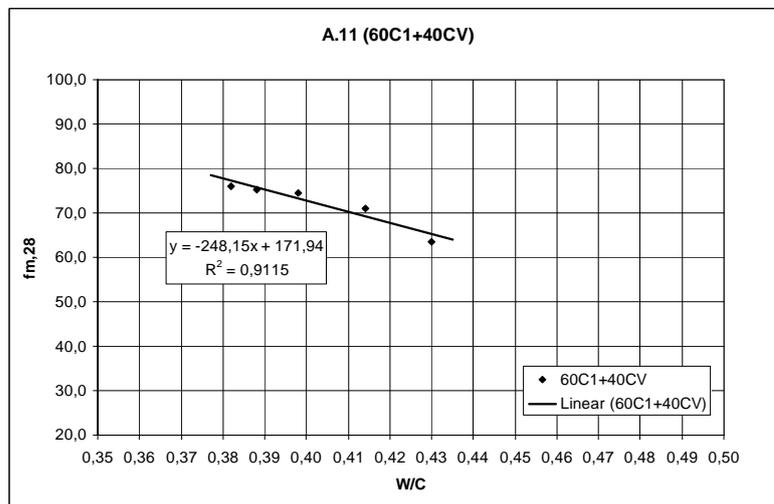


Figura 9.79 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.11

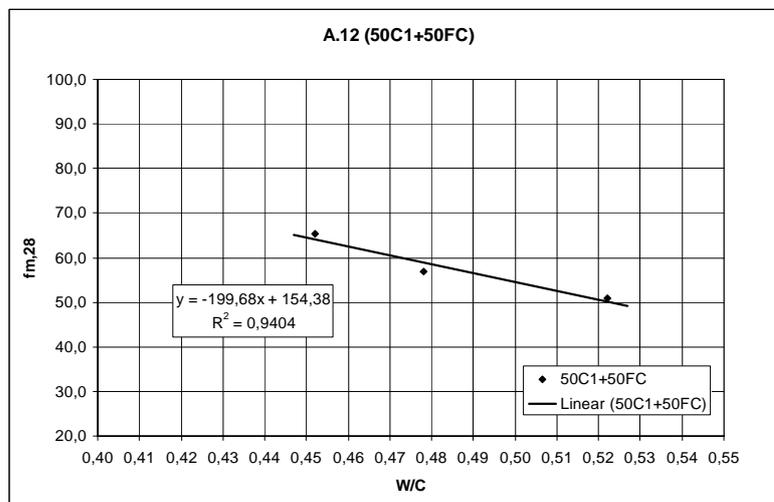


Figura 9.80 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.12

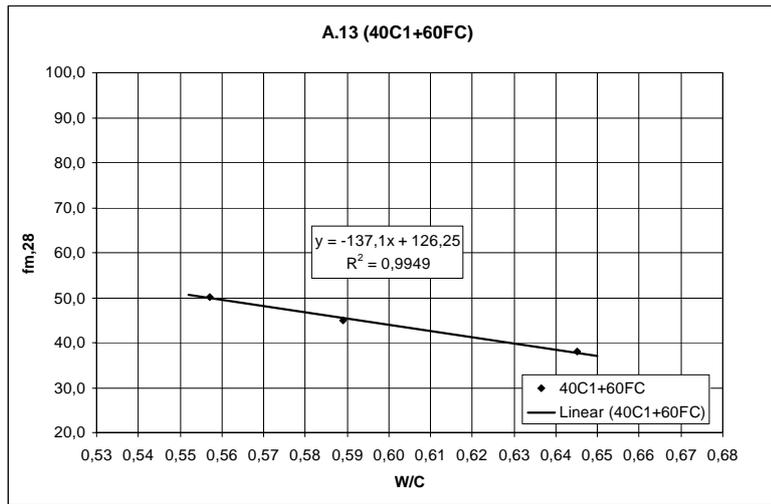


Figura 9.81 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.13

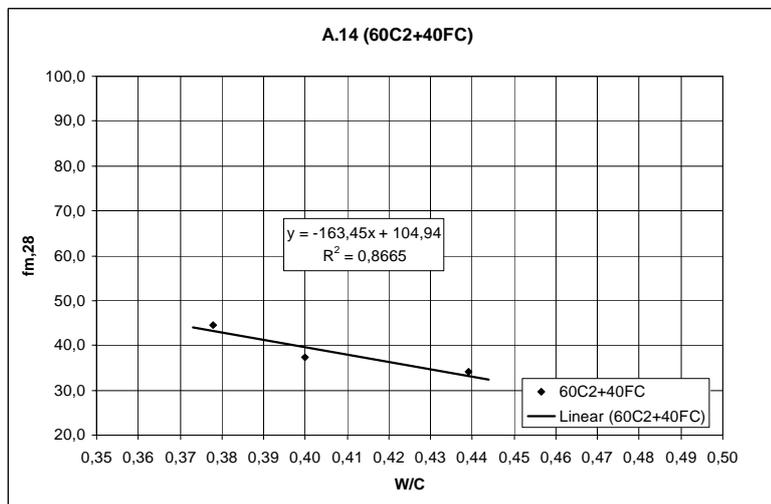


Figura 9.82 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.14

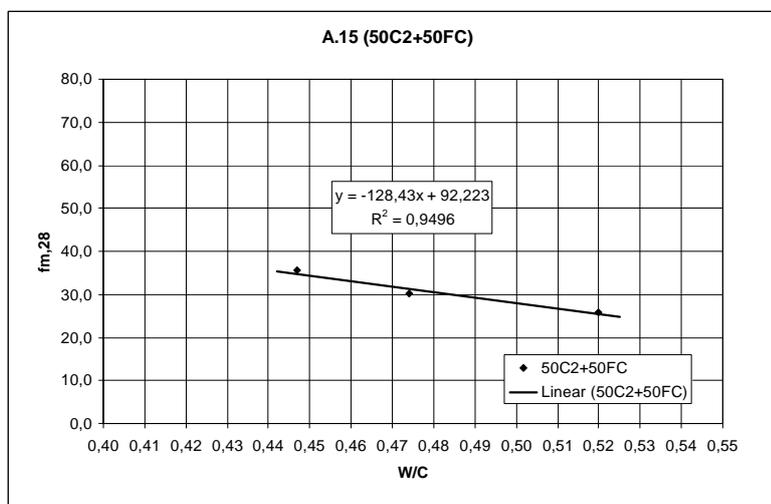


Figura 9.83 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para a família de argamassas A.15

A análise comparativa das correlações obtidas nas diferentes famílias de argamassas, apresentadas da Figura 9.69 à Figura 9.83, é ilustrada graficamente na Figura 9.84.

A observação da Figura 9.84 evidencia claramente a existência de um padrão de comportamento geral, já que as diferentes correlações tendem a estratificar-se e agrupar-se segundo duas orientações bem definidas. Analisando em pormenor a Figura 9.84, é possível constatar que estas orientações estão associadas ao tipo de cimento utilizado.

Na Figura 9.85 são apresentadas as correlações obtidas para cada um dos cimentos utilizados neste trabalho experimental (C1 e C2 correspondem, respectivamente, aos cimentos CEM I 42,5R e CEM II/B-L32,5N). Efectivamente, a correlação entre a resistência à compressão e a razão W/C parece depender apenas do tipo de ligante, já que não se detectaram diferenças face ao tipo e dosagem das adições, ou mesmo, do facto do superplastificante ser da primeira ou da segunda remessa.

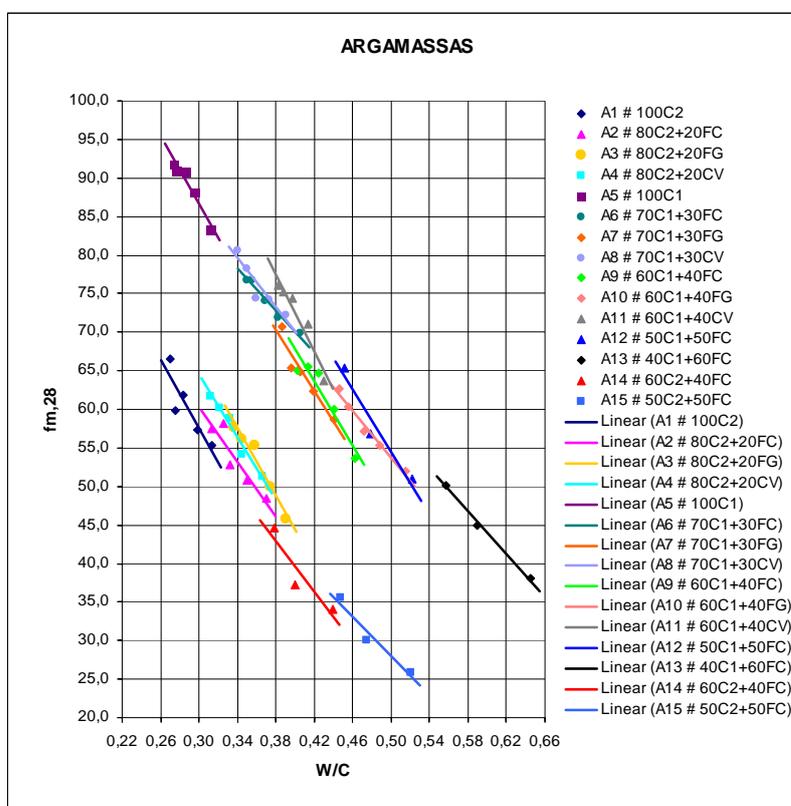


Figura 9.84 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para todas as famílias de argamassas

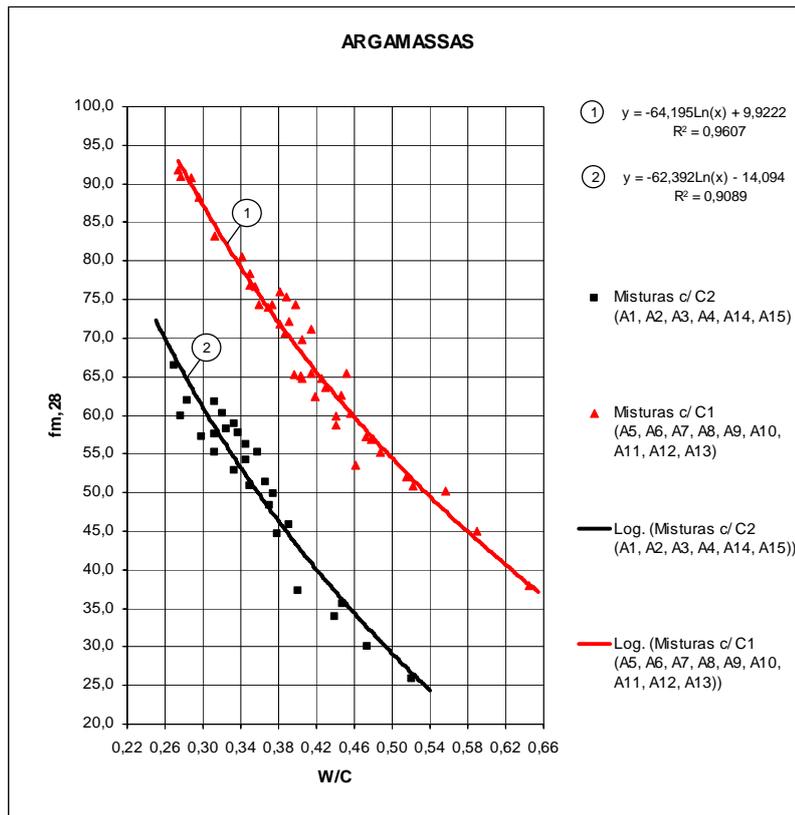


Figura 9.85 – Relação $f_{m,28}$ versus W/C para todas as famílias de argamassas

9.3.3.3 – O parâmetro W/MC

São considerados materiais cimentícios, para além dos cimentos, as adições minerais do tipo II (pozolânicas ou potencialmente hidráulicas). Nas misturas binárias aqui analisadas, a única adição mineral do tipo II utilizada foi a cinza volante.

As correlações entre a resistência à compressão aos 28 dias de idade e a razão W/MC (água/materiais cimentícios), obtidas para cada uma das famílias de argamassas estudadas neste trabalho, são apresentadas da Figura 9.86 à Figura 9.100, tendo por referência os elementos apresentados do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34.

Tal como seria de esperar, a resistência à compressão tende a reduzir com o aumento da razão W/MC. Em termos práticos, as diferenças face à correlação com a razão W/C só podem ocorrer nas misturas que incorporaram cinzas volantes, já que as restantes adições (fíler calcário e fíler granítico) não são consideradas materiais cimentícios.

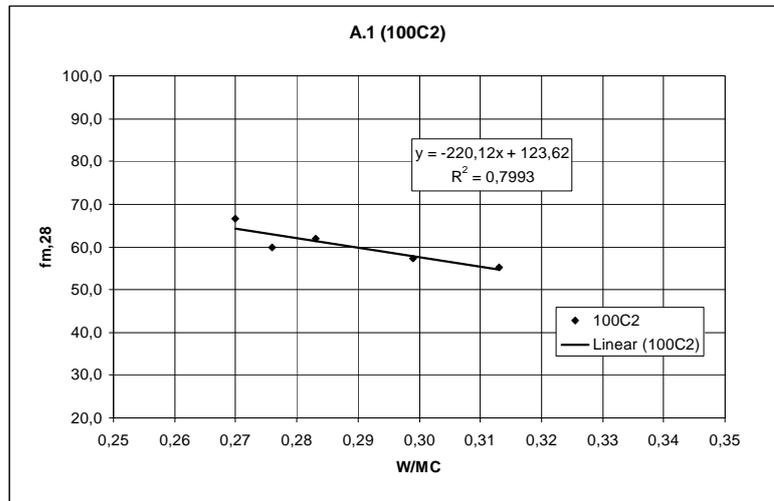


Figura 9.86 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.1

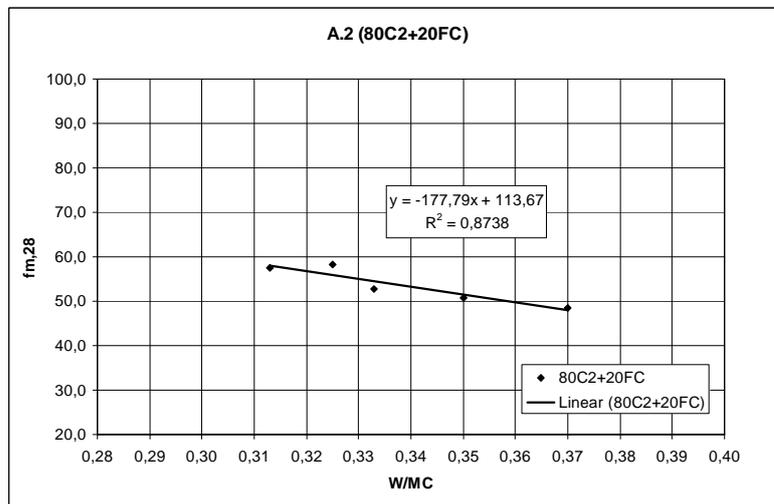


Figura 9.87 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.2

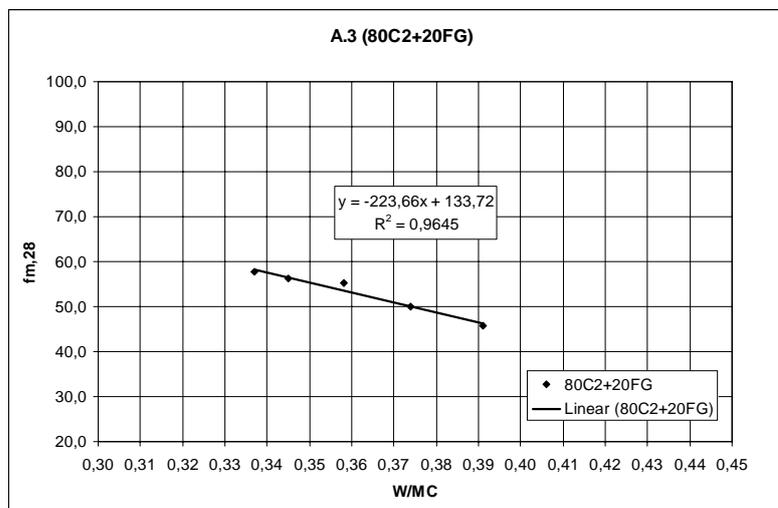


Figura 9.88 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.3

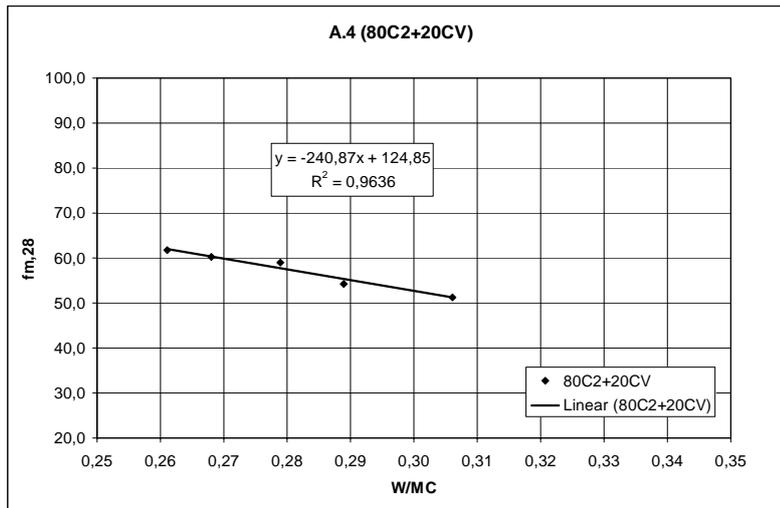


Figura 9.89 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A.4

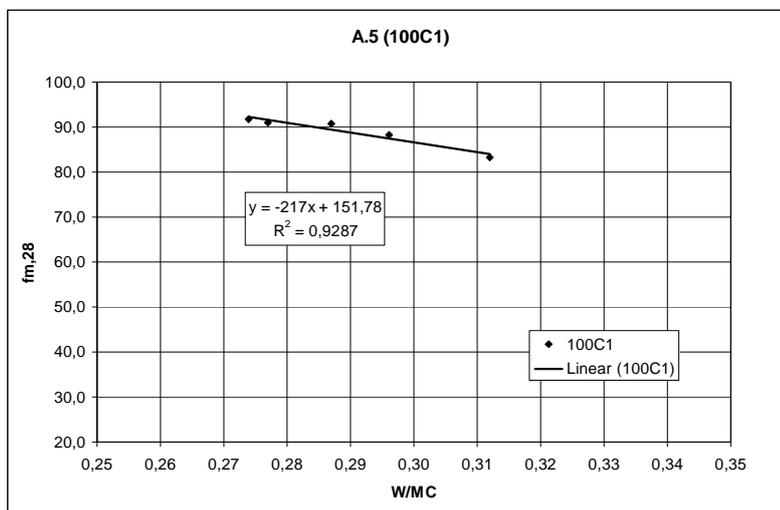


Figura 9.90 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A.5

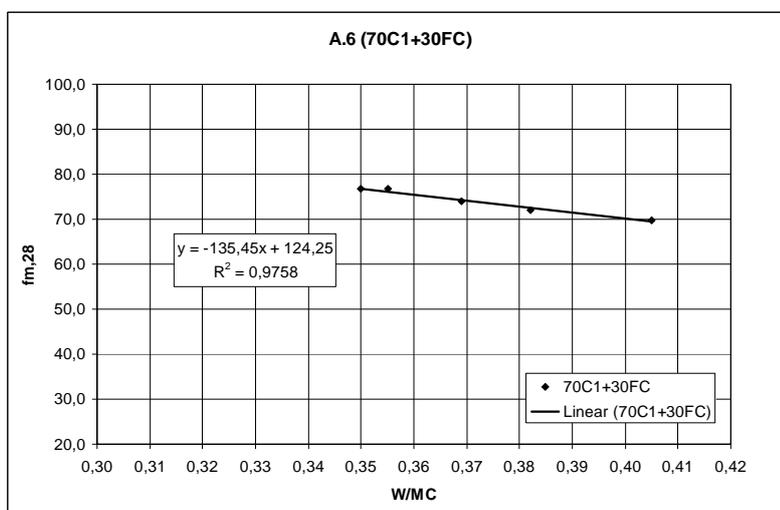


Figura 9.91 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A.6

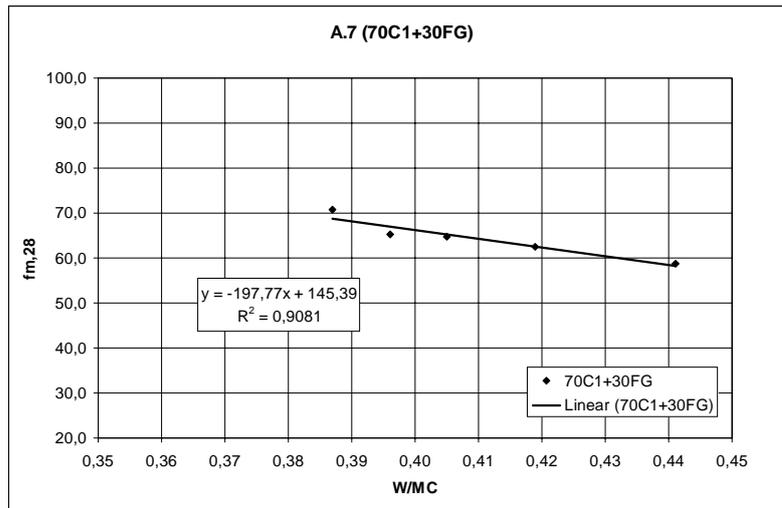


Figura 9.92 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A.7

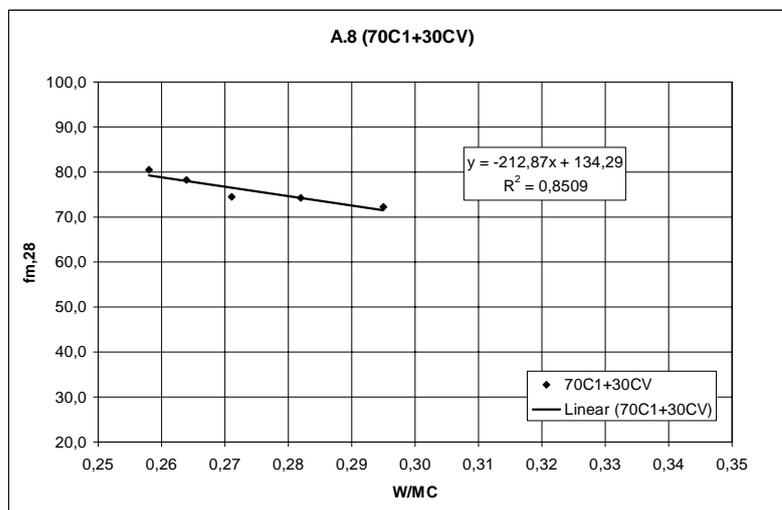


Figura 9.93 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A.8

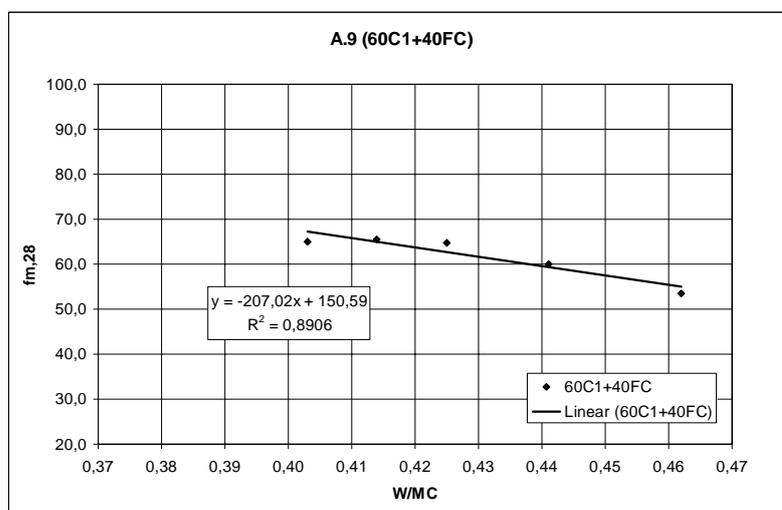


Figura 9.94 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para a família de argamassas A.9

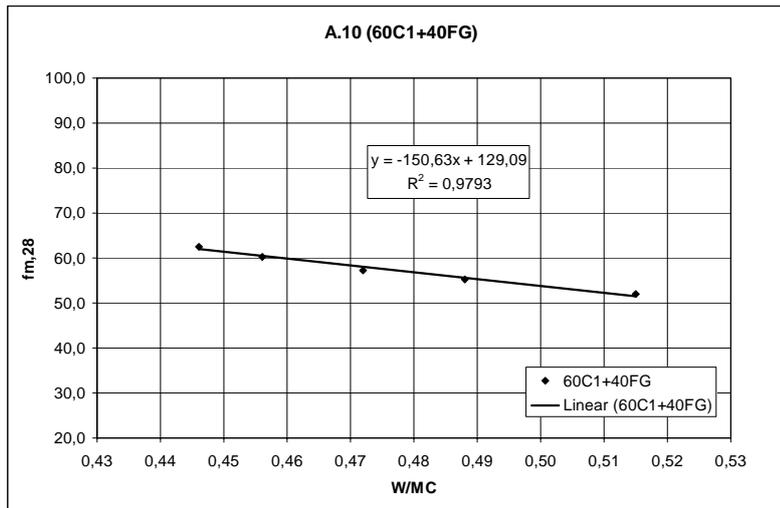


Figura 9.95 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.10

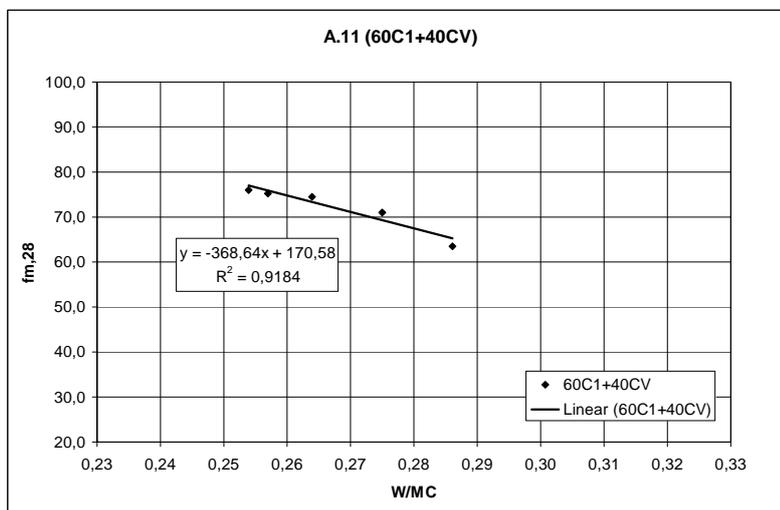


Figura 9.96 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.11

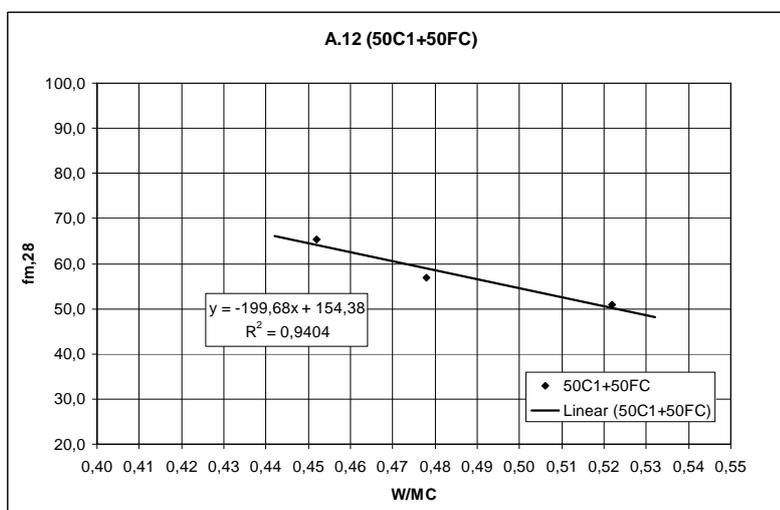


Figura 9.97 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.12

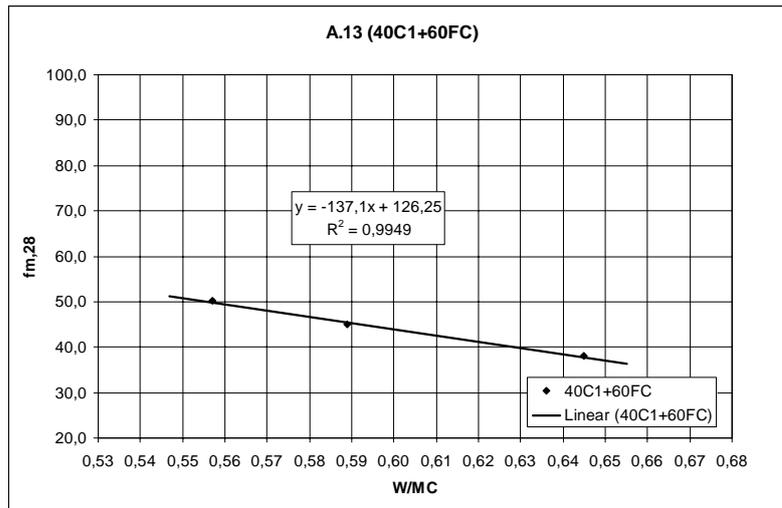


Figura 9.98 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.13

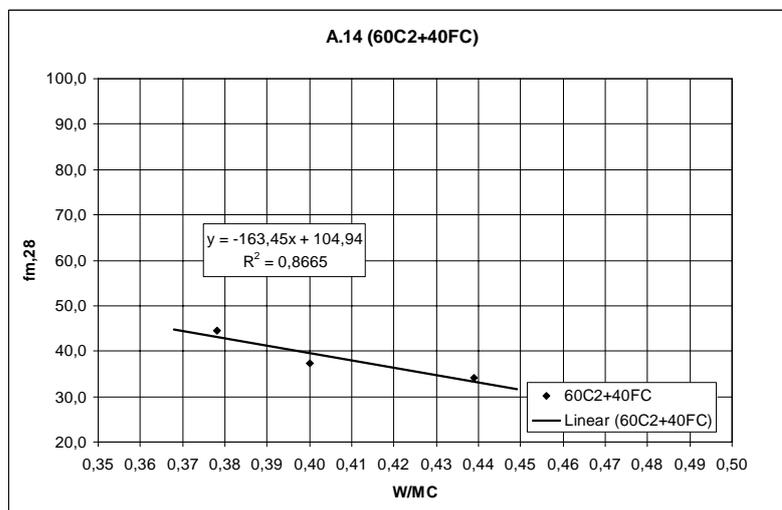


Figura 9.99 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.14

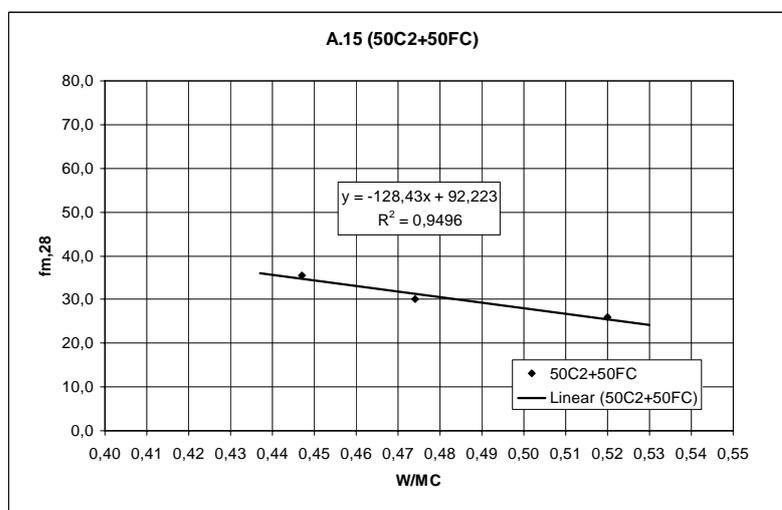


Figura 9.100 – Relação fm,28 versus W/MC para a família de argamassas A.15

As correlações entre a resistência e a razão W/MC, apresentadas da Figura 9.86 à Figura 9.100, são sobrepostas no gráfico que se apresenta na Figura 9.101 de forma a estabelecer a sua comparação.

Os resultados apresentados na Figura 9.101 permitem identificar um padrão de comportamento semelhante àquele detectado na correlação entre a resistência e a razão W/C. Neste caso podem ser identificadas orientações diferentes para cada conjugação de materiais cimentícios, se bem que em alguns casos essa diferença não seja muito nítida.

A Figura 9.102 representa as cinco associações de materiais cimentícios utilizadas neste trabalho experimental. Quando um dos cimentos é combinado com adições do tipo I (quase inertes), o único material cimentício é o próprio cimento. Quando este cimento é combinado com adições do tipo II (pozolânicas ou potencialmente hidráulicas), os materiais cimentícios passam a ser representados pela soma do cimento com a adição.

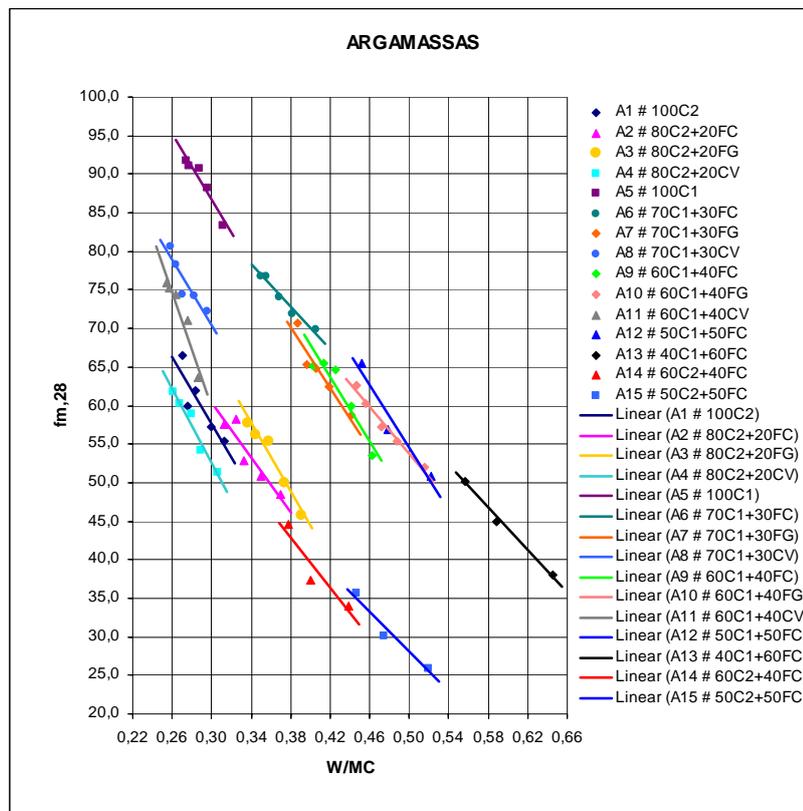


Figura 9.101 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para todas as famílias de argamassas

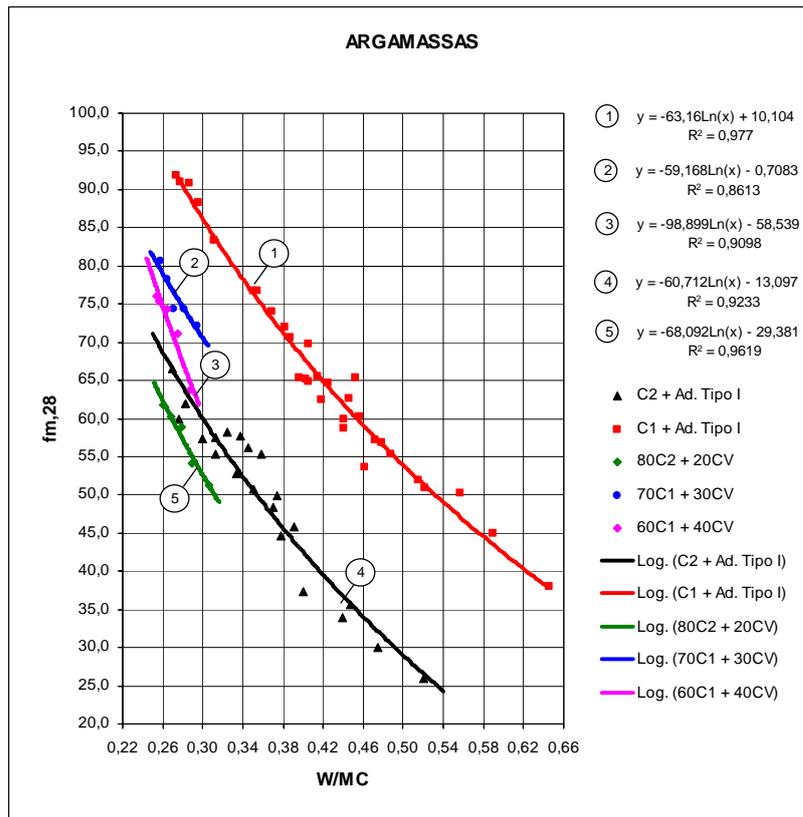


Figura 9.102 – Relação $f_{m,28}$ versus W/MC para todas as famílias de argamassas

As correlações entre a resistência e a razão W/MC ilustradas na Figura 9.102 apresentam alguma melhoria ligeira em termos do coeficiente de correlação face às correlações entre a resistência e a razão W/C apresentadas na Figura 9.85. Contudo, pela sua maior simplicidade e abrangência, já que não dependem da percentagem de substituição do cimento pela adição, as correlações com a razão W/C deverão prevalecer face às correlações com a razão W/MC.

9.3.3.4 – O parâmetro W/F

A partir dos elementos apresentados do Quadro 8.20 ao Quadro 8.34 foram estabelecidas, para cada família de argamassas, as correlações entre a resistência à compressão e a razão W/F (água/materiais finos). Essas correlações são ilustradas da Figura 9.103 à Figura 9.117. Para cada família de argamassas, a resistência à compressão diminui com o aumento da razão W/F.

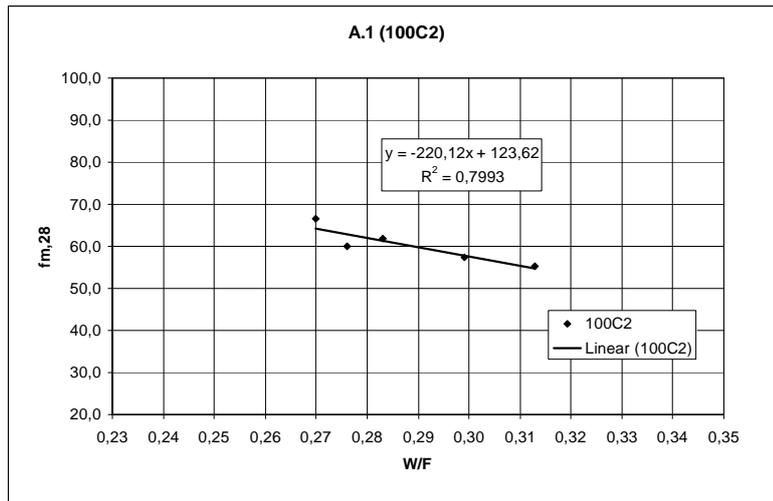


Figura 9.103 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.1

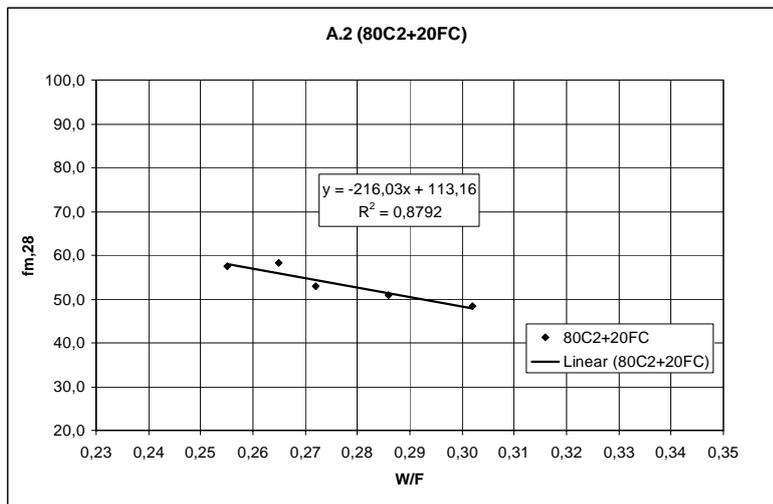


Figura 9.104 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.2

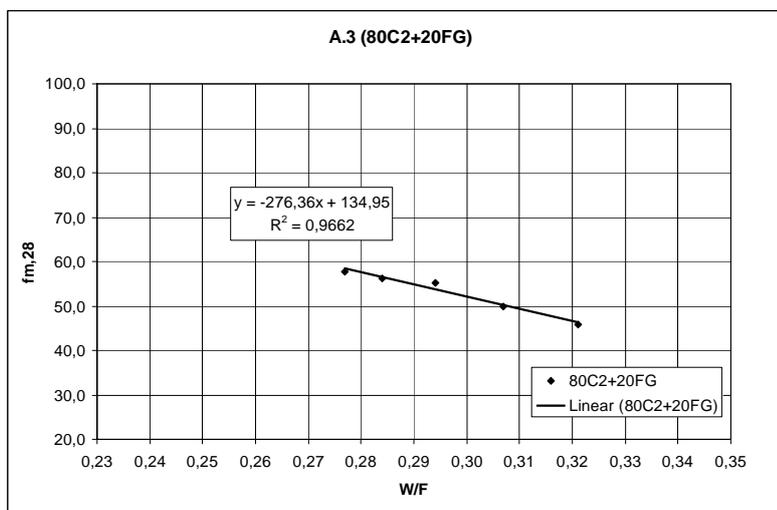


Figura 9.105 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.3

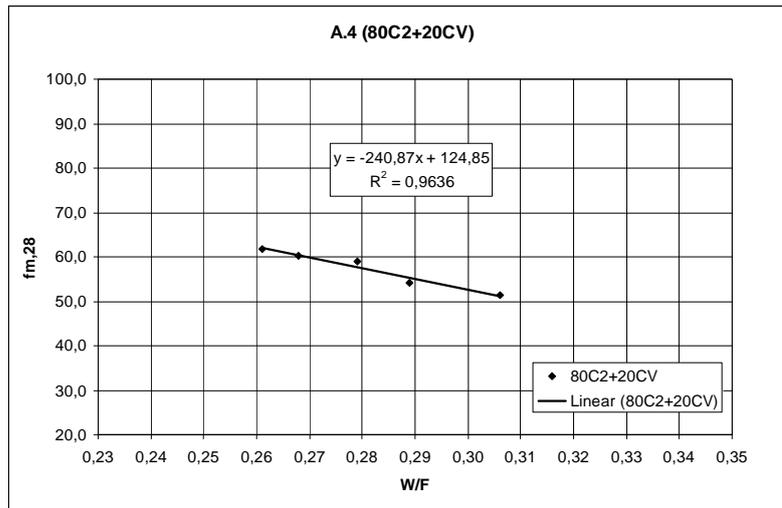


Figura 9.106 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.4

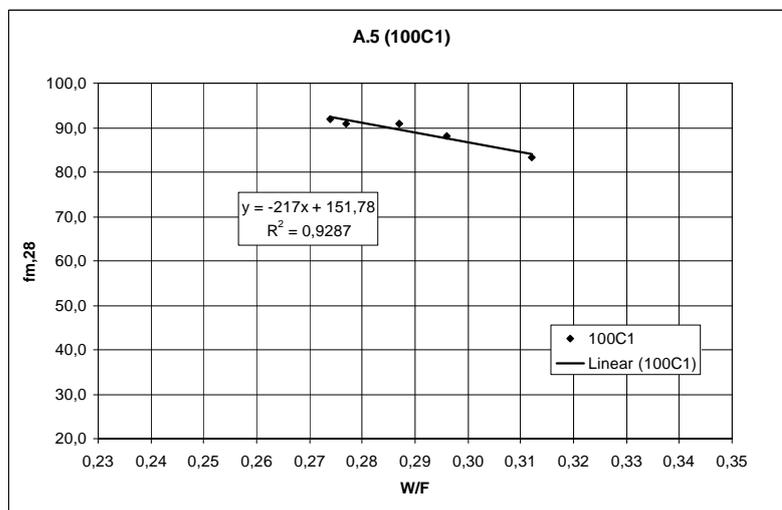


Figura 9.107 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.5

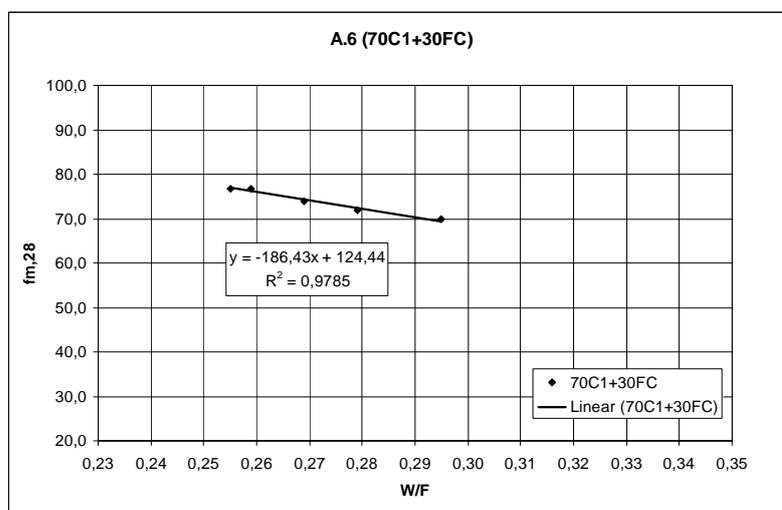


Figura 9.108 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.6

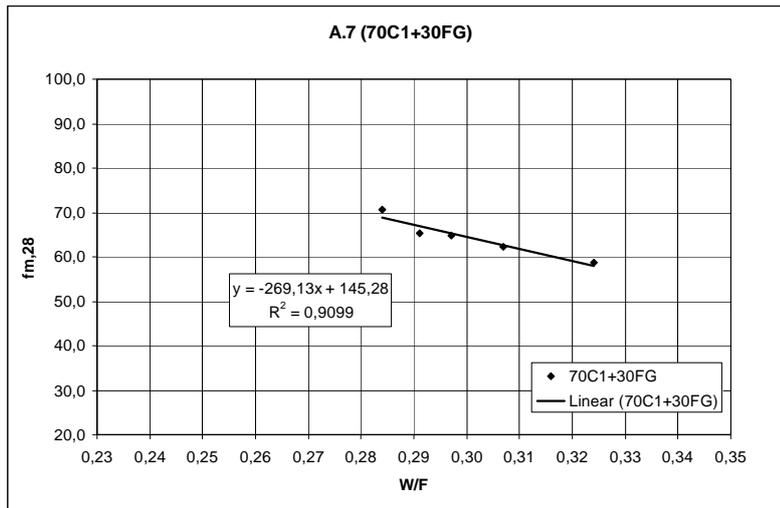


Figura 9.109 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.7

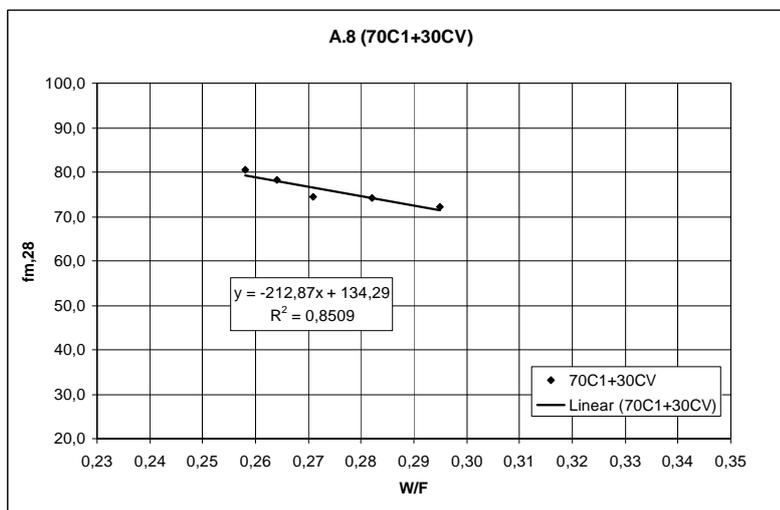


Figura 9.110 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.8

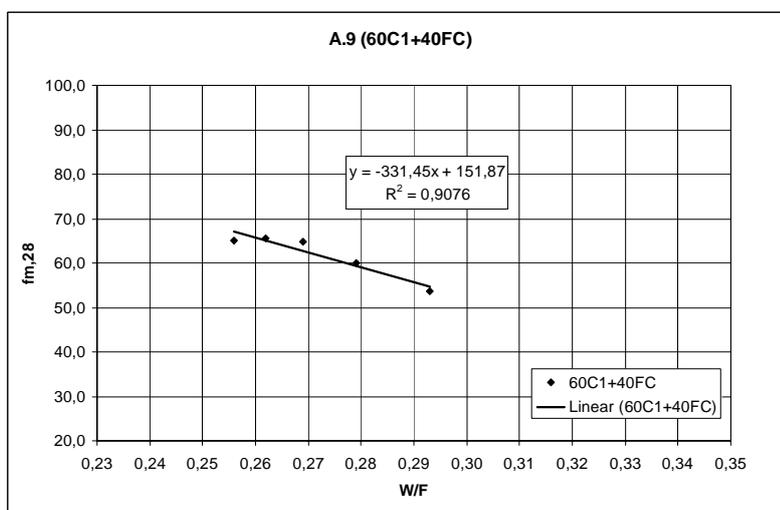


Figura 9.111 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.9

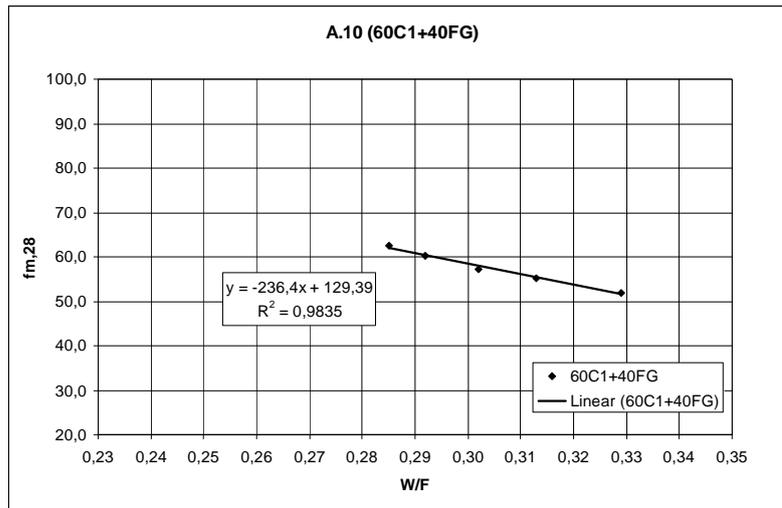


Figura 9.112 – Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A.10

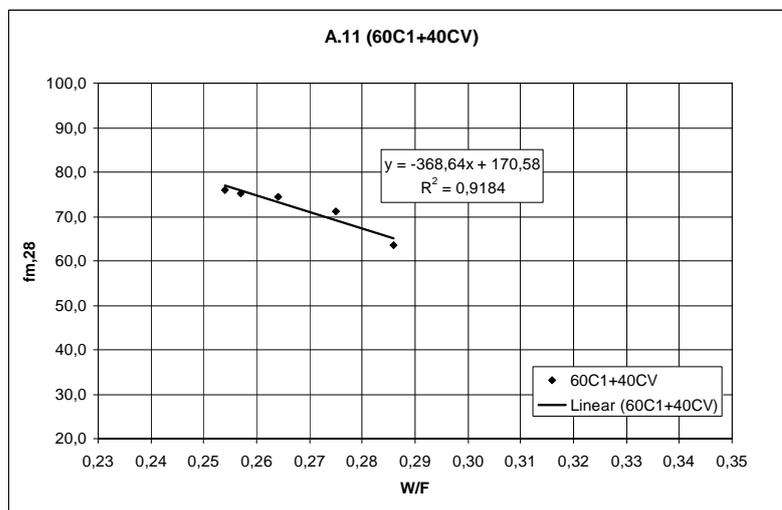


Figura 9.113 – Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A.11

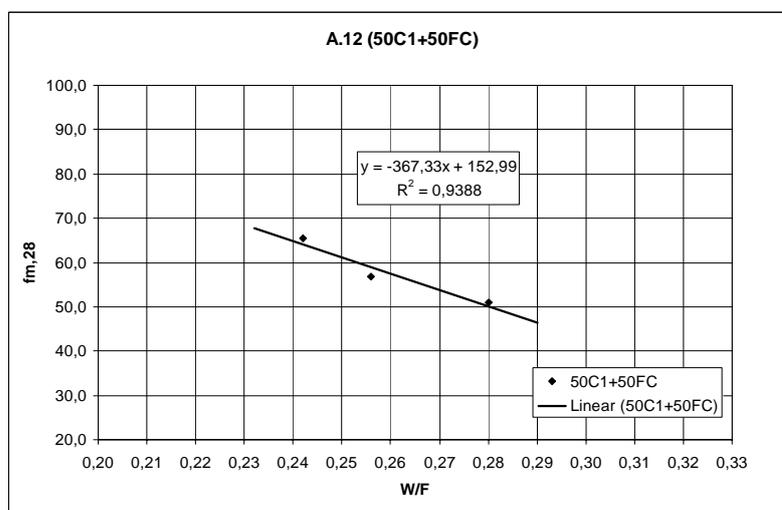


Figura 9.114 – Relação $f_{m,28}$ versus W/F para a família de argamassas A.12

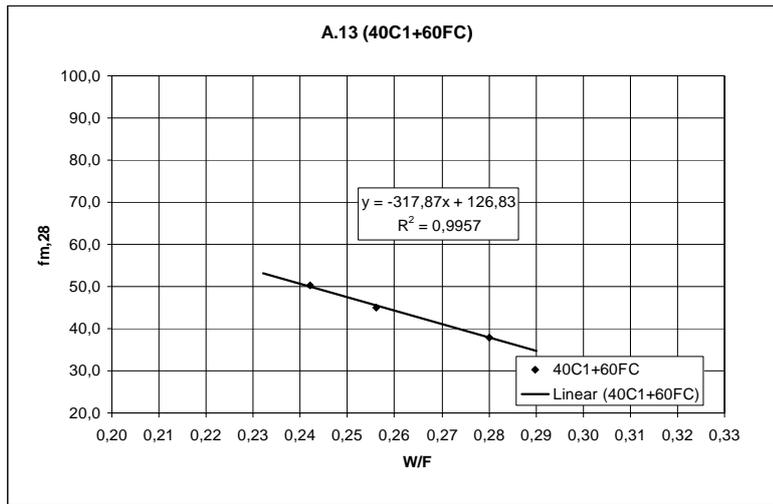


Figura 9.115 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.13

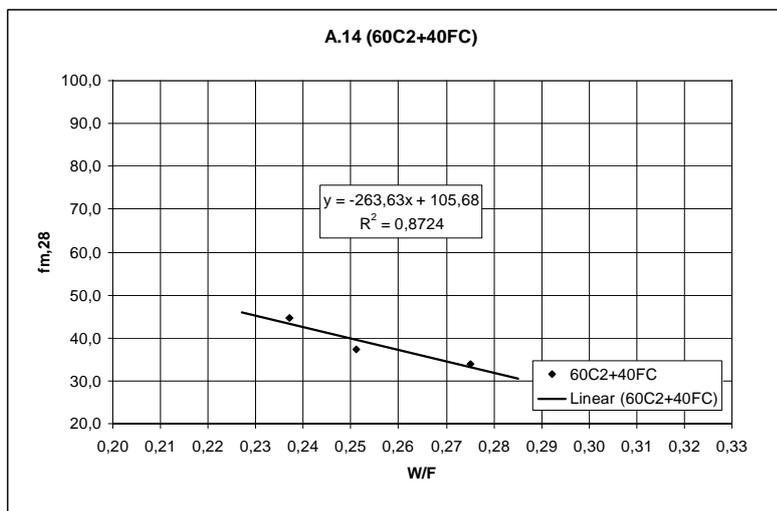


Figura 9.116 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.14

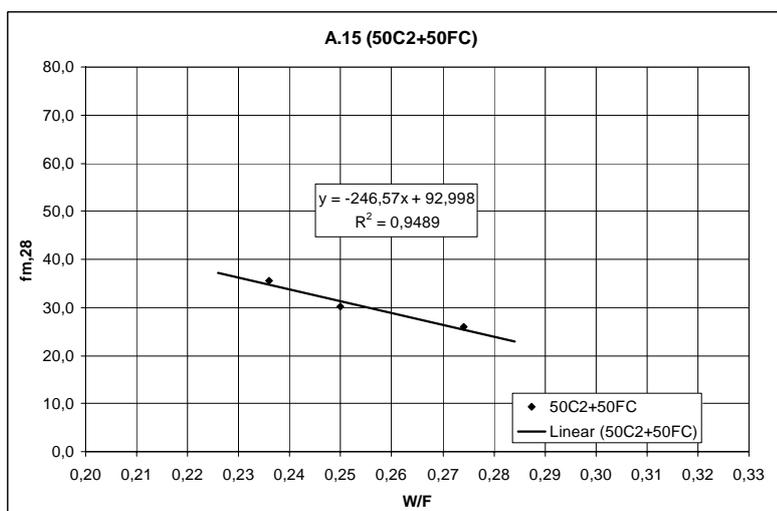


Figura 9.117 – Relação fm,28 versus W/F para a família de argamassas A.15

A sobreposição das correlações apresentadas da Figura 9.103 à Figura 9.117, conduz à obtenção da Figura 9.118 que a seguir se apresenta. Torna-se evidente, pela observação da Figura 9.118, que não existe nenhum padrão de comportamento geral semelhante àquele detectado para a razão W/C ou W/MC. Contudo, para cada família de argamassas, avaliada isoladamente, existe uma relação entre a resistência e a razão W/F.

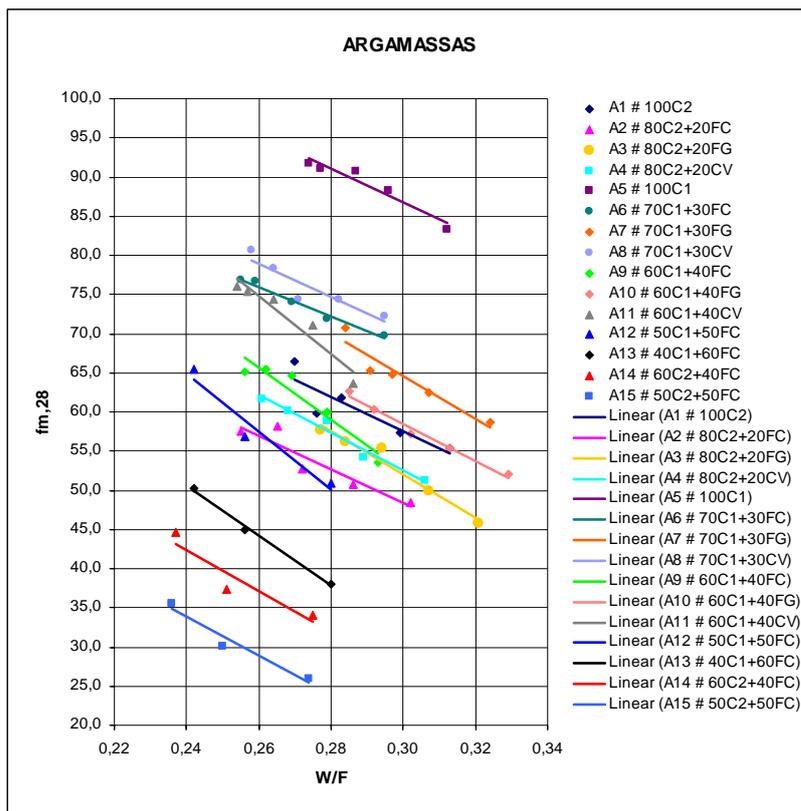


Figura 9.118 – Relação $f_{m,28}$ versus W/F para todas as famílias de argamassas

9.3.4 – A percentagem de substituição das adições

Um dos parâmetros chave da composição das argamassas assumidos inicialmente para o controle da resistência à compressão foi a “família de finos”. Este parâmetro pretende traduzir as proporções em volume absoluto dos vários componentes presentes na mistura de finos. Em misturas binárias, constituídas por um cimento e uma adição, é frequente indicar a percentagem de substituição do cimento pela adição como forma de definir a “família de finos”.

No caso concreto das misturas binárias avaliadas no presente trabalho, foi já referido que um aumento da percentagem de substituição do cimento pela adição conduz a uma redução da dosagem de cimento e, em consequência, a um aumento da razão água cimento. Se for possível, para um determinado tipo de cimento e adição previamente definidos, estabelecer uma relação entre a percentagem de substituição do cimento pela adição e a razão W/C, então será possível, indirectamente, a partir da razão W/C estimar a resistência à compressão. O procedimento inverso será igualmente admissível, ou seja, a partir da resistência é possível estimar a razão W/C e, a partir desta e do tipo de cimento e adição seleccionados, determinar a percentagem de substituição do cimento pela adição.

Na prossecução desse objectivo foram estabelecidas, para cada combinação entre o tipo de cimento e de adição utilizadas no presente trabalho, as correlações entre as percentagens de substituição do cimento pelas adições e as razões W/C obtidas. Porém, é sabido que o parâmetro V_p/V_s influencia a resistência à compressão e, indirectamente a razão W/C. Deste modo, a única forma de isolar este parâmetro foi estabelecer as referidas correlações para cada um dos valores de V_p/V_s utilizados. As correlações assim obtidas são apresentadas da Figura 9.119 à Figura 9.124.

As correlações acima referidas podem ser utilizadas em conjunto com a correlação previamente estabelecida entre a resistência e a razão W/C (Sub-Capítulo 9.3.2) para estimar a dosagem dos componentes de qualquer argamassa que inclua os dois tipos de cimento e as três adições estudadas neste trabalho. Uma vez seleccionados os materiais finos a utilizar e a gama de resistência pretendida é possível estimar a razão W/C e, a partir desta, estimar a percentagem de substituição adequada.

Ainda que seja utilizado um outro superplastificante, acredita-se que as variações produzidas nas dosagens de água de amassadura não serão suficientemente grandes para produzir alterações significativas nas razões W/C aqui apresentadas. Nesta situação, seleccionado o parâmetro V_p/V_s e estimada a percentagem de substituição conducente a determinada resistência, bastaria determinar experimentalmente as dosagens de água e superplastificante adequadas à obtenção das propriedades reológicas pretendidas.

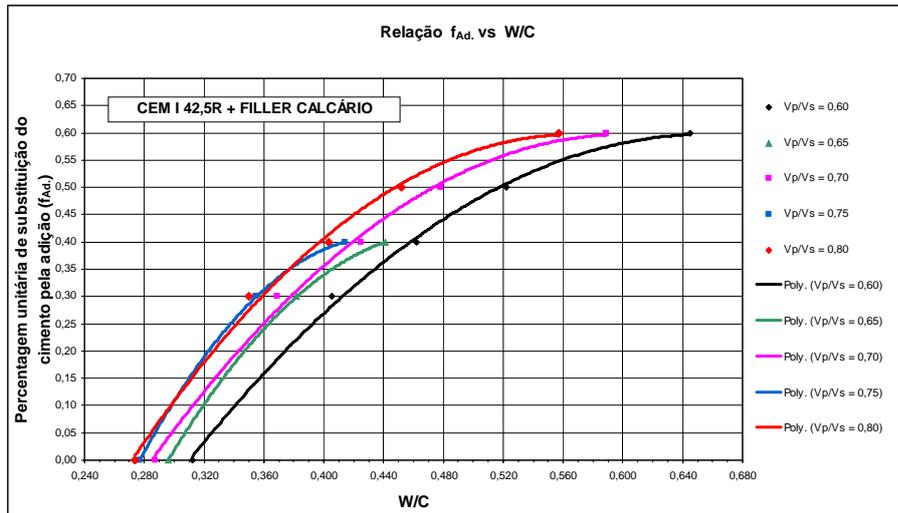


Figura 9.119 – Relação $f_{Ad.}$ versus W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filler calcário

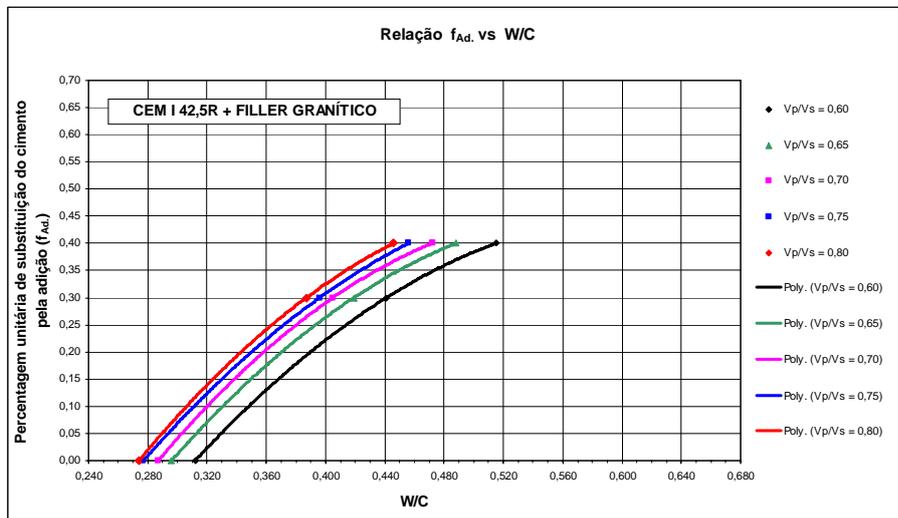


Figura 9.120 – Relação $f_{Ad.}$ versus W/C para as famílias com CEM I 42,5R e filler granítico

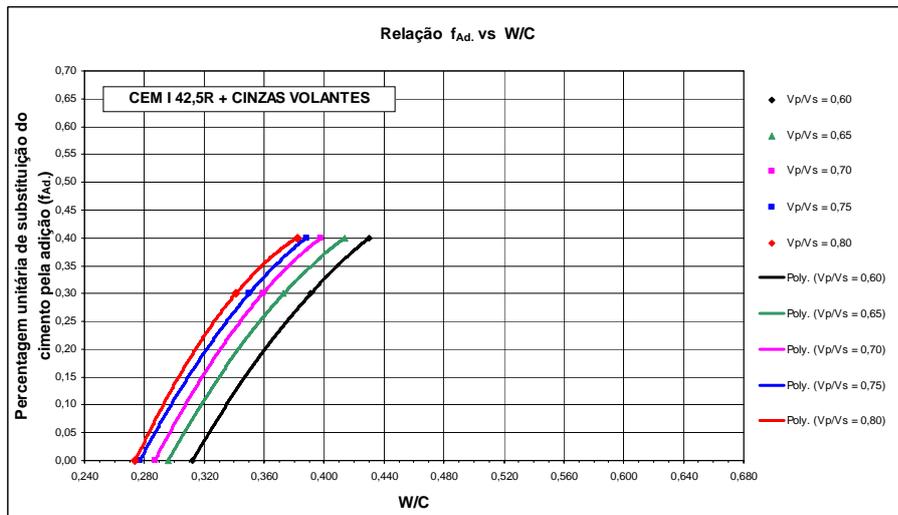


Figura 9.121 – Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes

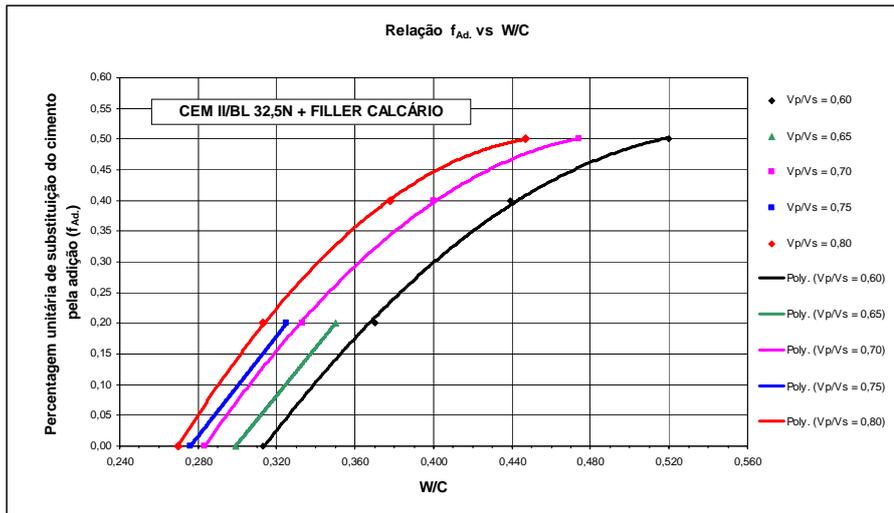


Figura 9.122 – Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e filler calcário

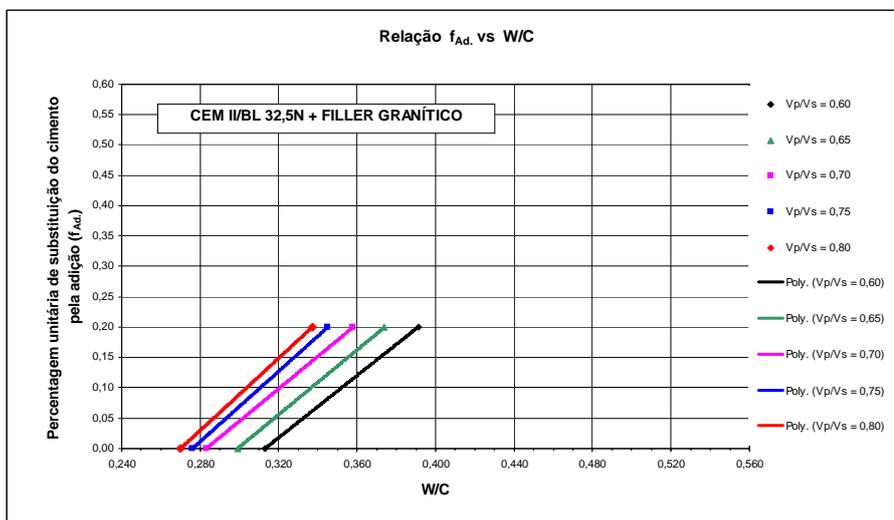


Figura 9.123 – Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e filler granítico

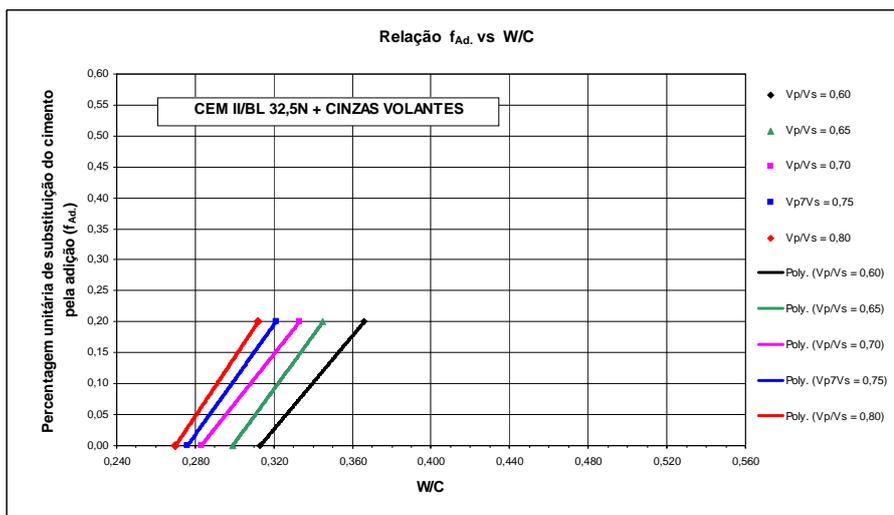


Figura 9.124 – Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e cinzas volantes

9.4 – Conclusões

As conclusões que a seguir se apresentam resultaram directamente da discussão relativa ao estudo das argamassas e devem por isso ser interpretadas à luz da metodologia adoptada na realização do presente trabalho. A par da metodologia adoptada, deverá igualmente considerar-se o tipo e dimensão dos equipamentos utilizados, os procedimentos de amassadura, os procedimentos de ensaio e a metodologia adoptada na análise e interpretação dos resultados em todas as suas fases.

Pelo exposto, na interpretação das conclusões que a seguir se apresentam, deverá observar-se que todas as argamassas utilizaram a mesma curva de referência dos agregados finos e apresentaram em comum sensivelmente o mesmo comportamento reológico, avaliado pelos ensaios de espalhamento e de fluidez. Basicamente, estas misturas diferiram entre si por combinarem diferentes associações de materiais finos (“família de finos”) com diferentes proporções entre o volume destes materiais e o volume de agregados finos (V_p/V_s). Foram estudadas associações binárias e ternárias de materiais finos, combinando diferentes proporções destes materiais, seleccionados de entre dois tipos de cimentos (CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R) e quatro adições (fíler calcário, fíler granítico, cinzas volantes e microsilica). As dosagens de água (V_w/V_p) e de superplastificante ($S_p/p\%$) foram determinadas utilizando uma nova metodologia para obtenção de misturas com o mesmo comportamento reológico, integralmente suportada por ensaios laboratoriais.

Para uma maior facilidade de interpretação, as conclusões relativas ao estudo das argamassas são estruturadas segundo a mesma sequência da discussão apresentada no decurso do presente trabalho. Assim, serão apresentadas, por esta ordem, as conclusões relativas aos materiais finos utilizados (em especial o fíler granítico), as conclusões quanto à metodologia adoptada, as conclusões resultantes da análise das misturas que incorporam associações binárias e ternárias de materiais finos, as conclusões relativas à correlação entre os diferentes parâmetros da composição das argamassas e, finalmente, as conclusões quanto à relação entre os parâmetros da mistura e as percentagens de substituição do cimento pelas adições.

Materiais

O fíler granítico foi introduzido neste trabalho a título experimental e os estudos realizados quanto à sua possível utilização na produção de betões auto-compactáveis devem ser entendidos, nesta fase, apenas como exploratórios. As conclusões que a seguir se apresentam resultaram da avaliação de alguns parâmetros físicos ou da análise comparativa com outras adições seleccionadas para este trabalho. Assim, em geral, podem ser referidas as seguintes conclusões:

- O fíler granítico revelou-se adequado em termos físicos como adição mineral;
- A massa volúmica do fíler granítico apresenta valores compatíveis com aqueles normalmente medidos em rochas de origem granítica. Por outro lado, a análise dos diagramas cumulativo e diferencial dos volumes das partículas em função da dimensão dos seus grãos, permite situar o fíler granítico no grupo dos materiais finos ($\varnothing < 0,075$ mm) ou, mais precisamente, no grupo das adições. A distribuição granulométrica do fíler granítico praticamente coincide com a curva granulométrica das cinzas volantes. O valor da superfície específica determinado para o fíler granítico enquadra-se perfeitamente na média dos valores obtidos nas restantes três adições avaliadas no presente trabalho (cinzas volantes, fíler calcário e microssílica);

Metodologia

Em termos de metodologia, para além da decisão de manter constante a curva de referência dos agregados finos, poderá referir-se o facto de ter sido introduzido um novo parâmetro de cálculo da composição das argamassas (V_p/V_s) e uma nova metodologia para obtenção de misturas com o mesmo comportamento reológico, integralmente suportada por ensaios laboratoriais. Assim, a este respeito poderão formular-se as seguintes conclusões:

- O parâmetro (V_p/V_s) revelou-se adequado como parâmetro de cálculo, na estreita medida em que permite controlar directamente a razão entre os volumes de materiais finos e de agregados finos da argamassa, independentemente das dosagens de água e de superplastificante associadas a cada “família de finos”;

- A metodologia utilizada na obtenção de argamassas com igual comportamento reológico, avaliado pelo ensaio de espalhamento e de fluidez, revelou-se adequada e suficientemente expedita para permitir o seu uso generalizado. Em média, é possível determinar os valores de (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$, adequados à obtenção de determinada capacidade e velocidade de deformação, apenas com o recurso a três ensaios laboratoriais em argamassas. Por outro lado, os resultados obtidos são os valores efectivamente medidos em laboratório e não valores estimados;

- Os valores estabelecidos para o intervalo de variação dos parâmetros reológicos revelaram-se adequados. Concretamente, o diâmetro médio de espalhamento (D_m) variou entre os 251mm e os 263 mm, enquanto que o tempo de escoamento no “Funil-V” (t) variou de 7,69s a 8,77s. Estes valores correspondem, respectivamente, a uma área de espalhamento relativa (G_m) situada entre os 5,3 e os 5,9 e a uma velocidade relativa de escoamento (R_m) entre $1,14s^{-1}$ e $1,30s^{-1}$;

- Na ausência de segregação e bloqueio das misturas, a utilização dos ensaios de espalhamento e de fluidez revelou-se suficientemente adequada para a obtenção de misturas com sensivelmente a mesma capacidade e velocidade de deformação.

Análise das misturas binárias

A análise das misturas binárias envolveu sobretudo a avaliação dos consumos de água e de superplastificante, face à variação dos restantes parâmetros das misturas. Estas misturas combinaram, em diferentes proporções, cada um dos cimentos (CEM II/B-L32,5N ou CEM I 42,5R) com cada uma das três adições minerais seleccionadas (fíler calcário, fíler granítico ou cinzas volantes). A este respeito, apresentam-se as seguintes conclusões:

- Em argamassas da mesma “família”, o volume absoluto de água de amassadura aumenta ligeiramente com o aumento do parâmetro (V_p/V_s) , ou seja, com o aumento da razão entre os volumes absolutos de materiais finos e de agregados finos;

- Para um mesmo valor de (V_p/V_s) , as famílias de argamassas cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento e aquelas em que este cimento foi substituído, em

parte, por fíler granítico, registaram os maiores consumos de água de amassadura, destacando-se claramente das argamassas em que o mesmo cimento foi parcialmente substituído por fíler calcário ou cinzas volantes. Por outro lado, parece evidenciar-se o facto de que os consumos de água das misturas com adições de fíler granítico igualam sempre o consumo de água das misturas só com cimento, independentemente da percentagem de substituição desse cimento por fíler granítico;

- Para um mesmo valor de (V_p/V_s) e igual percentagem de substituição do cimento pela adição, as misturas cujas adições são constituídas por fíler calcário ou por cinzas volantes apresentam valores inferiores de consumo de água de amassadura e relativamente próximos entre eles. Por outro lado, para estas adições, a dosagem de água de amassadura tende a reduzir com o aumento da percentagem de substituição desse cimento pela adição;

- Em argamassas da mesma “família” (mesma associação de finos), as dosagens em valor absoluto de superplastificante aumentam com o aumento do parâmetro (V_p/V_s) , ou seja, com o aumento da proporção entre o volume absoluto de materiais finos e o volume absoluto de agregados finos;

- Para um mesmo cimento e igual valor de (V_p/V_s) , as famílias de argamassas com a mesma percentagem de substituição do cimento pela adição revelaram consumos médios de superplastificante similares, independentemente do tipo de adição: cinzas volantes, fíler calcário e fíler granítico. O maior consumo de superplastificante foi sempre obtido nas famílias de argamassas de referência constituídas apenas por esse cimento;

- Como se referiu, para um mesmo cimento e igual valor de (V_p/V_s) , as famílias de argamassas com a mesma percentagem de substituição do cimento por fíler calcário ou por fíler granítico revelaram idênticos consumos de superplastificante (à base de policarboxilatos modificados). Estes resultados contrariam aqueles obtidos por Ho et al. [28] que apontavam para um aumento do consumo de superplastificante (à base de policarboxilatos) nas misturas com fíler granítico, comparativamente às misturas com fíler calcário, em igualdade de comportamento reológico. Importa a este respeito salientar que o fíler granítico utilizado por Ho et al. resultou do processo de britagem de rochas graníticas e, segundo os autores,

este material apresentava partículas achatadas e alongadas e, para além disso, apresentava maior finura que o fíler calcário. Por outro lado, a igualdade de comportamento reológico foi avaliada utilizando um reómetro coaxial cilíndrico, sendo a dosagem de superplastificante obtida para uma tensão de corte próxima de zero em pastas.

- Para um mesmo valor de (V_p/V_s) , um mesmo cimento e uma mesma adição, torna-se evidente que o consumo de superplastificante diminui com o aumento da percentagem de substituição desse cimento pela adição, sempre que essa adição seja constituída por fíler calcário, fíler granítico ou cinzas volantes;

- Para cada tipo de cimento, existe uma correlação geral entre a sua dosagem em valor absoluto (expressa em kg) e o valor absoluto do consumo de superplastificante (expresso em litros). Contudo, parece evidenciar-se o facto de que esta correlação depende também do tipo e natureza do superplastificante usado.

Análise das misturas ternárias

Foram analisados os consumos de água e de superplastificante face à variação dos restantes parâmetros das argamassas, à excepção do parâmetro (V_p/V_s) que assumiu um valor fixo de 0,80 em todas as misturas. Estas misturas combinaram, em diferentes proporções, o cimento do tipo CEM I 42,5R com duas adições minerais. A adição de microsilica esteve sempre presente, sendo a segunda adição constituída por fíler calcário, fíler granítico ou cinzas volantes. A respeito das misturas ternárias concluiu-se o seguinte:

- Em igualdade de percentagem de substituição do cimento pelas adições, as misturas ternárias que incorporaram fíler granítico foram aquelas que consumiram maiores dosagens de água, destacando-se claramente das misturas que incorporaram fíler calcário ou cinzas volantes, que apresentaram valores mais baixos e próximos entre si. Contudo, em geral, os consumos de água reduziram ligeiramente face às misturas binárias;

- A introdução de microsilica em associações binárias ou ternárias de materiais finos, ainda que em quantidades muito pequenas (volume < 5%), conduziu a um aumento muito significativo da dosagem de superplastificante face a misturas sem microsilica;

- Para além de ser inviável a utilização de dosagens de superplastificante tão elevadas, resultou também, em consequência, um aumento significativo da razão $(W+Sp)/C$, impossibilitando a obtenção de betões de elevada resistência. Nesta medida, não se justifica a introdução de microssílica na composição de betões auto-compactáveis, em associações binárias ou ternárias de materiais finos, para se obter elevadas resistências à compressão;

- Na mistura binária de referência em que o cimento foi substituído em 7% por microssílica e $(Vp/Vs=0,80)$, registou-se um consumo de superplastificante 2,78 vezes superior àquele obtido na mistura padrão só com cimento e 5,52 vezes superior àquele registado na mistura binária em que o cimento foi substituído em 40% por fíler calcário;

- Em misturas ternárias de 56% de cimento CEM I 42,5R, 4% de microssílica e 40% de fíler calcário, o consumo de superplastificante foi da ordem de 37% daquele obtido na mistura binária com 93% de CEM I 42,5R e 7% de microssílica e foi, ainda assim, o dobro do valor obtido na mistura binária com 60% de CEM I 42,5R e 40% de fíler calcário;

Correlação entre os parâmetros da composição das argamassas

A análise da correlação entre os diferentes parâmetros da composição das argamassas diz respeito apenas às associações binárias de materiais finos, incluindo nestas as misturas de referências cujos materiais finos são constituídos apenas por cimento. As conclusões relativas a esta análise são a seguir apresentadas:

- Para cada “família” de argamassas, o aumento do parâmetro (Vp/Vs) conduz a menores razões volumétricas entre o volume absoluto de água e o volume absoluto de materiais finos, traduzido pela razão (Vw/Vp) . Efectivamente, apesar do aumento de (Vp/Vs) conduzir simultaneamente ao aumento de (Vp) e de (Vw) , o aumento de (Vw) , é sempre proporcionalmente muito inferior ao aumento da dosagem de materiais finos (Vp) , o que conduz a uma diminuição de Vw/Vp com o aumento de (Vp/Vs) ;

- Para um mesmo valor de (Vp/Vs) e comparando as “famílias” de argamassas com o mesmo tipo de cimento e de adição, a razão (Vw/Vp) diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento por essa adição. Efectivamente, para um mesmo

valor de (V_p/V_s) , a dosagem de materiais finos (V_p) permanece razoavelmente constante. Por outro lado, ao aumentar a percentagem de substituição do cimento pela adição ocorre uma diminuição da dosagem de água. Nestas condições, o aumento da percentagem de substituição conduz a uma redução da razão (V_w/V_p) ;

- Para cada “família” de argamassas, a dosagem de superplastificante, expressa pelo parâmetro $(S_p/p\%)$, não sofre alterações muito significativas com a variação de (V_w/V_p) , ou indirectamente, com a variação de (V_p/V_s) . Note-se, porém, que este facto em nada contraria a conclusão antes apresentada, relativamente ao aumento da dosagem de superplastificante em volume absoluto face ao aumento de (V_p/V_s) . Efectivamente, se perante um aumento de (V_p/V_s) , o volume de materiais finos (V_p) aumenta e a percentagem de superplastificante $(S_p/p\%)$ permanece razoavelmente constante, isto significa que se obtêm dosagens crescentes de superplastificante em volume absoluto com o aumento do parâmetro (V_p/V_s) , tal como anteriormente se observou;

- Para misturas com o mesmo valor de (V_p/V_s) , o mesmo tipo de cimento e o mesmo tipo de adição, verifica-se que a dosagem de superplastificante, expressa pelo parâmetro $(S_p/p\%)$, tende a diminuir quando se aumenta a percentagem de substituição do cimento pela adição;

- Não foram detectadas correlações de âmbito geral entre os parâmetros intervenientes (V_p/V_s) , (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$. Contudo, detectou-se um padrão de comportamento comum a todas as famílias de argamassas no que respeita à forma das equações estabelecidas. Esse padrão de comportamento parece ser independente do tipo de cimento, do tipo de adições utilizadas, ou mesmo, do facto do superplastificante ser proveniente da primeira ou da segunda remessa.

Parâmetros correlacionados com a resistência

A análise dos parâmetros correlacionados com a resistência foi efectuada para as misturas binárias e para as misturas de referência que utilizaram apenas cimento. As conclusões obtidas foram as seguintes:

- Para cada “família de argamassas”, existe uma boa relação entre o parâmetro (V_p/V_s) e a resistência à compressão. Concretamente, a resistência à compressão aumenta com o aumento da razão (V_p/V_s). Efectivamente, perante um aumento do parâmetro (V_p/V_s), verificou-se que o aumento da dosagem de cimento foi sempre proporcionalmente muito superior ao aumento da dosagem de água, resultando em consequência uma razão W/C menor, que conduziu ao aumento da resistência;

- As diferentes equações lineares, que representam a correlação entre a resistência à compressão e o parâmetro (V_p/V_s) das diferentes “famílias de argamassas”, mostram entre si um padrão de comportamento comum, que se traduz em valores próximos da inclinação dessas rectas. Este padrão de comportamento é independente do tipo de cimento, do tipo de adição, da percentagem de substituição, ou mesmo, do facto do superplastificante ser da primeira ou da segunda remessa. A gama de variação relativa da resistência à compressão em cada “família de argamassas” situa-se em média nos 10 MPa, quando o parâmetro (V_p/V_s) varia de 0,60 a 0,80;

- A resistência à compressão das argamassas que incorporam o mesmo tipo de cimento diminui com o aumento da razão W/C em massa. Efectivamente, os resultados obtidos evidenciam a existência de um padrão de comportamento geral extensível a todas as “famílias de argamassas”, diferenciado apenas pelo tipo de cimento. Significa isto, que a correlação entre a resistência à compressão e a razão W/C parece depender apenas do tipo de ligante, já que não se detectaram diferenças face ao tipo e dosagem das adições, ou mesmo, do facto do superplastificante ser da primeira ou da segunda remessa;

- A resistência à compressão das argamassas que incorporam a mesma associação de materiais cimentícios diminui com o aumento da razão W/MC. À semelhança da razão W/C existe um padrão de comportamento geral extensível a todas as “famílias de argamassas”, diferenciado, neste caso, para cada associação de materiais cimentícios;

- Para cada “família de argamassas”, avaliada isoladamente, a resistência à compressão diminui com o aumento da razão W/F. Não existe, neste caso, nenhum padrão de comportamento geral semelhante àquele detectado para a razão W/C ou W/MC.

A percentagem de substituição do cimento pela adição

A relação entre a percentagem de substituição do cimento pela adição e os parâmetros da argamassa, foi efectuada para as misturas binárias e para as misturas de referência que utilizaram apenas cimento. As conclusões obtidas foram as seguintes:

- Em associações binárias entre um determinado cimento e uma determinada adição, é possível estabelecer-se uma boa correlação entre a razão W/C e a percentagem de substituição do cimento pela adição, quando o valor de (V_p/V_s) permanece constante;

- Indirectamente, poderá igualmente concluir-se que, uma vez seleccionados os materiais finos a utilizar (cimento e adição) e a gama de resistências pretendida, é possível estimar a razão W/C e, a partir desta e do parâmetro (V_p/V_s) , estimar a percentagem de substituição adequada.

**DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS
NO ESTUDO DOS BETÕES**

CAPÍTULO 10 – DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DOS BETÕES

10.1 – Introdução

A discussão dos resultados que se apresenta neste Capítulo reporta-se à última etapa do programa experimental, que envolve a utilização das argamassas estudadas na fase anterior na produção de betões auto-compactáveis. Nesta perspectiva, a abordagem proposta para este trabalho define o betão auto-compactável como sendo constituído por um determinado volume de argamassa, um determinado volume de agregados grossos e um determinado volume de vazios. A metodologia adoptada no presente trabalho assumiu para o estudo dos betões, que o volume de vazios e as características dos agregados grossos seriam mantidos constantes em todas as amassaduras produzidas, pelo que as propriedades do betão auto-compactável, quer no estado fresco, quer no estado endurecido, passam a depender basicamente das propriedades da matriz argamassa e do volume de agregados grossos dispersos nessa matriz.

As propriedades da matriz argamassa foram estudadas na fase anterior, sendo, à partida, adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis. No estado fresco, todas elas apresentam em comum o facto de possuírem sensivelmente as mesmas propriedades reológicas, enquanto que no estado endurecido se distinguem por apresentarem resistências à compressão diferentes aos 28 dias de idade, abrangendo uma gama que varia sensivelmente entre os 25 MPa e os 95 MPa. Em consequência, se as características e o volume de agregados grossos do betão que incorpora estas argamassas for adequado, será possível produzir betões auto-compactáveis com a adequada trabalhabilidade e diferentes níveis de resistência. No presente trabalho, optou-se por contabilizar o volume de agregados grossos de forma indirecta a partir do parâmetro V_m/V_g , que representa a razão em volume absoluto entre as dosagens de argamassa e de agregados grossos.

No total foram produzidas 60 misturas de betão combinando o parâmetro V_m/V_g com os parâmetros das argamassas, os quais são também utilizados directamente no cálculo dos betões, nomeadamente, a “família de finos”, V_p/V_s , V_w/V_p e $Sp/p\%$. Os resultados obtidos foram já apresentados no Capítulo 8 e a análise destes dados permitiu obter uma quantidade relevante de informação. A discussão relativa às propriedades do betão no estado fresco é apresentada no Sub-Capítulo 10.2, enquanto que a discussão relativa às propriedades do betão no estado endurecido é apresentada no Sub-Capítulo 10.3. No Sub-Capítulo 10.4 são apresentadas as conclusões relativas ao estudo dos betões.

10.2 – Propriedades dos betões no estado fresco

10.2.1 – Generalidades

Em termos mecânicos a auto-compactabilidade está relacionada com a reologia do betão fresco, enquanto que em termos de manuseamento na prática está relacionada com os parâmetros de trabalhabilidade. Dito de outra forma, a trabalhabilidade traduz implicitamente as propriedades reológicas mas avalia ao mesmo tempo outras propriedades do betão auto-compactável que incluem a capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem. O cumprimento de determinados parâmetros reológicos é condição necessária mas não suficiente para garantir a auto-compactabilidade dos betões. Pelo contrário, o cumprimento de determinados parâmetros de trabalhabilidade, que sendo um conceito mais vasto implica o cumprimento de exigências específicas de cada situação particular, por exemplo o espaçamento entre armaduras, conduz necessariamente à obtenção da auto-compactabilidade.

A avaliação da reologia do betão fresco auto-compactável compreende dois parâmetros que se traduzem na tensão de corte e na viscosidade plástica, cuja quantificação pode ser feita laboratorialmente e de forma isolada através do uso de reómetros. Contrariamente, a quantificação dos parâmetros de trabalhabilidade não pode ser efectuada de forma isolada para a capacidade de enchimento, resistência à segregação

ou capacidade de passagem, já que os ensaios actualmente existentes - de que são exemplos o ensaio de espalhamento, o ensaio de fluidez e os ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” - reflectem uma sobreposição não muito bem definida entre as várias exigências funcionais e implicitamente incluem as propriedades reológicas. Regra geral, seria útil impor-se a verificação de determinados parâmetros reológicos antes de se prosseguir com a verificação dos parâmetros de trabalhabilidade.

Na ausência de reómetros, como sucede no trabalho experimental que aqui se apresenta, foi proposta uma abordagem que pressupõe apenas a utilização criteriosa dos ensaios seleccionados para este trabalho. Concretamente, essa abordagem propõe que os parâmetros reológicos sejam avaliados indirectamente através dos ensaios de espalhamento e de fluidez, à semelhança das argamassas. Efectivamente, o ensaio de espalhamento avalia a capacidade de deformação e, desde que não ocorra segregação da mistura, esta propriedade está estreitamente relacionada com a tensão de corte [78]. Por outro lado, o ensaio de fluidez realizado com o “Funil-V” avalia a velocidade do escoamento e, na ausência de bloqueio, esta propriedade está estreitamente relacionada com a viscosidade plástica. Uma vez garantido o adequado comportamento reológico das misturas, avaliado através dos ensaios de espalhamento e de fluidez, procede-se aos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” para avaliar as exigências funcionais quanto à auto-compactabilidade.

Em virtude da abordagem efectuada optou-se por subdividir a avaliação das propriedades do betão no estado fresco em dois Sub-Capítulos. No Sub-Capítulo 10.2.2 são avaliadas as propriedades reológicas, enquanto que no Sub-Capítulo 10.2.3 é avaliada a auto-compactabilidade.

10.2.2 – Propriedades reológicas

Se a dimensão e a quantidade de agregados grossos não for muito grande, e se não ocorrerem fenómenos de segregação no ensaio de espalhamento e de bloqueio no ensaio de fluidez, as propriedades reológicas dos betões reflectem bem as propriedades reológicas das argamassas. Este pressuposto esteve certamente subjacente aquando da

quantificação das propriedades reológicas das argamassas adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis. Contudo, é necessário ter em consideração que as propriedades adequadas das argamassas foram definidas tendo como principal referência os trabalhos realizados pelo grupo de investigação do Professor Okamura [11, 35, 47, 51], cuja proposta de cálculo de betões auto-compactáveis se baseia na utilização de um determinado volume de agregados (finos e grossos), que em geral permanece razoavelmente constante. Nesse sentido, qualquer pequena variação no volume destes materiais poderá significar a eventual necessidade de pequenos ajustamentos nas dosagens de água e de superplastificante para adequar as propriedades das argamassas que incorporam os betões auto-compactáveis.

Nos itens seguintes serão avaliadas as correcções efectuadas nas misturas e serão avaliadas as propriedades reológicas dos betões produzidos neste trabalho experimental.

Correcções das dosagens de água e superplastificante

As correcções das dosagens de água e de superplastificante, necessárias ao acerto da reologia das misturas de betão produzidas, foram apresentadas no Quadro 8.37 e são representadas graficamente na Figura 10.1. Em média, por cada metro cúbico de betão, foi necessário adicionar uma quantidade de água da ordem de 1,13 litros e uma quantidade de superplastificante da ordem de 1,50 litros. As correcções das dosagens de água são praticamente insignificantes, enquanto que as correcções das dosagens de superplastificante assumem alguma relevância em termos percentuais. Contudo, o aumento da componente líquida das misturas, resultado da soma de água e de superplastificante, não atinge valores que possam alterar significativamente as propriedades do betão endurecido, já que a variação das razões água/cimento são quase insignificantes.

Tendo ainda por referência os elementos apresentados no Quadro 8.37, foram elaborados os gráficos que se ilustram nas Figuras 10.2 e 10.3 representando, respectivamente, as dosagens efectivas de água e de superplastificante. A influência destas dosagens na auto-compactabilidade será avaliada posteriormente, juntamente com a avaliação da influência resultante dos restantes parâmetros da mistura.

Figura 10.1 – Correções das dosagens de água de amassadura e de superplastificante

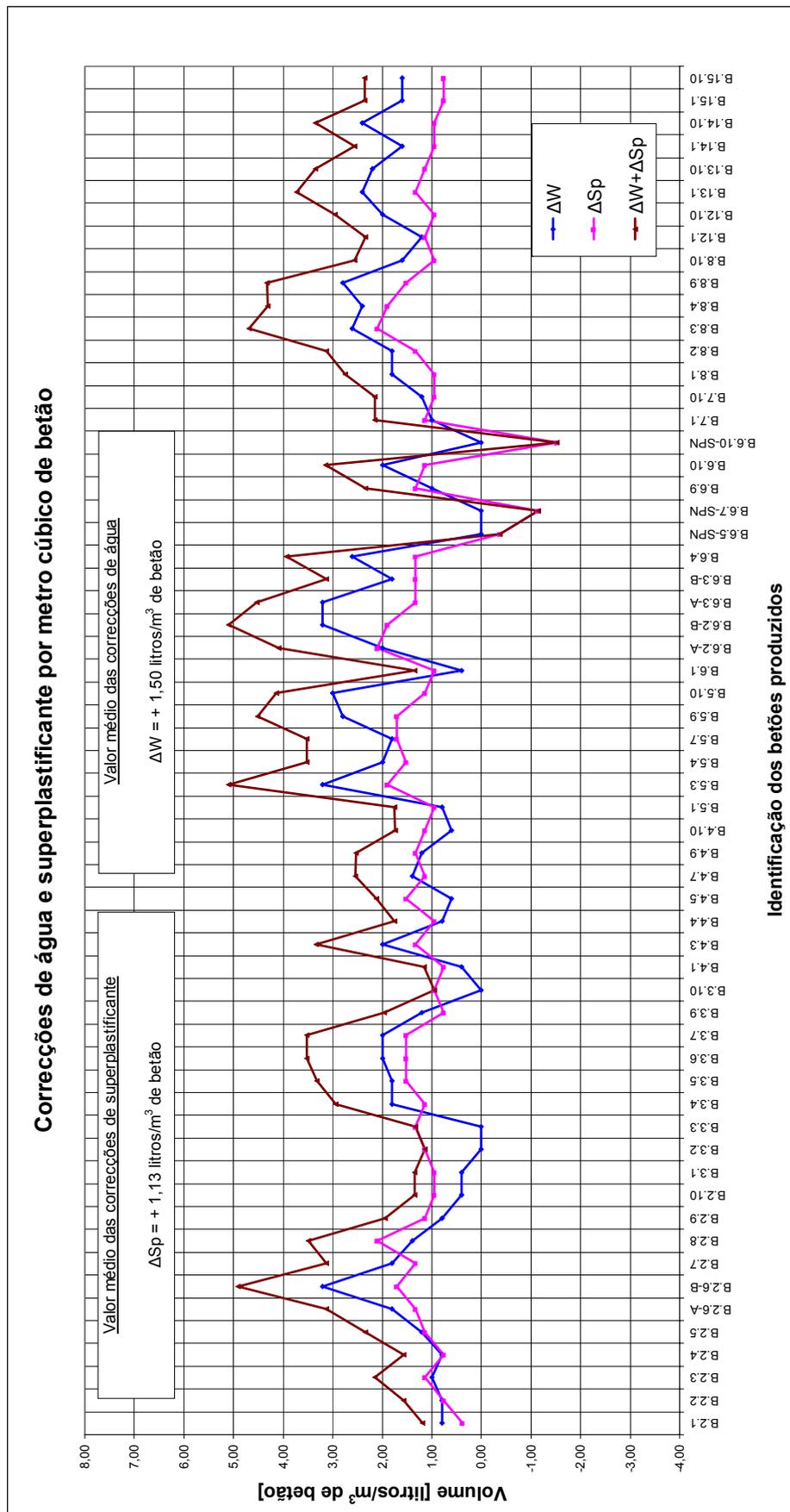


Figura 10.2 – Dosagens efectivas de água de amassadura por metro cúbico de betão

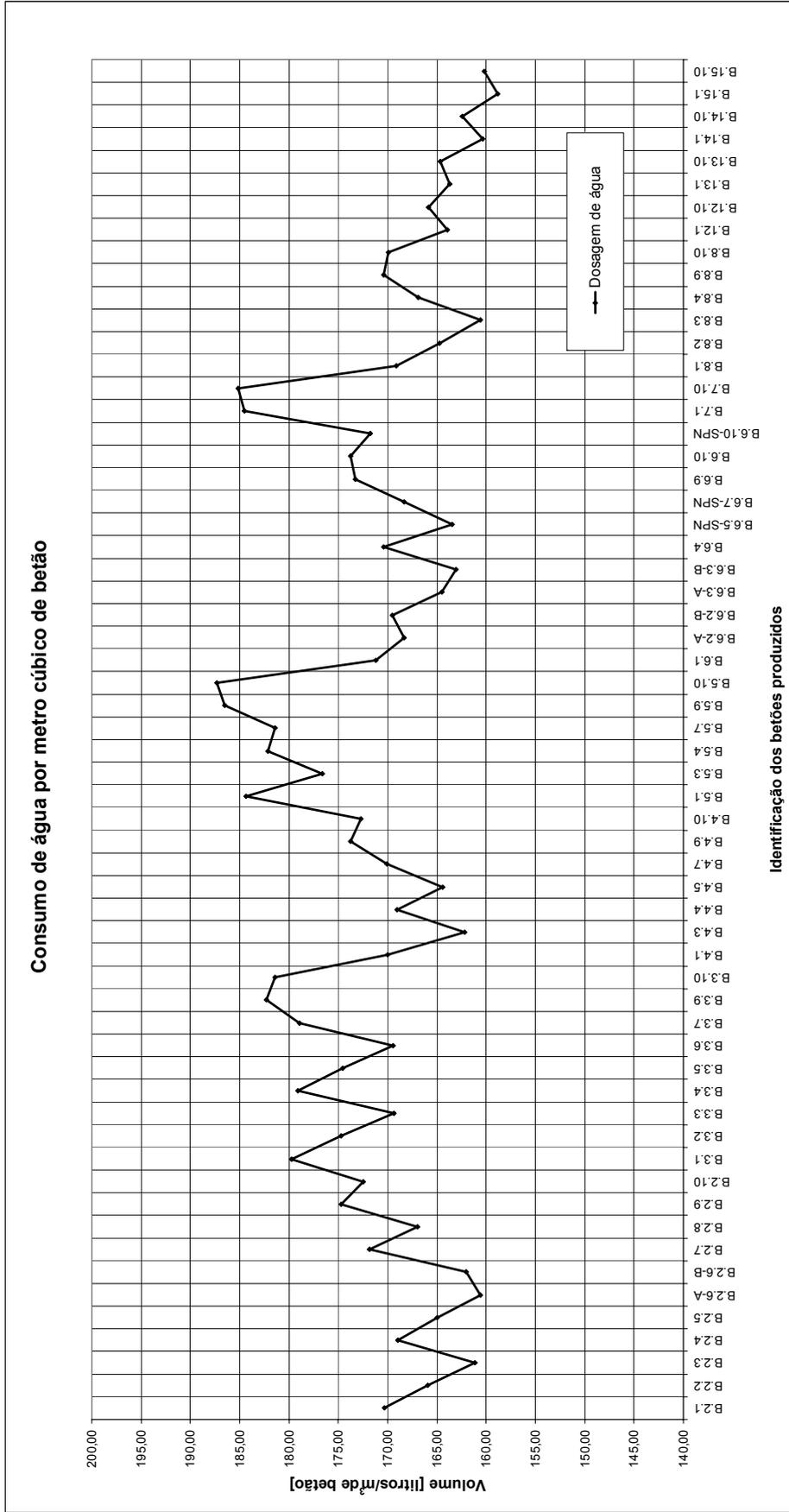
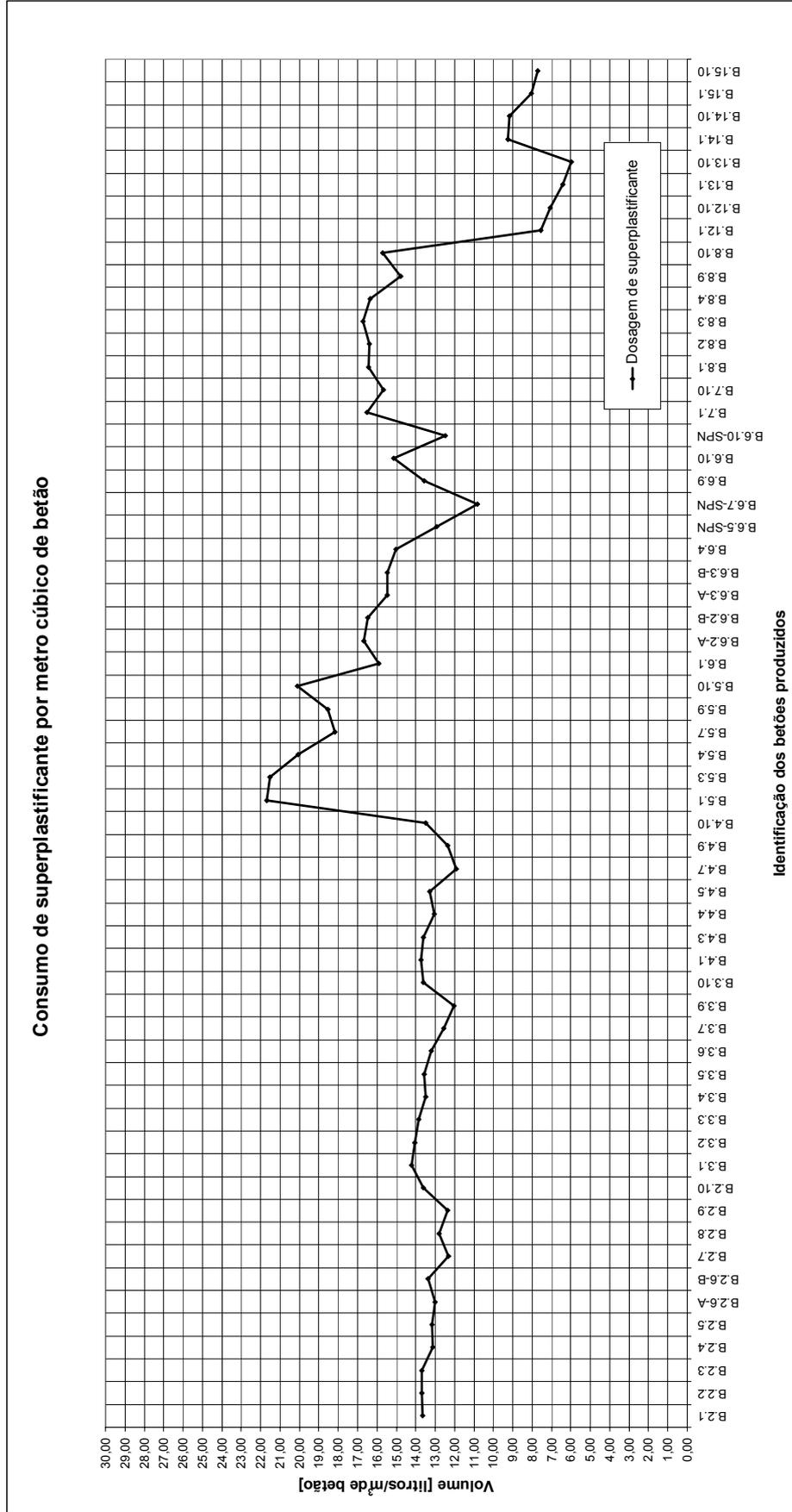


Figura 10.3 – Dosagens efectivas de superplastificante por metro cúbico de betão



Análise dos parâmetros reológicos

A avaliação dos parâmetros reológicos de cada amassadura de betão produzida é efectuada através dos ensaios de espalhamento e de fluidez, expressos, respectivamente, pela de área de espalhamento relativa (G_c) e pela velocidade relativa de escoamento (R_c).

Tendo por base os elementos apresentados do Quadro 8.38 ao Quadro 8.48, referentes à análise das propriedades no estado fresco dos betões produzidos, foi elaborado o gráfico que se apresenta na Figura 10.4, representando em abcissas a área de espalhamento relativa (G_c) e em ordenadas a velocidade relativa de escoamento (R_c). No mesmo gráfico é representado a traço interrompido de cor vermelha o alvo definido para as propriedades reológicas do presente trabalho experimental, tal como descrito no Sub-Capítulo 7.6.3.3 (Definição do comportamento reológico pretendido).

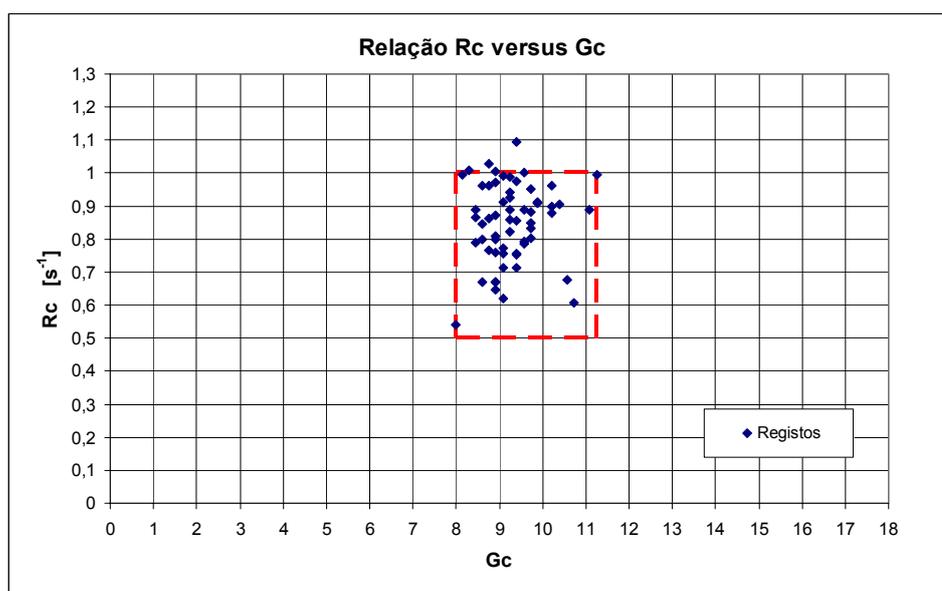


Figura 10.4 – Propriedades reológicas da totalidade dos betões produzidos

A análise da Figura 10.4 permite constatar que a quase totalidade dos betões produzidos cumpriu rigorosamente os parâmetros reológicos impostos inicialmente. Mesmo no caso em que se verificou um pequeno afastamento, a sua ordem de grandeza pode ser considerada pouco significativa.

Uma outra conclusão relevante se pode inferir a partir da observação da Figura 10.4, e diz respeito à relação entre o comportamento reológico das argamassas e o comportamento reológico dos betões correspondentes. Efectivamente, salvo os pequenos ajustamentos de água e de superplastificante introduzidos nas misturas, poderá afirmar-se inequivocamente que as propriedades reológicas definidas neste trabalho para a fase argamassa se revelaram adequadas à obtenção das propriedades reológicas pretendidas para os betões. Deverá salientar-se, no entanto, que esta correspondência é efectiva em termos das propriedades reológicas, o que não significa necessariamente a garantia de obtenção de auto-compactabilidade. Uma condição certamente preponderante para a correspondência verificada entre os parâmetros reológicos medidos nas argamassas e aqueles medidos nos betões prende-se com o facto de não se ter detectado qualquer fenómeno de segregação no ensaio de espalhamento, nem qualquer fenómeno de bloqueio no ensaio de fluidez, em todas as misturas produzidas.

Importa ainda referir, a respeito da correspondência entre as propriedades reológicas das argamassas e dos betões, que esta ocorreu independentemente dos valores assumidos para os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , seleccionados de entre a gama de valores proposta para este trabalho. Isto significa apenas, que o betão cumpriu a primeira exigência funcional respeitante à reologia que, apesar de ser indispensável, é contudo menos restritiva. Os requisitos de auto-compactabilidade, considerados mais restritivos, constituem a segunda exigência funcional e, neste caso, como se verá posteriormente, os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g adquirem uma relevância mais significativa.

Outras medições relacionadas com os parâmetros reológicos

Na última década têm sido analisadas e propostas diferentes soluções para avaliar a trabalhabilidade dos betões frescos auto-compactáveis e têm sido realizadas algumas tentativas para reduzir o número de ensaios necessários a uma completa avaliação do betão fresco. Por exemplo, o tempo que o betão demora a atingir um diâmetro de 50 cm no ensaio de espalhamento (T50), ou o tempo que o betão demora a percorrer uma distância de 40 cm

no ensaio da “Caixa-L” (T40), têm sido sugeridos como possível alternativa à medição do tempo de escoamento (t) no “Funil-V”.

A relação entre os parâmetros t, T50 e T40, ou entre estes e a viscosidade plástica dos betões, é complexa. A este respeito tem sido referido que quaisquer dos parâmetros t, T50 ou T40, são afectados pelo valor do diâmetro de espalhamento e que nestes ensaios a viscosidade não pode ser avaliada independentemente da capacidade de deformação, a menos que o diâmetro de espalhamento permaneça razoavelmente constante [78]. Por outro lado, a medição dos parâmetros t, T50 ou T40 é realizada em equipamentos diferentes, com diferentes restrições ao escoamento e diferentes geometrias do fluxo do betão, o que pode conduzir a diferenças na interacção entre as partículas dos agregados e influenciar as correlações entre os parâmetros t, T50 e T40.

A análise experimental realizada no presente trabalho contemplou a medição dos parâmetros t, T50 e T40 e os resultados obtidos nestas medições foram apresentados do Quadro 8.38 ao Quadro 8.48. Com base nesses resultados elaboraram-se os gráficos que se apresentam nas Figuras 10.5 e 10.6. A Figura 10.5 ilustra a relação entre os tempos de escoamento medidos no ensaio de fluidez (t) e no ensaio de espalhamento (T50), enquanto que a Figura 10.6 mostra a relação entre os tempos de escoamento medidos no ensaio de fluidez (t) e no ensaio da “Caixa-L” (T40).

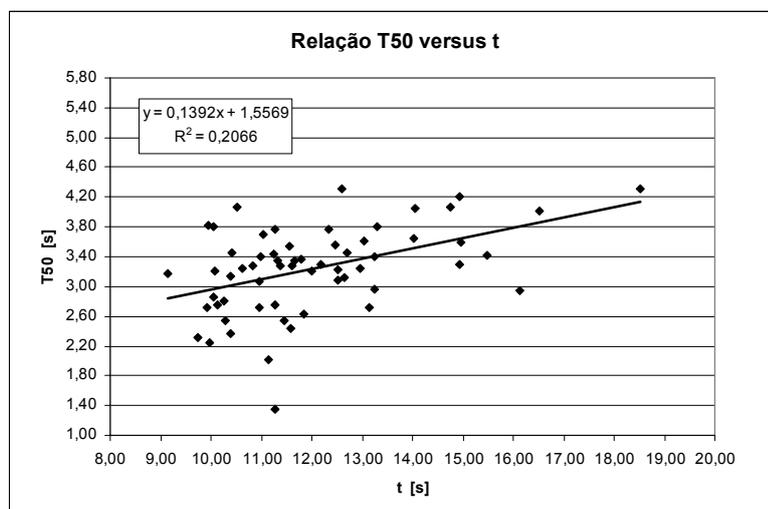


Figura 10.5 – Relação entre os parâmetros t e T50

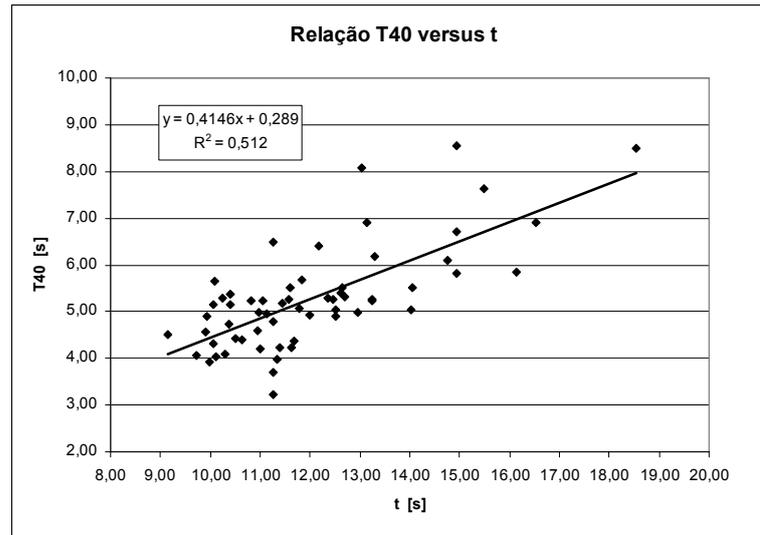


Figura 10.6 – Relação entre os parâmetros t e T40

A Figura 10.5 mostra uma correlação muito fraca entre os parâmetros t e T50, enquanto que na Figura 10.6 se evidenciou alguma melhoria quando o parâmetro t foi correlacionado com o parâmetro T40. Uma primeira explicação para o fraco coeficiente de correlação entre os parâmetros analisados pode ser atribuída ao facto de se terem ensaiado misturas com diferentes volumes de agregados grossos, o que conduziu a diferentes graus de interacção entre as partículas nas diferentes formas de ensaio.

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que, na ausência de reómetros e mediante determinadas condições de escoamento, a correspondência entre as propriedades reológicas das argamassas e dos betões pode resultar igualmente efectiva, se estas forem avaliadas em condições de ensaio similares. Por outras palavras, a reologia das argamassas e dos betões deverá ser avaliada pelos respectivos ensaios de espalhamento e de fluidez (Funil-V) e na ausência de segregação e bloqueio da mistura. Nesse sentido, apesar dos parâmetros T50 e T40 serem úteis para avaliar o comportamento reológico do betão fresco auto-compactável, estes não deverão substituir o ensaio do “Funil-V” na fase de estudo da composição. Eventualmente, para o controle de qualidade da produção em obra ou central, não se justificará a utilização de todos os ensaios seleccionados para este trabalho e, nesse caso, os parâmetros T50 ou T40 poderão revelar-se muito úteis.

10.2.3 – Auto-compactabilidade

10.2.3.1 – Generalidades

No presente trabalho, os ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa” foram utilizados para avaliar a auto-compactabilidade, e os parâmetros correspondentes (H2/H1) e (H) assumiram a designação de “parâmetros de auto-compactabilidade”.

Os parâmetros de auto-compactabilidade (H2/H1) e (H), podem ser afectados por um número significativo de factores. Alguns desses factores são externos à própria composição dos betões e não serão avaliados no âmbito deste trabalho. Eles estão normalmente associados ao controle de qualidade, procedimentos de amassadura, procedimentos de ensaio, ou mesmo à própria repetibilidade dos ensaios. Acredita-se que o rigor implementado nas várias etapas da campanha experimental e o facto das leituras terem sido efectuadas sempre pelo mesmo operador, permitem considerar a influência resultante dos factores externos como sendo pouco significativa ou mesmo desprezável.

Excluindo os factores externos, os parâmetros de auto-compactabilidade medidos no ensaio da “Caixa-L” ou no ensaio da “Caixa”, dependem basicamente das características e proporções dos materiais que constituem cada mistura. Contudo, em consequência da metodologia adoptada no presente trabalho, os parâmetros de auto-compactabilidade poderão ser também afectados pelo comportamento reológico do betão, expresso pela capacidade de deformação e velocidade de deformação.

A metodologia adoptada no presente trabalho, à semelhança de outras, fixa um intervalo de variação admissível para os valores da capacidade de deformação e da velocidade de deformação dos betões produzidos. Por outro lado, não se registaram fenómenos de bloqueio nos obstáculos colocados na “Caixa-L” e na “Caixa” e os betões ensaiados não apresentaram visivelmente qualquer tendência para segregar. Sob estas condições, poderá admitir-se que diferentes composições de betão, com diferentes parâmetros reológicos dentro do “alvo” estabelecido, podem conduzir ao mesmo parâmetro de auto-compactabilidade na “Caixa-L” ou na “Caixa”. Em consequência, os parâmetros de

auto-compactabilidade não poderão ser analisados independentemente da capacidade de deformação e da velocidade de deformação.

A influência da reologia na auto-compactabilidade não constituiu surpresa à luz da bibliografia consultada [78]. A este respeito tem sido referido que, na ausência de bloqueio da mistura nos varões instalados, a altura de enchimento na “Caixa” depende fortemente do valor do “Slump-flow” do betão e que, neste caso, a resistência à segregação influencia a altura de enchimento. Da mesma forma, sob condições similares, a descida do betão na “Caixa-L” reflecte bem o valor do “Slump-flow”, isto é, reflecte a capacidade de deformação.

Em síntese, para que no presente trabalho seja possível avaliar a influência dos parâmetros da mistura na auto-compactabilidade, será necessário isolar a influência resultante das propriedades reológicas. Atendendo à metodologia adoptada, a única forma de o conseguir é estabelecendo a relação entre os parâmetros da mistura, os parâmetros reológicos e os parâmetros de auto-compactabilidade.

Um outro factor associado à metodologia adoptada diz respeito à admissibilidade de pequenas correcções nas dosagens de água e de superplastificante, para ajustar as propriedades reológicas do betão ao “alvo” pretendido. Estas correcções ocorrem no final da amassadura, conduzem a alterações no comportamento reológico e, conseqüentemente, induzem alterações nos parâmetros de auto-compactabilidade. Em rigor, deveria referir-se que a mistura corrigida é diferente da mistura inicial. Contudo, em termos práticos, poderá admitir-se que se trata do mesmo betão, uma vez que as correcções efectuadas no âmbito deste trabalho foram consideradas desprezáveis. Nesta perspectiva, optou-se por não contabilizar estas correcções na relação entre os parâmetros da mistura, os parâmetros reológicos e os parâmetros de auto-compactabilidade, mas o seu estudo será certamente muito útil para se perceber de que forma tais correcções afectam a auto-compactabilidade.

Pelo exposto, a discussão relativa aos parâmetros de auto-compactabilidade será apresentada em dois Sub-Capítulos. No Sub-Capítulo 10.2.3.2 será analisada a relação entre as propriedades reológicas e a auto-compactabilidade. No Sub-Capítulo 10.2.3.3, será discutida a influência dos diferentes parâmetros da mistura na auto-compactabilidade.

10.2.3.2 – Relação entre a reologia e a auto-compactabilidade

Da mesma forma que a análise da relação entre os parâmetros da mistura e os parâmetros de auto-compactabilidade não pode ser efectuada independentemente das propriedades reológicas, a análise da relação entre a reologia e a auto-compactabilidade também não poderá ser efectuada independentemente dos parâmetros da mistura. Obviamente, nem todos os parâmetros da mistura podem ser mantidos constantes, caso contrário seria apenas avaliada a influência do controle de qualidade, procedimentos de amassadura, procedimentos de ensaio ou a repetibilidade dos ensaios. Os parâmetros da mistura a manter constantes poderiam ser, por exemplo, aqueles relacionados com os volumes dos agregados finos e grossos e o volume de materiais finos. Desta forma as variações na reologia e na auto-compactabilidade resultariam basicamente de variações na “família de finos” e nas dosagens de água e superplastificante. As propriedades reológicas dos betões, avaliadas pela capacidade e velocidade de deformação, variam dentro do “alvo” estabelecido e estas variações influenciam os parâmetros de auto-compactabilidade.

Em consequência da metodologia adoptada no presente trabalho, é possível agrupar as diferentes misturas produzidas em função das proporções entre os componentes sólidos. Concretamente, será possível agrupar as misturas produzidas em função da combinação dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g . Cada combinação entre V_p/V_s e V_m/V_g é representada por um número de mistura MN, que resulta do produto dos dois parâmetros e que traduz, em certa medida, o “esqueleto sólido da mistura”. No entanto, o parâmetro MN não permite distinguir as “famílias de finos” (proporções entre o cimento e as adições), já que apenas contabiliza o volume total de materiais finos (V_p).

Em síntese, no presente trabalho, as misturas com igual valor de MN apresentam aproximadamente a mesma proporção entre os componentes sólidos da mistura, mas diferem entre elas por utilizarem “famílias de finos” diferentes e diferentes dosagens de água e superplastificante. Isto significa que, para cada valor de MN, as alterações na reologia e auto-compactabilidade resultarão basicamente de alterações na composição e volume da pasta incorporada nos betões. Por outro lado, quando se faz variar o valor de MN, as

alterações na reologia e na auto-compactabilidade ocorrem em consequência da alteração simultânea das proporções dos componentes sólidos da mistura e da composição e volume da pasta incorporada nos betões. Na situação particular da análise da influência das correcções introduzidas na fase de amassadura, nenhum dos componentes do betão é alterado, com excepção das correcções das dosagens de água e de superplastificante.

A análise da relação entre os parâmetros reológicos e de auto-compactabilidade será efectuada neste trabalho separadamente para o ensaio da “Caixa-L” e para o ensaio da “Caixa” e desenvolve-se em três fases. Na primeira fase será avaliado o efeito resultante das correcções das dosagens de água de superplastificante efectuadas nas misturas. Na segunda fase serão estabelecidas e analisadas as correlações entre o parâmetro da mistura (MN), os parâmetros reológicos (capacidade e velocidade de deformação) e o parâmetro de auto-compactabilidade. Por último, na terceira fase, será proposto um modelo matemático que pretende traduzir a relação entre os parâmetros analisados.

No final deste Sub-Capítulo serão ainda analisadas as correlações entre os parâmetros de auto-compactabilidade medidos na “Caixa-L” e na “Caixa”. Serão comparadas as correlações estabelecidas com base nos registos efectuados e aquelas obtidas a partir do modelo matemático proposto.

Ensaio realizado com a “Caixa-L”

O parâmetro de auto-compactabilidade utilizado no ensaio “Caixa-L” é representado pela relação $H2/H1$ e a sua medição foi descrita no programa experimental. Em nenhuma das sessenta amassaduras experimentais produzidas durante este trabalho se registou qualquer fenómeno de segregação ou bloqueio no ensaio da “Caixa-L”. O parâmetro $H2/H1$ variou abaixo e acima do valor correntemente admitido como sendo satisfatório em termos de auto-compactabilidade ($H2/H1 \geq 0,80$).

A análise da influência das correcções introduzidas nas misturas sobre as propriedades reológicas e a auto-compactabilidade foi efectuada entre cada par de amassaduras idênticas, diferenciadas apenas por pequenas variações nas dosagens de

água e de superplastificante, que proporcionaram a obtenção de diferentes propriedades reológicas. As amassaduras que reuniram estas condições são apresentadas no Quadro 10.1, tendo por base os elementos apresentados nos Quadros 8.38 e 8.42.

Quadro 10.1 – Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H2/H1

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura			Ensaio do betão fresco					
				Espalhamento		Fluidez		Caixa-L	Caixa
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	H2/H1	H [mm]
B.2.6-A	0,70	2,00	1,40	600	8,00	18,53	0,54	0,64	316
B.2.6-B	0,70	2,00	1,40	630	8,92	14,95	0,67	0,71	320
B.6.2-A	0,80	2,20	1,76	635	9,08	12,96	0,77	0,83	325
B.6.2-B	0,80	2,20	1,76	645	9,40	11,67	0,86	0,84	325
B.6.3-A	0,80	2,00	1,60	675	10,39	11,04	0,91	0,88	328
B.6.3-B	0,80	2,00	1,60	645	9,40	14,05	0,71	0,83	325
B.6.10	0,70	2,60	1,82	640	9,24	11,25	0,89	0,84	324
B.6.10-SPN	0,70	2,60	1,82	700	11,25	10,06	0,99	0,93	329

A partir dos elementos apresentados no Quadro 10.1 foi elaborado o gráfico que se apresenta na Figura 10.7, representando em abcissas a área de espalhamento relativa (Gc) e em ordenadas a velocidade relativa de escoamento (Rc). Adicionalmente, são apresentados os valores de H2/H1 obtidos em cada mistura. As regressões lineares foram traçadas para cada par de misturas idênticas, que simplificada foram representadas pelo número de mistura (MN). Por opção, estas correlações convergem para a origem.

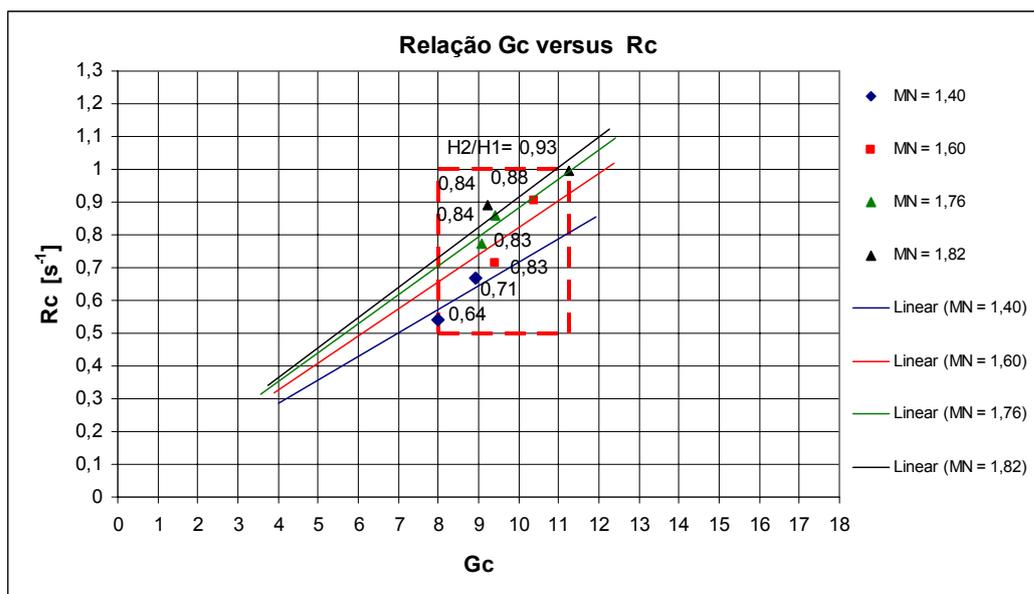


Figura 10.7 – Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H2/H1

Observando a Figura 10.7 é possível constatar, em todos os casos analisados, um aumento do valor de $H2/H1$ com o aumento dos parâmetros G_c e R_c , ou seja, com o aumento do diâmetro de espalhamento e redução do tempo de escoamento no “Funil-V”. Em síntese, um ligeiro aumento das dosagens de água e superplastificante permitiu um aumento simultâneo da área relativa de espalhamento (G_c) e da velocidade relativa de escoamento (R_c), resultando em consequência um ligeiro aumento do parâmetro $H2/H1$.

Um outro aspecto importante a registrar a partir da análise da Figura 10.7 é que o valor de $H2/H1$ não pode crescer indefinidamente com o aumento dos parâmetros G_c e R_c , já que estes últimos apenas poderão sofrer variações dentro dos valores estabelecidos como “alvo”. Em certa medida, a representação gráfica dos valores R_c , G_c e $H2/H1$, da forma ilustrada na Figura 10.7, permite avaliar o “potencial de crescimento” do valor de $H2/H1$. Por outras palavras, é possível quantificar as alterações a induzir nos parâmetros G_c e R_c de forma a maximizar o parâmetro de auto-compactabilidade $H2/H1$.

Da Figura 10.8 à Figura 10.15 são representados graficamente os pares de valores de G_c e R_c de cada amassadura produzida, acompanhados do respectivo valor de $H2/H1$ registado no ensaio da “Caixa-L”. Os resultados apresentados são agrupados para cada valor do número de mistura (MN), ou seja, para cada combinação entre os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g . O agrupamento dos resultados para cada valor de MN permite isolar parcialmente os efeitos resultantes da proporção entre o volume de materiais finos e o volume de agregados finos e, entre estes e o volume de agregados grossos da mistura. Contudo, não distingue as misturas em termos da constituição dos materiais finos, ou seja, em termos da natureza e proporção entre os cimentos e as adições.

Desde logo, importa salientar que os gráficos apresentados da Figura 10.8 à Figura 10.15 não podem ser interpretados da mesma forma com que se interpretou o gráfico da Figura 10.7, já que neste caso, para cada valor de MN, a reologia variou face à variação da constituição e volume da pasta que incorpora os betões. Em todo o caso, para cada par de valores de G_c e R_c é possível identificar o valor de $H2/H1$ e inferir acerca do seu “potencial de crescimento”.

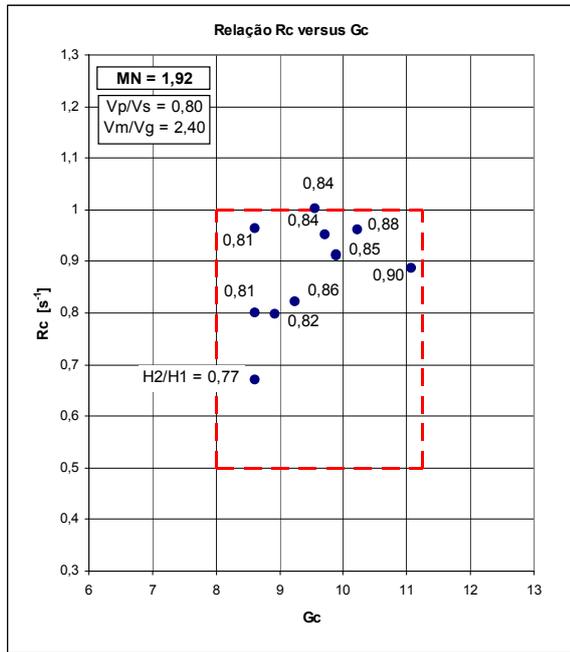


Figura 10.8 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,92

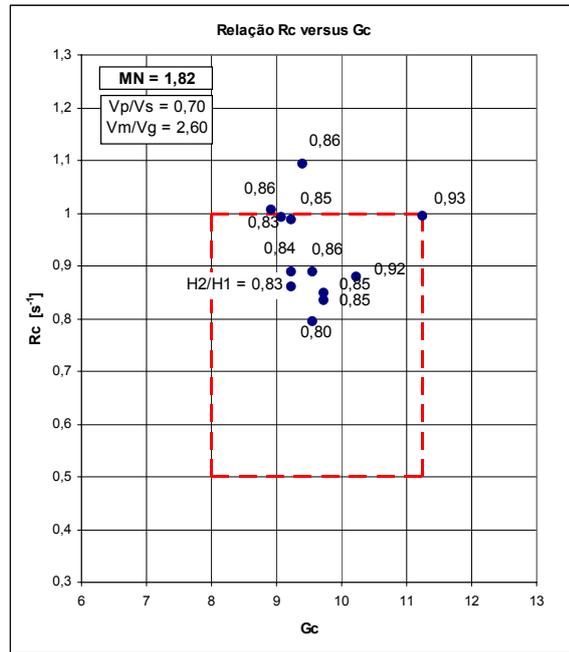


Figura 10.9 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,82

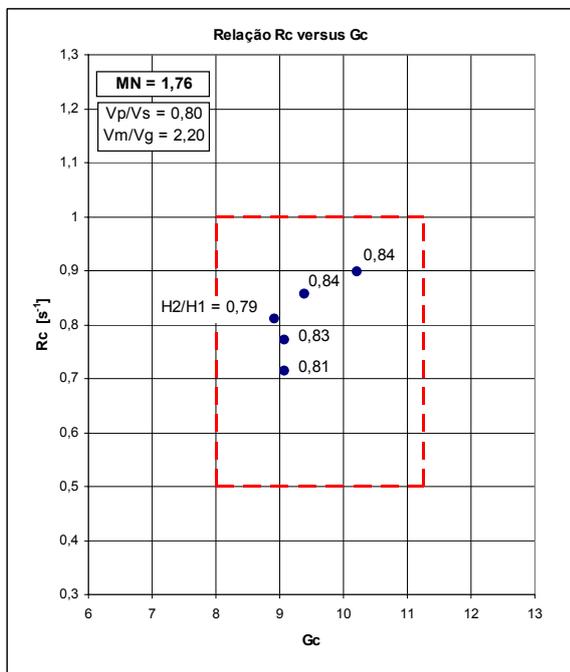


Figura 10.10 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,76

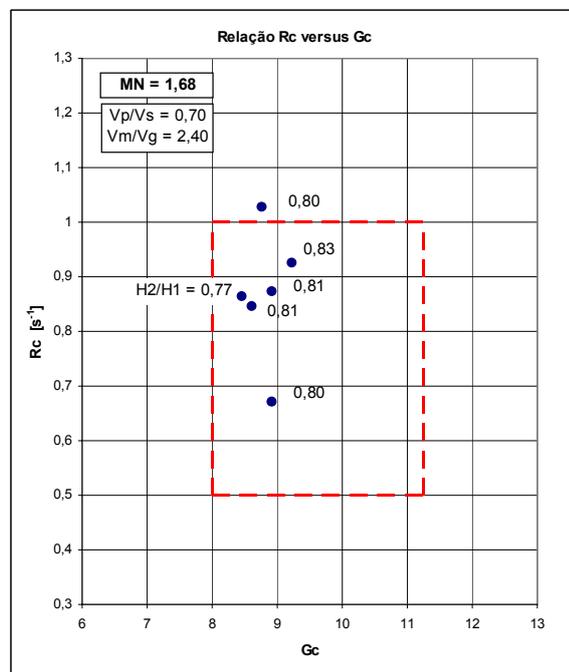


Figura 10.11 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,68

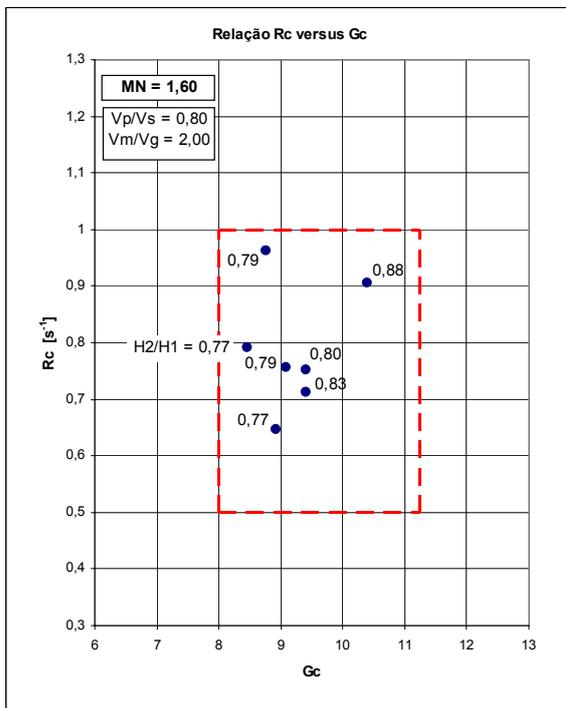


Figura 10.12 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,60

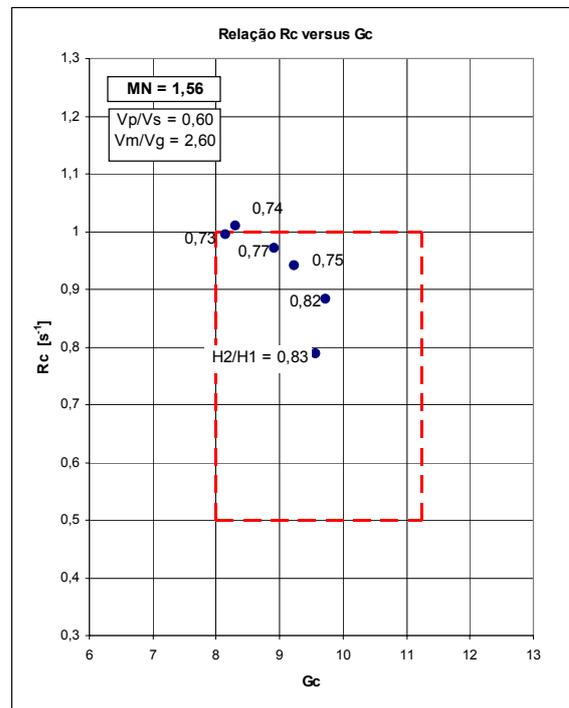


Figura 10.13 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,56

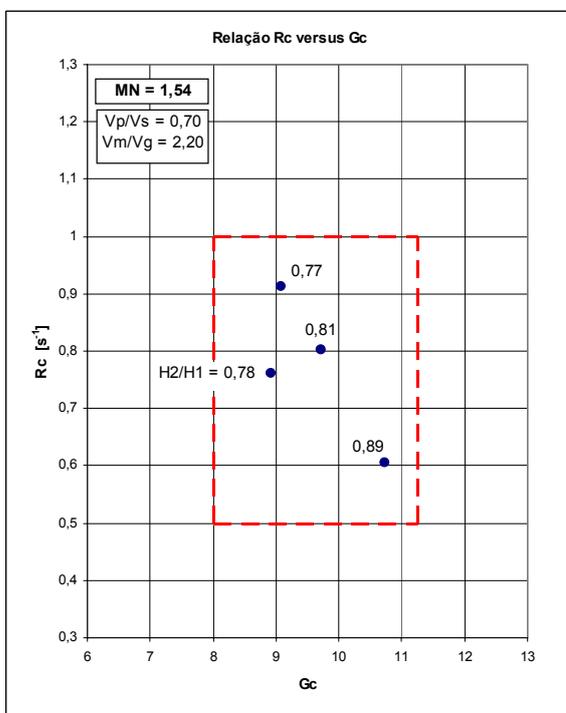


Figura 10.14 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,54

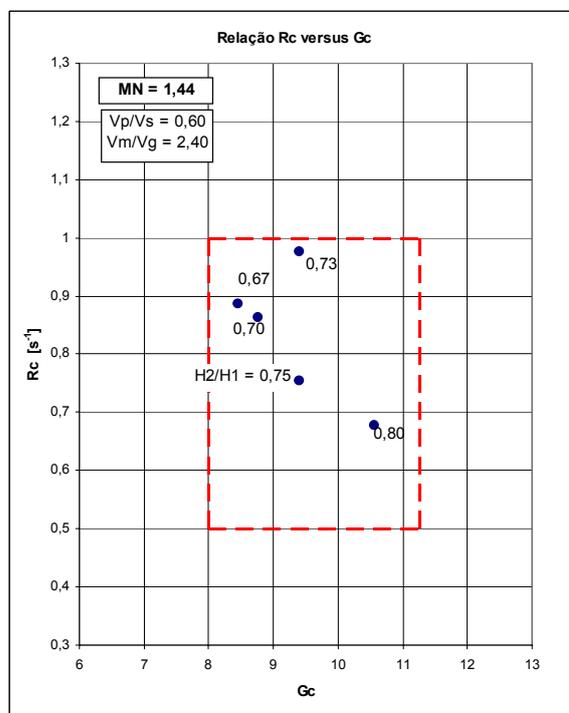


Figura 10.15 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,44

Os gráficos apresentados da Figura 10.8 à Figura 10.15 permitem verificar que o valor médio de H_2/H_1 apresenta uma tendência para reduzir com a redução do parâmetro MN, ou seja, com o aumento do volume dos agregados da mistura, independentemente dos materiais finos que constituem a pasta. Tendencialmente, analisando separadamente cada um dos gráficos, poderá ainda verificar-se um aumento de H_2/H_1 com o aumento do valor de G_c , independentemente do valor de R_c . Contrariamente, o parâmetro H_2/H_1 não evidencia qualquer tendência face à variação do parâmetro R_c , independentemente do valor assumido por G_c . Este facto poderá significar que, em misturas com igual valor de MN, independentemente dos materiais finos que constituem a pasta, o parâmetro H_2/H_1 é influenciado basicamente pela capacidade de deformação.

Para avaliar com maior detalhe a influência que a capacidade de deformação exerce na auto-compactabilidade, em misturas com igual valor de MN, foi elaborado o gráfico que se apresenta na Figura 10.16. A capacidade de deformação é expressa pelo valor do diâmetro de espalhamento (D_m) que é representado no eixo das abcissas, enquanto a auto-compactabilidade é traduzida pelo parâmetro H_2/H_1 que é representado no eixo das ordenadas. O parâmetro MN representa o produto de V_p/V_s por V_m/V_g e, em certa medida, estabelece a proporção entre os componentes sólidos da mistura.

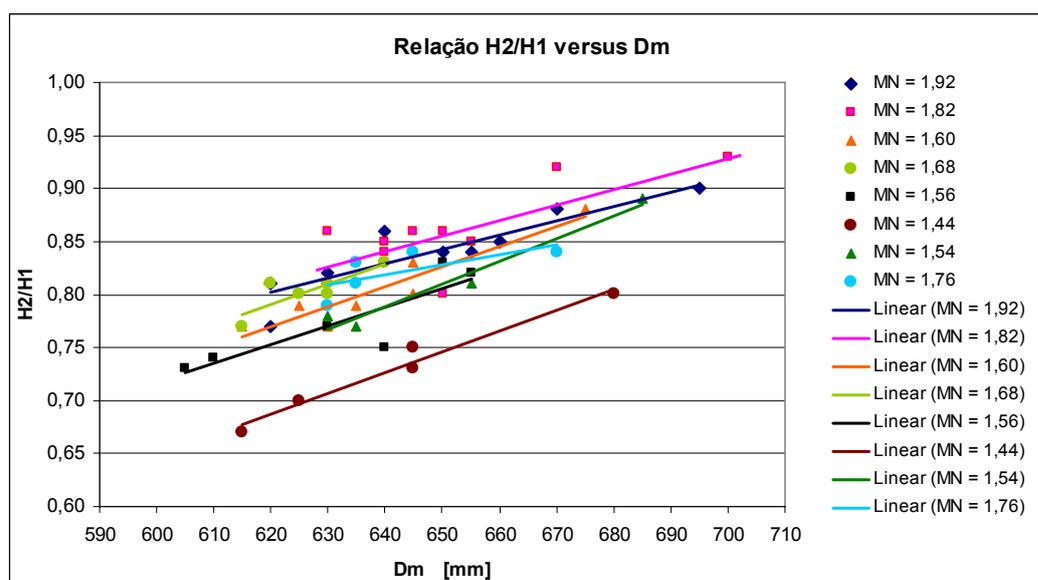


Figura 10.16 – Variação do parâmetro H_2/H_1 com o diâmetro de espalhamento

Com maior ou menor coeficiente de correlação, as regressões lineares ilustradas na Figura 10.16 mostram uma tendência nítida para o aumento do valor de H2/H1 com o aumento do diâmetro de espalhamento (Dm), desde que o parâmetro MN se mantenha constante. Note-se porém, que o facto de MN permanecer constante significa apenas que o produto de Vp/Vs por Vm/Vg permanece constante, o que conduz a volumes de materiais finos aproximadamente constantes nas diferentes misturas. Este facto é relevante uma vez que permite formular a hipótese de que a auto-compactabilidade avaliada pelo parâmetro H2/H1 depende mais do volume de materiais finos que da própria constituição desses materiais finos, desde que se utilizem argamassas com igual comportamento reológico.

De forma a permitir a avaliação dos coeficientes de correlação obtidos para nas diferentes regressões lineares ilustradas na Figura 10.16, cada uma dessas regressões foi desenhada separadamente nos gráficos que se ilustram da Figura 10.17 à Figura 10.24.

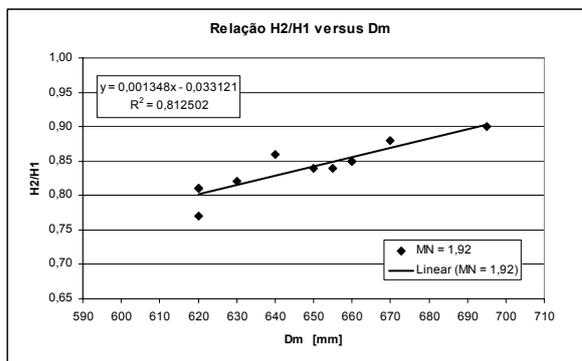


Figura 10.17 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,92

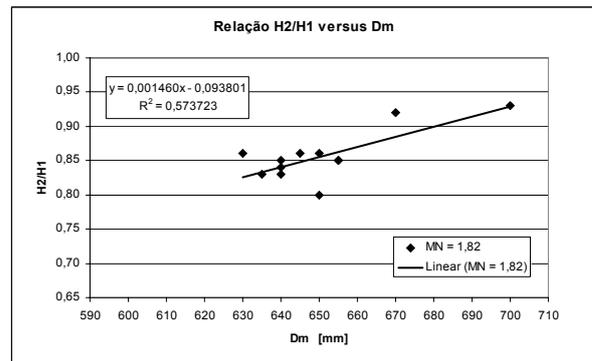


Figura 10.18 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,82

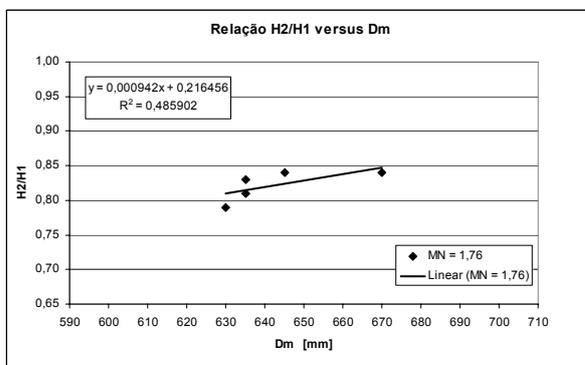


Figura 10.19 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,76

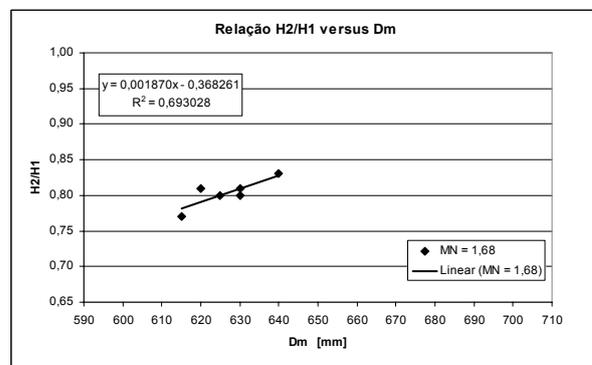


Figura 10.20 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,68

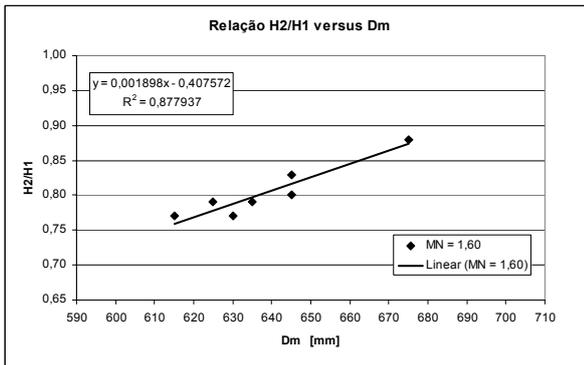


Figura 10.21 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,60

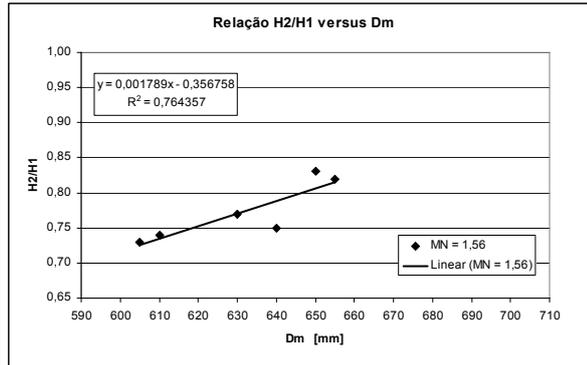


Figura 10.22 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,56

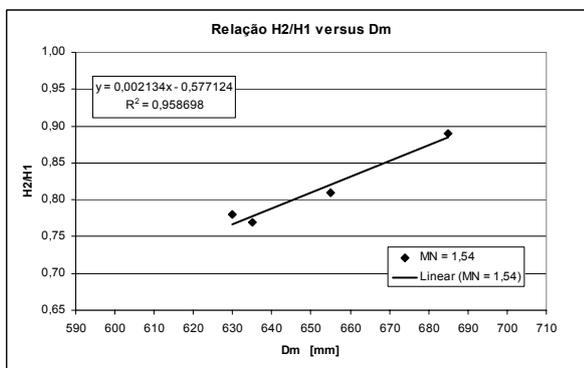


Figura 10.23 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,54

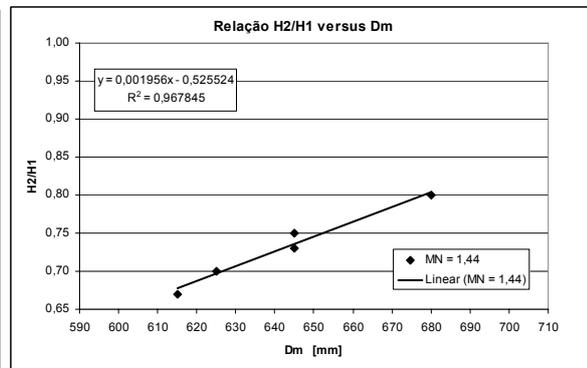


Figura 10.24 – Rel. H2/H1 vs Dm p/ MN=1,44

Modelo matemático para a auto-compactabilidade medida na Caixa-L

A discussão apresentada anteriormente resultou na constatação de que o parâmetro H2/H1 varia com os parâmetros MN e Dm. Na tentativa de estabelecer um modelo matemático tridimensional que correlacionasse estes três parâmetros, iniciou-se uma pesquisa no sentido de identificar ferramentas adequadas a este propósito. A ferramenta seleccionada foi o programa estatístico TCURVE-3D.

O modelo matemático a construir deveria fornecer como resposta o parâmetro de auto-compactabilidade (H2/H1), em função do parâmetro da mistura (MN) e do parâmetro associado à capacidade de deformação (Dm). Com recurso ao programa TCURVE-3D, e tendo por referência os elementos apresentados do Quadro 8.38 ao Quadro 8.48, foi possível construir o gráfico que se apresenta na Figura 10.25.

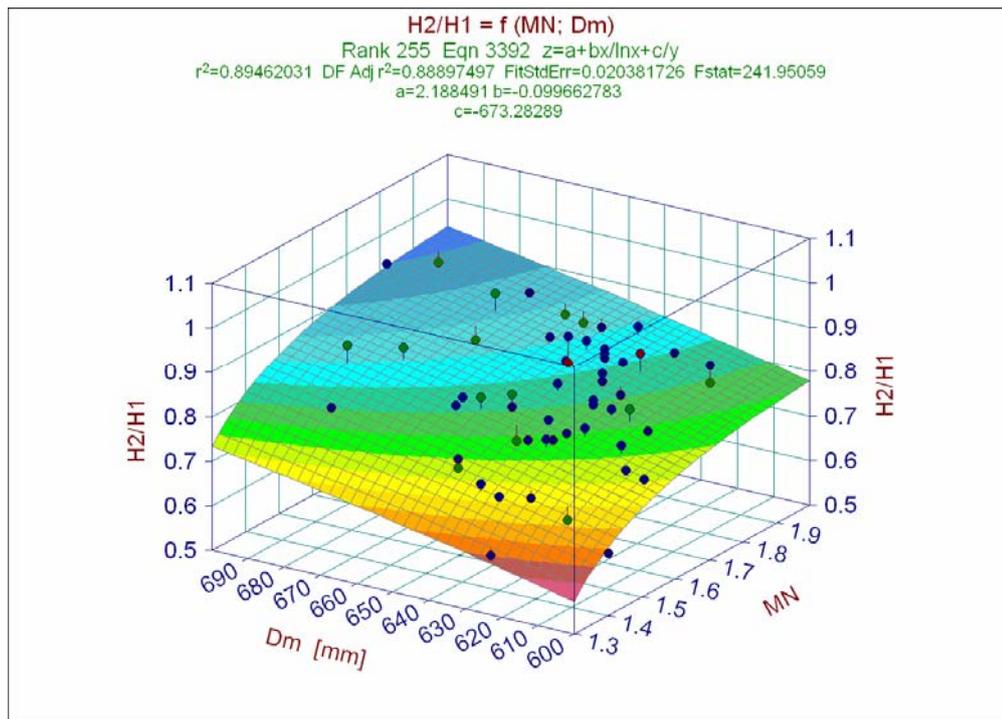


Figura 10.25 – Modelo matemático para a auto-compactabilidade – “Caixa-L”

O referido programa disponibilizou diferentes soluções matemáticas em função do tipo de equação seleccionada. Essas soluções oscilaram entre as mais simples, com menor coeficiente de correlação e fisicamente aceitáveis, até às mais complexas, com melhor coeficiente de correlação, mas que não traduziam soluções de continuidade na superfície desenhada, o que fisicamente não fazia sentido. Assim, em detrimento de um melhor coeficiente de correlação, optou-se pela solução que em termos físicos melhor traduzia o comportamento do betão. A solução matemática encontrada é do tipo logarítmica e é traduzida pela Equação 10.1. O coeficiente de correlação é da ordem de 0,90.

$$(H2/H1) = a + b * (MN)/\ln(MN) + c/(Dm) \quad (10.1)$$

Sendo:

$$a= 2,188490958$$

$$b= -0,09966278$$

$$c= -673,282885$$

Ensaio realizado com a “Caixa”

O tratamento de dados efectuado para o ensaio da “Caixa” é em tudo semelhante àquele efectuado para o ensaio da “Caixa-L”. O parâmetro de auto-compactabilidade medido no ensaio “Caixa” é neste caso representado pela altura H e a sua medição foi descrita no programa experimental. Em nenhuma das sessenta amassaduras experimentais produzidas durante este trabalho se registou qualquer fenómeno de segregação ou bloqueio no ensaio da “Caixa”. O parâmetro H mostrou sempre valores acima daquele correntemente admitido como sendo satisfatório em termos de auto-compactabilidade ($H > 300\text{mm}$).

A análise da influência das correcções de água e de superplastificante nas propriedades reológicas e na auto-compactabilidade foi efectuada a partir dos mesmos pares de amassaduras idênticas já anteriormente avaliadas para o ensaio da “Caixa-L”. Os resultados obtidos são resumidos no Quadro 10.2, tendo por base os elementos apresentados nos Quadros 8.38 e 8.42.

Quadro 10.2 – Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H

Ident. do Betão	Parâmetros da mistura			Ensaio do betão fresco					
				Espalhamento		Fluidez		Caixa-L	Caixa
	Vp/Vs	Vm/Vg	MN	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s^{-1}]	H2/H1	H [mm]
B.2.6-A	0,70	2,00	1,40	600	8,00	18,53	0,54	0,64	316
B.2.6-B	0,70	2,00	1,40	630	8,92	14,95	0,67	0,71	320
B.6.2-A	0,80	2,20	1,76	635	9,08	12,96	0,77	0,83	325
B.6.2-B	0,80	2,20	1,76	645	9,40	11,67	0,86	0,84	325
B.6.3-A	0,80	2,00	1,60	675	10,39	11,04	0,91	0,88	328
B.6.3-B	0,80	2,00	1,60	645	9,40	14,05	0,71	0,83	325
B.6.10	0,70	2,60	1,82	640	9,24	11,25	0,89	0,84	324
B.6.10-SPN	0,70	2,60	1,82	700	11,25	10,06	0,99	0,93	329

A partir dos elementos apresentados no Quadro 10.2 foi elaborado o gráfico que se apresenta na Figura 10.26, representando em abcissas a área de espalhamento relativa (Gc) e em ordenadas a velocidade relativa de escoamento (Rc). Adicionalmente, são apresentados os valores de H obtidos em cada mistura. As regressões lineares foram traçadas para cada par de misturas idênticas, que simplificada foram representadas pelo número de mistura (MN). Por opção, estas correlações convergem para a origem.

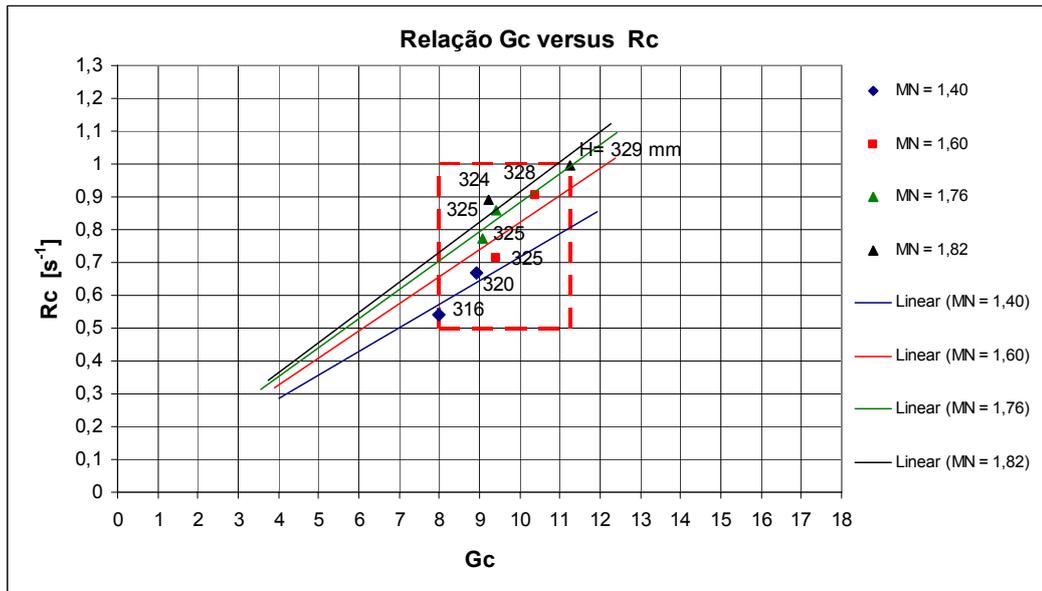


Figura 10.26 – Relação entre os parâmetros reológicos e o parâmetro H

O comportamento do betão no ensaio da “Caixa” revelou-se semelhante àquele já identificado no ensaio da “Caixa-L”. A análise da Figura 10.26 permite igualmente constatar uma tendência para o aumento do valor de H com o aumento simultâneo dos parâmetros Gc e Rc. Também neste caso, é possível quantificar as alterações a introduzir nos pares de valores Gc e Rc de cada amassadura de forma a otimizar o parâmetro de autocompactabilidade (H), medido no ensaio da “Caixa”. Por outras palavras, é possível avaliar o “potencial de crescimento” do parâmetro H, mantendo Gc e Rc dentro dos valores definidos como “alvo”.

Da Figura 10.27 à Figura 10.34 são representados graficamente os pares de valores de Gc e Rc de cada amassadura produzida, acompanhados do respectivo valor de H registado no ensaio da “Caixa”. Cada um destes gráficos agrupa as amassaduras com um mesmo valor do parâmetro MN. Em cada par de valores de Gc e Rc é possível identificar o valor de H e inferir acerca do seu “potencial de crescimento”. Ao contrário dos resultados apresentados para a “Caixa-L”, não parece existir uma tendência tão nítida para o aumento de H com o aumento de Gc, independentemente de Rc. Isto poderá significar que a dependência da capacidade de deformação não é tão evidente quanto para o ensaio da “Caixa-L”.

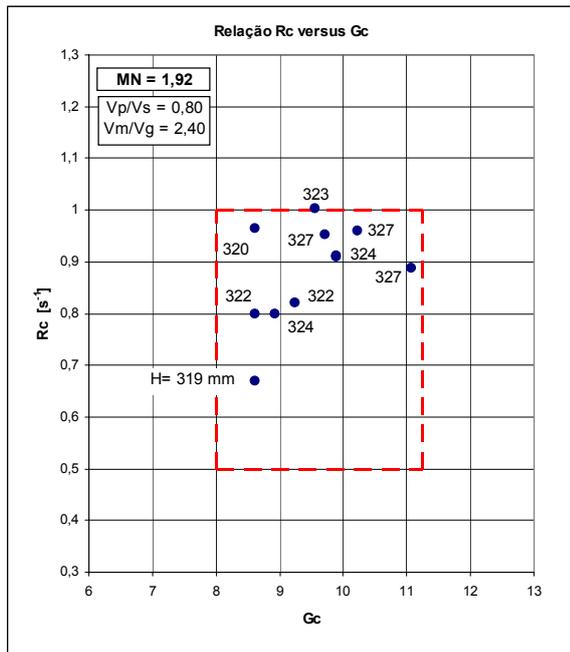


Figura 10.27 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,92

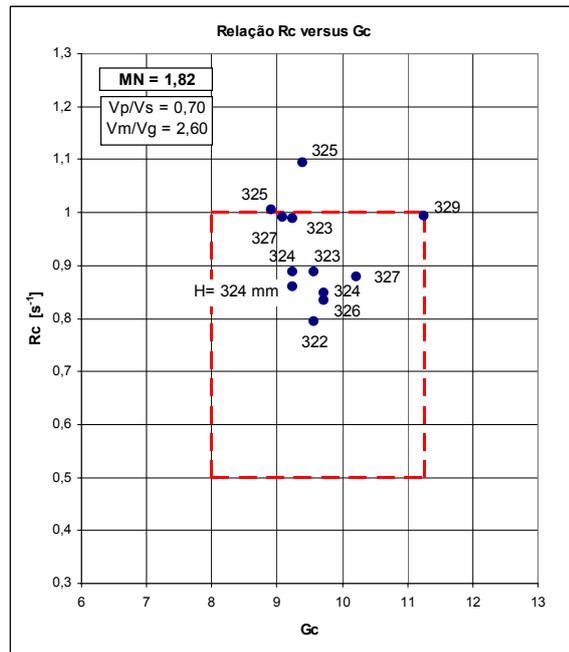


Figura 10.28 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,82

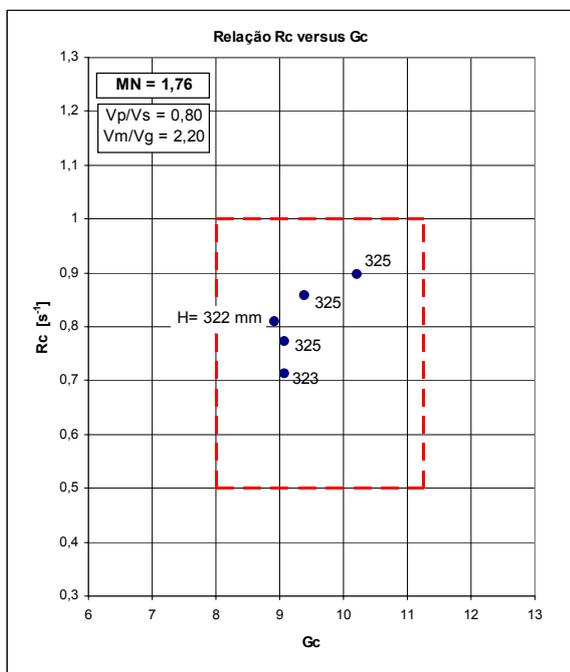


Figura 10.29 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,76

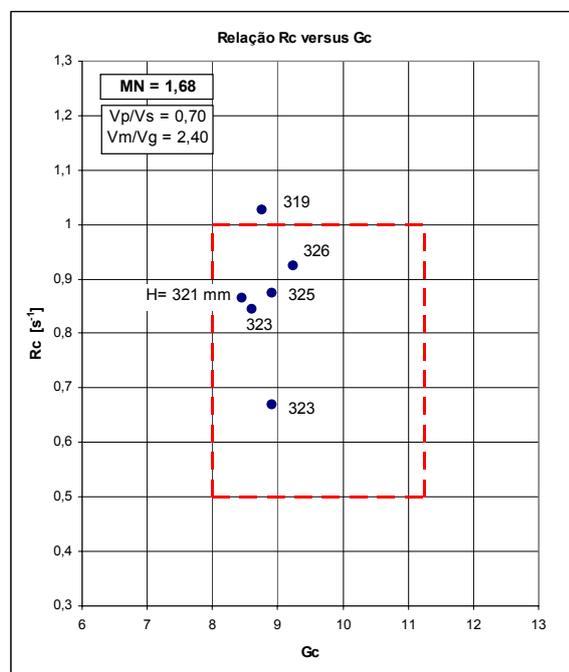


Figura 10.30 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,68

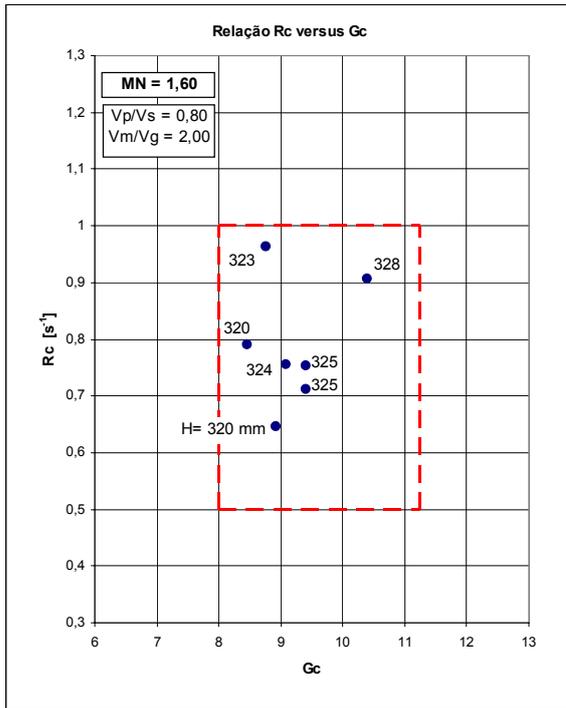


Figura 10.31 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,60

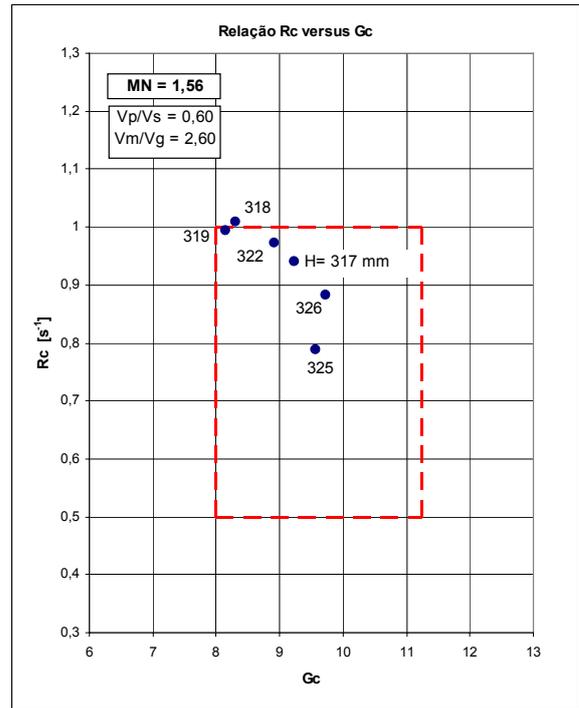


Figura 10.32 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,56

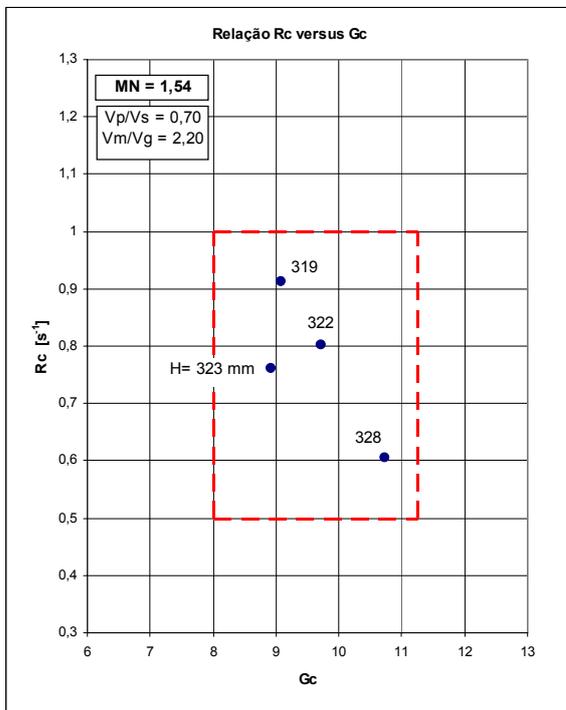


Figura 10.33 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,54

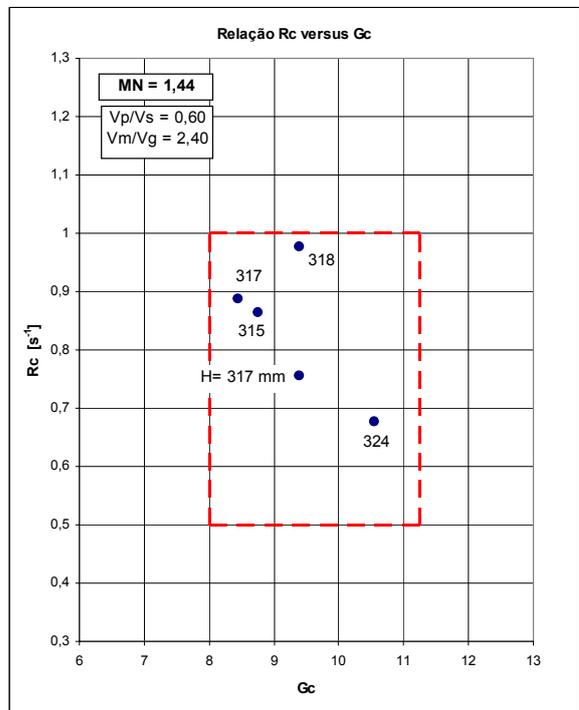


Figura 10.34 – Relação Gc vs Rc p/ MN=1,44

A influência da capacidade de deformação na auto-compactabilidade medida na “Caixa” é avaliada em detalhe no gráfico que se apresenta na Figura 10.35. A capacidade de deformação é expressa pelo valor do diâmetro de espalhamento (Dm) representado em abcissas, enquanto que a auto-compactabilidade é traduzida pelo parâmetro H representado em ordenadas e expresso em milímetros.

A relação entre a capacidade de deformação e a auto-compactabilidade é estabelecida para cada valor do parâmetro MN adoptado no presente trabalho. Foram adoptados diferentes valores do parâmetro MN, sendo que, cada um deles correspondente a determinadas proporções dos componentes sólidos da mistura.

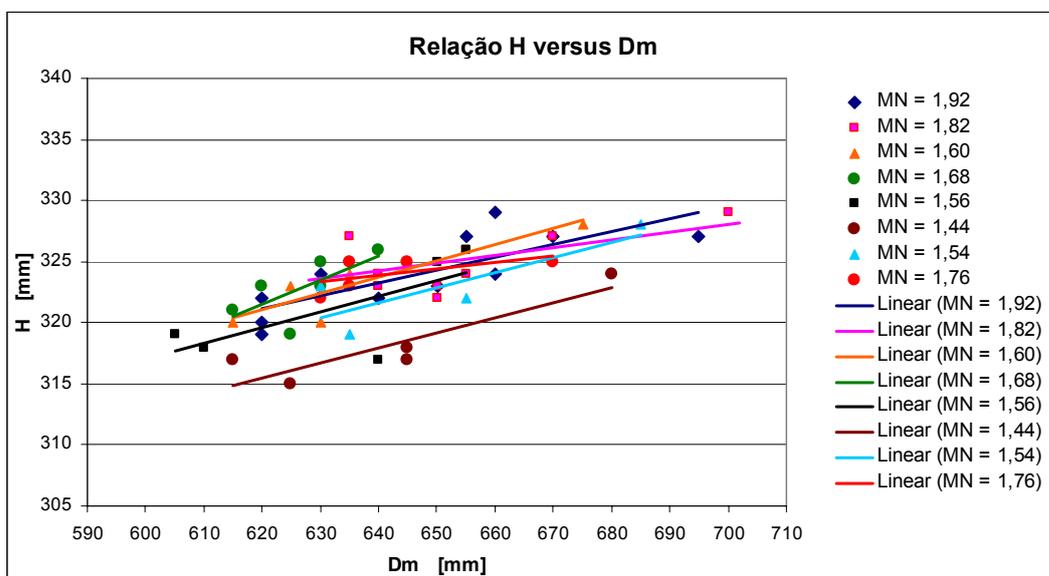


Figura 10.35 – Variação do parâmetro H com o diâmetro de espalhamento

O gráfico ilustrado na Figura 10.35 mostra efectivamente uma tendência para o aumento do valor do parâmetro H com o aumento do diâmetro de espalhamento (Dm), em igualdade de valores de MN e independentemente da constituição dos materiais finos da pasta que incorpora os betões, tal como sucedera no ensaio da “Caixa-L”.

Um outro aspecto importante pode ser observado quando se compara o gráfico ilustrado na Figura 10.35 (ensaio da “Caixa”) com o gráfico apresentado na Figura 10.16 (ensaio da “Caixa-L”). Concretamente, observa-se que para valores de MN mais elevados, o

parâmetro H medido no ensaio da “Caixa” parece perder alguma capacidade de correlação em comparação com o parâmetro H2/H1 medido no ensaio da “Caixa-L”. Note-se porém que, a um aumento do parâmetro MN, em especial quando este resulta do aumento de V_m/V_g , corresponde uma redução do volume total de agregados grossos da mistura e, conseqüentemente, corresponde também a uma menor colisão e interação entre as partículas. Nesta medida, poderá supor-se que, a partir de determinado valor de redução dos agregados grossos, o ensaio da “Caixa” se torna menos sensível à capacidade de passagem que o ensaio da “Caixa-L” e que, a partir desse momento, o parâmetro H medido no ensaio da “Caixa” passa a depender basicamente da capacidade de deformação.

De forma a permitir a avaliação dos coeficientes de correlação obtidos para nas diferentes regressões lineares ilustradas na Figura 10.35, cada uma dessas regressões foi desenhada separadamente nos gráficos que se ilustram da Figura 10.36 à Figura 10.43.

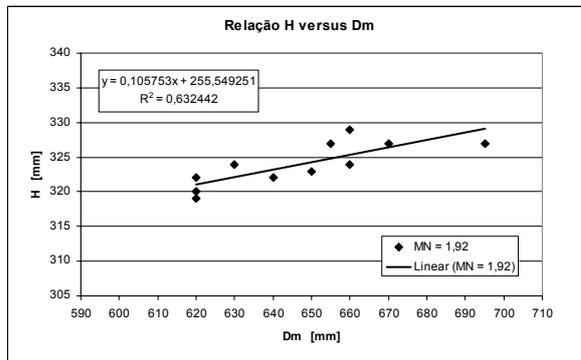


Figura 10.36 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,92

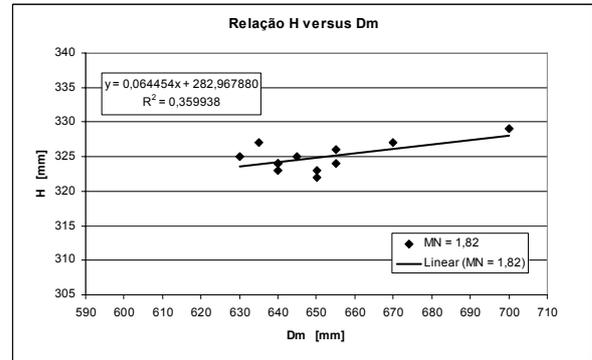


Figura 10.37 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,82

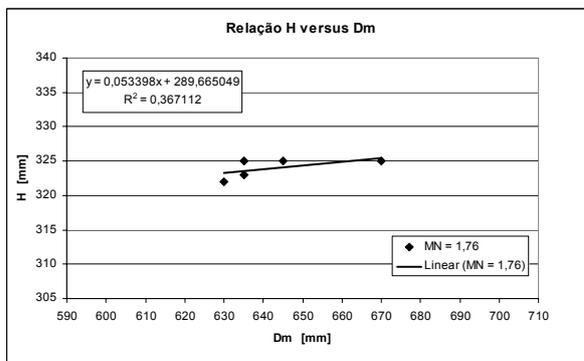


Figura 10.38 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,76

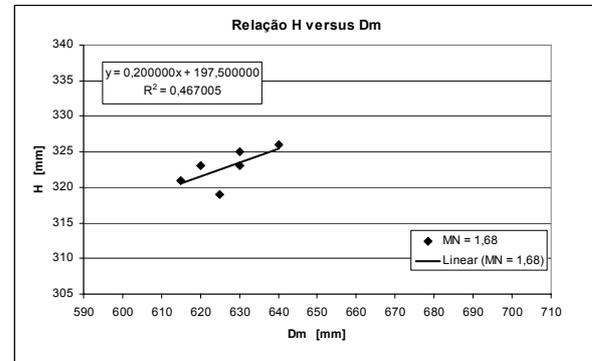


Figura 10.39 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,68

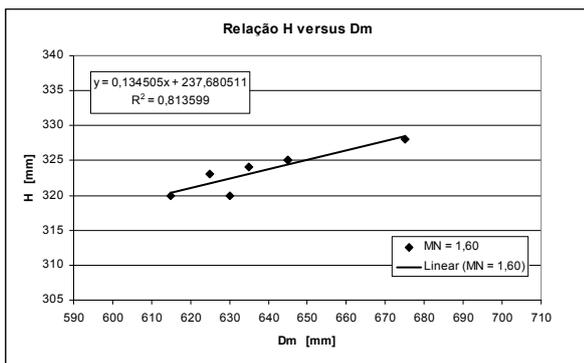


Figura 10.40 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,60

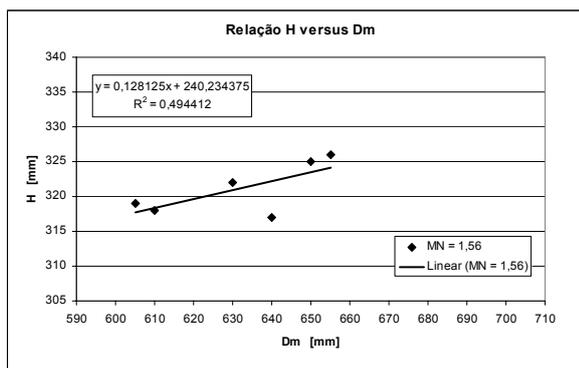


Figura 10.41 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,56

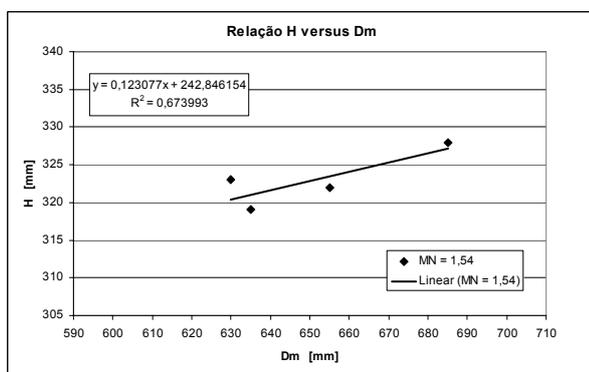


Figura 10.42 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,54

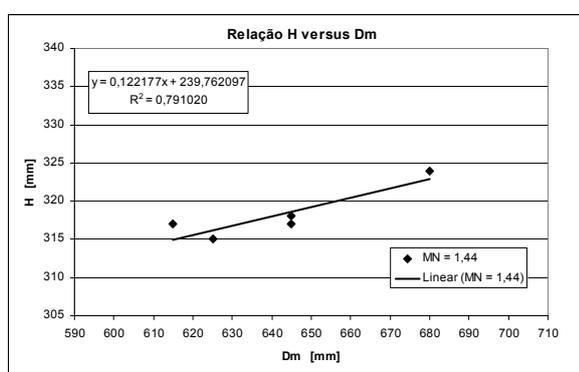


Figura 10.43 – Rel. H vs Dm p/ MN=1,44

Modelo matemático para a auto-compactabilidade medida na “Caixa”

A discussão apresentada no item anterior revelou que a auto-compactabilidade medida no ensaio da “Caixa”, representada pelo parâmetro H, poderia ser correlacionada com a capacidade de deformação, traduzida pelo diâmetro de espalhamento (Dm), e com o número de mistura, representado pelo parâmetro MN.

Adoptando o mesmo procedimento descrito para o ensaio da “Caixa-L”, foi utilizado o programa TCURVE-3D para construir o respectivo modelo matemático para o ensaio da “Caixa”. Na medida do possível, tentou-se construir um modelo suportado por funções matemáticas do mesmo tipo daquelas adoptadas para o ensaio da “Caixa-L”.

O modelo matemático proposto para representar a relação entre os parâmetros H, Dm e MN é ilustrado graficamente na Figura 10.44, tendo por referência os elementos apresentados do Quadro 8.38 ao Quadro 8.48.

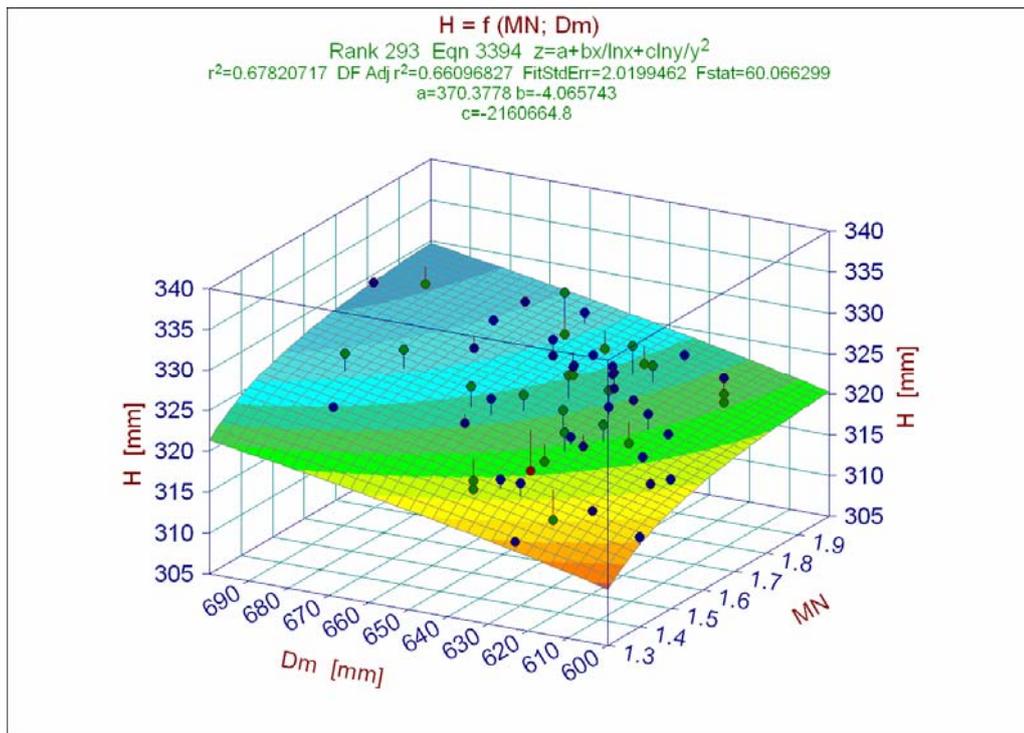


Figura 10.44 – Modelo matemático para a auto-compactabilidade – “Caixa”

Pelas mesmas razões anteriormente explicadas, aquando da análise de resultados na “Caixa-L”, em detrimento de um melhor coeficiente de correlação, optou-se pela solução que em termos físicos melhor traduzia o comportamento do betão. A solução matemática encontrada é do tipo logarítmica e é traduzida pela Equação 10.2. O coeficiente de correlação é da ordem de 0,68.

$$H = a + b * (MN) / \ln(MN) + c * \ln(Dm) / (Dm)^2 \quad (10.2)$$

Sendo:

- a= 370,3778
- b= -4,065743
- c= -2160664,8

Relação entre os parâmetros medidos na “Caixa-L” e na “Caixa”

Não existem muitas informações na bibliografia consultada acerca da relação entre os parâmetros de auto-compactabilidade H_2/H_1 e H , medidos, respectivamente, nos ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa”. Em geral, cada um destes modelos de ensaio surge associado a um determinado procedimento de estudo da composição de betões auto-compactáveis e, por esse motivo, têm sido utilizados de forma isolada.

A campanha experimental desenvolvida durante o presente trabalho proporcionou a aplicação em simultâneo dos ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa”. Estes ensaios foram utilizados para a avaliação das propriedades no estado fresco de um conjunto razoável de misturas de betão com diferentes níveis de auto-compactabilidade, o que possibilitou a comparação entre os parâmetros H_2/H_1 e H . Na interpretação destes resultados deverão contudo observar-se, quer as dimensões dos equipamentos (Sub-Capítulo 7.6.3.2), quer os procedimentos de ensaio utilizados (Sub-Capítulos 7.6.3.5.4.3 e 7.6.3.5.4.4).

A Figura 10.45 apresenta a relação entre os valores H_2/H_1 e H registados durante a campanha experimental, respectivamente, no ensaio da “Caixa-L” e no ensaio da “Caixa”. Os resultados obtidos evidenciam uma provável correlação do tipo linear entre os parâmetros analisados.

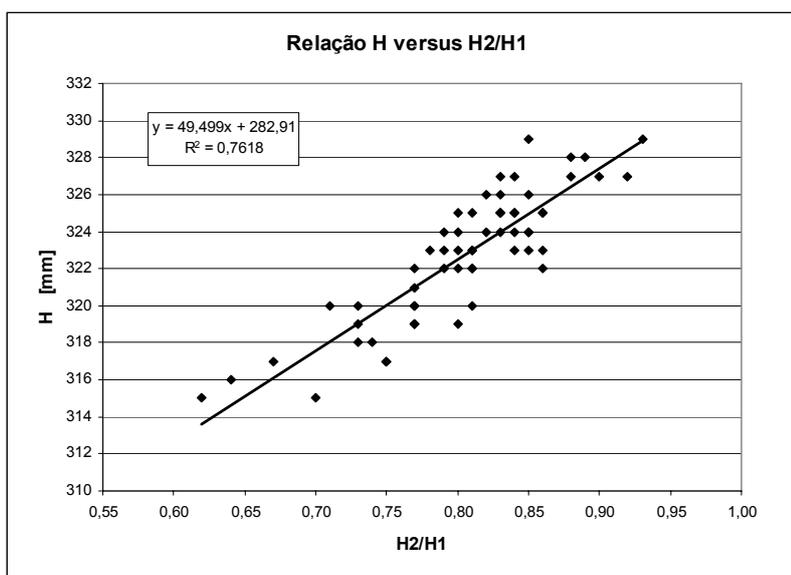


Figura 10.45 – Relação entre os parâmetros H_2/H_1 e H com base nos registos efectuados

A Figura 10.46 apresenta a relação entre os valores de H2/H1 e H, tendo por base os modelos matemáticos desenvolvidos, respectivamente, para o ensaio da “Caixa-L” e para o ensaio da “Caixa”. Os valores de H2/H1 e H são determinados, respectivamente, pelas Equações 10.1 e 10.2, utilizando como variáveis os valores de Dm e MN de cada mistura.

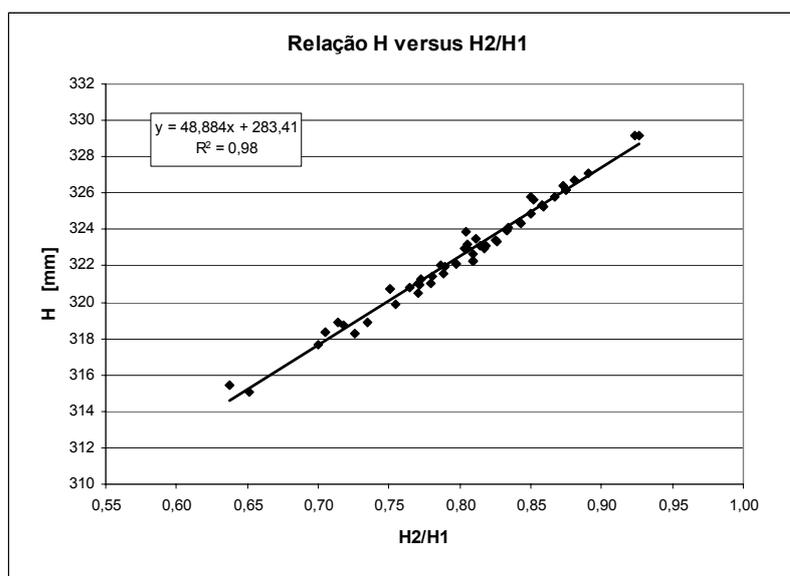


Figura 10.46 – Relação entre os parâmetros H2/H1 e H com base nos modelos propostos

Ao analisar-se a excelente correlação obtida no gráfico apresentado na Figura 10.46 deverá ter-se em conta que, em larga medida, o elevado coeficiente de correlação obtido se deve ao facto de se terem produzido dois modelos matemáticos recorrendo a funções matemáticas do mesmo tipo. Nesta medida, deverá salientar-se que o modelo matemático para a “Caixa-L” apresentou um coeficiente de correlação de aproximadamente 0,90, enquanto que para o ensaio da Caixa” esse valor se situou próximo de 0,68.

Se for admitido, como efectivamente se verificou, que apesar dos coeficientes de correlação serem baixos, em especial para o ensaio da “Caixa”, os modelos matemáticos desenvolvidos representam satisfatoriamente o comportamento físico real do betão fresco auto-compactável, então será correcto admitir-se que a correlação apresentada no gráfico que se ilustra na Figura 10.46 representa satisfatoriamente a relação entre os parâmetros H2/H1 e H, medidos, respectivamente, no ensaio da “Caixa-L” e no ensaio da “Caixa”.

10.2.3.3 – Influência dos parâmetros da mistura na auto-compactabilidade

10.2.3.3.1 – Generalidades

Tal como referido anteriormente, para avaliar a influência dos parâmetros da mistura nos parâmetros de auto-compactabilidade (H_2/H_1) e (H) medidos, respectivamente, nos ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa”, será necessário isolar o efeito resultante das propriedades reológicas dos betões. Este efeito pode agora ser isolado recorrendo aos modelos matemáticos desenvolvidos no Sub-Capítulo anterior.

No estudo acerca dos parâmetros reológicos, nomeadamente, a capacidade de deformação e a velocidade de deformação, verificou-se que a auto-compactabilidade é afectada sobretudo pela capacidade de deformação, desde que ambos os parâmetros permaneçam dentro do “alvo” estabelecido. Em consequência, os modelos matemáticos a que se fez referência contabilizam apenas o parâmetro reológico associado à capacidade de deformação, medido pelo ensaio de espalhamento e expresso pelo diâmetro médio de espalhamento (D_m). Em concreto, uma vez que se conhece o valor de MN de cada composição de betão estudada, os modelos matemáticos permitem estimar os valores dos parâmetros (H_2/H_1) ou (H) de todas as misturas produzidas quando estas apresentam em comum o mesmo valor do diâmetro de espalhamento. O diâmetro de espalhamento (D_m) poderá assumir um qualquer valor entre os 600 mm e os 700 mm.

Os parâmetros da composição avaliados incluem o número de mistura (MN), a dosagem de agregados finos e grossos, a dosagem de materiais finos, a dosagem de água e de superplastificante, o percentual de argamassa seca e as curvas de referência do total de agregados da mistura. Alguns desses parâmetros são utilizados directamente no procedimento de cálculo das misturas produzidas durante este trabalho, enquanto outros são estudados com vista à sua possível utilização no modelo de cálculo a propor no final deste trabalho. Em alguns casos, para se estabelecer uma comparação com outros métodos descritos na bibliografia consultada, os parâmetros utilizados no âmbito deste trabalho serão convertidos em valores correspondentes utilizados nesses métodos.

10.2.3.3.2 – O parâmetro MN

O parâmetro MN foi inicialmente definido apenas para identificar as diferentes combinações entre os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g das misturas produzidas. Em certa medida, este parâmetro define a proporção entre os componentes sólidos da mistura e essa proporção exerce uma forte influência na auto-compactabilidade. Efectivamente, no decurso da análise efectuada no presente trabalho, o parâmetro MN acabou por revelar uma boa relação com os parâmetros H_2/H_1 e H , quando a capacidade de deformação das misturas permanece constante. Este facto abriu novas perspectivas quanto à formulação do método de estudo da composição de betões auto-compactáveis a apresentar no final deste trabalho.

O conhecimento da relação entre os parâmetros MN, D_m e H_2/H_1 , ou entre os parâmetros MN, D_m e H , pode ser muito útil na definição dos parâmetros da mistura. Por exemplo, fixados os valores pretendidos para o diâmetro de espalhamento (D_m) e para o grau de auto-compactabilidade (H_2/H_1 ou H), facilmente se poderia estimar o valor de MN adequado, ou seja, a relação $(V_p/V_s) \times (V_m/V_g)$ adequada. Desta forma, conhecido o parâmetro (V_p/V_s) de uma determinada argamassa, facilmente se poderia estimar o valor de (V_m/V_g) a adoptar no cálculo do betão. Dito de outra forma, facilmente se poderia estimar o volume de agregados grossos da mistura adequado especificamente a essa argamassa.

A utilização dos modelos matemáticos para estabelecer a relação entre o parâmetro MN e os parâmetros de auto-compactabilidade (H_2/H_1) e (H) medidos, respectivamente, nos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa”, só será viável se for possível demonstrar que estes modelos traduzem, com um grau de precisão razoável, o comportamento físico real do betão. A análise destes modelos será efectuada neste Sub-Capítulo separadamente para os ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” e desenvolve-se em três fases. Na primeira fase serão directamente comparadas as correlações obtidas a partir dos registos efectuados com aquelas resultantes dos modelos matemáticos. Na segunda fase, as correlações obtidas nos modelos matemáticos para diferentes valores do diâmetro de espalhamento serão sobrepostas aos registos efectuados. Por último, na terceira fase, será apresentado um diagrama que permite determinar os valores de MN que conduzem à obtenção de betões auto-compactáveis.

Ensaio realizado com a “Caixa-L”

O coeficiente de correlação do modelo matemático desenvolvido para este ensaio, traduzido pela Equação 10.1, situou-se próximo de 0,90, o que, por si só, oferece já algumas garantias de representatividade do referido modelo face aos valores registados na campanha experimental.

Os gráficos apresentados nas Figuras 10.47 e 10.48 ilustram, respectivamente, os resultados obtidos laboratorialmente e aqueles produzidos no modelo matemático, sem fixar o valor do diâmetro de espalhamento. Por outras palavras, os valores do parâmetro H2/H1 apresentados na Figura 10.47 foram aqueles efectivamente registados em laboratório, enquanto que os valores do parâmetro H2/H1 apresentados na Figura 10.48 resultaram da aplicação da Equação 10.1, utilizando os valores de MN de cada mistura e os diâmetros de espalhamento registados em laboratório durante a execução dos ensaios.

Em geral, observa-se uma boa correspondência entre os gráficos apresentados nas Figuras 10.47 e 10.48. Este facto pode significar que, pelo menos para a gama de valores adoptada no presente trabalho, o modelo matemático representa satisfatoriamente o comportamento físico real do betão no ensaio da “Caixa-L”.

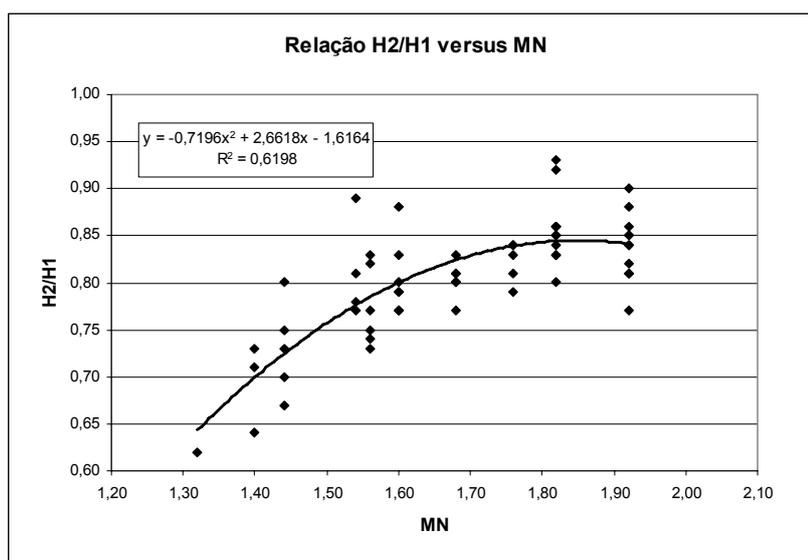


Figura 10.47 – Relação entre os parâmetros H2/H1 e MN a partir dos registos efectuados

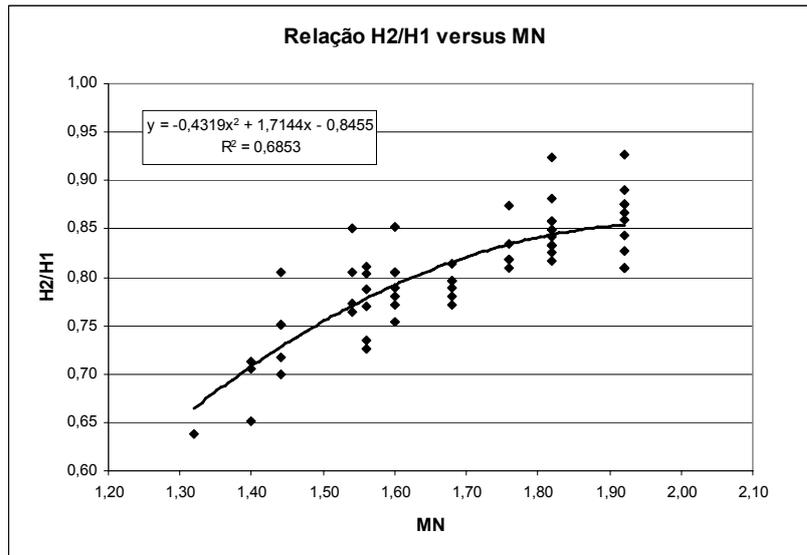


Figura 10.48 – Relação entre os parâmetros H2/H1 e MN a partir do modelo matemático

A Figura 10.49 representa a sobreposição do modelo matemático aos registos efectuados laboratorialmente. Tal como anteriormente, o modelo matemático é traduzido pela Equação 10.1. Neste caso, o parâmetro H2/H1 é determinado a partir do valor de MN de cada mistura e de um valor adoptado para o diâmetro de espalhamento. Dito de outro modo, cada equação representada graficamente na Figura 10.49, identificada por um determinado valor do diâmetro de espalhamento, permite estimar os valores do parâmetro H2/H1 que seriam obtidos se todas as misturas apresentassem exactamente esse mesmo valor do diâmetro de espalhamento.

Os valores identificados como “registos” na Figura 10.49 correspondem aos valores efectivamente registados em laboratório. Neste caso, para cada valor de MN, foram obtidos diferentes valores do diâmetro de espalhamento, o que conduziu a diferentes valores do parâmetro H2/H1.

A observação da Figura 10.49 permite concluir que o modelo matemático explica a variação dos valores de H2/H1 para um mesmo valor de MN, através da variação do diâmetro de espalhamento das misturas. Em síntese, o parâmetro da mistura (MN) só poderá ser correlacionado com o parâmetro de auto-compactabilidade (H2/H1) se a capacidade de deformação, medida pelo diâmetro de espalhamento (Dm), for constante.

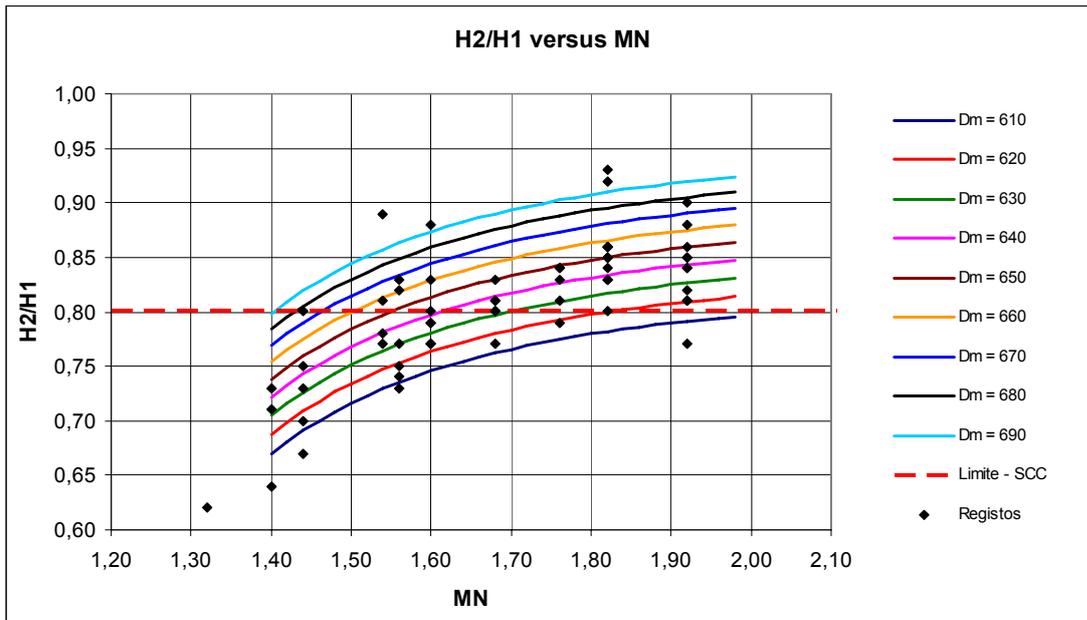


Figura 10.49 – Relação entre os parâmetros H2/H1, MN e Dm

A representação da Figura 10.25 segundo uma direcção ortogonal, conforme se ilustra na Figura 10.50, permite também observar a gama de variação do parâmetro H2/H1 em função do parâmetro MN, tendo por base os registos efectuados e o modelo proposto.

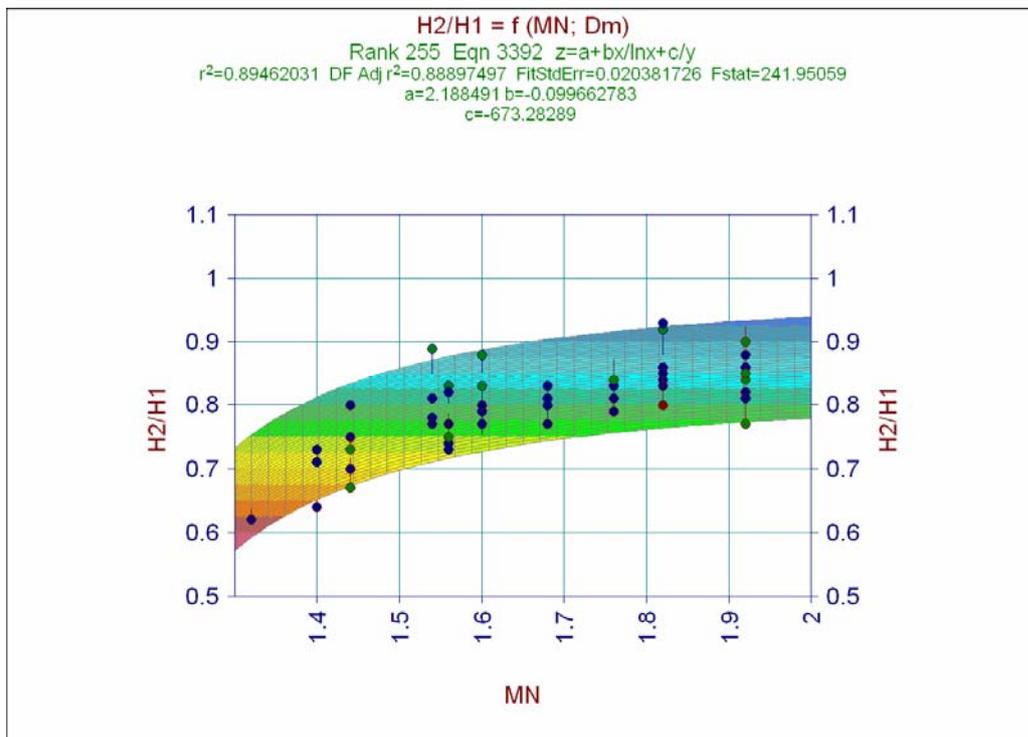


Figura 10.50 – Modelo matemático para a auto-compactabilidade – “Caixa-L”

No presente trabalho admitiu-se uma variação do diâmetro de espalhamento entre os 600 mm e os 700 mm. Este intervalo é idêntico àquele proposto em alguns dos métodos de estudo da composição de betões auto-compactáveis identificados na bibliografia consultada. Em geral, o intervalo proposto conduz a uma capacidade de deformação adequada à obtenção da auto-compactabilidade, e este facto foi também comprovado para as misturas produzidas neste trabalho. Contudo, de um ponto de vista qualitativo, a observação directa das misturas produzidas laboratorialmente e a sensibilidade entretanto adquirida na interpretação do comportamento do betão, permitem recomendar que se adoptem algumas precauções quando se produzem betões com valores do diâmetro de espalhamento próximos dos limites inferior e superior deste intervalo.

Durante a campanha experimental verificou-se que as misturas com diâmetros médios de espalhamento de 600 mm apresentavam baixa capacidade de deformação, ou melhor, uma capacidade de deformação nos limites do que seria aceitável. Em certa medida, se forem considerados outros factores, por exemplo a retenção da trabalhabilidade com o tempo, o risco de não se cumprir a auto-compactabilidade do betão, aquando da colocação em obra, é elevado. Por outro lado, no sentido oposto, os betões com diâmetros de espalhamento de 700 mm apresentavam alta capacidade de deformação, situando-se já na transição entre o betão auto-compactável e o betão auto-nivelante. De um ponto de vista prático este comportamento poderia ser vantajoso. Porém, nesta situação, qualquer pequeno acréscimo de água ou superplastificante na mistura, poderá conduzir à segregação dos agregados grossos e muito possivelmente à exsudação da água.

Pelo exposto, seria adequado recomendar que a capacidade de deformação dos betões auto-compactáveis, traduzida pelo diâmetro médio de espalhamento, se situasse numa gama de valores intermédia. Eventualmente, na fase de estudo da composição dos betões, a gama de valores intermédia poderia oscilar entre 650 ± 20 mm. Na prática, durante a colocação do betão em obra, seriam de admitir algumas oscilações em relação aos valores de dimensionamento, desde que o diâmetro de espalhamento se situasse no intervalo de 650 ± 50 mm.

Os gráficos que se ilustram nas Figuras 10.51 e 10.52 mostram a relação entre o parâmetro MN e o parâmetro H2/H1 quando o diâmetro de espalhamento assume o valor de 650 mm. Adicionalmente, no gráfico da Figura 10.51 são desenhadas a traço interrompido as correlações para os diâmetros de 640 mm e 660 mm, enquanto que na Figura 10.52 são representadas a traço interrompido as correlações para os diâmetros de 630 mm e 670 mm.

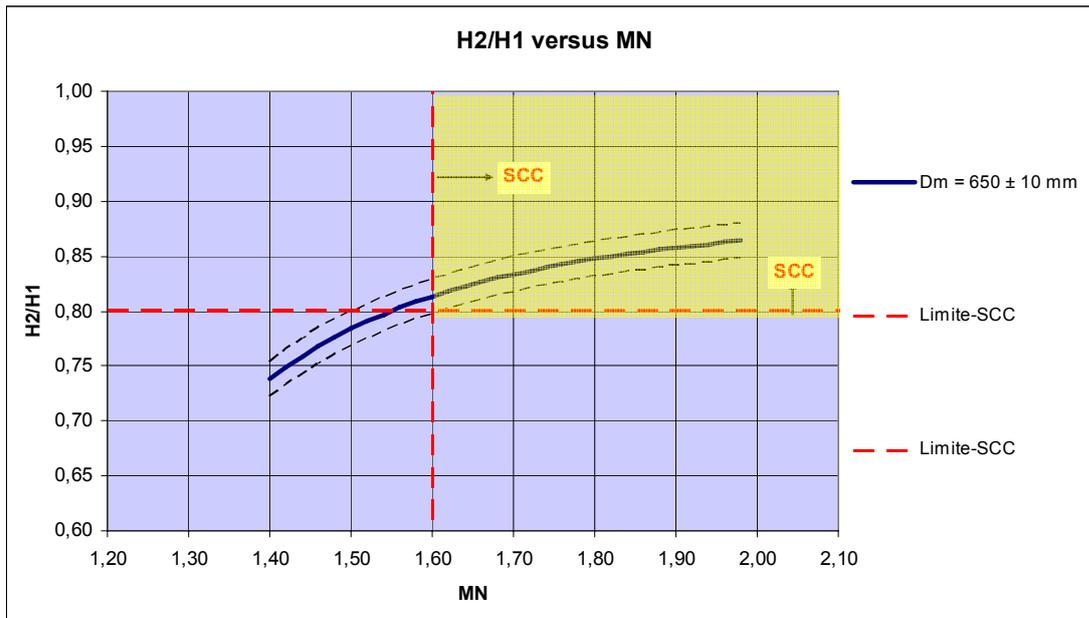


Figura 10.51 – Relação entre MN e H2/H1 quando Dm varia entre os 640 e 660 mm

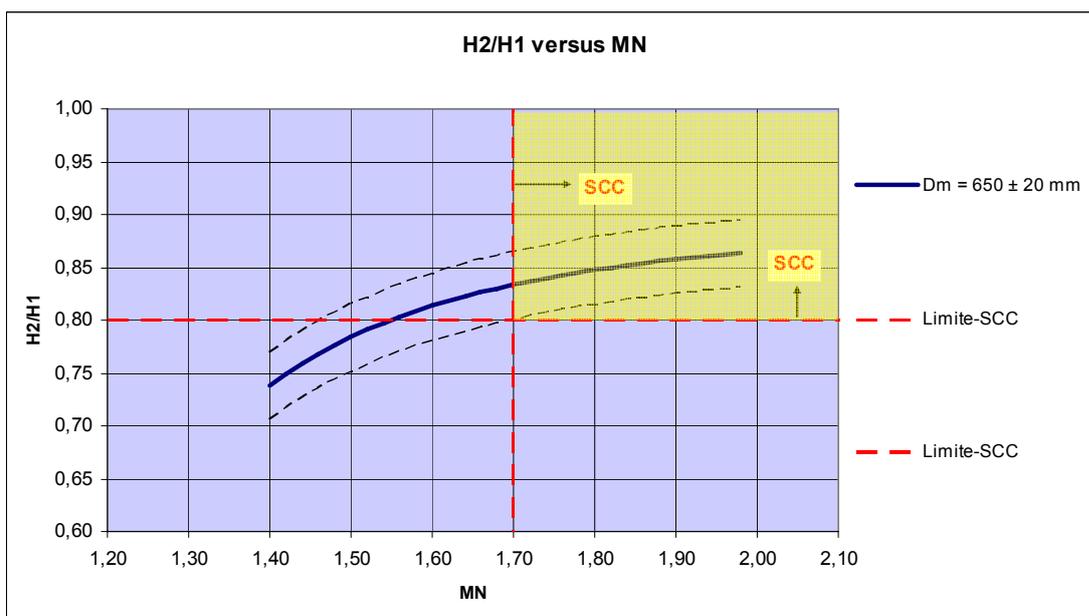


Figura 10.52 – Relação entre MN e H2/H1 quando Dm varia entre os 630 e 670 mm

Nos gráficos que se apresentaram nas Figuras 10.51 e 10.52 foram desenhados a traço interrompido de cor vermelha dois limites de auto-compactabilidade. O primeiro desses limites assume valores idênticos nos dois gráficos e diz respeito ao valor de H_2/H_1 . De acordo com a pesquisa bibliográfica efectuada, tem sido consensual, sempre que se utiliza o ensaio da “Caixa-L”, a adopção de valores de $H_2/H_1 \geq 0,80$, como forma de garantir a obtenção da auto-compactabilidade. O segundo limite resulta do primeiro e corresponde à intersecção do valor imposto relativamente ao parâmetro H_2/H_1 com a correlação correspondente ao menor valor do diâmetro de espalhamento em cada uma das Figuras. Note-se que um menor diâmetro de espalhamento exige um maior valor de MN para se obter $H_2/H_1 \geq 0,80$ e que um maior valor de MN corresponde a um menor valor do volume total de agregados da mistura.

A partir dos valores apresentados na Figura 10.52, que correspondem à gama de variação do diâmetro de espalhamento recomendada anteriormente para efeitos de estudo da composição de betões auto-compactáveis, e admitindo que a auto-compactabilidade é atingida quando $H_2/H_1 \geq 0,80$, poderá concluir-se que o valor mínimo a adoptar para o parâmetro MN deverá ser de 1,70. Isto significa que o produto dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g deverá ser igual ou superior a 1,70 se o betão for dimensionado para um diâmetro mínimo de 630 mm. Note-se, porém, que o modelo desenvolvido apenas é válido para a gama de valores adoptada neste trabalho.

A título de exemplo, considere-se um betão com um parâmetro $V_p/V_s = 0,80$, a que corresponde um valor $V_s/V_m \approx 0,40$. O parâmetro V_s/V_m representa a razão em volume absoluto entre as dosagens de agregados finos e de argamassa. Por exemplo, Okamura et al. [11, 35, 47, 51] propõem a adopção de um valor $V_s/V_m = 0,40$. Sendo exigido um valor $MN \geq 1,70$ para obtenção de $H_2/H_1 \geq 0,80$ na “Caixa-L”, isto significa a adopção de $V_m/V_g \geq 2,13$. A um valor de $V_m/V_g \geq 2,13$ equivale um volume de agregados grossos $V_g \leq 0,31 \text{ m}^3/\text{m}^3$ e um volume aparente de agregados grossos $V_{ap} \leq 52,6\%$. Note-se que a JSCE [11, 35] propõe a adopção de um valor $0,30 \leq V_g \leq 0,32$, enquanto que Okamura et al. [11, 35, 47, 51] propõem um valor $V_{ap} \leq 50\%$, portanto mais conservador.

Ensaio realizado com a “Caixa”

O modelo matemático desenvolvido para o ensaio da “Caixa”, traduzido pela Equação 10.2, apresenta um coeficiente de correlação muito inferior àquele obtido para o ensaio da “Caixa-L”. De facto, teoricamente, um coeficiente de correlação de 0,68 pode significar que os valores fornecidos pelo modelo matemático representam uma imagem distorcida face ao comportamento físico real do betão. Contudo, em termos absolutos, o intervalo de variação das medições apresentadas é muito pequeno e as diferenças obtidas acabam por se enquadrar no intervalo de variação admissível para as medições efectuadas em laboratório com o ensaio da “Caixa”.

O procedimento adoptado na análise e discussão dos resultados para o ensaio da “Caixa” é em tudo semelhante àquele adoptado para o ensaio da “Caixa-L”. Os gráficos apresentados nas Figuras 10.53 e 10.54 ilustram, respectivamente, os resultados obtidos laboratorialmente e aqueles produzidos no modelo matemático desenvolvido para o ensaio da “Caixa”, sem fixar o valor do diâmetro de espalhamento. Por outras palavras, os valores do parâmetro H apresentados na Figura 10.53 foram aqueles efectivamente medidos em laboratório, enquanto que os valores do parâmetro H apresentados na Figura 10.54 resultaram da aplicação da Equação 10.2, tendo por base os valores do parâmetro MN de cada mistura e os diâmetros de espalhamento registados nos ensaios laboratoriais.

Tal como seria de esperar, ao avaliar pelos coeficientes de correlação obtidos nas Equações 10.1 e 10.2, os gráficos apresentados nas Figuras 10.53 e 10.54 apresentam entre si diferenças maiores que aquelas registadas para a “Caixa-L”, em condições similares. Ainda assim, deverá observar-se que a gama de variação do parâmetro H compreende apenas um intervalo inferior a 15 mm, entre os valores máximo e mínimo registados. Nesta perspectiva, a distribuição média de valores nesse intervalo pode ser considerada aceitável já que, em termos absolutos, a diferença é pequena.

Um dos factores que possivelmente poderá ter contribuído para uma maior dispersão dos valores registados poderá estar relacionado com uma eventual menor sensibilidade na leitura da altura de enchimento no ensaio da “Caixa”.

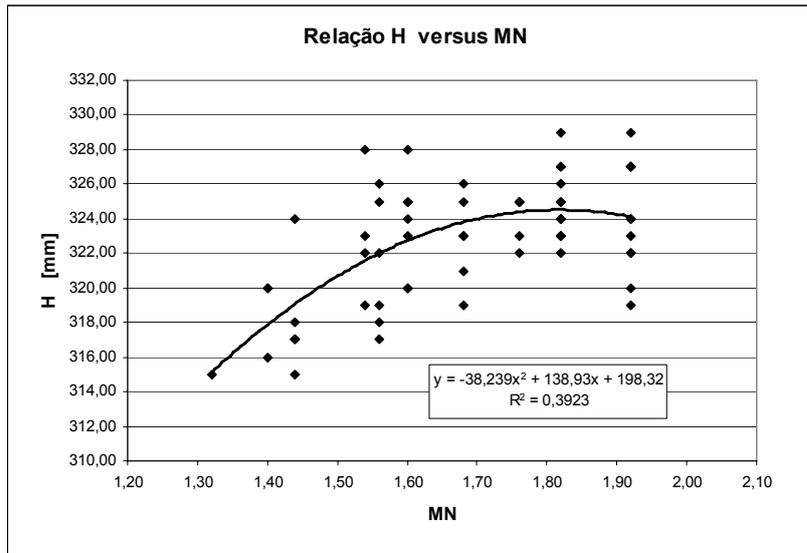


Figura 10.53 – Relação entre os parâmetros H e MN a partir dos registos efectuados

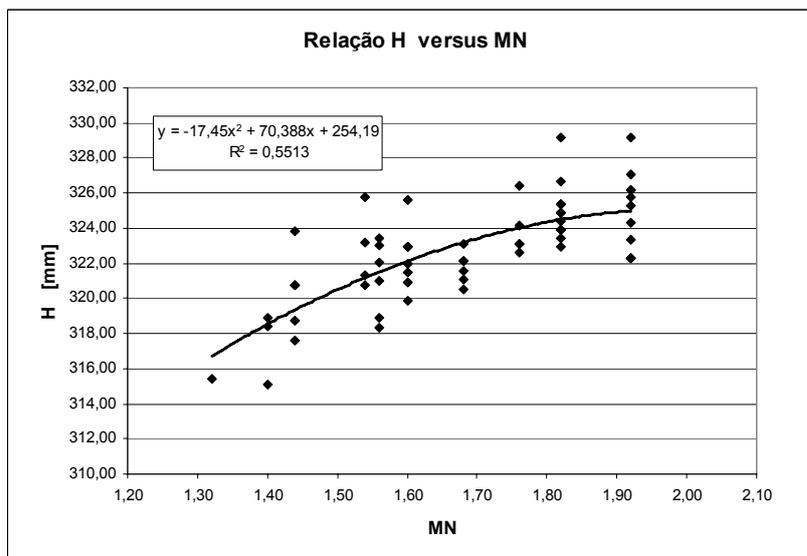


Figura 10.54 – Relação entre os parâmetros H e MN a partir do modelo matemático

A Figura 10.55 representa a sobreposição do modelo matemático aos registos efectuados laboratorialmente. O parâmetro H é determinado pela Equação 10.2, a partir dos valores de MN e D_m . Por outras palavras, cada equação representada graficamente na Figura 10.55, identificada por um determinado valor de D_m , permite estimar os valores do parâmetro H que seriam obtidos se todas as misturas apresentassem exactamente esse mesmo valor de D_m . Os valores identificados como “registos” na Figura 10.55 correspondem aos valores efectivamente registados em laboratório.

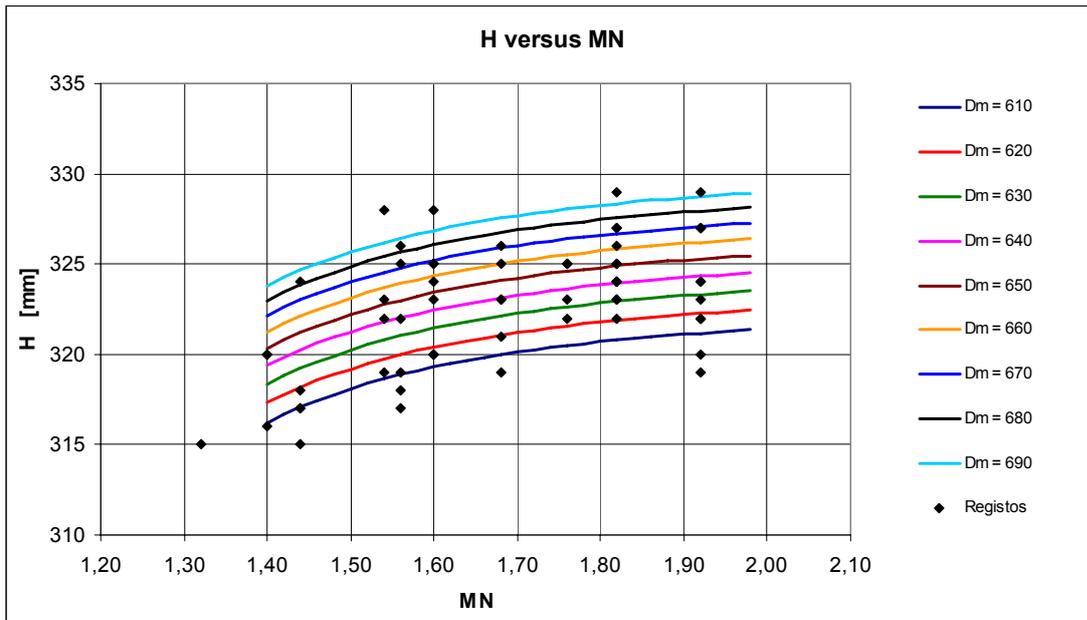


Figura 10.55 – Relação entre os parâmetros H, MN e Dm

A representação da Figura 10.44 segundo uma direcção ortogonal, conforme se ilustra na Figura 10.56, permite também observar a gama de variação do parâmetro H em função do parâmetro MN, tendo por base os registos efectuados e o modelo proposto.

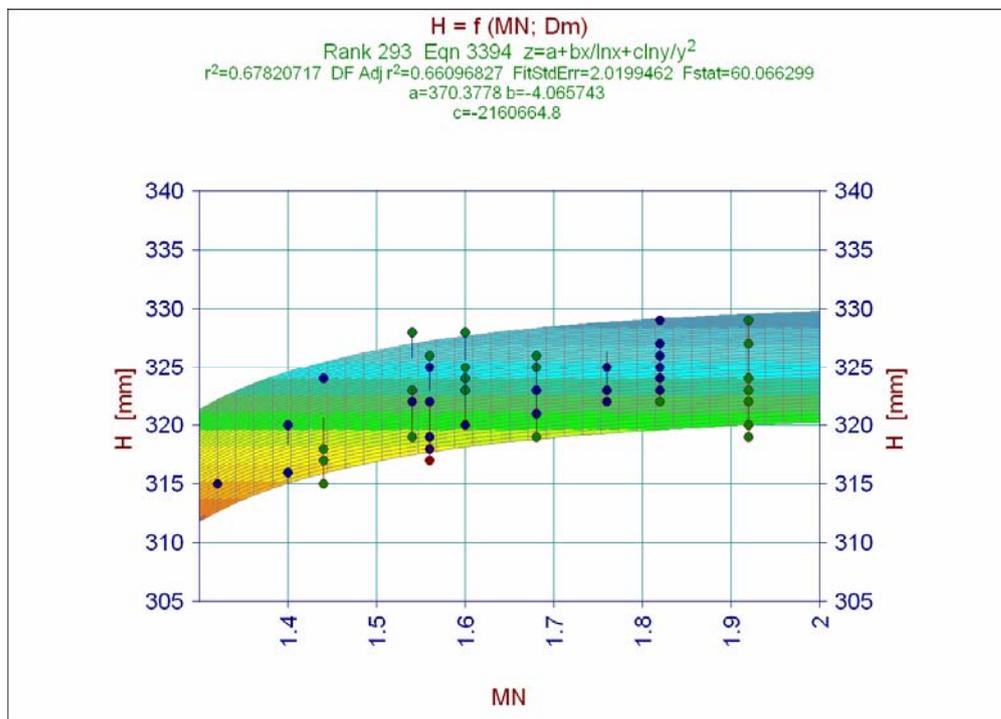


Figura 10.56 – Modelo matemático para a auto-compactabilidade – “Caixa”

Os gráficos que se ilustram nas Figuras 10.57 e 10.58 mostram a relação entre o parâmetro MN e o parâmetro H, quando o diâmetro de espalhamento assume um valor de 650 mm. Adicionalmente, no gráfico da Figura 10.57 são desenhadas a traço interrompido as correlações para os diâmetros de 640 mm e 660 mm, enquanto que na Figura 10.58 são representadas a traço interrompido as correlações para os diâmetros de 630 mm e 670 mm.

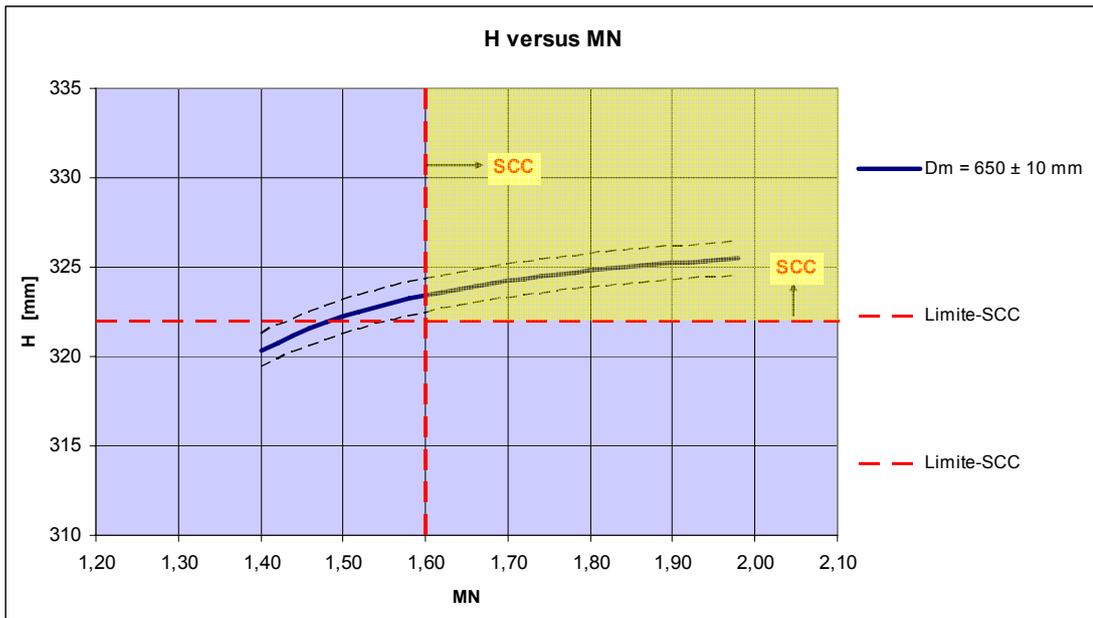


Figura 10.57 – Relação entre MN e H quando Dm varia entre os 640 e 660 mm

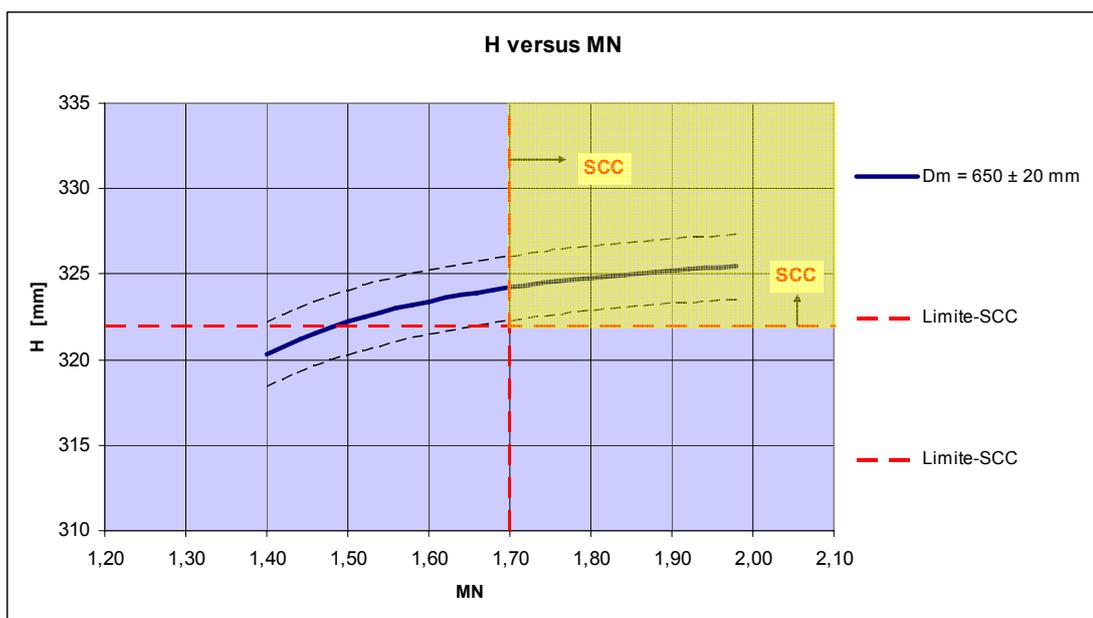


Figura 10.58 – Relação entre MN e H quando Dm varia entre os 630 e 670 mm

De acordo com a pesquisa bibliográfica efectuada, tem sido consensual a especificação de um valor da altura de enchimento no ensaio da “Caixa” ou da “Caixa-U” igual ou superior a 300 mm ($H \geq 300$ mm) para garantir a obtenção da auto-compactabilidade [11, 35, 47, 50, 51, 72, 78]. Assumindo esta premissa, seria correcto presumir que todos os betões produzidos no âmbito deste trabalho poderiam ser considerados auto-compactáveis, já que o valor mínimo registado para o parâmetro H foi de 315 mm.

A comparação entre os parâmetros de auto-compactabilidade medidos nos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” e os valores mínimos desses parâmetros consensualmente admitidos como necessários à obtenção da auto-compactabilidade, permitem constatar que a condição imposta para o ensaio da “Caixa-L” ($H_2/H_1 \geq 0,80$) é mais limitativa que aquela imposta para o ensaio da “Caixa” ($H \geq 300$ mm). Por outras palavras, um betão pode ser auto-compactável de acordo com o critério definido para o ensaio da “Caixa” e não o ser de acordo com o critério especificado para a “Caixa-L”. Obviamente, na interpretação desta conclusão deverão sempre observar-se os procedimentos de ensaio utilizados e as dimensões dos equipamentos, incluindo o espaçamento entre armaduras nos obstáculos instalados.

Os limites de auto-compactabilidade desenhados nas Figuras 10.57 e 10.58 foram estabelecidos a partir da condição mais restritiva observada nos dois ensaios analisados, nomeadamente, aquela observada no ensaio da “Caixa-L” ($H_2/H_1 \geq 0,80$). Em consequência, o primeiro limite imposto diz respeito ao valor de MN, o qual deverá ser superior a 1,60 e 1,70, respectivamente, na Figura 10.57 e na Figura 10.58. O segundo limite foi estabelecido a partir do primeiro, e resulta da intersecção do valor imposto relativamente ao parâmetro MN com a correlação correspondente ao menor valor do diâmetro de espalhamento em cada uma das Figuras.

A partir dos valores apresentados na Figura 10.58, que correspondem à gama de variação do diâmetro de espalhamento recomendada anteriormente para efeitos de estudo da composição de betões auto-compactáveis, conclui-se que a auto-compactabilidade é atingida quando $H \geq 322$ mm no ensaio da “Caixa”, a que corresponde um valor $H_2/H_1 \geq 0,80$ no ensaio da “Caixa-L”.

10.2.3.3.3 – A dosagem de agregados finos e grossos

Tendo por base os modelos matemáticos apresentados nas Equações 10.1 e 10.2, foi estabelecida uma correlação sólida entre os parâmetros de auto-compactabilidade medidos na “Caixa-L” e na “Caixa” (Sub-Capítulo 10.2.3.2). Nesta perspectiva, uma vez que as correlações que se apresentam neste Sub-Capítulo são também suportadas pelos mesmos modelos matemáticos, não se considerou necessária a discussão em separado dos dois ensaios. Nesta medida, a discussão que se apresenta no item seguinte centrar-se-á unicamente no ensaio realizado com a “Caixa-L”. Na opção pelo ensaio da “Caixa-L” pesou o facto deste se ter revelado mais exigente quanto ao critério de auto-compactabilidade e o facto do modelo matemático deste ensaio apresentar maior coeficiente de correlação.

Ensaio realizado com a “Caixa-L”

Com o objectivo de facilitar a comparação entre diferentes métodos de cálculo da composição descritos na bibliografia consultada, a dosagem de agregados grossos será representada simultaneamente por três parâmetros, que nas condições definidas neste trabalho apresentam correspondência directa entre si, nomeadamente, os parâmetros V_g , $V_{ap}\%$ e V_m/V_g . Pelos mesmos motivos, ou seja, facilitar a comparação entre diferentes métodos, a dosagem de agregados finos será representada pela razão V_s/V_m . Os valores de V_g , $V_{ap}\%$, V_m/V_g e V_s/V_m de cada um dos betões produzidos neste trabalho foram já apresentados do Quadro 8.38 ao Quadro 8.48.

Para se estabelecer uma relação entre os parâmetros da mistura e os parâmetros de auto-compactabilidade será necessário isolar o efeito resultante da capacidade de deformação. Em consequência, as correlações entre as dosagens de agregados (finos e grossos) e os parâmetros de auto-compactabilidade serão estabelecidas para cada valor do diâmetro de espalhamento, ou seja, quando a capacidade de deformação é constante em todos os betões. Neste caso, conhecido o valor do parâmetro MN de cada betão e fixado o valor do diâmetro de espalhamento (D_m), o valor do parâmetro de auto-compactabilidade será determinado pela equação estabelecida no modelo matemático.

Na representação bidimensional, estabelecida para cada valor do diâmetro de espalhamento (D_m), o parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1) apenas poderá ser correlacionado com um dos parâmetros da mistura que define a dosagem de agregados, nomeadamente, o parâmetro que define a dosagem de agregados grossos (V_g) ou o parâmetro que define a dosagem de agregados finos (V_s/V_m).

Pelo exposto, para cada valor do diâmetro de espalhamento (D_m), ou seja, em cada um dos gráficos a apresentar, serão estabelecidas quatro correlações diferentes entre os parâmetros (H_2/H_1) e (V_s/V_m), sendo cada uma delas correspondente a um dos quatro valores assumidos para o parâmetro (V_g). O volume de agregados grossos (V_g) assume os valores de 0,269; 0,285; 0,303 e 0,323 m^3 , que encontram correspondência nos valores adoptados no presente trabalho para o parâmetro V_m/V_g , ou seja, 2,60; 2,40; 2,20 e 2,00. Por opção, os valores adoptados para o diâmetro de espalhamento (D_m) foram: 620, 630, 640, 650, 660, 670, e 680 mm. As correlações assim obtidas são apresentadas da Figura 10.59 à Figura 10.65.

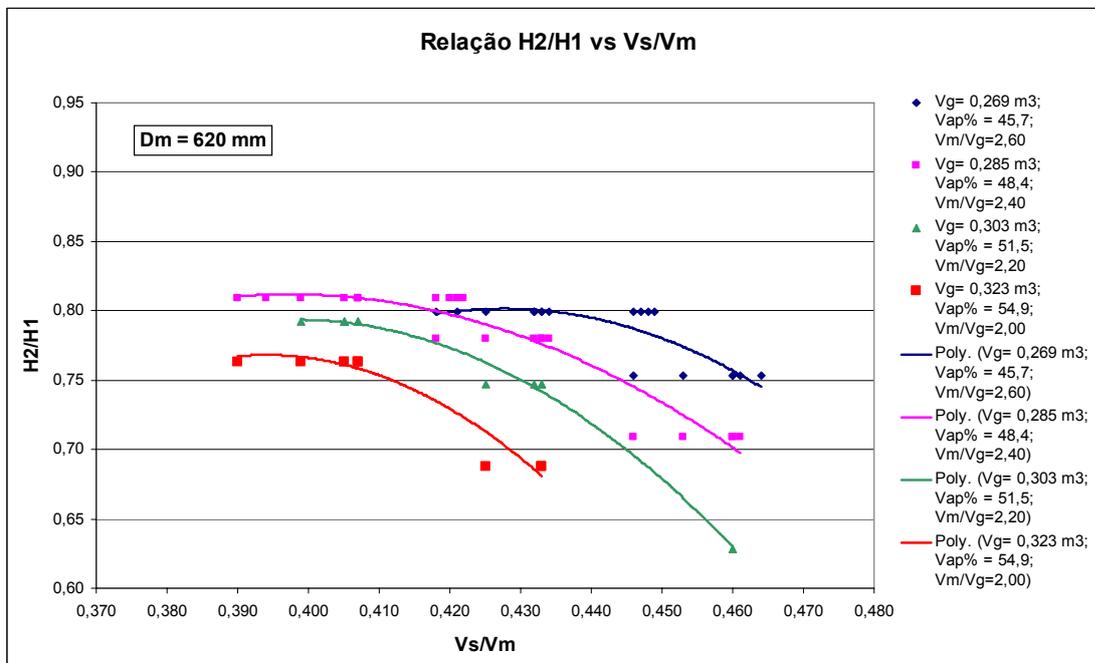


Figura 10.59 – Relação entre H_2/H_1 e o volume de agregados para $D_m=620$ mm

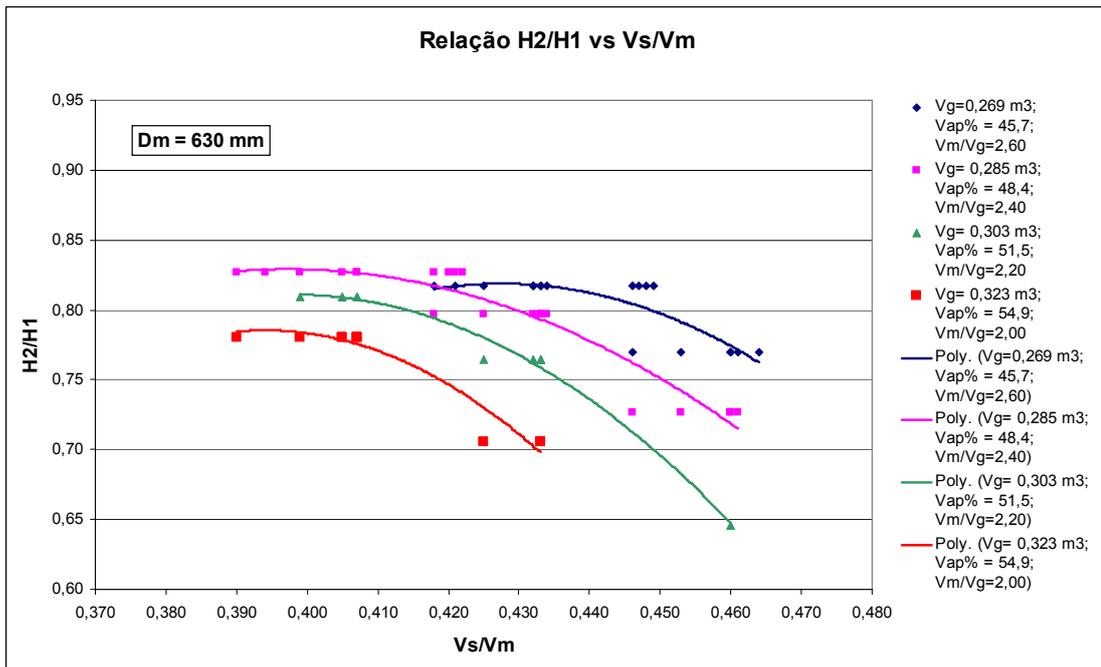


Figura 10.60 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=630 mm

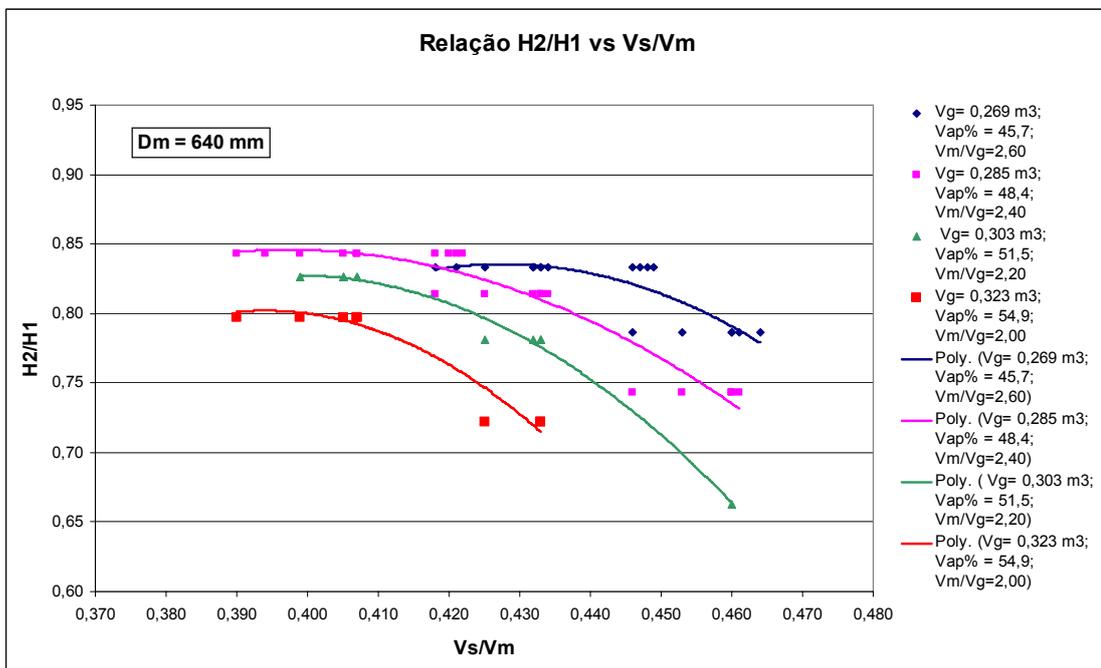


Figura 10.61 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=640 mm

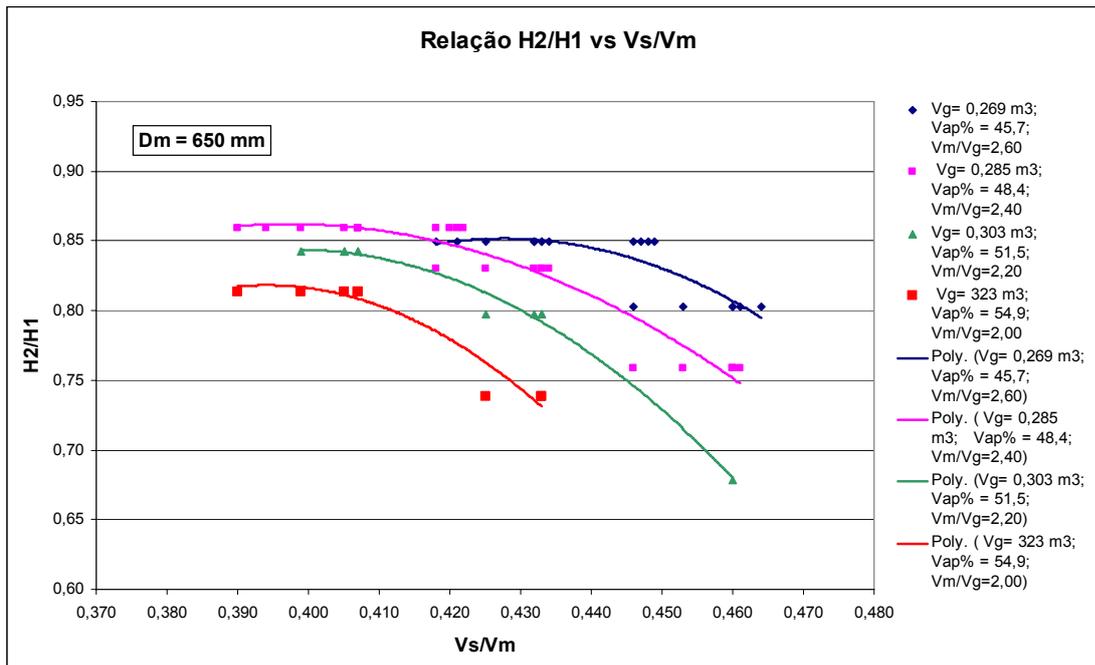


Figura 10.62 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=650 mm

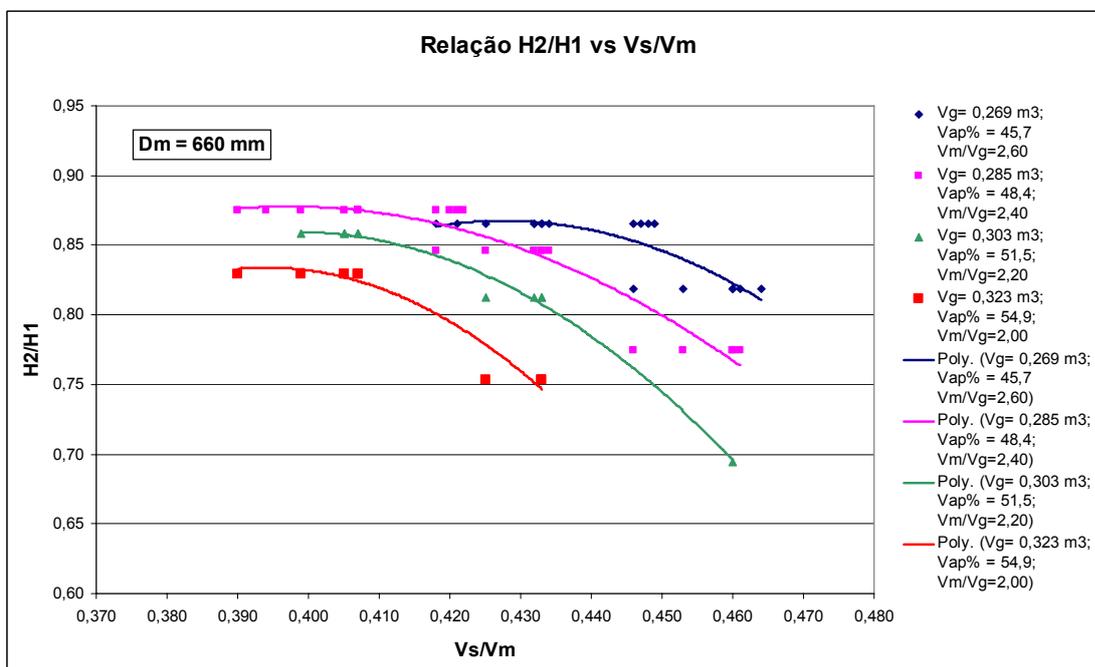


Figura 10.63 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=660 mm

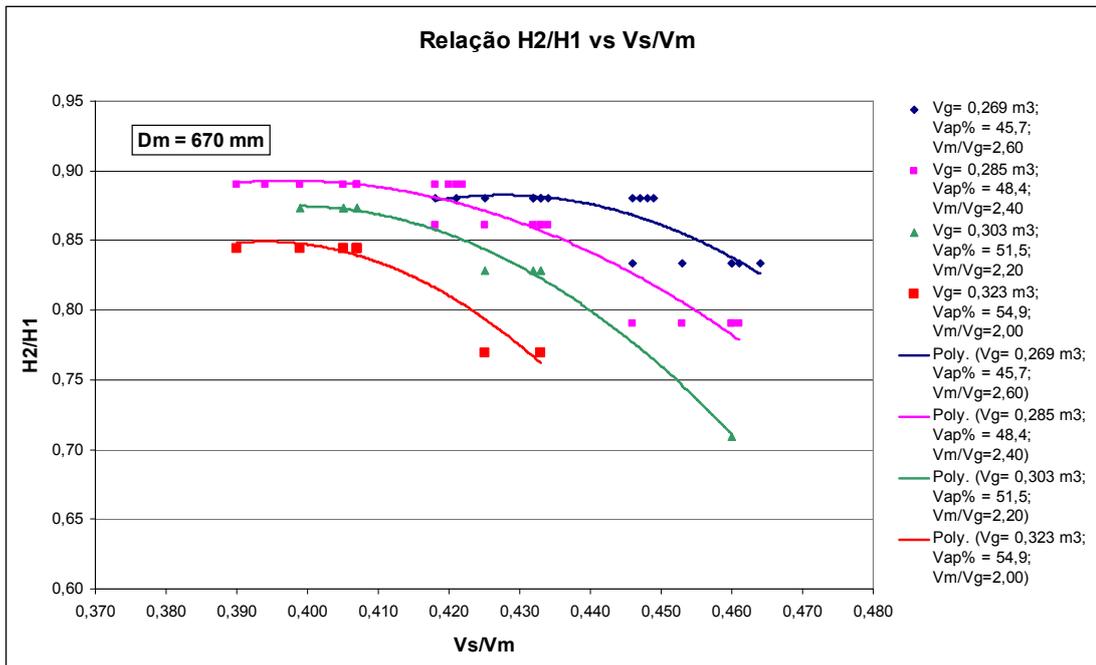


Figura 10.64 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=670 mm

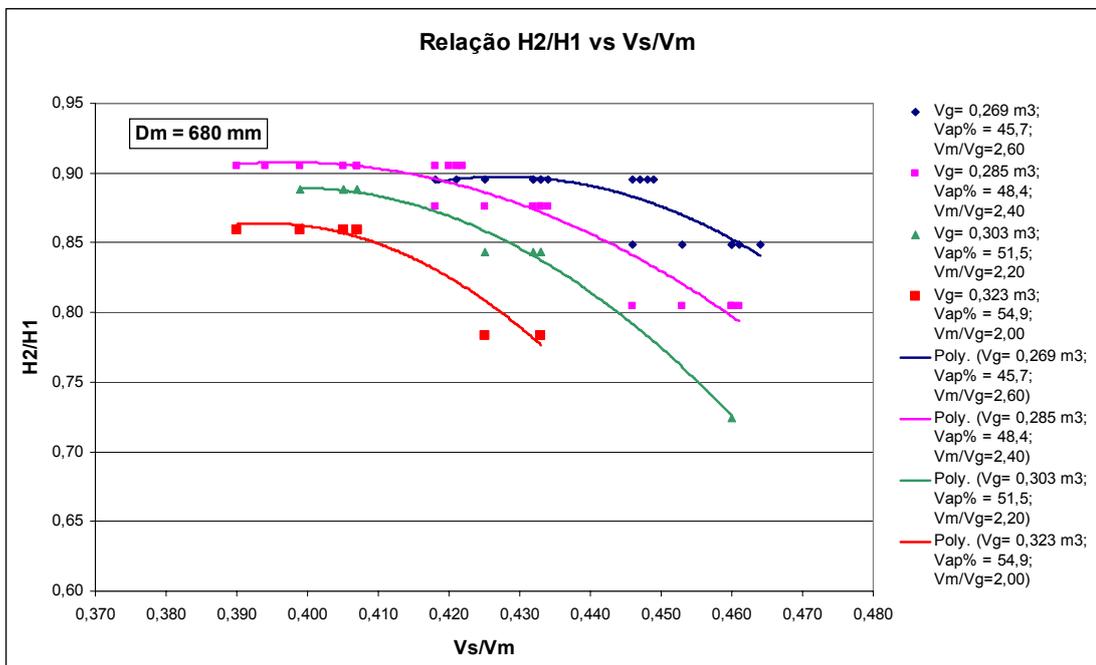


Figura 10.65 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=680 mm

A observação dos gráficos apresentados da Figura 10.59 à Figura 10.65 permite verificar que, sob condições constantes da capacidade de deformação, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade no ensaio da “Caixa-L”, traduzido pelo parâmetro $H2/H1$, depende da combinação entre o volume absoluto unitário de agregados finos presente na argamassa e o volume absoluto de agregados grossos especificado para o betão.

Considere-se o intervalo de dimensionamento para o diâmetro de espalhamento sugerido no Sub-Capítulo anterior, compreendido entre os 630 mm e os 670 mm. Se for considerada a situação mais desfavorável deste intervalo, que corresponde a um diâmetro de espalhamento de 630 mm, podem ser definidos alguns limites para as dosagens de agregados grossos e de agregados finos. A partir da Figura 10.60 verifica-se que, independentemente do valor de V_s/V_m , o parâmetro $H2/H1$ só será igual ou superior a 0,80 se $V_g \leq 0,313 \text{ m}^3$ ($V_{ap}\% \leq 53,2$ ou $V_m/V_g \geq 2,10$), valor determinado por estimativa a partir da interpolação das correlações para $V_g=0,303$ e $V_g=0,323$. Para este volume de agregados grossos, o parâmetro V_s/V_m deverá assumir um valor igual ou inferior a 0,40. Neste caso, se a auto-compactabilidade for garantida para $D_m=630$ mm, ela será automaticamente garantida para diâmetros superiores do intervalo estabelecido.

No método de Okamura et al. [11, 35, 47, 51], é proposta a adopção de um volume de agregados finos constante em todas as misturas, equivalente a 40% do volume da argamassa ($V_s/V_m=0,40$). A quantificação do volume de agregados grossos proposta no mesmo método considera, ainda que de forma indirecta, a distribuição granulométrica desta classe de agregados. Okamura et al. propõem a adopção de um volume de agregados grossos equivalente a 50% do volume aparente compactado destes agregados ($V_{ap}\%=50$). A máxima dimensão do agregado grosso não deverá ultrapassar os 20 mm.

Os valores propostos no método de Okamura et al. [11, 35, 47, 51] encontram facilmente justificação quando analisados à luz dos resultados obtidos no presente trabalho. Considere-se, por exemplo, o gráfico ilustrado na Figura 10.59, referente a um valor de $D_m=620$ mm, muito próximo da situação mais desfavorável da capacidade de deformação imposta por Okamura et al. ($D_m=600$ mm). Por interpolação, é possível verificar que,

utilizando um volume aparente de agregados grossos $V_{ap}\%=50$, o parâmetro de auto-compactabilidade atinge o valor $H2/H1=0,80$ quando $Vs/Vm\approx 0,41$. Se o volume absoluto de agregados finos presente na argamassa aumentar para além deste valor, o critério de auto-compactabilidade deixa de se verificar, a menos que se considerem diâmetros de espalhamento maiores, ou seja, o aumento da capacidade de deformação dos betões.

Para se perceber melhor a relação entre os parâmetros da mistura propostos por Okamura ($V_{ap}\%$ e Vs/Vm) e o parâmetro de auto-compactabilidade ($H2/H1$) medido na “Caixa-L”, apresenta-se na Figura 10.66 uma representação tridimensional que inclui estes três parâmetros. Por opção, esta correlação foi determinada para o valor médio do intervalo de variação do diâmetro de espalhamento proposto por Okamura et al. (650 ± 50 mm), ou seja, um diâmetro médio de espalhamento de 650 mm.

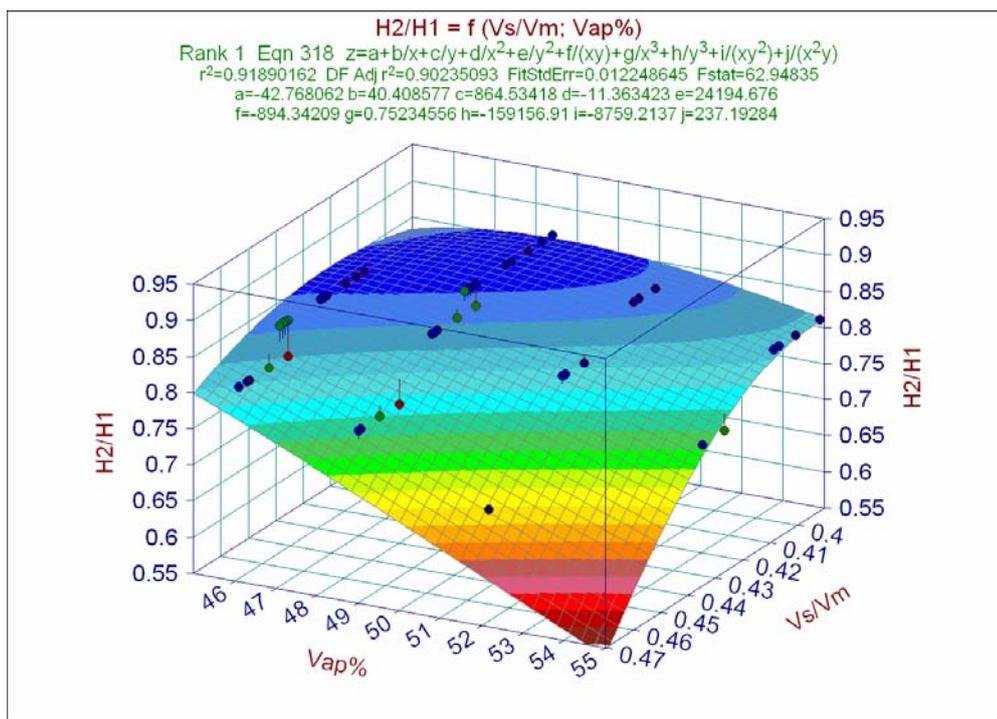


Figura 10.66 – Relação entre $H2/H1$, Vs/Vm e $V_{ap}\%$ para $Dm=650$ mm

O gráfico apresentado na Figura 10.66 ilustra de uma forma simples a relação entre alguns dos parâmetros intervenientes no processo de cálculo. Torna-se perceptível, por exemplo, que a adopção de parâmetros fixos para as dosagens de agregados finos e

grossos, que garantam a auto-compactabilidade para um leque variado de situações, poderá ser muito útil, mas será certamente conservador. Localizando na superfície desenhada na Figura 10.66 o par de valores $V_{ap}\%=50$ e $V_s/V_m=0,40$ propostos por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], mais do que um único valor que verifica o parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1), é possível localizar uma região de betões que verificam esse mesmo parâmetro. Note-se, no entanto, que os valores de H_2/H_1 poderão oscilar para menos ou para mais se o diâmetro de espalhamento descer ou subir no intervalo admissível (650 ± 50 mm).

Os resultados apresentados neste Sub-Capítulo poderão também revelar-se muito úteis como suporte de decisão para outros métodos. Por exemplo, o método desenvolvido pela JSCE [11, 35] propõe a utilização de um volume absoluto de agregados grossos compreendido entre os $0,30\text{ m}^3$ e os $0,32\text{ m}^3$, por metro cúbico de betão. Porém, ao contrário do método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], não fixa a dosagem de agregados finos, sendo esta calculada a partir dos valores estabelecidos para os restantes componentes. Nesta perspectiva, os gráficos apresentados da Figura 10.59 à Figura 10.65 poderão revelar-se muito úteis na estimativa do volume de agregados finos adequado, uma vez fixado o volume de agregados grossos.

Em certa medida, o balanço entre a dosagem de agregados finos e de agregados grossos que conduz à auto-compactabilidade está contemplado no parâmetro MN (número de mistura) introduzido neste trabalho e discutido no Sub-Capítulo anterior. Por exemplo, para um mesmo valor de MN, não é possível aumentar o volume de agregados grossos sem diminuir o volume de agregados finos na argamassa e, conseqüentemente, aumentar o volume de materiais finos dessa mesma argamassa. Poderá mesmo acrescentar-se que o parâmetro MN prevê um aumento do volume de pasta na argamassa e uma redução do volume de agregados finos, quando o volume de agregados grossos aumenta. Salienta-se, porém, que os resultados obtidos até ao presente momento, relativamente ao parâmetro MN, são válidos para as condições impostas neste trabalho, incluindo os intervalos de variação especificados para os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g .

10.2.3.3.4 – A dosagem de materiais finos

Tem sido consensual a opinião de que os betões auto-compactáveis, pela sua especificidade relativamente às propriedades no estado fresco, necessitam de um volume de materiais finos superior àquele utilizado em betões convencionais vibrados. Contudo, a quantificação do volume de materiais finos adequado à obtenção da auto-compactabilidade é complexa, na medida em que terá sempre que ser analisada em estreita dependência com as restantes variáveis da mistura.

No balanço efectuado no cálculo do betão, se forem especificados o volume de vazios e os volumes de agregados finos e grossos da mistura adequados à obtenção da auto-compactabilidade, obtém-se um único volume de pasta e, neste caso, o volume de materiais finos será ditado pelas propriedades reológicas da pasta. Note-se que, para cada família de materiais finos, as propriedades reológicas dependerão sempre dos volumes de materiais finos, água e superplastificante que incorporam a pasta. Contrariamente, se for especificado o volume de vazios e se forem garantidas algumas condições quanto às características e proporções entre os agregados finos e grossos, o volume total da pasta das misturas pode ser especificado como parâmetro de cálculo e, neste caso, as dosagens dos agregados serão consequência da dosagem de pasta. Contudo, também neste caso, o volume de materiais finos será ditado pelas propriedades reológicas da pasta.

Em alguns métodos de cálculo têm sido fornecidas indicações acerca do intervalo de variação do volume de materiais finos adequado à obtenção da auto-compactabilidade, enquanto que para outros métodos esse valor resulta das condições impostas às dosagens dos restantes componentes. Por exemplo, a JSCE [11, 35] propõe a utilização de um volume de materiais finos situado entre os $0,16 \text{ m}^3$ e os $0,19 \text{ m}^3$ por metro cúbico de betão, enquanto que no método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] a dosagem de materiais finos é consequência das condições impostas quanto ao volume de vazios, quanto às dosagens de agregados (finos e grossos) e quanto aos parâmetros reológicos das argamassas, que determinam as razões V_w/V_p e $S_p/p\%$. Em certa medida, ao fixar o volume de vazios e as dosagens de agregados finos e grossos, o método proposto por

Okamura et al. visa precisamente a garantia de utilização de um determinado volume de pasta que, para além disso, deverá possuir determinadas propriedades reológicas.

À semelhança do procedimento adoptado anteriormente, e pelas mesmas razões, a discussão relativa à influência da dosagem de materiais finos na auto-compactabilidade será apresentada unicamente com base nos resultados obtidos no ensaio da “Caixa-L”.

Ensaio realizado com a “Caixa-L”

Para se estabelecer uma relação entre o volume de materiais finos (V_p) e o parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1) medido na “Caixa-L”, será necessário, por um lado, isolar o efeito dos restantes componentes da mistura, e por outro, isolar o efeito resultante da capacidade de deformação.

Para se isolar o efeito dos restantes componentes da mistura, contou-se com o facto das curvas de referência dos betões produzidos neste trabalho não terem variado substancialmente entre si. Por outro lado, as variações das dosagens de água entre misturas, face à variação dos volumes de materiais finos, são proporcionalmente pequenas, enquanto que a variação das dosagens de superplastificante depende directamente do tipo e dosagem de ligante em cada mistura. Nesta perspectiva, considerando a impossibilidade de contabilizar todos os parâmetros intervenientes, tentou-se, ainda assim, incluir pelo menos o efeito resultante das alterações nas dosagens de superplastificante face ao tipo de ligante. Assim, a relação entre a dosagem de materiais finos e a auto-compactabilidade será apresentada para cada um dos ligantes utilizados (CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R).

Para se isolar o efeito da capacidade de deformação, as correlações entre as dosagens de materiais finos e os parâmetros de auto-compactabilidade serão estabelecidas para cada valor do diâmetro de espalhamento, ou seja, quando a capacidade de deformação é constante em todos os betões. Neste caso, conhecido o valor do parâmetro MN de cada betão e fixado o valor do diâmetro de espalhamento (D_m), o valor do parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1) será determinado pela equação estabelecida no modelo matemático.

Pelo exposto, para cada valor do diâmetro de espalhamento (D_m), ou seja, em cada um dos gráficos a apresentar, serão estabelecidas duas correlações diferentes entre os parâmetros (H_2/H_1) e (V_p), sendo cada uma delas correspondente a um dos ligantes utilizados (CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R). Adicionalmente, será ainda apresentada em cada gráfico uma correlação para a totalidade dos valores, independentemente do tipo de ligante. Por opção, os valores adoptados para o diâmetro de espalhamento (D_m) foram: 620, 630, 640, 650, 660, 670, e 680 mm. As correlações assim obtidas são apresentadas da Figura 10.67 à Figura 10.73.

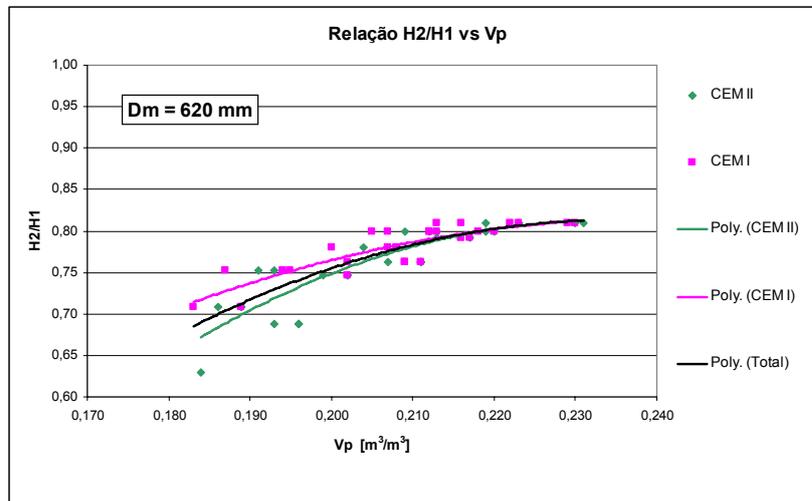


Figura 10.67 – Relação entre H_2/H_1 e V_p para $D_m=620$ mm

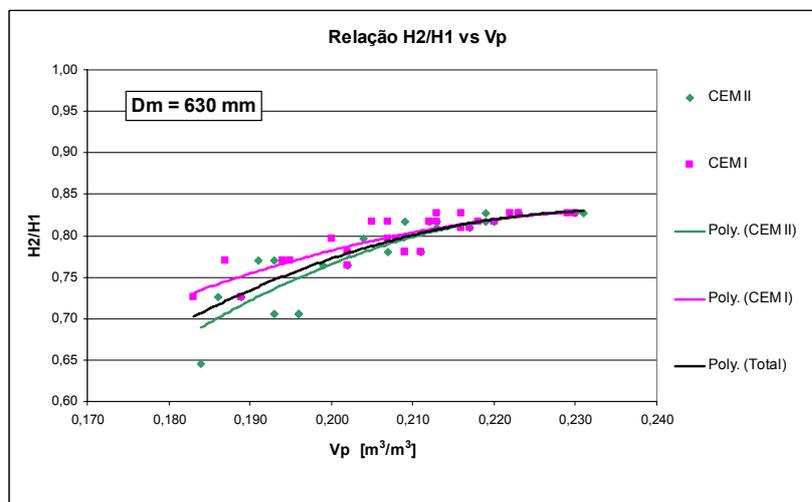


Figura 10.68 – Relação entre H_2/H_1 e V_p para $D_m=630$ mm

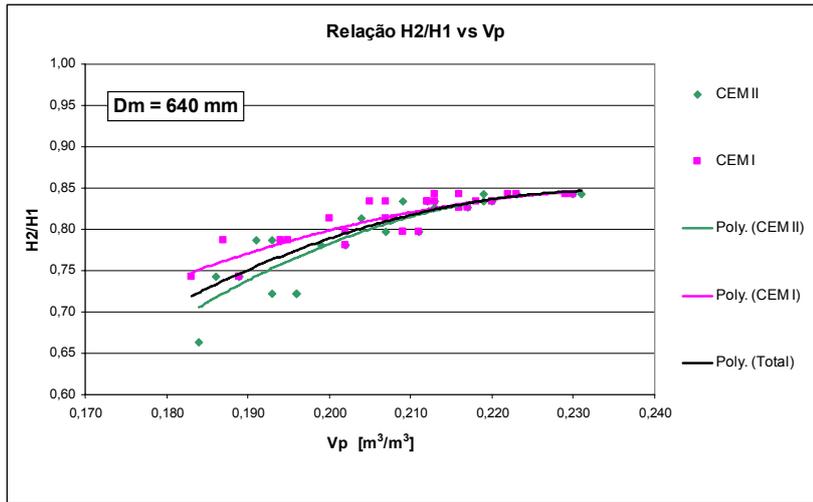


Figura 10.69 – Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=640 mm

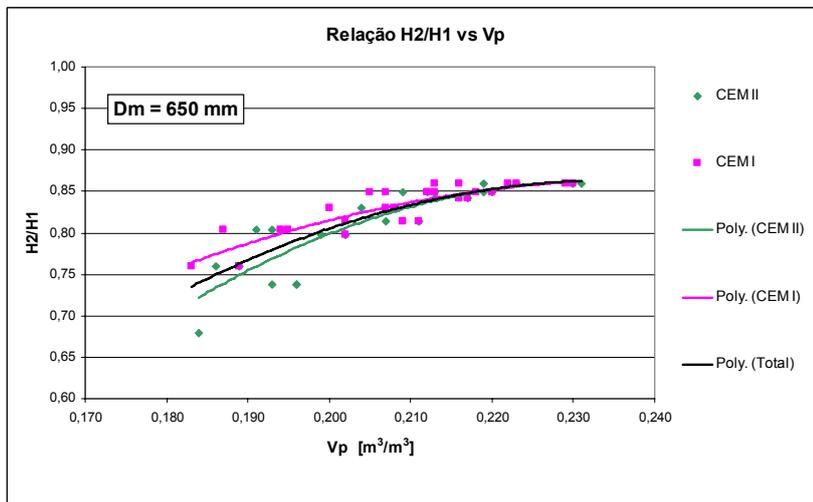


Figura 10.70 – Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=650 mm

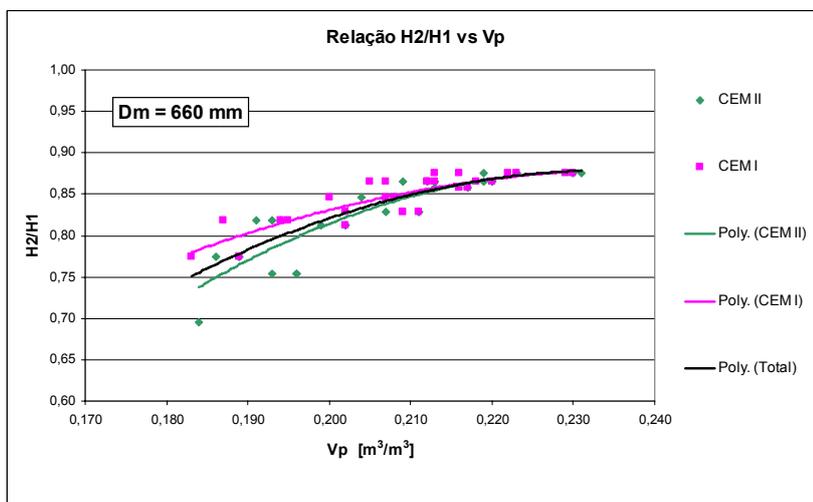


Figura 10.71 – Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=660 mm

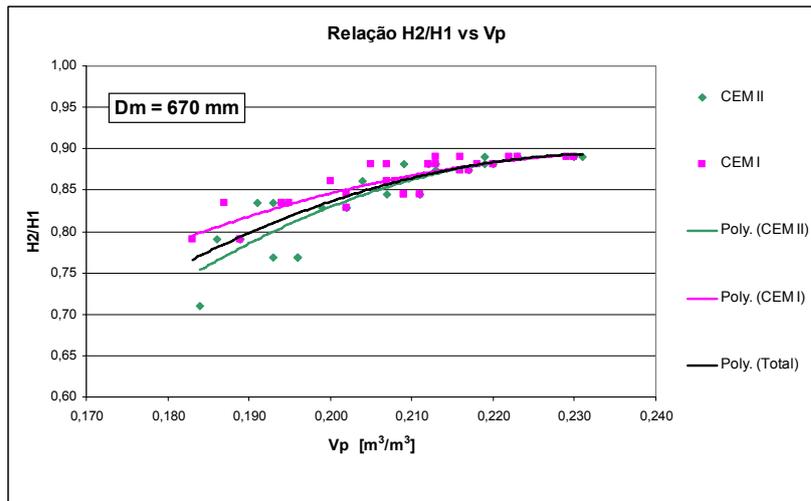


Figura 10.72 – Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=670 mm

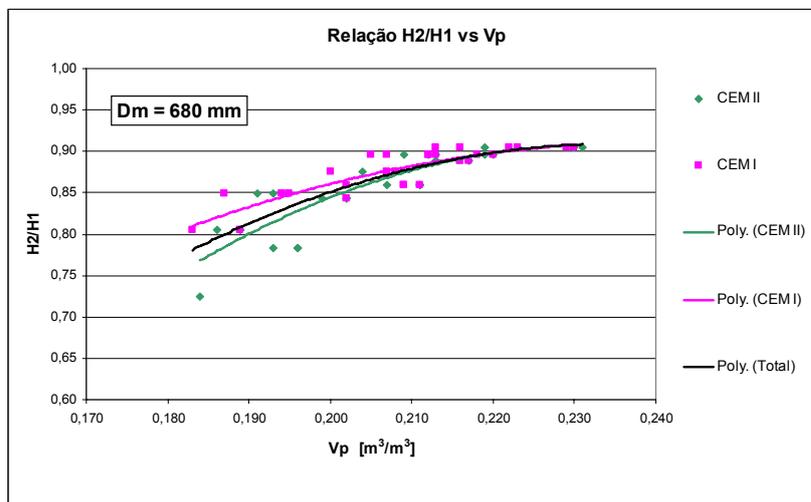


Figura 10.73 – Relação entre H2/H1 e Vp para Dm=680 mm

A observação dos gráficos ilustrados da Figura 10.67 à Figura 10.73 permite verificar que, sob condições constantes da capacidade de deformação, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade registado no ensaio da “Caixa-L”, traduzido pelo parâmetro H2/H1, está relacionado com o volume de materiais finos e com o tipo de ligante utilizado. Observou-se ainda que, independentemente da capacidade de deformação dos betões, ocorre uma convergência entre as correlações desenhadas para o cimento CEM II/B-L32,5N e para o cimento CEM I 42,5R a partir de um valor de $V_p \approx 0,210 \text{ m}^3/\text{m}^3$. Isto significa que, a partir deste valor, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade deixa de depender do

tipo de ligante e passa a depender exclusivamente do volume total de materiais finos. Por outro lado, o volume de materiais finos inclui diferentes combinações binárias entre o ligante e as adições, e este facto parece ser menos relevante para a auto-compactabilidade que o volume total de materiais finos.

Considere-se o intervalo de dimensionamento proposto no presente trabalho para o diâmetro de espalhamento, compreendido entre os 630 mm e os 670 mm. Analisando a situação mais desfavorável deste intervalo ($D_m=630$ mm), será possível definir, ainda que de forma aproximada, valores mínimos para as dosagens de materiais finos que conduzem à auto-compactabilidade. A partir da Figura 10.68, é possível observar que o parâmetro de auto-compactabilidade H_2/H_1 atinge um valor igual ou superior a 0,80 quando o volume de materiais finos é igual ou superior a $0,210 \text{ m}^3$, independentemente do tipo de ligante. Se a auto-compactabilidade for garantida para $D_m=630$ mm, ela será automaticamente garantida para diâmetros superiores do intervalo estabelecido.

10.2.3.3.5 – As dosagens de água e de superplastificante

As dosagens de água e de superplastificante afectam a auto-compactabilidade dos betões, na medida em que influenciam as suas propriedades reológicas, as quais, por sua vez, actuam intrinsecamente na capacidade de enchimento, resistência à segregação e capacidade de passagem dos betões frescos auto-compactáveis. A dosagem de água dos betões com propriedades reológicas predefinidas deverá ser avaliada para cada tipo de superplastificante, já que dependerá da capacidade de redução de água deste último.

A metodologia adoptada no presente trabalho considera que as dosagens de água e de superplastificante devem ser determinadas a partir de estudos efectuados em argamassas, tendo em vista a obtenção de determinados parâmetros reológicos adequados à produção de betões auto-compactáveis. Uma vez determinadas as dosagens de água e de superplastificante na argamassa, as correspondentes dosagens no betão dependerão directamente do volume de argamassa que este incorpora.

A variação do volume de agregados finos na argamassa e/ou a variação do volume de argamassa no betão que, indirectamente, se traduz na variação do volume de agregados grossos da mistura, podem afectar a maior ou menor correspondência entre os parâmetros reológicos das argamassas e os parâmetros reológicos dos betões. Isto significa, que os parâmetros reológicos especificados para as argamassas deveriam ter em conta o volume e características dos agregados grossos no betão, ou mesmo o volume de agregados finos na argamassa. Isto sucede, por exemplo, no método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] quando, ao fixar $V_s/V_m=0,40$ e $V_{ap}\%=50$, estabelece os parâmetros reológicos das argamassas ($G_m=5$ e $R_m=1$) adequados à obtenção de betões auto-compactáveis.

No presente trabalho admitiu-se que a influência resultante de pequenas variações dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , na relação entre o comportamento reológico das argamassas e o comportamento reológico dos betões, seria pouco significativa e que poderia ser facilmente corrigida durante a fase de amassadura, mediante pequenos ajustamentos das dosagens de água e de superplastificante. Nesse sentido, optou-se por fixar os parâmetros reológicos das argamassas num único intervalo ou “alvo”. Em consequência, uma parcela das correcções efectuadas na fase de amassadura dos betões poderá ser atribuída à necessidade de ajustamento dos parâmetros reológicos definidos para as argamassas, enquanto outra parcela resultará provavelmente das variações introduzidas nos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g .

A influência que as correcções introduzidas nas dosagens de água e de superplastificante exerceram sobre as propriedades reológicas dos betões produzidos no presente trabalho foi já abordada no Sub-Capítulo 10.2.2. Neste Sub-Capítulo, será analisada sobretudo a amplitude dessas correcções face à variação dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , na expectativa de identificar padrões gerais de comportamento que permitam antecipar as correcções de água e de superplastificante necessárias para adequar as propriedades reológicas à produção de betões auto-compactáveis.

No presente Sub-Capítulo serão ainda apresentados, em termos indicativos, os consumos efectivos de água registados no presente trabalho, em função do tipo de

materiais finos utilizados. Do mesmo modo, será apresentada uma relação entre os consumos de ligante e de superplastificante para todas as misturas de betão produzidas durante a campanha experimental.

A dosagem de água

Os gráficos que se apresentam na Figura 10.74 e na Figura 10.75 ilustram, respectivamente, os valores de cálculo e os valores efectivos do consumo de água face à variação do parâmetro V_m/V_g , utilizando betões com $V_p/V_s=0,60$. De forma similar, as Figuras 10.76 e 10.77 comparam betões com $V_p/V_s=0,70$, enquanto que as Figuras 10.78 e 10.79 comparam betões com $V_p/V_s=0,80$.

Os resultados apresentados da Figura 10.74 à Figura 10.79 referem-se apenas aos betões para os quais foi possível reunir pelo menos dois pares de valores de V_m/V_g e de V_p/V_s , suficientes para traçar a regressão linear. Contudo, acredita-se que o padrão de comportamento detectado é extensível às restantes misturas.

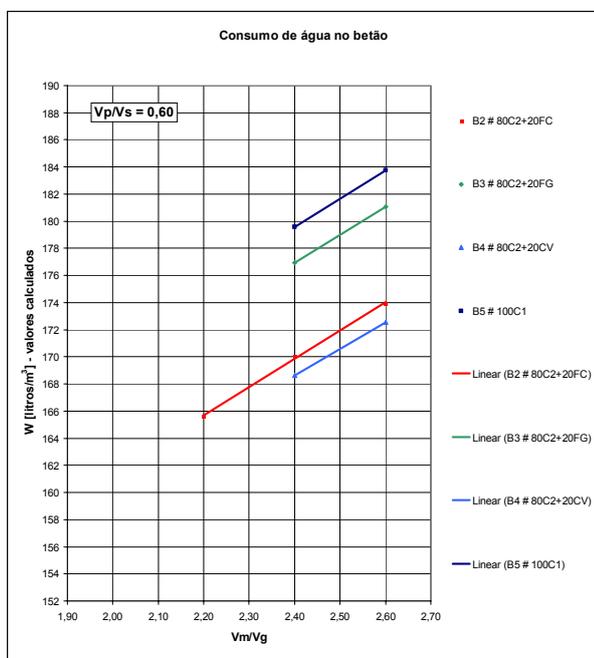


Figura 10.74 – Valores de cálculo de W em função de V_m/V_g para $V_p/V_s=0,60$

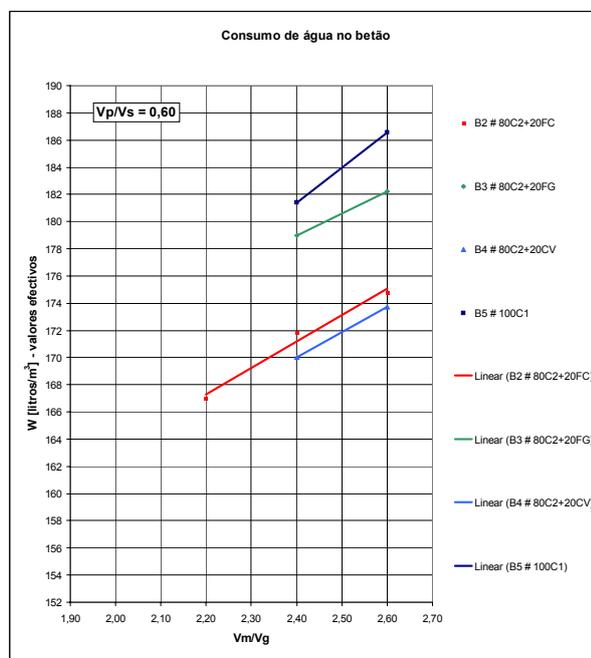


Figura 10.75 – Valores efectivos de W em função de V_m/V_g para $V_p/V_s=0,60$

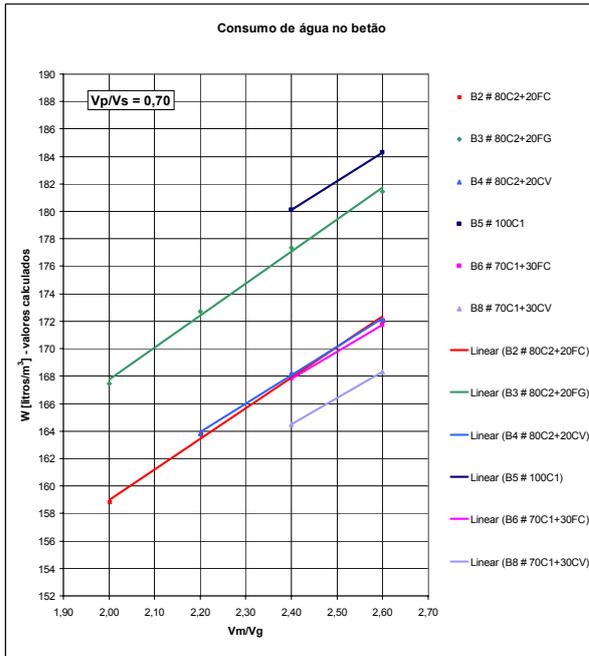


Figura 10.76 – Valores de cálculo de W em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,70$

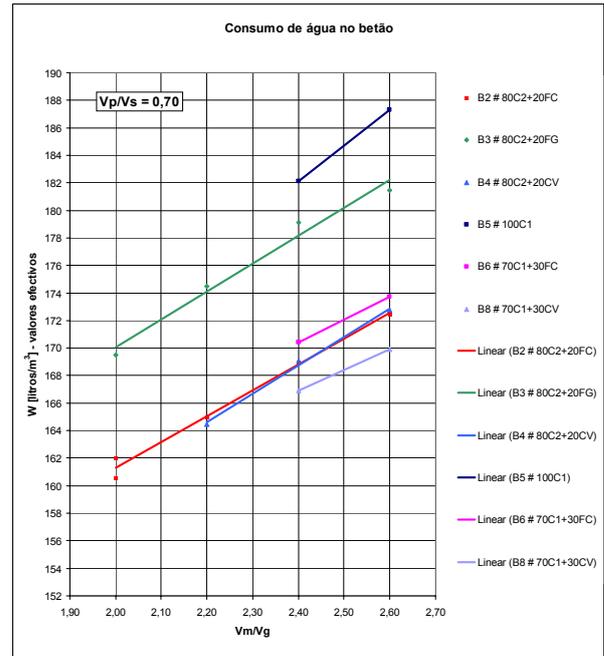


Figura 10.77 – Valores efectivos de W em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,70$

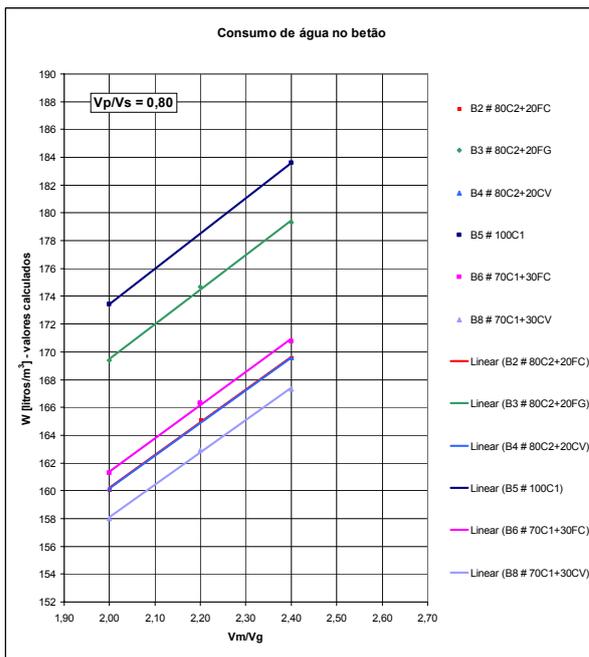


Figura 10.78 – Valores de cálculo de W em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,80$

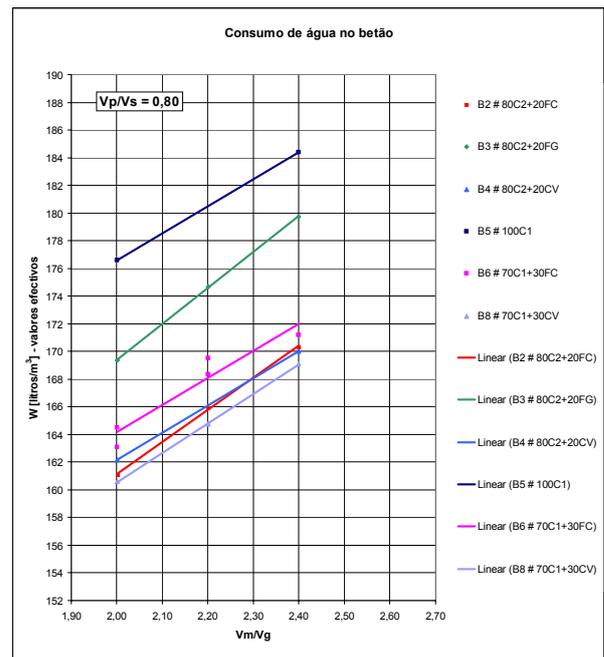


Figura 10.79 – Valores efectivos de W em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,80$

Os gráficos ilustrados da Figura 10.74 à Figura 10.79 mostram que, para cada família de betão analisada, a dosagem de água de amassadura (calculada ou efectiva) aumenta com a relação Vm/Vg, ou seja, com o aumento do volume de argamassa

incorporada no betão. Não se registaram diferenças significativas entre os valores calculados e os valores efectivamente utilizados.

Ao compararem-se, para cada valor de V_p/V_s , as dosagens calculadas com as dosagens efectivas, verifica-se que ocorreu sempre a necessidade de um aumento da dosagem de água durante a fase de amassadura. Contudo, observa-se também que, em termos relativos, esse aumento foi superior para valores menores de V_m/V_g , ou seja, para dosagens maiores de agregados grossos. Isto significa que, quanto menor for o parâmetro V_m/V_g maior será a correcção de água a introduzir.

Os gráficos apresentados da Figura 10.74 à Figura 10.79, permitem ainda constatar que as correcções foram menores quando os valores de V_p/V_s e V_m/V_g se aproximaram dos parâmetros utilizados no método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] e que serviram de base à definição dos parâmetros reológicos das argamassas, ou seja, quando $V_p/V_s \approx 0,80$ e $V_m/V_g \approx 2,40$. Poderá então acrescentar-se que, quanto maior for a redução dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , e quanto mais estes se afastam dos valores ($V_p/V_s \approx 0,80$ e $V_m/V_g \approx 2,40$), maior será a necessidade de correcção de água de amassadura. Isto confirma, no entanto, que uma pequena (quase desprezável) parcela da correcção de água se deve às alterações introduzidas nos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g .

Ao reduzir o parâmetro V_p/V_s e/ou o parâmetro V_m/V_g , ocorre um aumento do volume de agregados da mistura e, em consequência, aumenta-se a interacção e o atrito entre as partículas. Nesta medida, a pequena parcela de aumento da dosagem de água de amassadura poderá ser atribuída à necessidade de se reduzir o atrito entre essas partículas para restabelecer o equilíbrio inicial das propriedades reológicas. Contudo, quando ocorre um ligeiro aumento do volume de agregados grossos, nessa parcela poderá eventualmente incluir-se um ligeiro aumento da água de molhagem da superfície destes agregados.

Em síntese, as correcções das dosagens de água foram muito pequenas, ou mesmo desprezáveis, em termos absolutos. Ainda assim, a discussão apresentada neste Sub-Capítulo permitiu concluir que a amplitude dessas correcções aumenta quando os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g diminuem nos intervalos definidos neste trabalho.

Os Quadros 10.3 e 10.4 apresentam uma descrição sucinta dos intervalos de variação do consumo efectivo de água em função do tipo de materiais finos utilizados nas amassaduras produzidas no presente trabalho. Em geral, observa-se que as misturas binárias que utilizaram adições de filer granítico apresentaram os consumos médios de água mais elevados, semelhantes às misturas padrão só com cimento, enquanto que as misturas binárias com adições de filer calcário e cinzas volantes apresentaram consumos médios mais baixos e semelhantes entre si.

Quadro 10.3 – Dosagem de água em função do tipo de materiais finos

Tipo de cimento	Tipo de adição	Dosagem de água de amassadura [litros/m ³]	
		Mínimo	Máximo
CEM II/B-L32,5N	Fíler calcário	158,8	174,7
	Cinzas volantes	162,2	173,8
CEM I 42,5R	Fíler calcário	163,1	173,7
	Cinzas volantes	160,6	170,4
CEM II/B-L32,5N	Fíler granítico	169,4	182,3
CEM I 42,5R	Fíler granítico	184,5	185,1
	Nenhuma	176,6	187,3

Quadro 10.4 – Dosagem de água em função do tipo de materiais finos

Tipo de cimento	Tipo de adição	Dosagem de água de amassadura [litros/m ³]	
		Mínimo	Máximo
CEM II/B-L32,5N	Fíler calcário	159	175
	Cinzas volantes		
CEM I 42,5R	Fíler calcário		
	Cinzas volantes		
CEM II/B-L32,5N	Fíler granítico	169	187
CEM I 42,5R	Fíler granítico		
	Nenhuma		

Dosagem de superplastificante

As dosagens de superplastificante foram estudadas para os mesmos betões antes utilizados para avaliar os consumos de água. Assim, os gráficos que se apresentam na Figura 10.80 e na Figura 10.81 ilustram, respectivamente, os valores de cálculo e os valores efectivos do consumo de superplastificante face à variação do parâmetro V_m/V_g , utilizando

betões com $V_p/V_s=0,60$. De forma similar, as Figuras 10.82 e 10.83 comparam betões com $V_p/V_s=0,70$, enquanto que as Figuras 10.84 e 10.85 comparam betões com $V_p/V_s=0,80$.

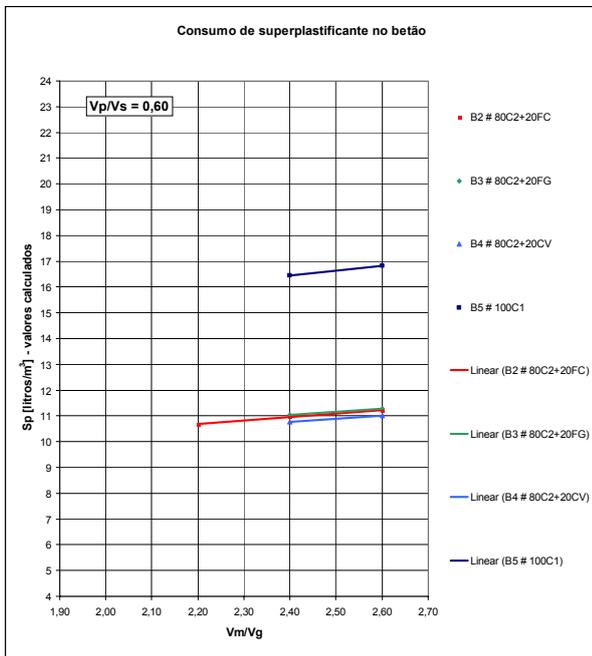


Figura 10.80 – Valores de cálculo de Sp em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,60$

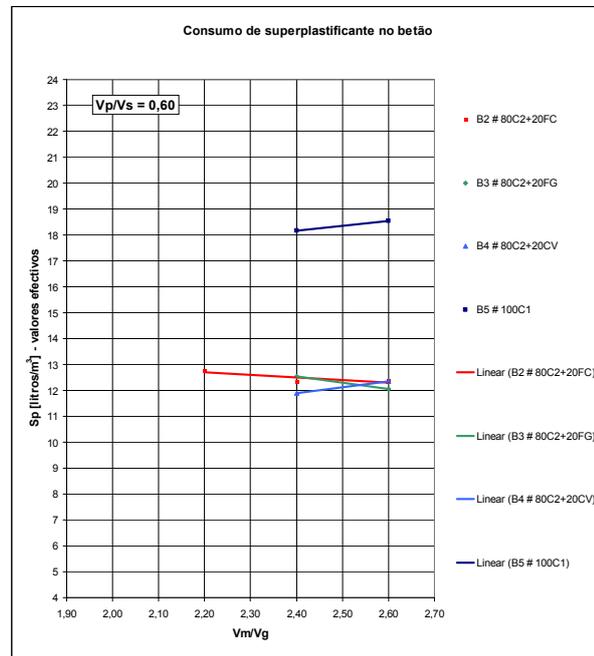


Figura 10.81 – Valores efectivos de Sp em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,60$

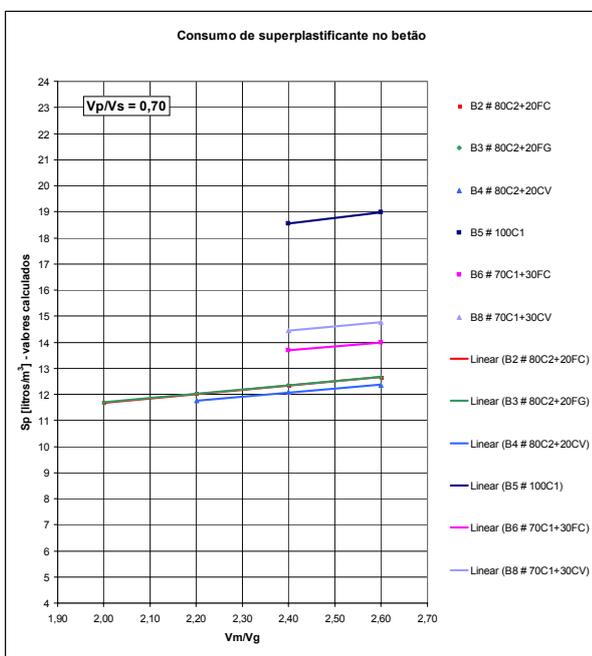


Figura 10.82 – Valores de cálculo de Sp em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,70$

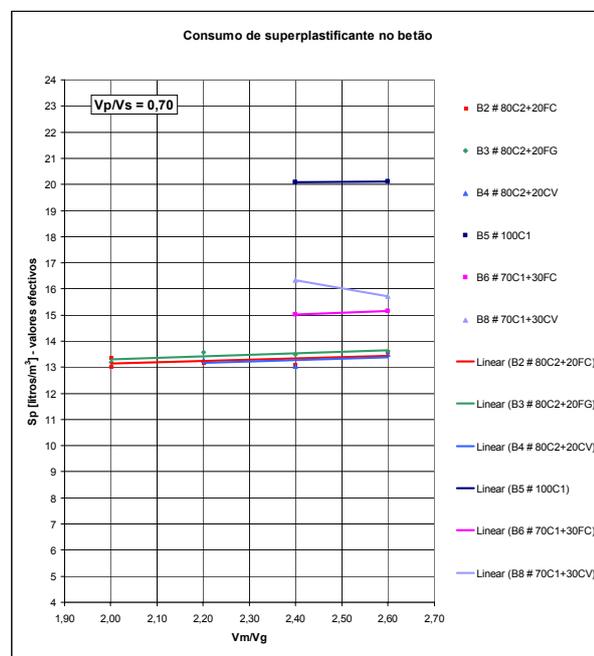


Figura 10.83 – Valores efectivos de Sp em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,70$

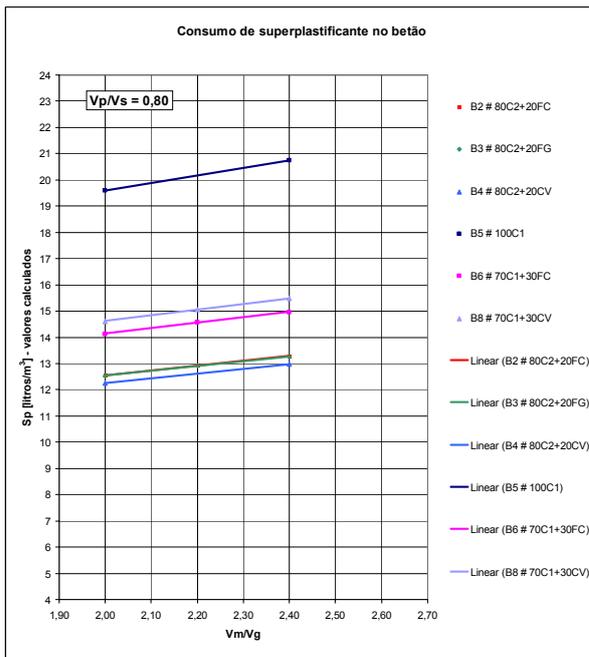


Figura 10.84 – Valores de cálculo de Sp em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,80$

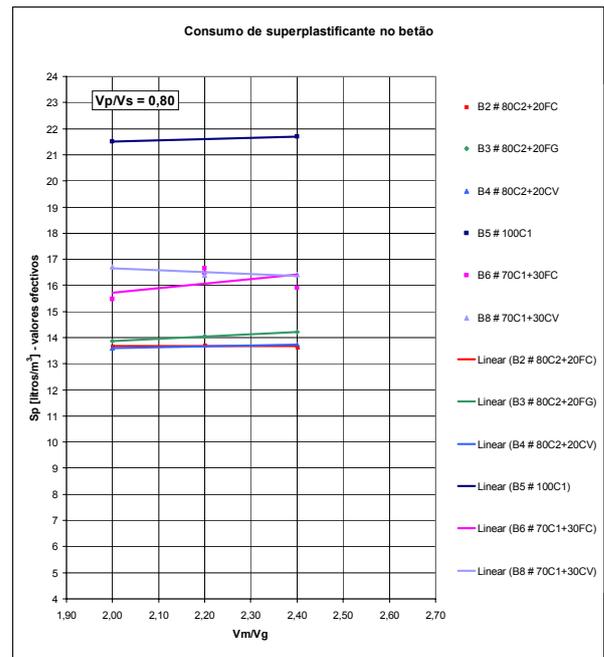


Figura 10.85 – Valores efectivos de Sp em função de Vm/Vg para $V_p/V_s=0,80$

Considere-se novamente os gráficos apresentados da Figura 10.80 à Figura 10.85. Ao compararem-se, para cada valor de V_p/V_s , as dosagens calculadas com as dosagens efectivas, verifica-se que ocorreu sempre a necessidade de um aumento da dosagem de superplastificante durante a fase de amassadura. Contudo, observa-se também que, em termos relativos, esse aumento foi muito superior para valores menores de V_m/V_g , ou seja, para dosagens maiores de agregados grossos. Isto significa que, quanto menor for o parâmetro V_m/V_g maior será a correcção de superplastificante a introduzir. Tal como se verificou para a dosagem de água, quanto maior for a redução dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , e quanto mais estes se afastam dos valores ($V_p/V_s \approx 0,80$ e $V_m/V_g \approx 2,40$), maior será a necessidade de correcção da dosagem de superplastificante.

Um outro fenómeno interessante foi detectado ao observar os elementos apresentados da Figura 10.80 à Figura 10.85, quando se compararam os valores calculados com os valores efectivos do consumo de superplastificante. Concretamente, verifica-se que, ao contrário do valor calculado, que aumenta com o aumento do volume de argamassa incorporado no betão, o consumo efectivo de superplastificante tende a estabilizar no valor mais elevado independentemente da dosagem de argamassa no betão.

Em síntese, para cada família de betão, a amplitude das correcções a introduzir nas dosagens de superplastificante aumenta quando os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g diminuem nos intervalos definidos neste trabalho. Por outro lado, as dosagens efectivas de superplastificante nos betões da mesma família tendem a permanecer constantes independentemente da dosagem de argamassa incorporada nesse betão, ou seja, independentemente do parâmetro V_m/V_g adoptado.

O gráfico apresentado na Figura 10.86 mostra as diferentes correlações obtidas entre o consumo efectivo de superplastificante e o consumo de cimento considerando a totalidade dos betões produzidos neste trabalho, enquanto o gráfico apresentado na Figura 10.87 distingue essas correlações em função do tipo de cimento utilizado.

As Figuras 10.86 e 10.87 mostram uma boa correlação entre os consumos de cimento e as dosagens de superplastificante. Esta relação é válida para o superplastificante utilizado neste trabalho, mas em termos relativos poderá ser muito útil para se antecipar alterações na dosagem de superplastificante quando se introduzem alterações na mistura.

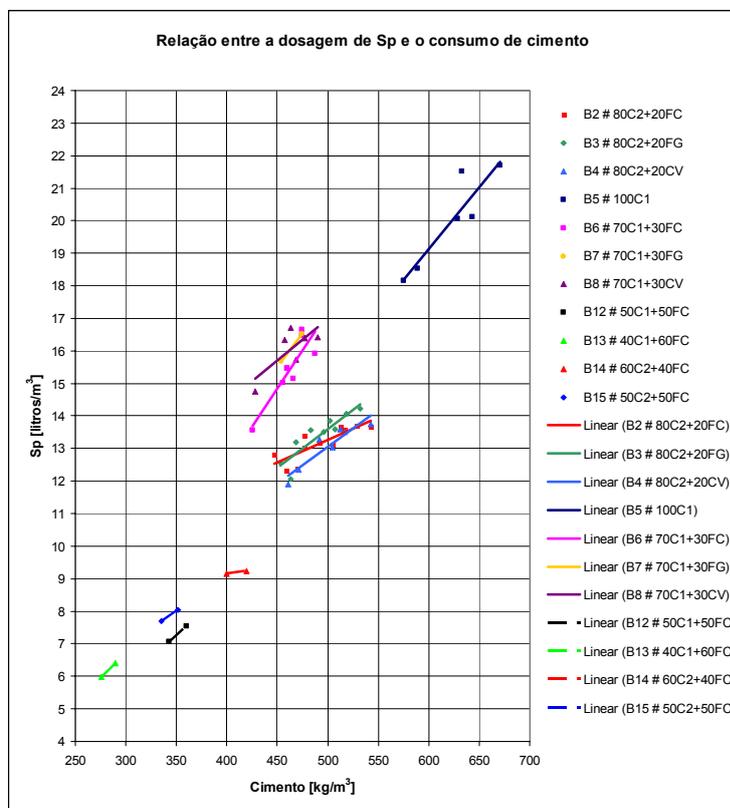


Figura 10.86 – Relação entre a dosagem efectiva de Sp e o consumo de cimento

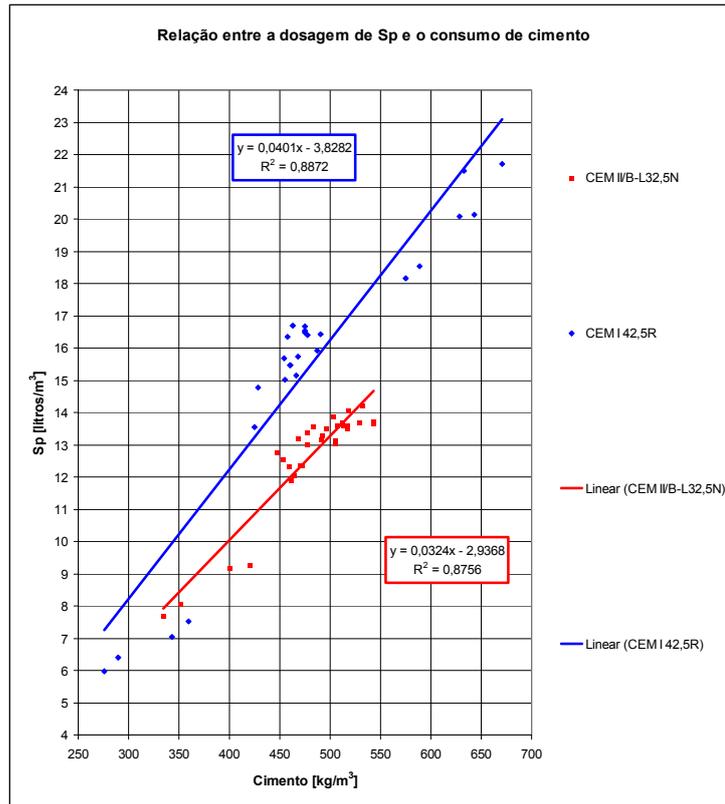


Figura 10.87 – Relação entre a dosagem efectiva de Sp e o consumo de cimento

10.2.3.3.6 – O percentual de argamassa seca

O percentual de argamassa seca (As%) tem sido utilizado com sucesso por Oliveira [48] como parâmetro de cálculo no estudo da composição de betões auto-compactáveis, ou mesmo, no estudo da composição de betões auto-compactáveis reforçados com fibras de aço. Este parâmetro traduz a razão, expressa em percentagem, entre o somatório das massas dos componentes secos do betão com dimensão inferior a 4,76 mm e o somatório das massas de todos os componentes secos desse mesmo betão, conforme se indica na Equação 10.3.

$$As\% = \frac{\sum Mi(\varphi < 4,76\text{mm})}{\sum Mi} \times 100 \quad (10.3)$$

Onde:

Mi é a massa dos componentes secos do betão

Em certa medida, o parâmetro $As\%$ estabelece indirectamente uma proporção entre o conjunto dos componentes finos do betão (materiais finos + agregados finos) e os agregados grossos desse mesmo betão. Admitindo um volume de vazios fixo, e a menos das variações nas dosagens de água e de superplastificante entre misturas, ao estabelecer um determinado valor de $As\%$ estabelece-se indirectamente a dosagem de agregados grossos da mistura. Nesta perspectiva, o parâmetro $As\%$ produz um efeito semelhante ao parâmetro V_m/V_g adoptado no presente trabalho.

Neste Sub-Capítulo será discutida a relação entre o percentual de argamassa seca do betão ($As\%$) e a auto-compactabilidade. À semelhança do procedimento adoptado em situações anteriores, e pelas mesmas razões, esta discussão será apresentada unicamente com base nos resultados obtidos no ensaio da “Caixa-L”.

Ensaio realizado com a “Caixa-L”

Para se estabelecer uma relação entre o percentual de argamassa seca ($As\%$) e o parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1) medido na “Caixa-L”, será necessário, por um lado, isolar o parâmetro $As\%$ dos restantes parâmetros da mistura que podem influenciar a auto-compactabilidade e, por outro lado, isolar o efeito das propriedades reológicas sobre a auto-compactabilidade.

Para se isolar o parâmetro $As\%$ dos restantes parâmetros da mistura é necessário avaliar o efeito que cada um desses parâmetros exerce sobre a auto-compactabilidade. Por exemplo, se o parâmetro $As\%$ inclui implicitamente a dosagem de agregados grossos, então não será necessário nem conveniente isolar o volume de agregados grossos na relação entre este parâmetro e a auto-compactabilidade. Por outro lado, o parâmetro $As\%$ quantifica o somatório dos materiais finos e dos agregados finos da argamassa, mas não distingue a proporção entre esses materiais. Em consequência, a relação entre o parâmetro $As\%$ e o parâmetro H_2/H_1 deverá ser estabelecida para cada um dos valores de V_p/V_s utilizados no presente trabalho, já que esta relação influencia a auto-compactabilidade. Por último, não se considerou necessário isolar a relação entre o parâmetro $As\%$ e o parâmetro H_2/H_1 para

cada família de finos, já que ficou anteriormente demonstrado que o volume de materiais finos exerce uma influência maior que a própria constituição dos materiais finos. Note-se que o volume de materiais finos (V_p) está implicitamente contabilizado na razão (V_p/V_s).

Para se isolar o efeito da capacidade de deformação, as correlações entre o percentual de argamassa ($A_s\%$) e o parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1) serão estabelecidas para cada valor do diâmetro de espalhamento, ou seja, quando a capacidade de deformação é constante em todos os betões. Neste caso, conhecido o valor do parâmetro MN de cada betão e fixado o valor do diâmetro de espalhamento (D_m), o valor do parâmetro de auto-compactabilidade (H_2/H_1) será determinado pela equação estabelecida no modelo matemático.

O estudo relativo ao parâmetro $A_s\%$ não foi previsto desde o início e, por esse motivo, os quadros de apresentação dos resultados (Quadro 8.38 ao Quadro 8.48) não incluíram os valores referentes a este parâmetro. Para obviar esta situação, os valores do parâmetro $A_s\%$, obtidos em cada um dos betões produzidos neste trabalho, são apresentados no Quadro 10.5, devidamente acompanhados dos parâmetros relevantes da composição e dos valores estimados para os parâmetros reológicos em função do diâmetro de espalhamento. Chama-se especial atenção para o facto dos resultados apresentados no Quadro 10.5, referentes aos ensaios de auto-compactabilidade, resultarem directamente do modelo de cálculo e não dos resultados medidos nos ensaios laboratoriais.

Tendo por base os elementos apresentados no Quadro 10.5 e as considerações tecidas nos parágrafos anteriores a respeito do parâmetro $A_s\%$, foram elaborados os gráficos que se apresentam da Figura 10.88 à Figura 10.94. Cada um destes gráficos corresponde a um valor do diâmetro de espalhamento (D_m), permitindo desta forma isolar o efeito da capacidade de deformação sobre a auto-compactabilidade. Do mesmo modo, para isolar o efeito sobre a auto-compactabilidade resultante da proporção entre os materiais finos e os agregados finos, para cada valor de (D_m) são estabelecidas três correlações diferentes entre os parâmetros $A_s\%$ e H_2/H_1 , sendo cada uma dessas correlações relativa a um dos três valores do parâmetro V_p/V_s adoptados no presente trabalho (0,60; 0,70 e 0,80).

Quadro 10.5 – Percentual de argamassa seca

Identif. do bloco	Vp/Vs	Vm/Vg [m ³ /m ³]	MN	Percentual de argamassa seca (em massa)				Ensaio do bloco fresco																			
				ΣMI (<4,75) [kg]	As [%]	Dm = 620 mm		Dm = 630 mm		Dm = 640 mm		Dm = 650 mm		Dm = 660 mm		Dm = 670 mm		Dm = 680 mm									
						H [mm]	H2/H1	H [mm]	H2/H1	Dm [mm]	H [mm]	H2/H1	Dm [mm]	H [mm]	H2/H1	Dm [mm]	H [mm]	H2/H1	Dm [mm]	H [mm]	H2/H1	Dm [mm]	H [mm]	H2/H1			
B.2.1	0,80	2,40	1,92	1389,4	2161,1	64,3	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.3.1	0,80	2,40	1,92	1359,2	2130,9	63,8	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.4.1	0,80	2,40	1,92	1374,8	2146,5	64,0	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.5.1	0,80	2,40	1,92	1366,7	2136,5	63,9	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.6.1	0,80	2,40	1,92	1388,7	2161,4	64,3	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.7.1	0,80	2,40	1,92	1348,5	2120,2	63,6	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.8.1	0,80	2,40	1,92	1375,2	2146,9	64,1	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.9.1	0,80	2,40	1,92	1416,8	2188,5	64,7	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.10.1	0,80	2,40	1,92	1417,7	2188,4	64,7	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.11.1	0,80	2,40	1,92	1418,3	2190,0	64,8	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.12.1	0,80	2,40	1,92	1417,8	2189,5	64,8	620	0,81	322	630	0,83	323	640	0,84	324	650	0,86	325	660	0,88	326	670	0,89	327	680	0,91	328
B.13.1	0,80	2,40	1,92	1421,7	2195,6	68,1	620	0,80	322	630	0,83	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.14.1	0,70	2,60	1,82	1362,9	2121,8	65,6	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.15.1	0,70	2,60	1,82	1407,8	2136,7	65,9	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.16.1	0,70	2,60	1,82	1404,1	2133,0	65,8	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.17.1	0,70	2,60	1,82	1427,0	2155,8	66,2	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.18.1	0,70	2,60	1,82	1427,0	2155,8	66,2	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.19.1	0,70	2,60	1,82	1386,8	2115,6	65,5	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.20.1	0,70	2,60	1,82	1412,5	2141,3	66,0	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.21.1	0,70	2,60	1,82	1452,3	2181,1	66,6	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.22.1	0,70	2,60	1,82	1450,3	2179,1	66,6	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.23.1	0,70	2,60	1,82	1453,1	2181,9	66,6	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.24.1	0,70	2,60	1,82	1453,3	2182,2	66,6	620	0,80	322	630	0,82	323	640	0,83	324	650	0,85	325	660	0,87	326	670	0,88	327	680	0,90	328
B.25.1	0,80	2,20	1,76	1353,2	2173,1	62,3	620	0,79	322	630	0,81	323	640	0,83	324	650	0,84	325	660	0,86	326	670	0,87	326	680	0,89	327
B.26.1	0,80	2,20	1,76	1323,8	2143,7	61,8	620	0,79	322	630	0,81	323	640	0,83	324	650	0,84	325	660	0,86	326	670	0,87	326	680	0,89	327
B.27.1	0,80	2,20	1,76	1353,5	2173,5	62,3	620	0,79	322	630	0,81	323	640	0,83	324	650	0,84	325	660	0,86	326	670	0,87	326	680	0,89	327
B.28.1	0,80	2,20	1,76	1359,4	2159,3	62,0	620	0,79	322	630	0,81	323	640	0,83	324	650	0,84	325	660	0,86	326	670	0,87	326	680	0,89	327
B.29.1	0,70	2,40	1,68	1389,6	2161,3	64,3	620	0,78	321	630	0,80	322	640	0,81	323	650	0,83	324	660	0,85	325	670	0,86	326	680	0,88	327
B.30.1	0,70	2,40	1,68	1361,4	2133,1	63,8	620	0,78	321	630	0,80	322	640	0,81	323	650	0,83	324	660	0,85	325	670	0,86	326	680	0,88	327
B.31.1	0,70	2,40	1,68	1376,0	2147,7	64,1	620	0,78	321	630	0,80	322	640	0,81	323	650	0,83	324	660	0,85	325	670	0,86	326	680	0,88	327
B.32.1	0,70	2,40	1,68	1372,3	2144,0	64,0	620	0,78	321	630	0,80	322	640	0,81	323	650	0,83	324	660	0,85	325	670	0,86	326	680	0,88	327
B.33.1	0,70	2,40	1,68	1394,7	2166,4	64,4	620	0,78	321	630	0,80	322	640	0,81	323	650	0,83	324	660	0,85	325	670	0,86	326	680	0,88	327
B.34.1	0,70	2,40	1,68	1380,5	2152,2	64,1	620	0,78	321	630	0,80	322	640	0,81	323	650	0,83	324	660	0,85	325	670	0,86	326	680	0,88	327
B.35.1	0,80	2,00	1,60	1312,2	2186,8	60,0	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.36.1	0,80	2,00	1,60	1285,7	2158,3	59,5	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.37.1	0,80	2,00	1,60	1298,4	2173,1	59,8	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.38.1	0,80	2,00	1,60	1298,4	2173,1	59,8	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.39.1	0,80	2,00	1,60	1286,9	2163,5	59,6	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.40.1	0,80	2,00	1,60	1312,9	2187,1	60,0	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.41.1	0,80	2,00	1,60	1312,5	2187,1	60,0	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.42.1	0,80	2,00	1,60	1298,8	2173,4	59,8	620	0,76	320	630	0,78	321	640	0,80	322	650	0,81	323	660	0,83	324	670	0,84	325	680	0,86	326
B.43.1	0,60	2,80	1,56	1413,3	2142,2	66,0	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324	670	0,83	325	680	0,85	326
B.44.1	0,60	2,80	1,56	1391,0	2119,8	65,6	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324	670	0,83	325	680	0,85	326
B.45.1	0,60	2,80	1,56	1404,6	2133,4	65,8	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324	670	0,83	325	680	0,85	326
B.46.1	0,60	2,80	1,56	1401,8	2130,7	65,8	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324	670	0,83	325	680	0,85	326
B.47.1	0,60	2,80	1,56	1422,6	2151,5	66,1	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324	670	0,83	325	680	0,85	326
B.48.1	0,60	2,80	1,56	1412,7	2141,5	66,0	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324	670	0,83	325	680	0,85	326
B.49.1	0,60	2,80	1,56	1365,4	2173,3	62,3	620	0,75	320	630	0,77	321	640	0,79	322	650	0,80	323	660	0,82	324						

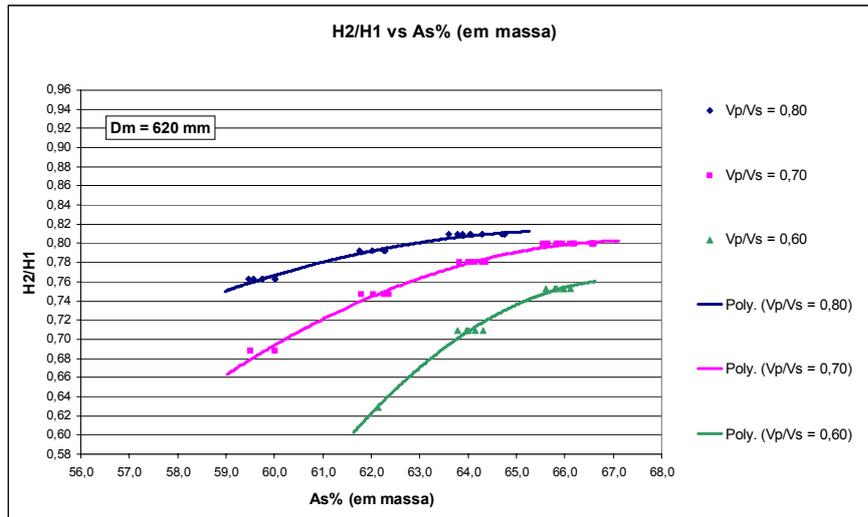


Figura 10.88 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=620 mm

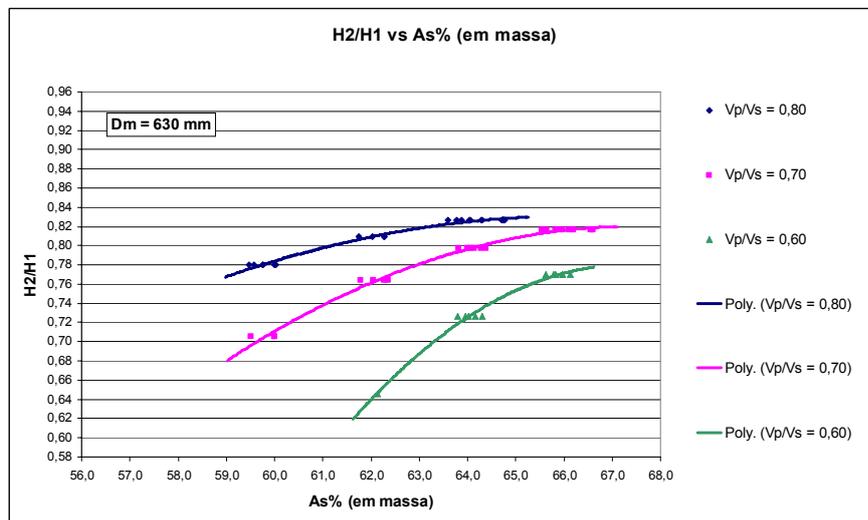


Figura 10.89 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=630 mm

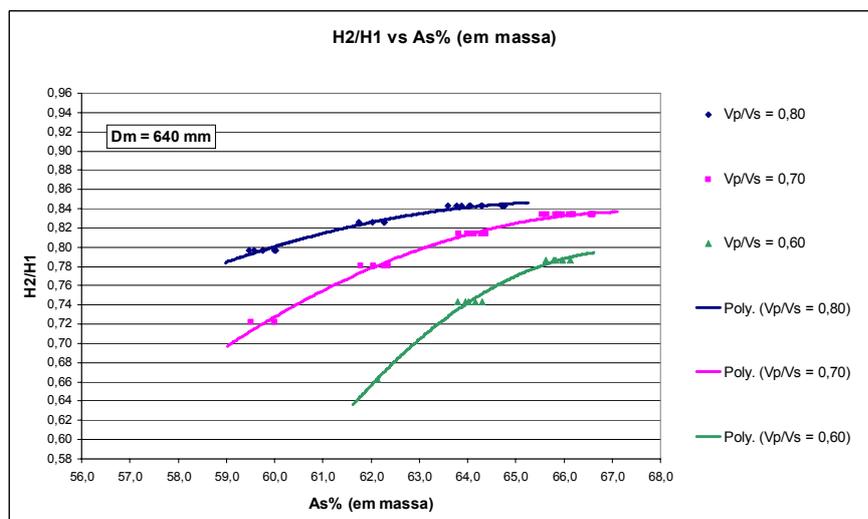


Figura 10.90 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=640 mm

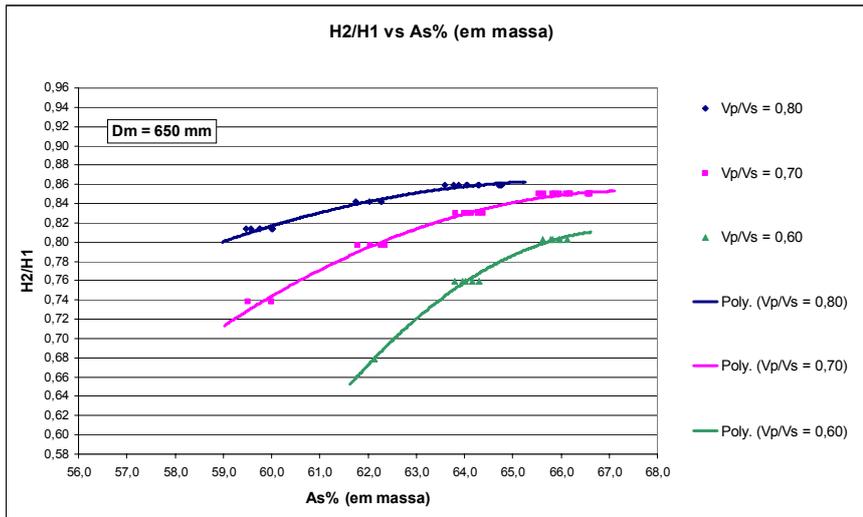


Figura 10.91 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=650 mm

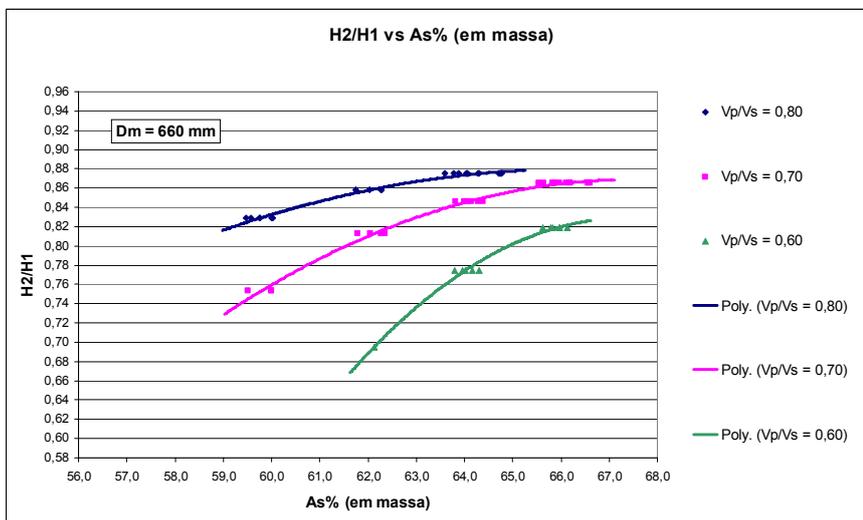


Figura 10.92 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=660 mm

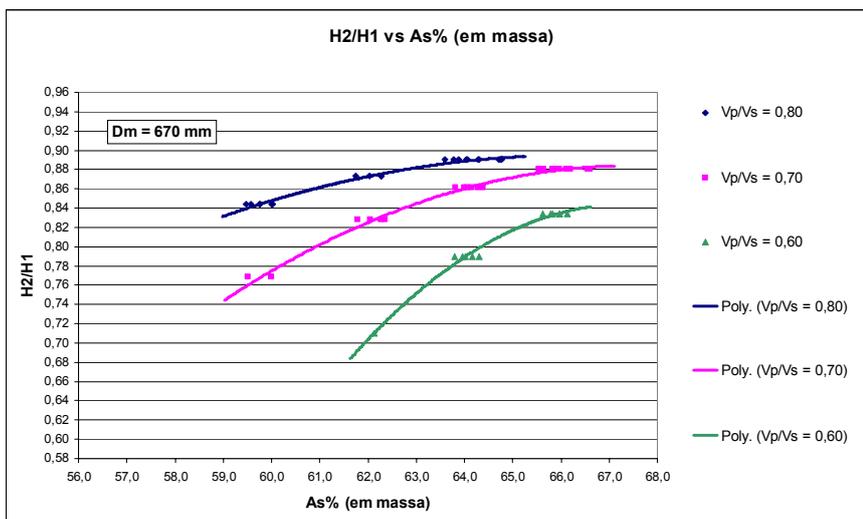


Figura 10.93 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=670 mm

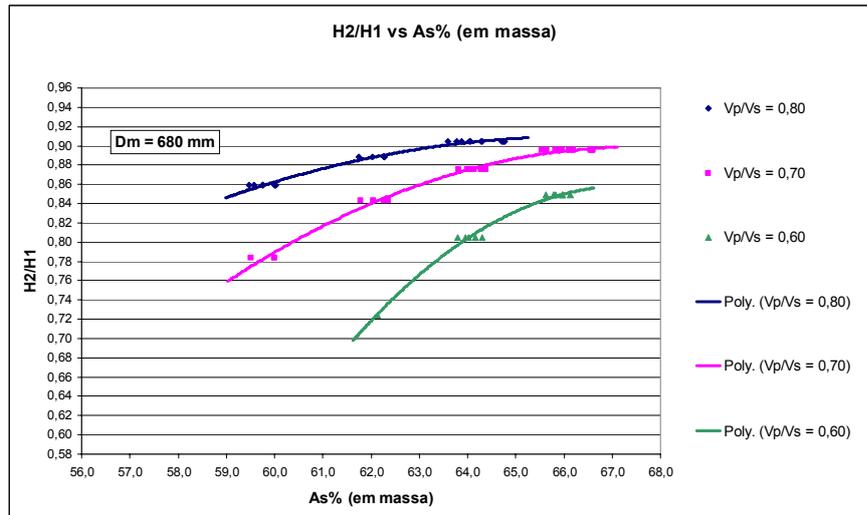


Figura 10.94 – Relação entre os parâmetros As% e H2/H1, para Dm=680 mm

Os gráficos ilustrados da Figura 10.88 à Figura 10.94 comprovam as premissas assumidas neste Sub-Capítulo relativamente aos parâmetros a isolar na correlação entre o percentual de argamassa seca (As%) e o parâmetro de auto-compactabilidade (H2/H1), já que as correlações obtidas desta forma revelaram bons coeficientes de correlação. Por outras palavras, verifica-se que, sob uma capacidade de deformação constante, o valor do percentual de argamassa (As%) que conduz à auto-compactabilidade ($H2/H1 \geq 0,80$), depende do traço volumétrico dessa argamassa, ou seja, da razão Vp/Vs.

O intervalo de dimensionamento sugerido ao longo deste trabalho para o diâmetro de espalhamento situa-se entre os 630 mm e os 670 mm. Considerando a situação mais desfavorável deste intervalo, que corresponde a um diâmetro de espalhamento de 630 mm, podem ser definidos alguns limites para o parâmetro As% a partir dos quais será possível obter betões auto-compactáveis. A partir da Figura 10.89 verifica-se que o percentual mínimo de argamassa seca (As%) que conduz à auto-compactabilidade ($H2/H1 \geq 0,80$) será de 61,2% quando $Vp/Vs=0,80$ e de 64,2% quando $Vp/Vs=0,70$. Para os valores avaliados neste gráfico não é possível determinar com precisão o percentual mínimo de argamassa seca para o traço volumétrico $Vp/Vs=0,60$, mas por estimativa esse valor poderá rondar os 68%. Um valor de $As%=68\%$ pode ser considerado muito elevado e, nesse caso, recomendar-se-ia a adopção de valores de Vp/Vs acima de 0,60.

10.2.3.3.7 – As curvas de referência do total de agregados da mistura

Nos Sub-Capítulos anteriores foi avaliada a influência na auto-compactabilidade, resultante da variação do volume de agregados finos e do volume de agregados grossos, ou mesmo, indirectamente, através da variação do parâmetro MN. Para que esta avaliação fosse possível, a metodologia adoptada no presente trabalho estabeleceu como premissa que as curvas de referência dos agregados finos e dos agregados grossos deveriam permanecer constantes em todas as misturas e, desta forma, isolou-se a influência da variação da distribuição granulométrica dos agregados.

O facto das curvas granulométricas de referência dos agregados finos e dos agregados grossos terem permanecido constantes em todas as misturas revelou-se muito útil, já que permitiu quantificar a melhor proporção entre os volumes de agregados finos e de agregados grossos conducentes à obtenção de betões auto-compactáveis. Contudo, quando se avalia o conjunto dos agregados da mistura (finos+grossos), verifica-se que a curva granulométrica do total de agregados da mistura variou ligeiramente quando se combinaram volumes diferentes de agregados finos e de agregados grossos.

Apesar das curvas granulométricas do total de agregados não terem variado significativamente entre misturas, entendeu-se, ainda assim, efectuar um estudo detalhado a este respeito. Não se pretende com este estudo, estabelecer uma correlação entre a curva de referência e a auto-compactabilidade. Contudo, a relação entre esses parâmetros pode ser inferida indirectamente ao associar as diferentes curvas de referência aos valores do volume de agregados finos (V_s) e de agregados grossos (V_g), ou mesmo ao parâmetro MN.

Cada combinação entre os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g é representada por um número de mistura, que neste trabalho se designou por parâmetro MN. Assim, para um mesmo valor de MN, a proporção entre os volumes de agregados finos e de agregados grossos permanece razoavelmente constante. Nesta medida, podem ser definidas curvas de referência do total de agregados para cada valor de MN.

Do Quadro 10.6 ao Quadro 10.14 são apresentadas as curvas granulométricas do total de agregados, obtidas em cada uma das misturas produzidas. Em cada quadro são

reunidas as misturas com o mesmo valor de MN, ou seja, aproximadamente com a mesma proporção em volume absoluto entre os agregados finos (Vs) e os agregados grossos (Vg). A curva real de cada mistura (CREAL) é determinada a partir dos valores do volume de agregados finos (Vs) e do volume de agregados grossos (Vg) dessa mistura e das curvas granulométricas de referência dos agregados finos (CRAF) e dos agregados grossos (CRAG). Para cada um dos quadros apresentados, ou seja, para cada valor de MN, é ainda apresentada a curva de referência média de todas as misturas (CREF).

Por último, o Quadro 10.15 apresenta uma síntese de todas as curvas de referência médias obtidas do Quadro 10.6 ao Quadro 10.14. Cada curva de referência média está associada ao respectivo valor do parâmetro MN. O valor médio das curvas de referência médias é também apresentado neste quadro.

A representação gráfica dos resultados apresentados do Quadro 10.6 ao Quadro 10.15 é ilustrada da Figura 10.95 à Figura 10.104.

Quadro 10.6 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,92

MN = 1,92														
Identificação do Betão ▶			B.2.1	B.3.1	B.4.1	B.5.1	B.6.1	B.7.1	B.8.1	B.12.1	B.13.1	B.14.1	B.15.1	MEDIA
Vs [m ³ /m ³] ▶			0,279	0,273	0,279	0,267	0,277	0,270	0,279	0,286	0,288	0,288	0,289	0,280
Vg [m ³ /m ³] ▶			0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.										
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,149	4,72	0,5	2,6	2,6	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6
0,297	21,05	0,79	10,8	10,7	10,8	10,6	10,8	10,6	10,8	10,9	11,0	11,0	11,0	10,8
0,59	62,3	1,31	31,5	31,1	31,5	30,8	31,4	31,0	31,5	31,9	32,0	32,0	32,0	31,5
1,19	90,81	2,24	46,1	45,6	46,1	45,1	45,9	45,3	46,1	46,6	46,8	46,8	46,8	46,1
2,38	99,12	5,99	52,1	51,6	52,1	51,0	51,9	51,3	52,1	52,6	52,8	52,8	52,9	52,1
4,76	99,96	36,54	67,9	67,6	67,9	67,2	67,8	67,4	67,9	68,3	68,4	68,4	68,5	67,9
9,52	100	74,9	87,3	87,2	87,3	87,0	87,3	87,1	87,3	87,5	87,5	87,5	87,5	87,3
12,7	100	94,57	97,3	97,2	97,3	97,2	97,2	97,2	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.7 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,82

MN = 1,82														
Identificação do Betão ▶			B.2.10	B.3.10	B.4.10	B.5.10	B.6.10	B.7.10	B.8.10	B.12.10	B.13.10	B.14.10	B.15.10	MEDIA
Vs [m ³ /m ³] ▶			0,303	0,298	0,304	0,293	0,303	0,295	0,304	0,312	0,314	0,313	0,315	0,305
Vg [m ³ /m ³] ▶			0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.										
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,149	4,72	0,5	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7
0,297	21,05	0,79	11,5	11,4	11,5	11,4	11,5	11,4	11,5	11,7	11,7	11,7	11,7	11,6
0,59	62,3	1,31	33,6	33,4	33,7	33,1	33,6	33,2	33,7	34,1	34,2	34,1	34,2	33,7
1,19	90,81	2,24	49,2	48,8	49,2	48,4	49,2	48,6	49,2	49,8	49,9	49,9	50,0	49,3
2,38	99,12	5,99	55,3	54,9	55,4	54,5	55,3	54,7	55,4	56,0	56,1	56,1	56,2	55,5
4,76	99,96	36,54	70,1	69,9	70,2	69,6	70,1	69,7	70,2	70,6	70,7	70,6	70,7	70,2
9,52	100	74,9	88,2	88,1	88,2	88,0	88,2	88,0	88,2	88,4	88,4	88,4	88,4	88,2
12,7	100	94,57	97,4	97,4	97,5	97,4	97,4	97,4	97,4	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.8 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,76

MN = 1,76									
Identificação do Betão ▶			B.2.2	B.3.2	B.6.2	B.8.2	MÉDIA		
Vs [m³/m³] ▶			0,272	0,266	0,270	0,272	0,270		
Vg [m³/m³] ▶			0,303	0,303	0,303	0,303	0,303		
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.	C. REF.				
0,074	0,85	0,28	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,149	4,72	0,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
0,297	21,05	0,79	10,4	10,3	10,3	10,4	10,4	10,3	10,3
0,59	62,3	1,31	30,2	29,8	30,0	30,2	30,2	30,0	30,0
1,19	90,81	2,24	44,1	43,6	44,0	44,1	44,1	44,0	44,0
2,38	99,12	5,99	50,0	49,5	49,9	50,0	50,0	49,9	49,9
4,76	99,96	36,54	66,5	66,2	66,4	66,5	66,5	66,4	66,4
9,52	100	74,9	86,8	86,6	86,7	86,8	86,8	86,7	86,7
12,7	100	94,57	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1	97,1
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.9 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,68

MN = 1,68									
Identificação do Betão ▶			B.2.4	B.3.4	B.4.4	B.5.4	B.6.4	B.8.4	MÉDIA
Vs [m³/m³] ▶			0,297	0,291	0,297	0,286	0,296	0,298	0,294
Vg [m³/m³] ▶			0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.					
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,149	4,72	0,5	2,7	2,6	2,7	2,6	2,6	2,7	2,6
0,297	21,05	0,79	11,1	11,0	11,1	10,9	11,1	11,1	11,1
0,59	62,3	1,31	32,4	32,1	32,4	31,9	32,4	32,5	32,3
1,19	90,81	2,24	47,4	47,0	47,4	46,6	47,4	47,5	47,2
2,38	99,12	5,99	53,5	53,0	53,5	52,6	53,4	53,6	53,3
4,76	99,96	36,54	68,9	68,6	68,9	68,3	68,9	69,0	68,8
9,52	100	74,9	87,7	87,6	87,7	87,5	87,7	87,7	87,6
12,7	100	94,57	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3	97,3
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.10 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,60

MN = 1,60									
Identificação do Betão ▶			B.2.3	B.3.3	B.4.3	B.5.3	B.6.3	B.8.3	MÉDIA
Vs [m³/m³] ▶			0,263	0,258	0,263	0,252	0,262	0,263	0,260
Vg [m³/m³] ▶			0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.					
0,074	0,85	0,28	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
0,149	4,72	0,5	2,4	2,4	2,4	2,3	2,4	2,4	2,4
0,297	21,05	0,79	9,9	9,8	9,9	9,7	9,9	9,9	9,8
0,59	62,3	1,31	28,7	28,4	28,7	28,0	28,6	28,7	28,5
1,19	90,81	2,24	42,0	41,6	42,0	41,1	41,9	42,0	41,8
2,38	99,12	5,99	47,8	47,3	47,8	46,8	47,7	47,8	47,5
4,76	99,96	36,54	65,0	64,7	65,0	64,3	64,9	65,0	64,8
9,52	100	74,9	86,2	86,0	86,2	85,9	86,1	86,2	86,1
12,7	100	94,57	97,0	97,0	97,0	96,9	97,0	97,0	97,0
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.11 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,56

MN = 1,56									
Identificação do Betão ▶			B.2.9	B.3.9	B.4.9	B.5.9	B.6.9	B.8.9	MÉDIA
Vs [m³/m³] ▶			0,322	0,318	0,323	0,312	0,323	0,325	0,321
Vg [m³/m³] ▶			0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269	0,269
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.					
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,149	4,72	0,5	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8
0,297	21,05	0,79	11,8	11,8	11,8	11,7	11,8	11,9	11,8
0,59	62,3	1,31	34,5	34,4	34,6	34,1	34,6	34,7	34,5
1,19	90,81	2,24	50,5	50,2	50,6	49,8	50,6	50,7	50,4
2,38	99,12	5,99	56,7	56,4	56,8	56,0	56,8	56,9	56,6
4,76	99,96	36,54	71,1	70,9	71,1	70,6	71,1	71,2	71,0
9,52	100	74,9	88,6	88,5	88,6	88,4	88,6	88,6	88,5
12,7	100	94,57	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5	97,5
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.12 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,54

MN = 1,54							
Identificação do Betão ►			B.2.5	B.3.5	B.4.5	B.6.5	MÉDIA
Vs [m ³ /m ³] ►			0,289	0,284	0,289	0,288	0,288
Vg [m ³ /m ³] ►			0,303	0,303	0,303	0,303	0,303
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REAL	C. REAL	C. REAL	C. REF.
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,149	4,72	0,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,6
0,297	21,05	0,79	10,7	10,6	10,7	10,7	10,7
0,59	62,3	1,31	31,1	30,8	31,1	31,0	31,0
1,19	90,81	2,24	45,5	45,1	45,5	45,4	45,4
2,38	99,12	5,99	51,5	51,0	51,5	51,4	51,3
4,76	99,96	36,54	67,5	67,2	67,5	67,4	67,4
9,52	100	74,9	87,2	87,0	87,2	87,1	87,1
12,7	100	94,57	97,2	97,2	97,2	97,2	97,2
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.13 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,44

MN = 1,44								
Identificação do Betão ►			B.2.7	B.3.7	B.4.7	B.5.7	B.6.7	MEDIA
Vs [m ³ /m ³] ►			0,315	0,310	0,316	0,305	0,315	0,312
Vg [m ³ /m ³] ►			0,285	0,285	0,285	0,285	0,285	0,285
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REF.				
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
0,149	4,72	0,5	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
0,297	21,05	0,79	11,4	11,3	11,4	11,3	11,4	11,4
0,59	62,3	1,31	33,3	33,1	33,4	32,8	33,3	33,2
1,19	90,81	2,24	48,7	48,4	48,8	48,0	48,7	48,5
2,38	99,12	5,99	54,9	54,5	55,0	54,1	54,9	54,7
4,76	99,96	36,54	69,8	69,6	69,9	69,3	69,8	69,7
9,52	100	74,9	88,1	88,0	88,1	87,9	88,1	88,0
12,7	100	94,57	97,4	97,4	97,4	97,4	97,4	97,4
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.14 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,40

MN = 1,40					
Identificação do Betão ►			B.2.6	B.3.6	MÉDIA
Vs [m ³ /m ³] ►			0,280	0,275	0,278
Vg [m ³ /m ³] ►			0,323	0,323	0,323
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REAL	C. REAL	C. REF.
0,074	0,85	0,28	0,5	0,5	0,5
0,149	4,72	0,5	2,5	2,4	2,5
0,297	21,05	0,79	10,2	10,1	10,2
0,59	62,3	1,31	29,6	29,4	29,5
1,19	90,81	2,24	43,4	43,0	43,2
2,38	99,12	5,99	49,2	48,8	49,0
4,76	99,96	36,54	66,0	65,7	65,8
9,52	100	74,9	86,6	86,4	86,5
12,7	100	94,57	97,1	97,1	97,1
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0

Quadro 10.15 – Curva de referência média do total de agregados da mistura

Síntese das curvas de referência												
N.º de Mistura ►			1,92	1,82	1,76	1,68	1,60	1,56	1,54	1,44	1,40	MEDIA
Valor médio de Vs [m ³ /m ³] ►			0,280	0,305	0,270	0,294	0,260	0,321	0,288	0,312	0,278	0,290
Valor médio de Vg [m ³ /m ³] ►			0,285	0,269	0,303	0,285	0,323	0,269	0,303	0,285	0,323	0,294
D [mm]	CRAF	CRAG	C. REF.									
0,074	0,85	0,28	0,6	0,6	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,5	0,6
0,149	4,72	0,5	2,6	2,7	2,5	2,6	2,4	2,8	2,6	2,7	2,5	2,6
0,297	21,05	0,79	10,8	11,6	10,3	11,1	9,8	11,8	10,7	11,4	10,2	10,8
0,59	62,3	1,31	31,5	33,7	30,0	32,3	28,5	34,5	31,0	33,2	29,5	31,6
1,19	90,81	2,24	46,1	49,3	44,0	47,2	41,7	50,4	45,4	48,5	43,2	46,2
2,38	99,12	5,99	52,1	55,5	49,9	53,3	47,5	56,7	51,4	54,7	49,1	52,2
4,76	99,96	36,54	68,0	70,2	66,4	68,7	64,8	71,0	67,4	69,7	65,9	68,0
9,52	100	74,9	87,3	88,2	86,7	87,6	86,1	88,6	87,1	88,0	86,5	87,4
12,7	100	94,57	97,3	97,5	97,1	97,3	97,0	97,5	97,2	97,4	97,1	97,3
19,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
25,4	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
38,1	100	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

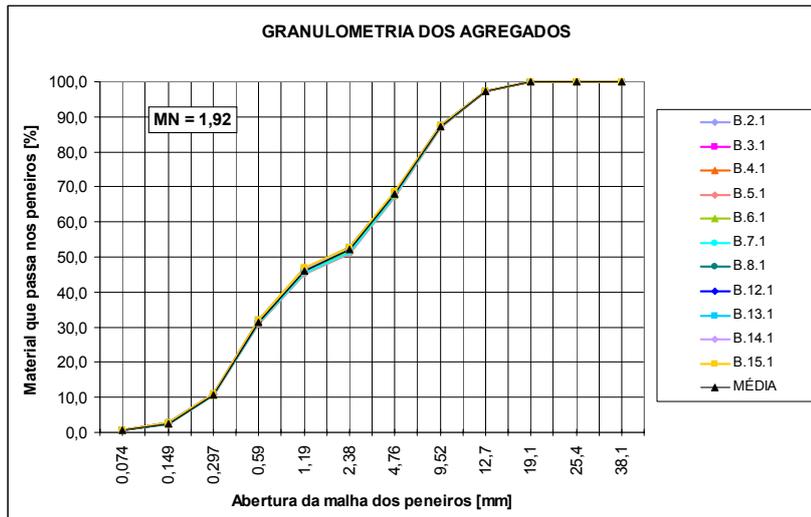


Figura 10.95 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,92



Figura 10.96 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,82



Figura 10.97 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,76



Figura 10.98 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,68



Figura 10.99 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,60



Figura 10.100 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,56

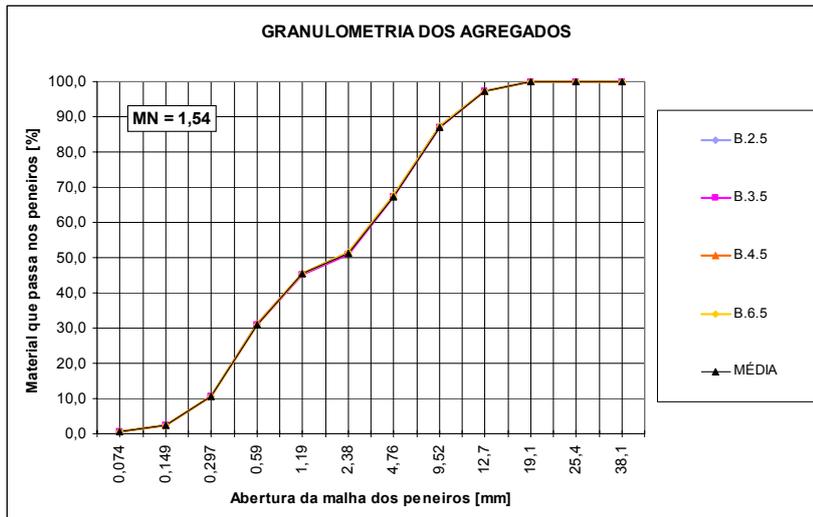


Figura 10.101 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,54

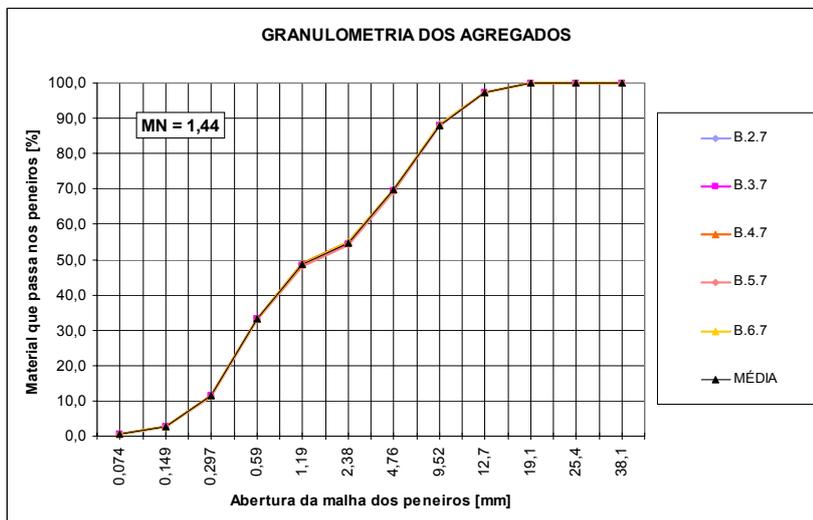


Figura 10.102 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,44



Figura 10.103 – Curva de referência do total de agregados da mistura para MN=1,40

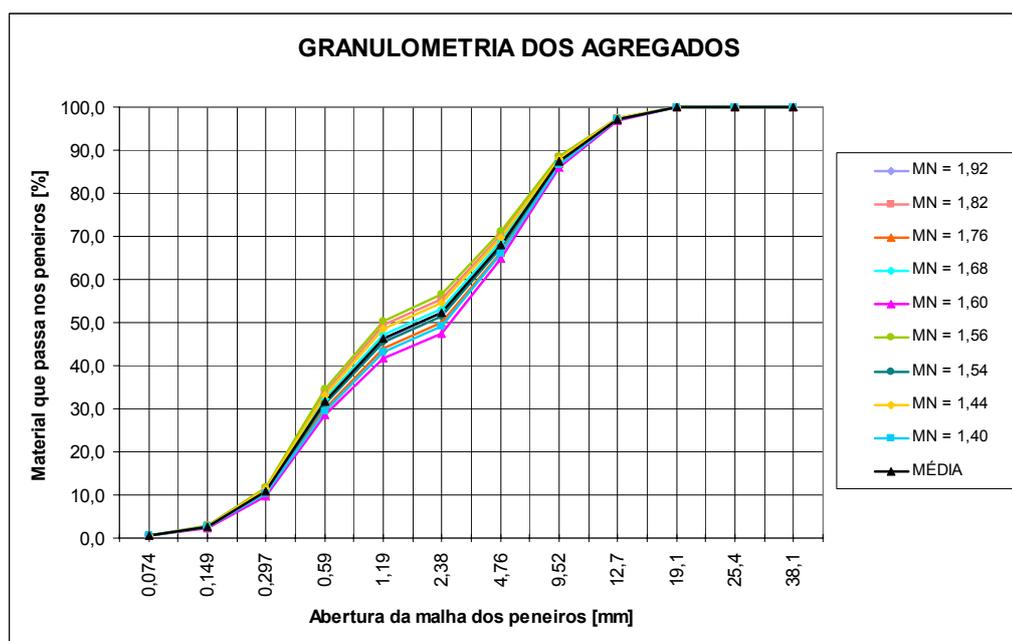


Figura 10.104 – Curva de referência média do total de agregados da mistura

A análise dos gráficos apresentados da Figura 10.95 à Figura 10.103 permite confirmar que as curvas de referência do total de agregados, obtidas em diferentes misturas com o mesmo valor de MN, não diferem significativamente entre si. Nesta medida, todas as misturas com um mesmo valor de MN, podem ser convenientemente representadas pela curva de referência média do total de agregados obtida para esse valor de MN.

Quando, por outro lado, se comparam as curvas de referência médias obtidas para diferentes valores de MN, representadas na Figura 10.104, observa-se, como seria de esperar, algumas diferenças entre elas. A sobreposição de todas as curvas de referência médias desenhadas nesta figura permite definir um intervalo granulométrico para o total de agregados, que inclui todos os betões produzidos neste trabalho.

No intervalo granulométrico observado na Figura 10.104 não se registou uma sequência evidente entre a posição relativa de uma determinada curva de referência nesse intervalo e o valor do parâmetro MN. Isto sucede porque a curva granulométrica do total de agregados representa apenas a distribuição das partículas de agregados em função da sua dimensão e não estabelece, por si só, qualquer relação com o volume total de agregados incorporado no betão. Contudo, o parâmetro MN associado a cada uma dessas curvas

permite, esse sim, estimar o volume total de agregados associado a cada curva de referência. Isto significa que será possível obter betões auto-compactáveis em todo o intervalo granulométrico definido, dependendo do volume total de agregados da mistura.

O gráfico representado na Figura 10.105 ilustra a relação entre o parâmetro MN e o valor médio do volume total de agregados da mistura (V_s+V_g) que lhe está associado. Desta forma, a auto-compactabilidade pode ser relacionada com o parâmetro MN e este, por sua vez, determina o volume total de agregados da mistura e a curva de referência adequada desses agregados.

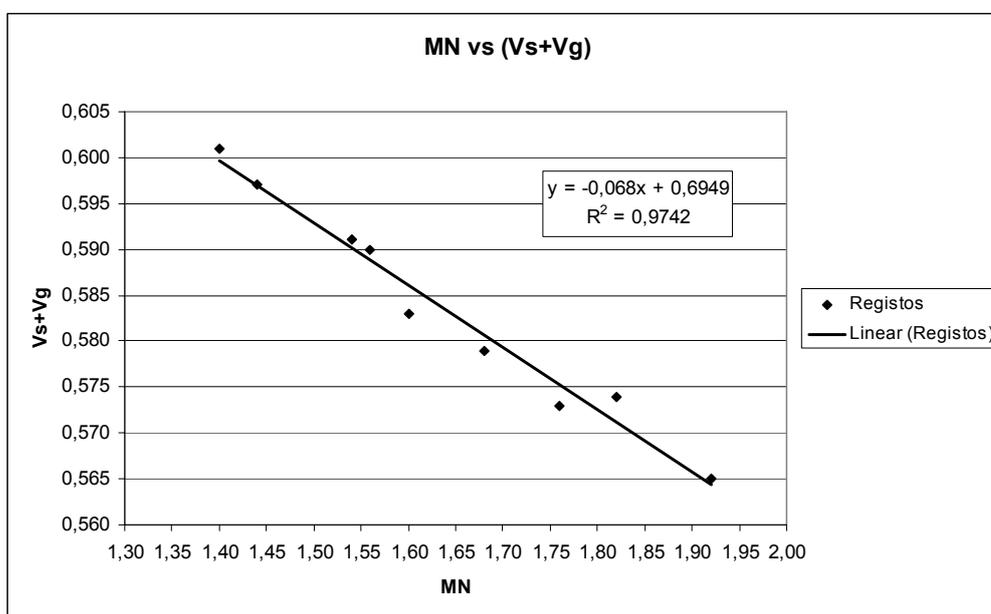


Figura 10.105 – Relação entre o parâmetro MN e o total de agregados da mistura

A título de exemplo, se for considerado um parâmetro $MN=1,70$, isto significa que, em média, o volume total de agregados por metro cúbico de betão deverá ser de $0,579 \text{ m}^3$ e que a curva de referência do total de agregados da mistura deverá situar-se no intervalo granulométrico definido. De preferência, deverá ser seleccionada uma curva de referência do total de agregados a que corresponda um valor de MN o mais próximo possível do valor definido ($MN=1,70$).

10.3 – Propriedades dos betões no estado endurecido

10.3.1 – Generalidades

Para a caracterização das propriedades do betão auto-compactável no estado endurecido, a metodologia adoptada no presente trabalho apenas contempla, nesta fase, a determinação da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade. A avaliação de outras propriedades do betão endurecido para além da resistência às tensões, fundamentais para um correcto dimensionamento e previsão do comportamento das estruturas durante o seu tempo de vida útil, constituirá certamente uma das possíveis e interessantes investigações a realizar em fases posteriores. A especificidade dos betões auto-compactáveis face aos betões correntes, nomeadamente, o facto destes possuírem maiores volumes de pasta e menores volumes de agregados, deixa antever a necessidade de uma atenção especial quanto às propriedades do betão endurecido associadas a fenómenos de retracção ou à deformação sob cargas (deformação elástica e fluência) que, à partida, são mais sensíveis às variações entre as proporções e as características das diferentes fases.

As propriedades reológicas e de auto-compactabilidade dos betões produzidos neste trabalho foram estudadas exaustivamente nos Sub-Capítulos anteriores para um número significativo de misturas, utilizando diferentes proporções entre os volumes de argamassa e de agregados grossos. As proporções entre os volumes de argamassa e de agregados grossos variaram num intervalo relativamente estreito, suficiente, no entanto, para provocar alterações significativas no comportamento do betão no estado fresco, enquanto que, do ponto de vista da resistência à compressão, a influência da variação destas proporções parece ser pequena, como se verá posteriormente. Por outro lado, o facto de alguns betões apresentarem um menor grau de auto-compactabilidade não se reflectiu directamente na resistência à compressão, apesar dos betões evidenciarem um ligeiro aumento da porosidade.

Pelo exposto, conclui-se que a resistência à compressão dos betões produzidos neste trabalho dependerá sobretudo da resistência da matriz argamassa. Efectivamente, as

argamassas utilizadas apresentavam em comum o mesmo comportamento reológico, mas diferiam entre si por apresentarem diferentes resistências à compressão, numa gama compreendida sensivelmente entre os 25 MPa e os 95 MPa. Desta forma, foi possível produzir betões com diferentes resistências à compressão, que variaram aproximadamente entre os 32 MPa e os 88 MPa.

Independentemente do maior ou menor grau de auto-compactabilidade, todos os betões produzidos ao longo deste trabalho foram avaliados quanto à sua resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade. Os parâmetros correlacionados com a resistência à compressão aos 28 dias de idade serão discutidos no Sub-Capítulo 10.3.2. A relação entre as resistências à compressão aos 7 e 28 dias de idade será discutida no Sub-Capítulo 10.3.3, enquanto que a relação entre a resistência das argamassas e a resistência dos betões, ambas medidas aos 28 dias de idade, será discutida no Sub-Capítulo 10.3.4.

10.3.2 – Parâmetros correlacionados com a resistência à compressão

Admitindo que a resistência à compressão do betão é afectada sobretudo pela resistência à compressão da matriz argamassa, então será correcto admitir-se também que os parâmetros que apresentam uma boa correlação com a resistência à compressão dos betões são os mesmos já identificados no estudo das argamassas. De entre os parâmetros identificados no estudo das argamassas foram seleccionados aqueles que permitem estabelecer correlações de âmbito geral, ou seja, a razão W/C e a razão W/MC.

Na análise da relação entre a resistência à compressão e as razões W/C e W/MC dos betões produzidos no presente trabalho, deverá observar-se o facto de terem sido introduzidas algumas correcções nas dosagens de água das misturas durante a fase de amassadura. Isto significa que as razões W/C e W/MC calculadas diferem das razões W/C e W/MC efectivas. Apesar dos valores calculados e os valores efectivos das dosagens de água não diferirem significativamente em termos absolutos, este aspecto será avaliado em detalhe nos itens seguintes para cada uma das razões correlacionadas com a resistência à compressão, ou seja, para a razão W/C e para a razão W/MC.

A razão W/C

Tendo por referência os resultados apresentados do Quadro 8.49 ao Quadro 8.59, foi elaborado o gráfico que se ilustra na Figura 10.106. Este gráfico mostra a relação entre a resistência à compressão dos betões aos 28 dias de idade, medida em provetes cúbicos de 150 mm de aresta, e a razão W/C obtida a partir do cálculo da composição desses betões. Tal como nas argamassas, foram desenhadas correlações separadas para cada tipo de cimento utilizado. Note-se que a correlação identificada pela sigla C1 diz respeito ao cimento “CEM I 42,5R”, enquanto que a correlação identificada com a sigla C2 se refere ao cimento “CEM II/B-L32,5N”.

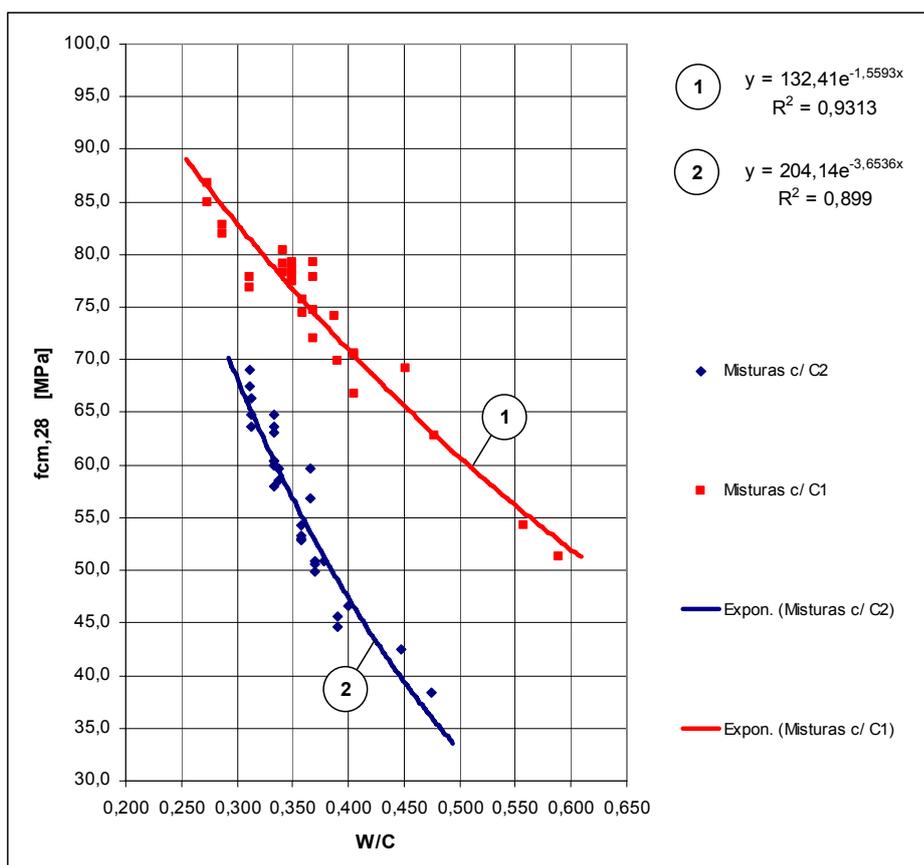


Figura 10.106 – Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base os valores de cálculo

Atente-se novamente nos elementos apresentados do Quadro 8.49 ao Quadro 8.59, relativamente à resistência à compressão aos 28 dias de idade dos betões produzidos neste trabalho, mas considere-se desta feita os valores da razão W/C ilustrados no Quadro 8.37,

obtidos após correcção da dosagem de água das misturas. Com base nestes valores foi traçado o gráfico que se ilustra na Figura 10.107, similar ao gráfico ilustrado na Figura 10.106, mas representando desta vez a relação entre a resistência à compressão e a razão W/C efectiva.

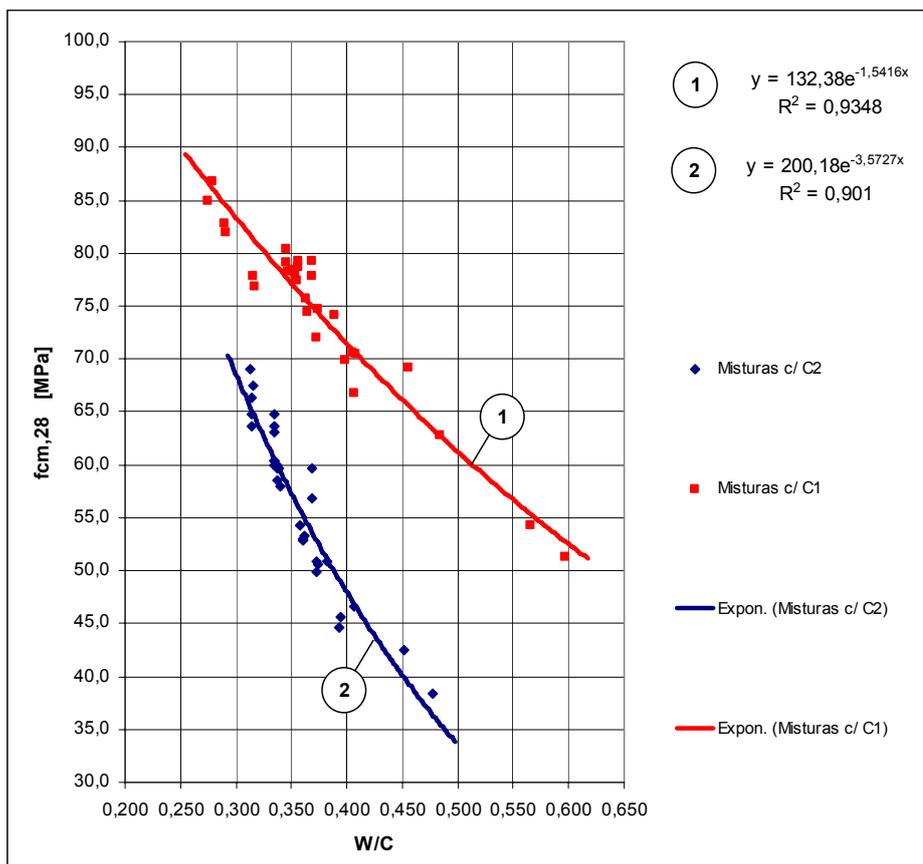


Figura 10.107 – Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base os valores efectivos

A análise comparativa entre os gráficos desenhados na Figura 10.106 e na Figura 10.107 permite concluir que o efeito sobre as correlações apresentadas, em consequência das alterações introduzidas na razão W/C após correcção da água de amassadura, é relativamente pequeno, ou mesmo desprezável. Ainda assim, com algum preciosismo, é possível detectar uma ténue melhoria nos coeficientes de correlação quando as resistências à compressão dos betões são relacionadas com a razão W/C efectivamente utilizada na sua produção.

A razão W/MC

Os betões produzidos durante a campanha experimental desenvolvida no presente trabalho podem ser divididos em quatro grupos de materiais cimentícios, função das combinações entre os cimentos e as adições. Quando um dos cimentos é combinado com adições do tipo I (quase inertes), o único material cimentício é o próprio cimento; neste caso os materiais cimentícios são os cimentos “CEM I 42,5R” e “CEM II/B-L32,5N” identificados, respectivamente, pelas siglas “C1+Ad.Tipo I” e “C2+Ad.Tipo I”. Quando um desses cimentos é combinado com adições do tipo II (pozolânicas ou potencialmente hidráulicas), os materiais cimentícios passam a ser representados pela soma do cimento com a adição; neste caso deverão ser contabilizadas as misturas que incorporaram cinzas volantes, identificadas pelas siglas “80C2+20CV” e “70C1+30CV”.

A partir dos elementos apresentados do Quadro 8.49 ao Quadro 8.59, foi elaborado o gráfico que se ilustra na Figura 10.108. Este gráfico apresenta a relação entre a resistência à compressão aos 28 dias de idade, medida em provetes cúbicos de 150 mm de aresta, e a razão W/MC obtida a partir do cálculo do betão. As siglas apresentadas neste gráfico assumem o significado descrito no parágrafo anterior.

O gráfico que se apresenta na Figura 10.109 estabelece uma relação similar àquela ilustrada na Figura 10.108. Contudo, desta vez, a resistência à compressão é correlacionada com a razão W/MC efectiva, obtida após correcção das dosagens de água, conforme se apresentou no Quadro 8.37.

A comparação entre os gráficos apresentados nas Figuras 10.108 e 10.109 permite confirmar que as correcções introduzidas nas dosagens de água de amassadura não produzem efeitos significativos nas razões W/MC e, em consequência, não afectam as correlações aqui discutidas. Tal como no caso anterior, é possível observar-se uma ténue tendência para uma melhoria do coeficiente de correlação quando a resistência à compressão é correlacionada com a razão W/MC efectiva.

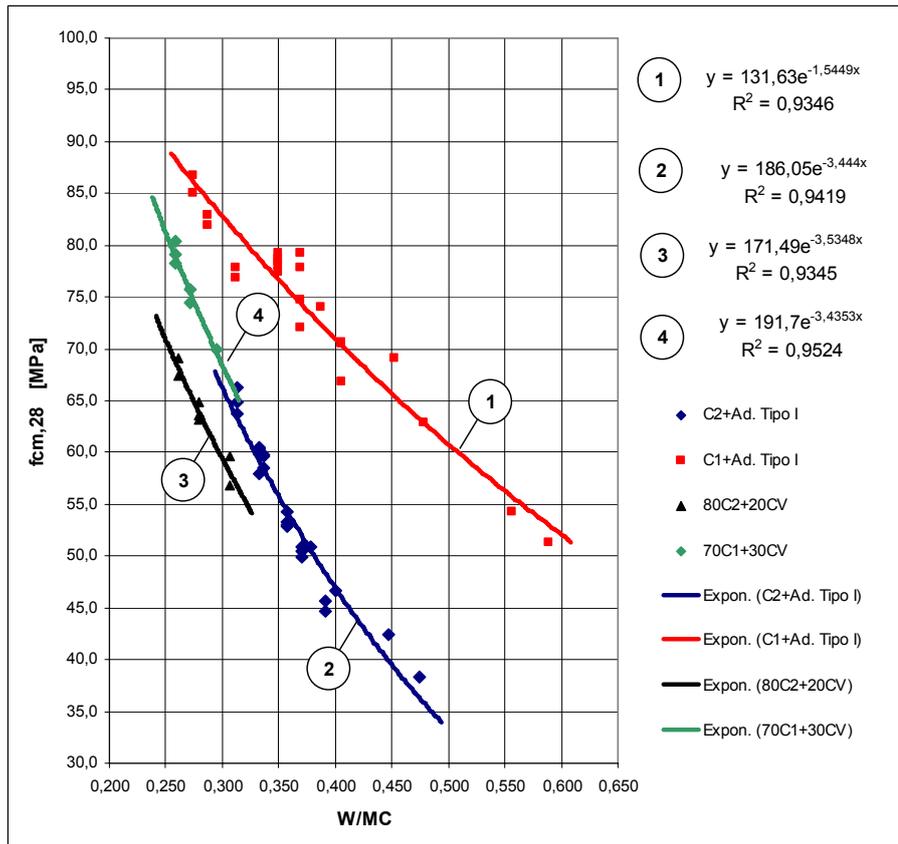


Figura 10.108 – Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/MC tendo por base os valores de cálculo

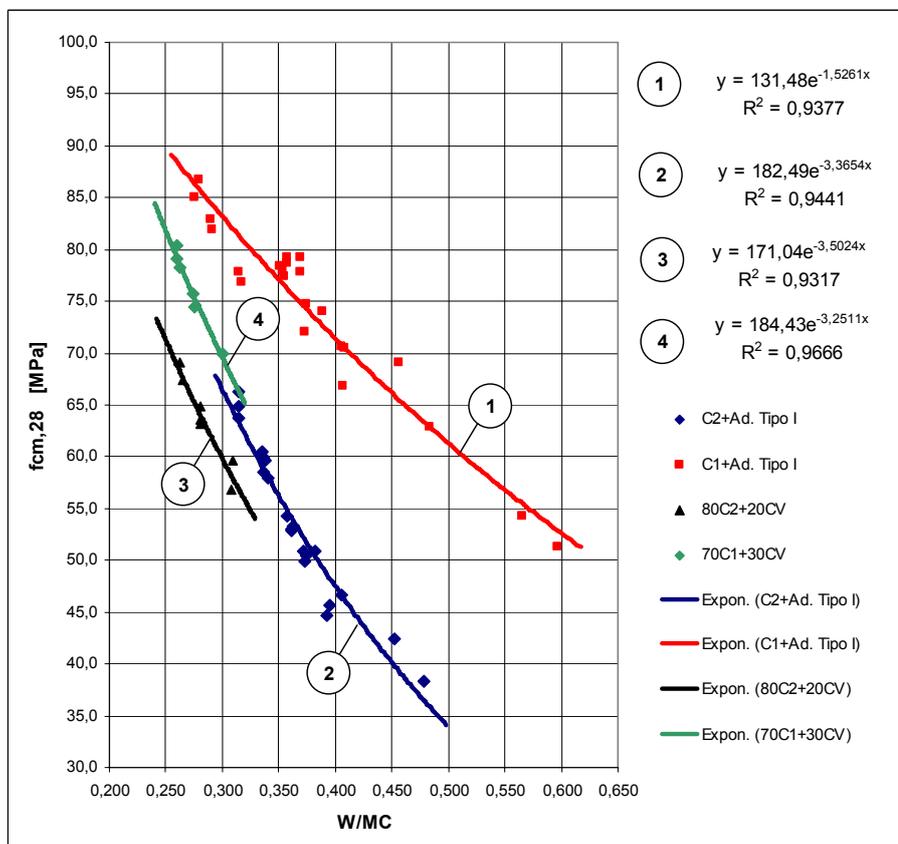


Figura 10.109 – Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/MC tendo por base os valores efectivos

Quando se comparam os gráficos ilustrados nas Figuras 10.106 e 10.107 com os gráficos ilustrados nas Figuras 10.108 e 10.109, verifica-se que as correlações com a razão W/MC apresentam coeficientes de correlação ligeiramente superiores àqueles obtidos nas correlações com a razão W/C. Apesar disso, os valores do coeficiente de correlação obtidos para as razões W/C são, ainda assim, razoáveis. Nesta medida, e uma vez que as correlações com a razão W/C podem ser mais facilmente generalizadas para aplicação corrente, já que não dependem da percentagem de substituição das adições, elas deverão ser tidas em conta, em detrimento das correlações com a razão W/MC, na formulação do método de cálculo a propor no âmbito deste trabalho.

10.3.3 – Relação entre a resistência dos betões aos 7 e 28 dias de idade

A relação entre os valores da resistência à compressão aos 7 e aos 28 dias de idade ($R7/R28$) é ilustrada na Figura 10.110, tendo por base os valores apresentados do Quadro 8.60 ao Quadro 8.70. Mais concretamente, cada um dos valores de ($R7/R28$) obtidos, representa o valor médio de todas as misturas de uma mesma família de betão. As diferentes famílias de betão são identificadas pela respectiva sigla inserida em cada coluna.

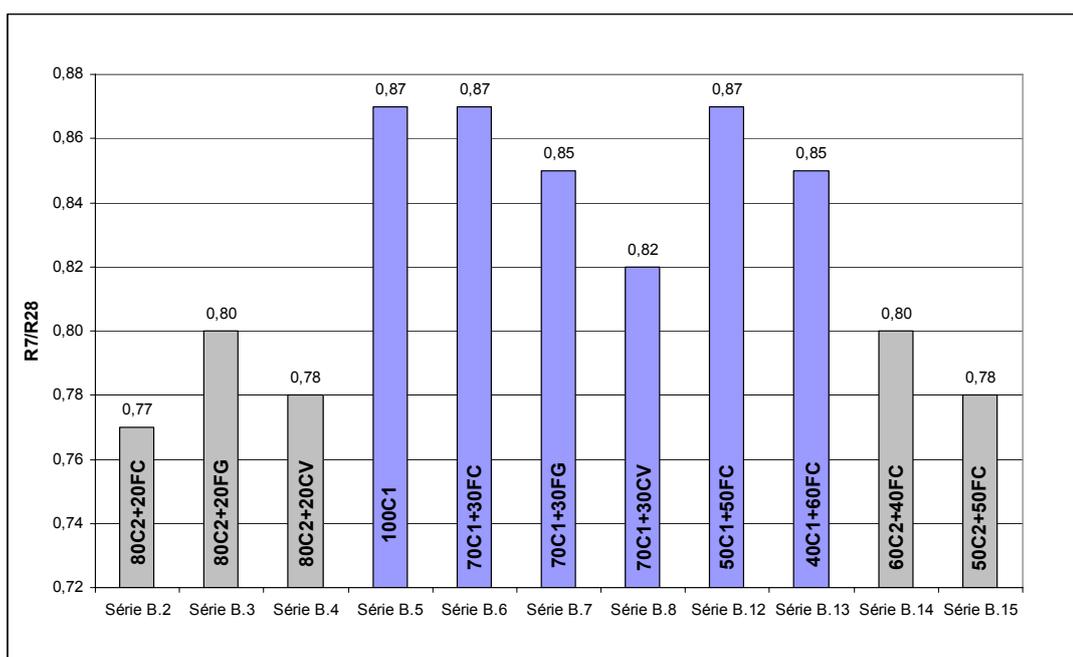


Figura 10.110 – Relação $R7/R28$ para diferentes famílias de betão

A análise da Figura 10.110 permite distinguir claramente, que as famílias de betão que incorporaram na sua composição o cimento do tipo CEM I 42,5R (barras azuis), apresentaram em média valores superiores da razão R7/R28 em comparação com as famílias de betão que incorporaram o cimento do tipo CEM II/B-L32,5N.

O gráfico que se ilustra na Figura 10.111 permite analisar mais detalhadamente a correlação entre os valores da resistência à compressão aos 7 dias ($f_{cm,7}$) e aos 28 dias ($f_{cm,28}$) em cada família de betão. Neste caso, para cada família de betão, é desenhada a regressão linear obtida a partir dos diferentes pares de valores registados.

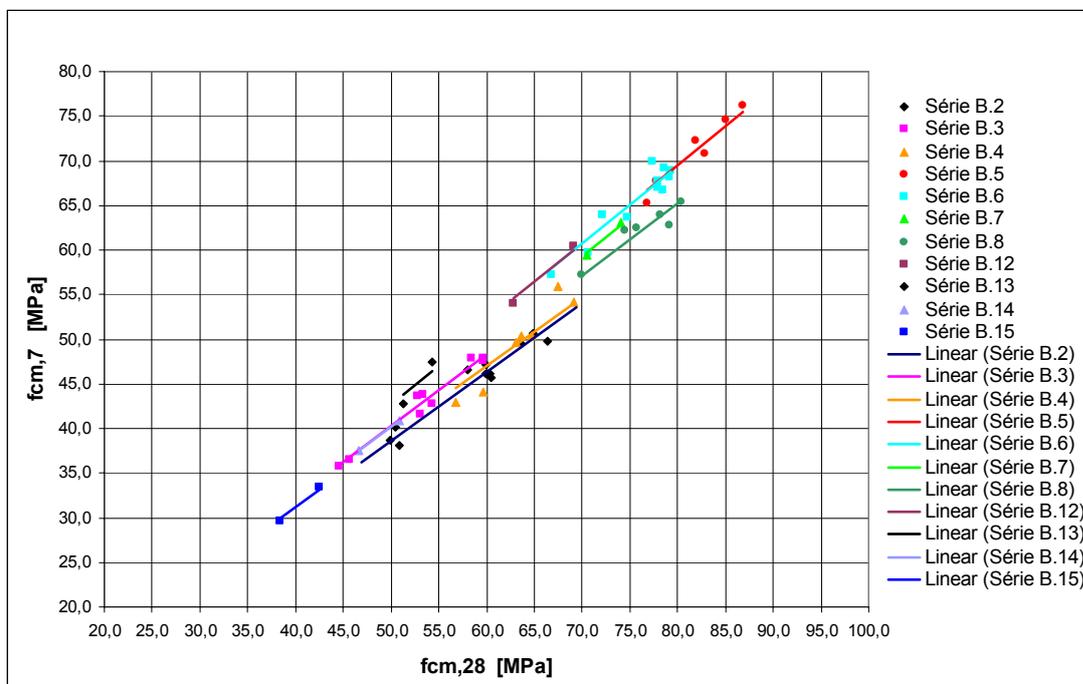


Figura 10.111 – Relação entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade

Se as diferentes regressões lineares representadas na Figura 10.111 forem agrupadas em função do tipo de cimento utilizado (CEM I 42,5R ou CEM II/B-L32,5N), obtém-se o gráfico representado na Figura 10.112.

Os resultados obtidos na Figura 10.112 evidenciam claramente, como seria de esperar, que a evolução da resistência dos betões produzidos neste trabalho depende do tipo de cimento utilizado ou, mais concretamente, da maior ou menor taxa de hidratação associada ao tipo de cimento utilizado.

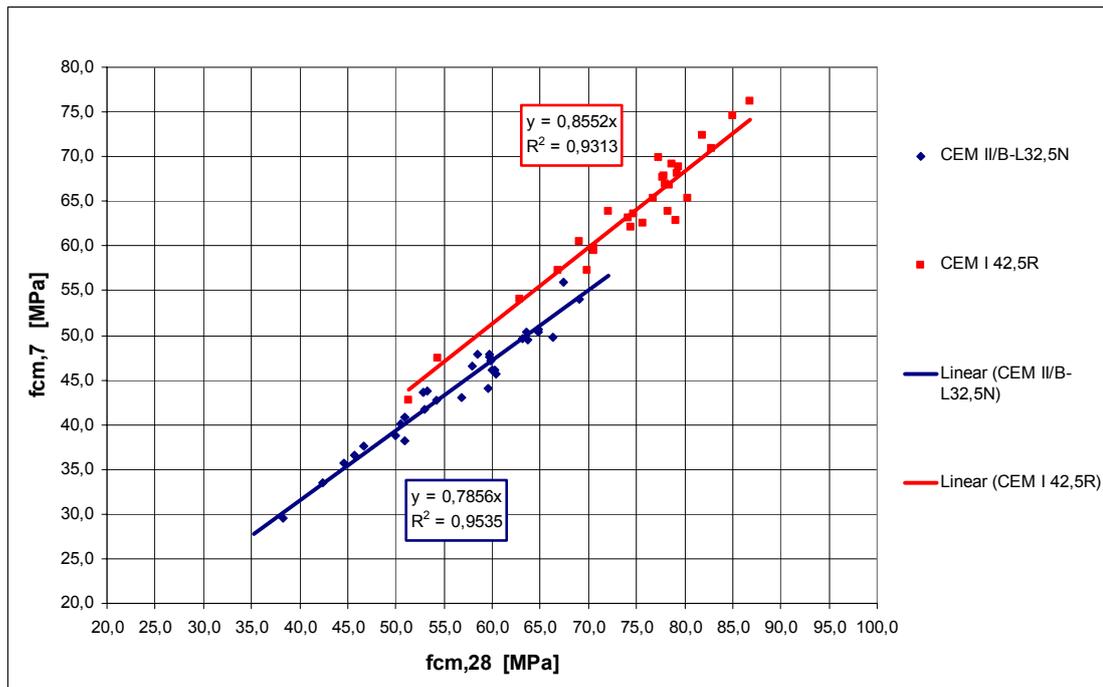


Figura 10.112 – Relação entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade

10.3.4 – Relação entre a resistência das argamassas e dos betões

Foi já referido anteriormente que a resistência à compressão dos betões está directamente relacionada com a resistência à compressão da matriz argamassa. Para avaliar esta relação, foi produzido o gráfico que se ilustra na Figura 10.113, suportado pelos elementos apresentados do Quadro 8.49 ao Quadro 8.59. Neste gráfico, a resistência à compressão das argamassas ($f_m,28$) é correlacionada com a resistência à compressão dos betões ($f_{cm,28}$), ambas avaliadas aos 28 dias de idade.

A análise do gráfico apresentado na Figura 10.113 permite observar uma boa correlação entre os valores da resistência à compressão das argamassas e dos betões, como confirma o coeficiente de correlação obtido, da ordem de 0,93. Deverá no entanto salientar-se o facto de se ter verificado alguma pequena dispersão dos valores da resistência quando, para uma mesma argamassa, foram utilizados diferentes valores do volume de agregados grossos, como se pode observar na Figura 10.113. Contudo, este facto parece não ter afectado significativamente a correlação obtida.

Na relação entre a resistência das argamassas e a resistência dos betões foram contabilizadas todas as misturas produzidas neste trabalho, independentemente do maior ou menor grau de auto-compactabilidade registado. Contudo, a comparação entre os betões produzidos com a mesma argamassa e diferentes volumes de agregados, que conduziram a diferentes graus de auto-compactabilidade, não revelaram diferenças significativas entre si, no que respeita à resistência à compressão. Isto poderá significar que, mesmo para os valores inferiores, o grau de auto-compactabilidade dos betões produzidos era, ainda assim, suficiente para se obter um betão homogêneo em moldes cúbicos de 150 mm de aresta, não confinados por qualquer armadura.

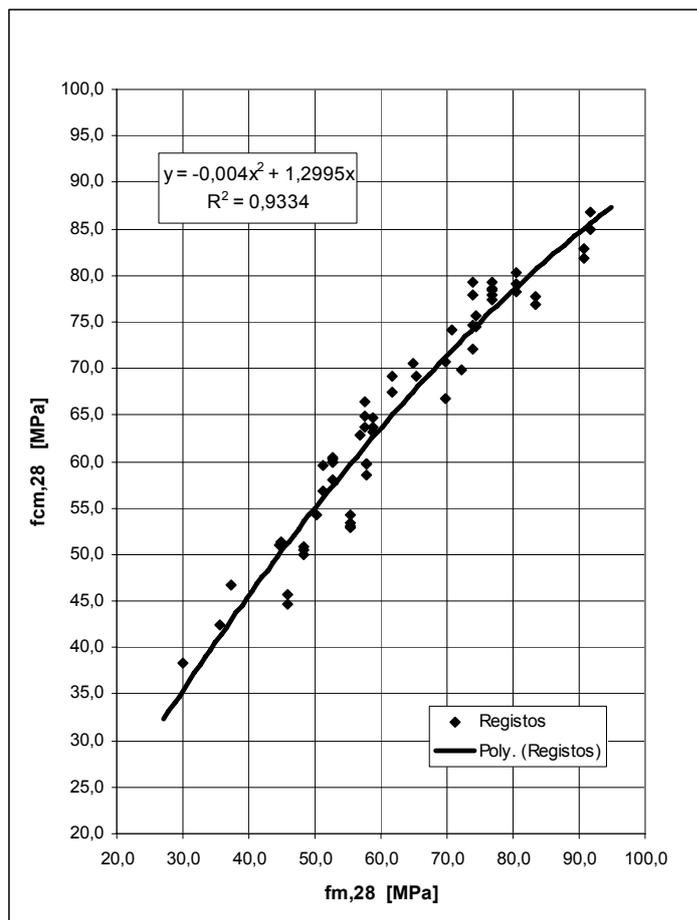


Figura 10.113 – Relação entre a resistência à compressão das argamassas e dos betões

10.4 – Conclusões

As conclusões que a seguir se apresentam referem-se ao estudo dos betões, mas reflectem também outras fases precedentes, em especial a fase das argamassas. Nesta medida, na interpretação das conclusões deverá observar-se a metodologia adoptada, o tipo e dimensão dos equipamentos, os procedimentos de amassadura, os procedimentos de ensaio e a forma como se analisaram e interpretaram os resultados, não só no estudo realizado em betões, mas também, no estudo realizado em argamassas.

De acordo com a metodologia adoptada, o estudo dos betões é basicamente suportado pelo estudo prévio em argamassas. Nesta medida, uma vez definidas as propriedades das argamassas adequadas, quer no estado fresco, quer no estado endurecido, o estudo da composição dos betões auto-compactáveis completa-se com a definição do volume de vazios e com a relação (V_m/V_g). O volume de vazios foi mantido constante em todas as misturas, restando por isso definir o parâmetro (V_m/V_g). Contudo, a definição do valor adequado de (V_m/V_g) não pode ser decidida independentemente dos restantes parâmetros, já que as propriedades reológicas e de auto-compactabilidade resultam também da interacção entre o parâmetro (V_m/V_g) e os parâmetros definidos para as argamassas, nomeadamente, a “família de finos” e os parâmetros (V_p/V_s), (V_w/V_p) e ($S_p/p\%$). No presente trabalho foi efectuado um estudo detalhado desta interacção e as conclusões obtidas a este respeito serão a seguir apresentadas.

As conclusões relativas ao estudo dos betões serão apresentadas segundo a mesma sequência da discussão elaborada no decurso do presente trabalho. Assim, serão apresentadas, por esta ordem, as conclusões relativas aos materiais, à metodologia adoptada, à análise dos parâmetros reológicos e de auto-compactabilidade e as conclusões relativas à influência dos diferentes parâmetros das misturas na auto-compactabilidade, nomeadamente: o parâmetro MN, as dosagens de agregados finos e grossos, a dosagem de materiais finos, a dosagem de água, a dosagem de superplastificante, o percentual de argamassa seca e as curvas de referência do total de agregados da mistura. Finalmente, serão apresentadas as conclusões relativas à avaliação da resistência à compressão.

Materiais

No presente trabalho foi introduzida uma adição constituída por fíler granítico. Na fase das argamassas a sua utilização mostrou-se adequada e o comportamento de misturas produzidas com esta adição revelou-se promissor, tendo em vista a sua utilização na produção de betões auto-compactáveis. Apesar de terem sido produzidos escassos betões com este material, os resultados obtidos apontam para as seguintes conclusões:

- O fíler granítico revelou-se adequado, pelo menos em termos físicos, como adição mineral para substituição parcial do cimento na produção de betões auto-compactáveis;

- Os consumos de superplastificante nos betões que incorporaram fíler granítico foram semelhantes aos consumos de superplastificante obtidos nos betões com adições de fíler calcário ou cinzas volantes, em condições semelhantes;

- Os consumos de água de amassadura em misturas com fíler granítico igualaram os consumos de água das misturas de referência só com cimento, independentemente da percentagem de substituição. Sob condições semelhantes, as dosagens de água das misturas que incorporaram fíler granítico superaram sempre os consumos de água das misturas com fíler calcário ou cinzas volantes;

- Ainda que a avaliação seja apenas qualitativa, o facto das misturas com fíler granítico incorporarem maiores dosagens de água em comparação com as misturas com fíler calcário ou cinzas volantes, em geral semelhantes às misturas padrão só com cimento, parece conduzir a melhorias em termos do comportamento no estado fresco dos betões, em especial na capacidade de retenção da trabalhabilidade;

Metodologia

As considerações efectuadas na fase das argamassas deverão ser observadas também na fase dos betões. A estas considerações poderá acrescentar-se o facto de se ter introduzido um novo parâmetro no cálculo dos betões para contabilizar o volume de agregados grossos, nomeadamente o parâmetro (V_m/V_g). Por outro lado, na ausência de reómetros, foi necessário adoptar uma metodologia, que permitisse avaliar os parâmetros

reológicos separadamente dos parâmetros de auto-compactabilidade dos betões. Assim, a respeito da metodologia adoptada, poderão resumir-se as seguintes conclusões:

- O parâmetro (V_m/V_g), utilizado para contabilizar o volume de agregados grossos no betão, revelou-se adequado. Contudo, o valor deste parâmetro não poderá ser decidido independentemente dos parâmetros definidos para as argamassas. Concretamente, para cada traço volumétrico da argamassa (V_p/V_s) existirá um valor de (V_m/V_g) que conduz à obtenção das propriedades de auto-compactabilidade pretendidas;

- A abordagem proposta para este trabalho, na ausência de reómetros, revelou-se suficientemente adequada e ajustada aos objectivos pretendidos. Concretamente, essa abordagem propõe que os parâmetros reológicos sejam avaliados indirectamente através dos ensaios de espalhamento e de fluidez, à semelhança das argamassas, desde que não ocorram fenómenos de segregação e bloqueio da mistura. Uma vez garantido o adequado comportamento reológico das misturas, procede-se aos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” para avaliar as exigências funcionais quanto à auto-compactabilidade.

Reologia

A avaliação dos parâmetros reológicos dos betões com recurso aos ensaios de espalhamento e de fluidez decorre directamente da metodologia adoptada. A respeito da análise do comportamento reológico dos betões apresentam-se as seguintes conclusões:

- Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que, na ausência de reómetros e mediante determinadas condições de escoamento, a correspondência entre as propriedades reológicas das argamassas e as propriedades reológicas dos betões pode resultar igualmente efectiva, se estas propriedades forem avaliadas em condições de ensaio similares. Por outras palavras, salvaguardando as devidas proporções, a reologia das argamassas e dos betões deverá ser avaliada pelos respectivos ensaios de espalhamento e de fluidez e na ausência de segregação e de bloqueio da mistura;

- A menos das pequenas correcções das dosagens de água e de superplastificante dos betões, efectuadas durante a fase de amassadura para adequar as propriedades

reológicas ao valor pretendido, poderá concluir-se que o intervalo definido para os parâmetros reológicos das argamassas (G_m entre 5,3 e 5,9; R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1}), a que correspondem, respectivamente, os valores (D_m entre 251 e 263 mm; t entre 7,69 e 8,77 s), conduziu à obtenção de betões com os seguintes parâmetros reológicos: (G_c entre 8 e 11,25; R_c entre 0,5 e 1,0 s^{-1}), a que correspondem, respectivamente, (D_m entre 600 e 700 mm; t entre 10 e 20 s). Desta forma, poderá afirmar-se inequivocamente que as propriedades reológicas definidas neste trabalho para a matriz argamassa se revelaram adequadas à obtenção das propriedades reológicas pretendidas para os betões;

- Em geral, as propriedades reológicas das argamassas adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis têm sido definidas para valores aproximadamente constantes dos volumes de agregados finos e de agregados grossos. Nesta medida, qualquer variação no volume destes materiais poderá obrigar à introdução de pequenas correcções nas dosagens de água e de superplastificante para adequar as propriedades reológicas das argamassas;

- Admitindo que no presente trabalho as correcções de água e de superplastificante efectuadas durante a fase de amassadura podem ser consideradas desprezáveis, poderá igualmente admitir-se que a correspondência entre as propriedades reológicas das argamassas e as propriedades reológicas dos betões ocorrem independentemente dos valores adoptados para os parâmetros (V_p/V_s) e (V_m/V_g), desde que estes assumam os valores propostos neste trabalho;

- Os parâmetros T50 e T40 são úteis para avaliar o comportamento reológico do betão fresco auto-compactável, mas não deverão substituir o ensaio do “Funil-V” na fase de estudo da composição. Eventualmente, para o controle de qualidade da produção em obra ou central, não se justificará a utilização de todos os ensaios seleccionados para este trabalho e, nesse caso, os parâmetros T50 ou T40 poderão revelar-se muito úteis;

- A utilização de equipamentos diferentes, com diferentes restrições ao escoamento e diferentes geometrias do fluxo do betão, pode conduzir a diferenças na interacção entre as partículas dos agregados e influenciar as correlações entre os parâmetros t , T50 e T40;

Relação entre a reologia e a auto-compactabilidade

A auto-compactabilidade foi avaliada com recurso aos ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa”, expressos, respectivamente, pelos parâmetros de auto-compactabilidade (H2/H1) e (H). Tendo presentes as condições específicas decorrentes da metodologia adoptada no presente trabalho, podem ser referidas as seguintes conclusões relativamente à avaliação dos parâmetros de auto-compactabilidade e à sua relação com a reologia:

- No decurso dos ensaios efectuados no presente trabalho, não se registaram fenómenos de bloqueio nos obstáculos colocados na “Caixa-L” e na “Caixa” e os betões ensaiados não apresentaram visivelmente qualquer tendência para segregar. Esta circunstância permitiu que fosse avaliada a relação entre os parâmetros reológicos e os parâmetros de auto-compactabilidade dos betões;

- A metodologia adoptada no presente trabalho, à semelhança de outras, fixa um intervalo de variação admissível para a capacidade e velocidade de deformação dos betões. Nesta medida, diferentes misturas, com diferentes parâmetros reológicos dentro do “alvo” estabelecido, podem conduzir ao mesmo valor do parâmetro de auto-compactabilidade. Em consequência, poderá concluir-se que a relação entre os parâmetros da composição e os parâmetros de auto-compactabilidade não poderá ser analisada independentemente da capacidade de deformação e da velocidade de deformação. Da mesma forma, a análise da relação entre a reologia e a auto-compactabilidade também não poderá ser efectuada independentemente dos parâmetros da mistura;

- Para avaliar a relação entre a reologia e a auto-compactabilidade foi necessário isolar alguns parâmetros da mistura. O parâmetro MN (número de mistura), definido pelo produto $[(V_p/V_s) \times (V_m/V_g)]$, revelou-se adequado para esse efeito, já que permite definir o “esqueleto sólido da mistura”. As misturas com igual valor de MN apresentam aproximadamente a mesma proporção entre os componentes sólidos da mistura, mas distinguem-se entre elas por utilizarem “famílias de finos” diferentes e diferentes dosagens de água e de superplastificante;

- Quando o valor do parâmetro MN permanece constante, as alterações na reologia e na auto-compactabilidade resultam basicamente de alterações na composição e volume da pasta incorporada nos betões. Por outro lado, quando o valor do parâmetro MN varia no intervalo definido no presente trabalho (MN compreendido entre 1,44 e 1,92), as alterações na reologia e na auto-compactabilidade ocorrem em consequência da alteração simultânea das proporções dos componentes sólidos da mistura e da composição e volume da pasta;

- Quando nenhum dos componentes do betão é modificado, com excepção de alterações muito pequenas das dosagens de água e de superplastificante, ocorre um aumento do valor de (H_2/H_1) ou do valor de (H) , com o aumento simultâneo dos parâmetros G_c e R_c , ou seja, com o aumento do diâmetro de espalhamento e redução do tempo de escoamento no ensaio do “Funil-V”. Em síntese, um ligeiro aumento das dosagens de água e de superplastificante permite um aumento simultâneo da área relativa de espalhamento G_c e da velocidade relativa de escoamento R_c , resultando em consequência um ligeiro aumento de (H_2/H_1) ou de (H) , consoante se trate do ensaio da “Caixa-L” ou da “Caixa”;

- A representação gráfica do par de valores R_c e G_c obtidos numa determinada mistura, juntamente com o conhecimento dos correspondentes valores de (H_2/H_1) , ou de (H) , permite avaliar o “potencial de crescimento” dos parâmetros de auto-compactabilidade. Por outras palavras, é possível quantificar o deslocamento a induzir nos parâmetros G_c e R_c dentro do “alvo” estabelecido, através de pequenos ajustamentos das dosagens de água e de superplastificante, de forma a maximizar o valor do parâmetro de auto-compactabilidade dessa mistura, definido por (H_2/H_1) ou por (H) ;

- Em misturas diferentes, os valores médios dos parâmetros (H_2/H_1) ou (H) mostram uma tendência para reduzir com a redução do parâmetro MN, ou seja, com o aumento do volume de agregados da mistura, independentemente do tipo de materiais finos que constituem a pasta;

- Em misturas diferentes, mas com igual valor de MN, verifica-se um aumento de (H_2/H_1) e de (H) com o aumento do valor de G_c , independentemente do valor de R_c . Contrariamente, os parâmetros (H_2/H_1) ou (H) não evidenciam qualquer tendência face à

variação do parâmetro R_c , independentemente do valor assumido por G_c . Isto significa que, em misturas com igual valor de MN , independentemente do tipo de materiais finos que constituem a pasta, os parâmetros (H_2/H_1) e (H) são influenciados basicamente pela capacidade de deformação. Em síntese, independentemente da constituição dos materiais finos da pasta, existe uma tendência para o aumento dos valores de (H_2/H_1) ou de (H) com o aumento do diâmetro de espalhamento (D_m), desde que o parâmetro MN se mantenha constante;

- A auto-compactabilidade, avaliada pelo parâmetro (H_2/H_1) ou pelo parâmetro (H) , evidencia uma maior dependência do volume de materiais finos que da própria constituição desses materiais;

- Para valores de MN mais elevados, o parâmetro (H) parece perder alguma sensibilidade em comparação com o parâmetro (H_2/H_1) . Nesta medida, poderá supor-se que, a partir de determinado valor de redução dos agregados grossos, o ensaio da “Caixa” se torna menos sensível à capacidade de passagem que o ensaio da “Caixa-L” e que, a partir desse momento o parâmetro (H) medido no ensaio da “Caixa” passa a depender basicamente da capacidade de deformação;

- Cada um dos parâmetros (H_2/H_1) ou (H) medidos, respectivamente, nos ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa”, pode ser correlacionado com duas outras variáveis, nomeadamente, o diâmetro de espalhamento (D_m) e o número de mistura (MN). No presente trabalho, essa relação foi estabelecida através de modelos matemáticos para ambos os ensaios. O modelo matemático para a “Caixa-L” apresentou um coeficiente de correlação de aproximadamente 0,90, enquanto que para o ensaio da “Caixa” esse valor se situou próximo de 0,68;

- Os modelos matemáticos desenvolvidos para representar o comportamento do betão auto-compactável no estado fresco, quer no ensaio da “Caixa-L”, quer no ensaio da “Caixa”, revelaram-se suficientemente adequados e permitiram, de forma eficaz, isolar o efeito da capacidade de deformação na relação entre o parâmetros da mistura (MN) e os parâmetros de auto-compactabilidade (H_2/H_1) e (H) ;

- Os resultados obtidos experimentalmente evidenciam uma provável correlação do tipo linear entre os parâmetros (H_2/H_1) e (H) , enquanto que os resultados suportados pelos modelos matemáticos confirmam uma boa correlação do tipo linear entre esses parâmetros.

Relação entre os parâmetros da mistura e a auto-compactabilidade

O estudo da relação entre os parâmetros da mistura e a auto-compactabilidade foi basicamente suportado pelos modelos matemáticos desenvolvidos, e esse aspecto deve ser tido em consideração na interpretação dos resultados. As conclusões obtidas nesse estudo são a seguir apresentadas para diferentes parâmetros da composição dos betões.

O parâmetro MN

- Conhecido o valor do parâmetro MN de cada uma das composições de betão estudadas, os modelos matemáticos permitem estimar os valores dos parâmetros (H_2/H_1) ou (H) dessas misturas, quando estas apresentam em comum o mesmo valor do diâmetro de espalhamento, situado entre os 600 mm e os 700 mm. Por outras palavras, o parâmetro MN apresenta uma boa relação com os parâmetros (H_2/H_1) e (H) , quando a capacidade de deformação das misturas permanece constante;

- O conhecimento da relação entre os parâmetros MN, (D_m) e (H_2/H_1) , ou entre os parâmetros MN, (D_m) e (H) , pode ser muito útil na definição dos parâmetros da mistura. Concretamente, conhecido o parâmetro (V_p/V_s) de uma determinada argamassa, facilmente se pode estimar o valor de (V_m/V_g) a adoptar no cálculo do betão, se for conhecido o valor de MN adequado. Dito de outra forma, facilmente se poderia estimar o volume de agregados grossos da mistura adequado especificamente a essa argamassa;

- As misturas com diâmetros médios de espalhamento de 600 mm apresentaram baixa capacidade de deformação. Em certa medida, se forem considerados outros factores, como por exemplo a retenção da trabalhabilidade com o tempo, o risco de não se cumprir a auto-compactabilidade do betão, aquando da colocação em obra, é elevado. Por outro lado, no sentido oposto, os betões com diâmetros de espalhamento de 700 mm apresentaram alta

capacidade de deformação. Neste caso, qualquer pequeno acréscimo de água ou superplastificante na mistura poderá conduzir à segregação dos agregados grossos e, muito provavelmente, à exsudação da água;

- Qualitativamente, a análise efectuada permite recomendar que, no estudo das misturas, se adopte um diâmetro de espalhamento acima dos 600 mm. Eventualmente, poderia adoptar-se o intervalo $D_m=650\pm 20$ mm. Na prática, durante a colocação do betão em obra, seria de admitir alguma oscilação em relação aos valores de dimensionamento, desde que o diâmetro de espalhamento se situasse entre os 630 mm e os 700 mm;

- Se o betão for dimensionado para um diâmetro de espalhamento de 630 mm e admitindo que a auto-compactabilidade é atingida quando $(H_2/H_1 \geq 0,80)$, poderá concluir-se que o valor mínimo a adoptar para o parâmetro MN deverá ser de 1,70. Isto significa que o produto dos parâmetros (V_p/V_s) e (V_m/V_g) deverá ser igual ou superior a 1,70;

- Considerando novamente um valor de $D_m=630$ mm e admitindo um valor de $(MN \geq 1,70)$, conclui-se que a auto-compactabilidade é atingida no ensaio da “Caixa” quando $(H \geq 322$ mm), a que corresponde um valor de $(H_2/H_1 \geq 0,80)$ no ensaio da “Caixa-L”;

- A comparação entre os parâmetros de auto-compactabilidade medidos nos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” e os valores mínimos desses parâmetros consensualmente admitidos como sendo necessários à obtenção da auto-compactabilidade, permitem constatar que a condição imposta para o ensaio da “Caixa-L” $(H_2/H_1 \geq 0,80)$ é mais limitativa que aquela imposta para o ensaio da “Caixa” $(H \geq 300$ mm). Por outras palavras, um betão pode ser auto-compactável de acordo com o critério definido para o ensaio da “Caixa” e não o ser de acordo com o critério especificado para a “Caixa-L”.

A dosagem de agregados finos e grossos

- Sob condições constantes da capacidade de deformação, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade no ensaio da “Caixa-L”, traduzido pelo parâmetro (H_2/H_1) , depende da combinação entre o volume absoluto de agregados finos na argamassa (V_s/V_m) e o volume absoluto de agregados grossos especificado para o betão (V_g) ;

- Se for considerado um diâmetro de espalhamento mínimo de 630 mm e um valor de $(H_2/H_1 \geq 0,80)$, podem ser definidos limites para as dosagens de agregados grossos e de agregados finos. Independentemente do valor de (V_s/V_m) , o parâmetro (H_2/H_1) só será igual ou superior a 0,80 se $V_g \leq 0,313 \text{ m}^3$ ($V_{ap} \% \leq 53,2\%$ ou $V_m/V_g \geq 2,10$). Para este volume de agregados grossos, o parâmetro (V_s/V_m) deverá assumir um valor igual ou inferior a 0,40. Neste caso, se a auto-compactabilidade for obtida para $D_m=630 \text{ mm}$, ela será automaticamente garantida para diâmetros superiores do intervalo recomendado;

- Em certa medida, o balanço entre a dosagem de agregados finos e de agregados grossos que conduz à auto-compactabilidade está contemplado no parâmetro MN (Número de Mistura) introduzido neste trabalho. Por exemplo, para um mesmo valor de MN, não é possível aumentar o volume de agregados grossos sem diminuir o volume de agregados finos na argamassa e, conseqüentemente, aumentar o volume de materiais finos dessa mesma argamassa. Poderá mesmo acrescentar-se que o parâmetro MN prevê um aumento do volume de pasta na argamassa e uma redução do volume de agregados finos, quando o volume de agregados grossos aumenta.

A dosagem de materiais finos

- No balanço efectuado no cálculo do betão, se forem especificados o volume de vazios e os volumes de agregados finos e de agregados grossos da mistura, adequados à obtenção da auto-compactabilidade, obtém-se um único volume de pasta e, neste caso, o volume de materiais finos será ditado pelas propriedades reológicas da pasta;

- Se for especificado o volume de vazios e se forem garantidas algumas condições quanto às características e proporções entre os agregados finos e os agregados grossos, o volume total da pasta das misturas pode ser especificado como parâmetro de cálculo e, neste caso, as dosagens dos agregados serão consequência da dosagem de pasta. Contudo, também neste caso, o volume de materiais finos será ditado pelas propriedades reológicas da pasta;

- Sob condições constantes da capacidade de deformação e admitindo que as curvas granulométricas do total de agregados não diferem significativamente entre si, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade registado no ensaio da “Caixa-L”, traduzido pelo parâmetro $(H2/H1)$, está relacionado com o volume total de materiais finos e com o tipo de ligante utilizado;

- Independentemente da capacidade de deformação dos betões, ocorre uma convergência entre as correlações desenhadas para o cimento CEM II/B-L32,5N e para o cimento CEM I 42,5R, a partir de um valor de $V_p=0,210 \text{ m}^3$. Isto significa que, a partir deste valor, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade deixa de depender do tipo de ligante e passa a depender exclusivamente do volume total de materiais finos. Por outro lado, o volume de materiais finos inclui diferentes combinações binárias entre o ligante e as adições, e este facto parece ser menos relevante para a auto-compactabilidade que o volume total de materiais finos;

- Se for considerado um diâmetro de espalhamento mínimo de 630 mm e um valor de $(H2/H1 \geq 0,80)$, o volume total de materiais finos deverá ser igual ou superior a $0,210 \text{ m}^3$, independentemente do tipo de ligante. Se a auto-compactabilidade for garantida para $D_m=630 \text{ mm}$, ela será automaticamente garantida para diâmetros superiores do intervalo estabelecido.

A dosagem de água

- Os parâmetros reológicos especificados para as argamassas deveriam ter em conta o volume e características dos agregados grossos no betão (V_g), ou mesmo o volume de agregados finos na argamassa (V_s/V_m);

- No presente trabalho, optou-se por fixar os parâmetros reológicos das argamassas num único intervalo ou “alvo”. Em consequência, uma parcela das correcções efectuadas na fase de amassadura dos betões poderá ser atribuída à necessidade de ajustamento dos parâmetros reológicos definidos para as argamassas, enquanto outra parcela resultará provavelmente das variações introduzidas nos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g ;

- Para cada família de betão analisada, a dosagem de água de amassadura (calculada ou efectiva) aumenta com a relação (V_m/V_g), ou seja, com o aumento do volume de argamassa incorporada no betão. Não se registaram diferenças significativas entre os valores calculados e os valores efectivamente utilizados;

- Ao comparar-se, para cada valor de V_p/V_s , as dosagens calculadas com as dosagens efectivas, verifica-se que ocorreu sempre a necessidade de um aumento da dosagem de água durante a fase de amassadura. Contudo, observa-se também que, em termos relativos, esse aumento foi superior para valores menores de V_m/V_g , ou seja, para dosagens maiores de agregados grossos. Isto significa que, quanto menor for o parâmetro V_m/V_g maior será a correcção de água a introduzir;

- As correcções da dosagem de água foram menores quando os valores de V_p/V_s e V_m/V_g se aproximaram dos parâmetros utilizados no método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51] e que serviram de base à definição dos parâmetros reológicos das argamassas, ou seja, quando $V_p/V_s \approx 0,80$ e $V_m/V_g \approx 2,40$;

- Quanto maior for a redução dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , e quanto mais estes se afastam dos valores ($V_p/V_s \approx 0,80$ e $V_m/V_g \approx 2,40$), maior será a necessidade de correcção da dosagem de água de amassadura;

- As correcções das dosagens de água foram muito pequenas, ou mesmo desprezáveis, em termos absolutos. Ainda assim, a discussão apresentada neste trabalho permitiu concluir que a amplitude dessas correcções aumenta quando os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g diminuem nos intervalos definidos neste trabalho;

- Em geral, observa-se que as misturas binárias que utilizaram adições de fíler granítico apresentaram os consumos médios de água mais elevados, semelhantes às misturas padrão só com cimento, enquanto que as misturas binárias com adições de fíler calcário e cinzas volantes apresentaram consumos médios mais baixos e próximos entre si;

- A dosagem de água de amassadura situou-se no intervalo de 159 a 175 litros/m³ quando se utilizaram misturas binárias associando o ligante (CEM I 42,5R ou CEM II/B-L32,5N) com fíler calcário ou cinzas volantes;

- A dosagem de água de amassadura situou-se no intervalo de 169 a 187 litros/m³ quando se utilizaram misturas só com ligante (CEM I 42,5R ou CEM II/B-L32,5N) ou em associações binárias em que parte desse ligante foi substituído por fíler granítico.

A dosagem de superplastificante

- Ao comparar-se, para cada valor de V_p/V_s , as dosagens calculadas com as dosagens efectivas, verifica-se que ocorre sempre a necessidade de um aumento da dosagem de superplastificante durante a fase de amassadura. Contudo, observa-se também que, em termos relativos, esse aumento foi muito superior para valores menores de V_m/V_g , ou seja, para dosagens maiores de agregados grossos. Isto significa que, quanto menor for o parâmetro V_m/V_g maior será a correcção de superplastificante a introduzir. Tal como se verificou para a dosagem de água, quanto maior for a redução dos parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g , e quanto mais estes se afastam dos valores ($V_p/V_s \approx 0,80$ e $V_m/V_g \approx 2,40$), maior será a necessidade de correcção da dosagem de superplastificante;

- Utilizando argamassas da mesma “família” e com igual valor de V_p/V_s , a dosagem de superplastificante calculada para o betão aumenta com o aumento do volume dessa argamassa incorporado no betão, como seria de esperar face à metodologia adoptada. Porém, verificou-se que o consumo efectivo de superplastificante, obtido após correcção desses betões, tende a permanecer constante, independentemente do valor de V_m/V_g . Por outro lado, esse valor do consumo de superplastificante, expresso em litros/m³, tende a estabilizar no valor efectivo mais elevado;

- Para cada família de betão, e para cada V_p/V_s , a amplitude das correcções a introduzir nas dosagens de superplastificante aumenta quando os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g diminuem nos intervalos definidos neste trabalho;

- Os resultados obtidos evidenciaram uma boa correlação entre os consumos de cimento (em kg/m³) e as dosagens de superplastificante (em litros/m³). Contudo, esta relação depende do tipo de cimento e do tipo superplastificante utilizados.

Percentual de argamassa seca As%

- Sob uma capacidade de deformação constante, o valor do percentual de argamassa seca (As%) que conduz à auto-compactabilidade ($H_2/H_1 \geq 0,80$) depende do traço volumétrico dessa argamassa, ou seja, da razão V_p/V_s ;

- Considerando um diâmetro de espalhamento mínimo de 630 mm e um valor de ($H_2/H_1 \geq 0,80$), verifica-se que o percentual mínimo de argamassa seca (As%) que conduz à auto-compactabilidade ($H_2/H_1 \geq 0,80$) será de 61,2% quando $V_p/V_s=0,80$ e de 64,2% quando $V_p/V_s=0,70$. Para os valores avaliados não é possível determinar com precisão o percentual mínimo de argamassa seca para o traço volumétrico $V_p/V_s=0,60$, mas por estimativa esse valor poderá rondar os 68%. Um valor de $As\%=68\%$ pode ser considerado muito elevado e, neste caso, recomendar-se-ia a adoção de valores de V_p/V_s acima de 0,60.

Curvas de referência do total de agregados da mistura

- As curvas de referência do total de agregados, obtidas em diferentes misturas com o mesmo valor de MN, não diferem significativamente entre si. Nesta medida, todas as misturas com o mesmo valor de MN podem ser convenientemente representadas pela curva de referência média do total de agregados obtida para esse valor de MN. Quando, por outro lado, se comparam as curvas de referência médias obtidas para diferentes valores de MN, observa-se, como seria de esperar, algumas diferenças entre elas;

- A sobreposição de todas as curvas de referência médias, obtidas para diferentes valores de MN, permite definir um intervalo granulométrico para o total de agregados, que inclui todos os betões produzidos no presente trabalho;

- Os resultados obtidos permitiram identificar uma boa relação entre o parâmetro MN e o valor médio do volume total de agregados do betão (V_s+V_g) que lhe está associado. Em consequência, a auto-compactabilidade pode ser relacionada com o parâmetro MN e este, por sua vez, permite estimar, não só o volume total de agregados da mistura (V_s+V_g), mas também a curva de referência adequada do total desses agregados.

Resistência à compressão

A respeito da análise efectuada quanto aos valores da resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade, podem ser apresentadas as seguintes conclusões:

- O efeito sobre as correlações entre a resistência à compressão aos 28 dias de idade e a razão W/C, em consequência das alterações introduzidas na razão W/C após correcção da água de amassadura, é relativamente pequeno, ou mesmo desprezável;

- As correcções introduzidas nas dosagens de água de amassadura não produzem efeitos significativos nas razões W/MC e, em consequência, não afectam as correlações aqui discutidas;

- As correlações com a razão W/MC apresentam coeficientes de correlação ligeiramente superiores àqueles obtidos nas correlações com a razão W/C. Apesar disso, os valores do coeficiente de correlação obtidos para as razões W/C são, ainda assim, razoáveis. Nesta medida, e uma vez que as correlações com a razão W/C podem ser mais facilmente generalizadas para aplicação corrente, já que não dependem da percentagem de substituição das adições, elas deverão ser tidas em conta, em detrimento das correlações com a razão W/MC, na formulação do método de cálculo a propor no âmbito deste trabalho;

- A evolução da resistência dos betões, nomeadamente a razão R7/R28, depende do tipo de cimento utilizado. As famílias de betão que incorporam na sua composição o cimento CEM I 42,5R, apresentaram em média valores superiores da razão R7/R28 em comparação com as famílias de betão que incorporaram o cimento tipo CEM II/B-L32,5N;

- Existe uma boa correlação entre os valores da resistência à compressão das argamassas e dos betões. Esta correlação parece não ser muito afectada pelo facto de se terem utilizado diferentes valores do volume de agregados grossos, ou seja, diferentes razões V_m/V_g , desde que V_m/V_g assumam os valores definidos neste trabalho;

- A correlação entre as resistências à compressão das argamassas e dos betões não foi muito afectada pelo maior ou menor grau de auto-compactabilidade das misturas, nem pelo facto de se terem utilizado diferentes razões V_m/V_g .

**PROPOSTA PARA O ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE
BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS**

CAPÍTULO 11 – PROPOSTA PARA O ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

11.1 – Introdução

A discussão dos resultados apresentada nos capítulos anteriores motivou a elaboração de uma proposta para o estudo da composição de betões auto-compactáveis, que incluísse algumas das conclusões entretanto obtidas. Não se pretende com a apresentação de tal proposta sugerir um novo método de estudo da composição de betões auto-compactáveis, mas antes uma nova abordagem suportada pela discussão efectuada ao longo deste trabalho. Eventualmente, poderá admitir-se que esta proposta representa uma contribuição para o estudo de betões auto-compactáveis do tipo finos, já que representa também um refinamento de alguns procedimentos adoptados nos métodos japoneses, nomeadamente no método de Okamura et al. [11, 35, 47, 51] e da JSCE [11, 35].

Em termos práticos, a referida contribuição para o estudo da composição de betões auto-compactáveis encontra expressão, por exemplo, no facto desta nova abordagem considerar como variáveis alguns dos parâmetros antes admitidos como constantes, ou praticamente constantes, nomeadamente as dosagens de agregados finos (V_s) e de agregados grossos (V_g). Por outro lado, os volumes de agregados finos e de agregados grossos passam a ser controlados indirectamente através de razões volumétricas em volume absoluto, respectivamente, a razão (V_p/V_s) e a razão (V_m/V_g).

A utilização da razão (V_p/V_s), juntamente com a definição da “família de finos” (mistura de finos), permite controlar a resistência à compressão das argamassas, enquanto que a razão (V_m/V_g), que quantifica o volume de agregados grossos, é determinada especificamente para o betão que incorpora essa argamassa, tendo em vista a obtenção de determinado grau de auto-compactabilidade. Para estabelecer a relação entre as razões (V_p/V_s) e (V_m/V_g) adequados a cada betão, tendo em vista a obtenção de determinado grau

de auto-compactabilidade, foi introduzido um novo parâmetro que se designou de “número de mistura” (MN) e que representa o produto dessas razões volumétricas.

Ao contrário do que sucede no método de Okamura et al. [11, 35, 47, 51], que define um único par de valores para os parâmetros reológicos das argamassas ($G_m=5$, $R_m=1s^{-1}$), a metodologia adoptada neste trabalho considera um intervalo de valores, definido por: G_m entre 5,3 e 5,9 e R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1} . Salvo pequenos ajustamentos das dosagens de água e de superplastificante efectuados durante a fase de amassadura dos betões, as argamassas com os valores de G_m e R_m situados no “alvo” definido, revelaram-se adequadas à obtenção de betões com as propriedades reológicas pretendidas.

Ainda no âmbito da metodologia adoptada deverá referir-se que, para cada argamassa com determinado (V_p/V_s) e determinada “família de finos”, a determinação dos parâmetros (V_w/V_p) e ($S_p/p\%$) que conduziram aos valores de (G_m) e (R_m) pretendidos, foi suportada integralmente por ensaios laboratoriais, mediante a adopção do procedimento laboratorial proposto neste trabalho. Também neste caso, o procedimento adoptado difere daquele utilizado no método geral proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], oferecendo como vantagem o facto de necessitar de menos ensaios laboratoriais e de conduzir ao valor exacto e não ao valor estimado.

A discussão dos resultados apresentada neste trabalho permitiu também verificar ser possível relacionar a resistência dos betões auto-compactáveis com a razão W/C em massa, à semelhança do que tem sido feito em betões correntes. Em comparação com os betões correntes, a dificuldade de obtenção de misturas com determinada razão W/C resulta sobretudo da dificuldade de se controlar simultaneamente as dosagens de ligante e de água de amassadura, já que esta última é ditada sobretudo pelas exigências de comportamento dos betões auto-compactáveis no estado fresco e varia com a dosagem de ligante.

O estudo apresentado neste trabalho demonstrou, entretanto, que a razão W/C desejada pode ser obtida com alguma facilidade, desde que, para cada associação binária entre um determinado tipo de cimento e um determinado tipo de adição, e para cada traço volumétrico da argamassa (V_p/V_s), se produzam correlações adequadas entre a

percentagem de substituição do cimento pela adição ($f_{Ad.}$) e a razão W/C. Estas correlações poderão ser facilmente determinadas a partir de estudos realizados em argamassas. Por outro lado, em resultado da metodologia adoptada, a razão W/C das argamassas será sempre igual à razão W/C dos betões que incorporam essa argamassa. Nesta medida, uma vez seleccionado o tipo de cimento, o tipo de adição e o traço (V_p/V_s) da argamassa, será possível estimar a percentagem de substituição do cimento pela adição ($f_{Ad.}$) que conduz a determinada razão W/C na argamassa ou no betão.

Em síntese, a nova abordagem proposta considera a análise separada das argamassas e betões como sugerem Okamura et al. [11, 35, 47, 51], define as propriedades reológicas das argamassas adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis num intervalo próximo daquele proposto por Okamura et al., estabelece uma nova metodologia para obtenção dessas propriedades, introduz novos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) e de agregados grossos (V_m/V_g) das misturas, estabelece um novo parâmetro (MN) para quantificar o volume de agregados grossos de cada betão (V_m/V_g), adequado especificamente à argamassa que este incorpora tendo em vista a obtenção de determinado grau de auto-compactabilidade e, finalmente, utiliza simultaneamente o parâmetro (V_p/V_s) e a “família de finos” para controlar a resistência das argamassas e indirectamente a resistência dos betões com ela produzidos.

No Sub-Capítulo 11.2 é apresentada a proposta para o estudo da composição de betões auto-compactáveis a que se fez referência, enquanto que no Sub-Capítulo 11.3 é feita a exemplificação da sua aplicação.

11.2 – Proposta

As etapas que compõem a abordagem proposta podem ser resumidas no Fluxograma que se ilustra na Figura 11.1. Basicamente, existem quatro etapas principais: a definição dos dados essenciais de base, a definição das opções de base relativamente aos materiais a utilizar, o estudo das argamassas e, finalmente, o estudo em betões. Cada uma destas etapas será descrita nos itens que se seguem.

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS DO TIPO FINOS

FLUXOGRAMA

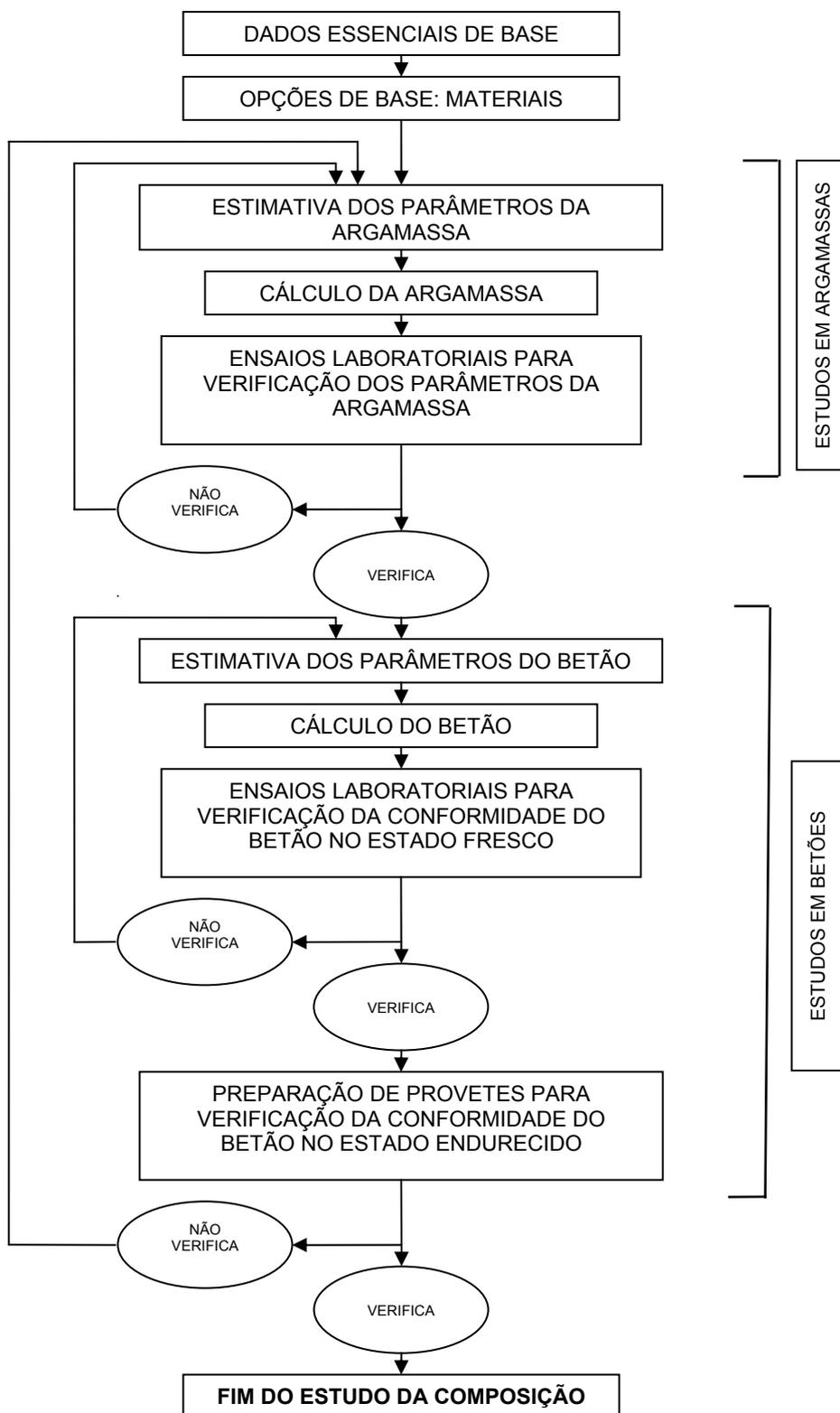


Figura 11.1 – Fluxograma para o estudo da composição do betão auto-compactável

Dados essenciais de base

São designados como dados essenciais de base todos os elementos necessários a uma completa definição das propriedades pretendidas para o betão auto-compactável, quer no estado fresco, quer no estado endurecido, ou mesmo, na transição entre os dois estados. Para além disso, consideram-se ainda os requisitos especiais de cada elemento a betonar, como sejam, o espaçamento entre armaduras, a classe de exposição ambiental, condições de transporte, condições de betonagem, etc. Em síntese, são considerados todos os elementos que possam de alguma forma condicionar, quer a escolha dos materiais a utilizar, quer o estudo da composição do betão.

Em termos das propriedades do betão no estado endurecido, a proposta apresentada apenas contempla a resistência à compressão, expressa pelo seu valor médio aos 28 dias de idade ($f_{cm,28}$). Contudo, a taxa de endurecimento do betão, mais concretamente a relação $R7/R28$, pode ser estimada para os betões que incorporem os cimentos utilizados no presente trabalho, recorrendo às correlações desenhadas para esse efeito. Eventualmente, os parâmetros de durabilidade impostos a cada classe de exposição ambiental poderão ser também inferidos a partir da razão W/C ou da dosagem mínima de cimento, como sucede nos betões correntes.

Em termos das propriedades do betão no estado fresco, o principal requisito constitui obviamente a obtenção da auto-compactabilidade. A proposta apresentada propõe a adopção de agregados grossos com uma máxima dimensão do agregado mais grosso relativamente baixa (19,1 mm) e, simultaneamente, os ensaios de auto-compactabilidade incluíram obstáculos com espaçamentos entre armaduras relativamente estreitos, correspondentes ao grau de exigência mais elevado. Em princípio, admitindo estas premissas, as misturas produzidas deverão verificar a auto-compactabilidade em todas as estruturas de betão armado dimensionadas de acordo com os regulamentos em vigor. Independentemente desse aspecto, o modelo proposto permite ainda decidir acerca do grau de auto-compactabilidade desejado, traduzido pelos parâmetros $(H2/H1)$ ou (H) medidos, respectivamente, nos ensaios da “Caixa-L” ou Caixa”.

Opções de base: Materiais

Os materiais a utilizar são definidos tendo em consideração os dados essenciais de base. Apesar de serem admitidos outros materiais para além daqueles incluídos na presente proposta, isso significa também, que teriam que ser obtidas correlações adequadas para esses materiais semelhantes àquelas desenvolvidas no presente trabalho.

Se forem utilizadas apenas as correlações desenvolvidas no âmbito deste trabalho, a opção relativamente ao tipo de ligante deverá ser feita entre o cimento CEM II/B-L32,5N e o cimento CEM I 42,5R. Quanto ao tipo de adição mineral, poderá optar-se pela cinza volante, filer calcário ou filer granítico. Em geral recomenda-se apenas a utilização de associações binárias de materiais finos, envolvendo um dos cimentos e uma das adições referidas. Recomenda-se que a opção por um ou outro cimento se faça, em especial, tendo em conta o nível de resistência a obter. Esta decisão pode ser suportada a partir da análise das correlações entre a resistência à compressão e a razão W/C obtidas para cada cimento. Estas correlações foram ilustradas na Figura 10.107. A percentagem de substituição do cimento pela adição será decidida aquando do estudo das argamassas e dependerá da razão W/C pretendida e da razão volumétrica (V_p/V_s).

No presente trabalho apenas foi estudado um tipo de superplastificante. Nesta medida, recomenda-se que se utilize de preferência esse mesmo superplastificante. Se a opção recair pela utilização de um outro superplastificante, ele deverá ser constituído pela mesma base química. Acredita-se que, mesmo alterando o superplastificante, a proporção da alteração das dosagens de água face à dosagem de cimento não será suficientemente grande para produzir alterações significativas nas correlações entre a percentagem de substituição do cimento pela adição e a razão W/C.

Relativamente à selecção dos agregados finos, poderá optar-se por qualquer combinação de areias naturais roladas, desde que se garanta a obtenção de uma curva de referência do conjunto dos agregados finos muito próxima daquela definida neste trabalho. A curva de referência dos agregados finos foi ilustrada no Quadro 8.17 e na Figura 8.4, que aqui se reproduzem, respectivamente, no Quadro 11.1 e na Figura 11.2.

Quadro 11.1 – Curva de referência dos agregados finos

Peneiro	Malha [mm]	Areia 01	Areia 05	Mistura (Curva de Referência)
		a ₁	a ₂	
		0,40	0,60	
Percentagens acumuladas de passados				
3"	76,20	100,00	100,00	100,00
(*) 2"	50,80	100,00	100,00	100,00
1" ½	38,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1"	25,40	100,00	100,00	100,00
¾"	19,10	100,00	100,00	100,00
(*) ½"	12,70	100,00	100,00	100,00
⅓"	9,52	100,00	100,00	100,00
N.º 4	4,76	100,00	99,94	99,96
N.º 8	2,38	99,97	98,56	99,12
N.º 16	1,19	99,89	84,75	90,81
N.º 30	0,590	91,06	43,13	62,30
N.º 50	0,297	48,16	2,97	21,05
N.º 100	0,149	11,49	0,21	4,72
N.º 200	0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo		0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ▶		1,494	2,705	2,220
(*) Série secundária				
Peneiros para o cálculo do módulo de finura				

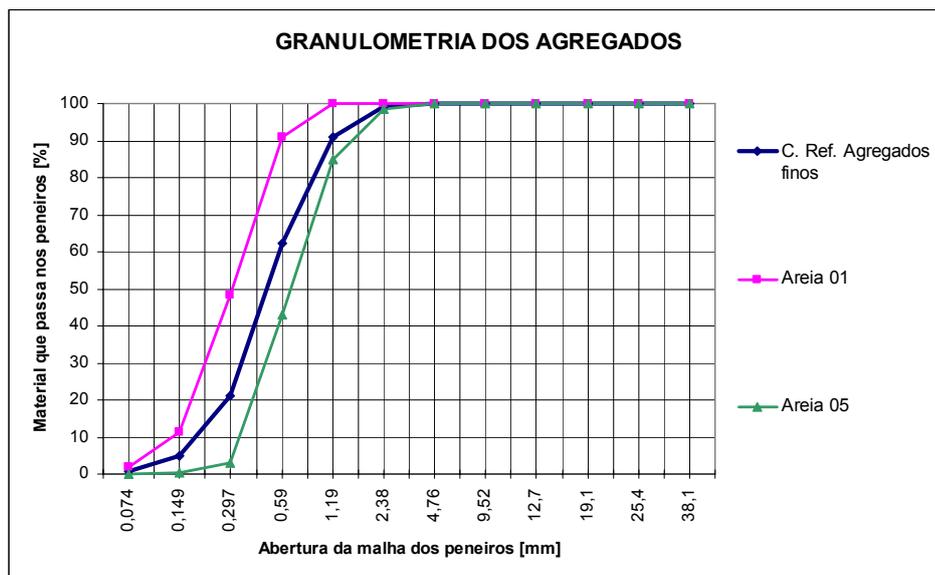


Figura 11.2 – Curva de referência dos agregados finos

Para os agregados grossos, poderá optar-se por qualquer combinação de material britado, desde que apresentem um bom coeficiente volumétrico e uma curva de referência do conjunto dos agregados grossos muito próxima daquela definida para este trabalho. A massa volúmica dos agregados grossos não deverá afastar-se muito daquela obtida em granitos. Preferencialmente, a opção deveria limitar-se ao granito ou calcário britados. A

máxima dimensão do agregado mais grosso está implicitamente definida na curva de referência do conjunto dos agregados grossos e não deverá ultrapassar os 19,1 mm.

A curva de referência dos agregados grossos foi ilustrada no Quadro 8.19 e na Figura 8.5, que aqui se reproduzem, respectivamente, no Quadro 11.2 e na Figura 11.3.

Quadro 11.2 – Curva de referência dos agregados grossos

Peneiro	Malha [mm]	Brita 3/6	Brita 6/15	Mistura (Curva de Referência)
		g1 0,50	g2 0,50	
Percentagens acumuladas de passados				
3"	76,20	100,00	100,00	100,00
(*) 2"	50,80	100,00	100,00	100,00
1" ½	38,10	100,00	100,00	100,00
(*) 1"	25,40	100,00	100,00	100,00
¾"	19,10	100,00	100,00	100,00
(*) ½"	12,70	100,00	89,14	94,57
⅓"	9,52	100,00	49,79	74,90
N.º 4	4,76	70,84	2,24	36,54
N.º 8	2,38	11,68	0,29	5,99
N.º 16	1,19	4,28	0,20	2,24
N.º 30	0,590	2,46	0,16	1,31
N.º 50	0,297	1,46	0,12	0,79
N.º 100	0,149	0,90	0,09	0,50
N.º 200	0,074	0,50	0,05	0,28
Resíduo		0,00	0,00	0,00
Módulo de Finura ▶		5,084	6,471	5,777
(*) Série secundária				
Peneiros para o cálculo do módulo de finura				

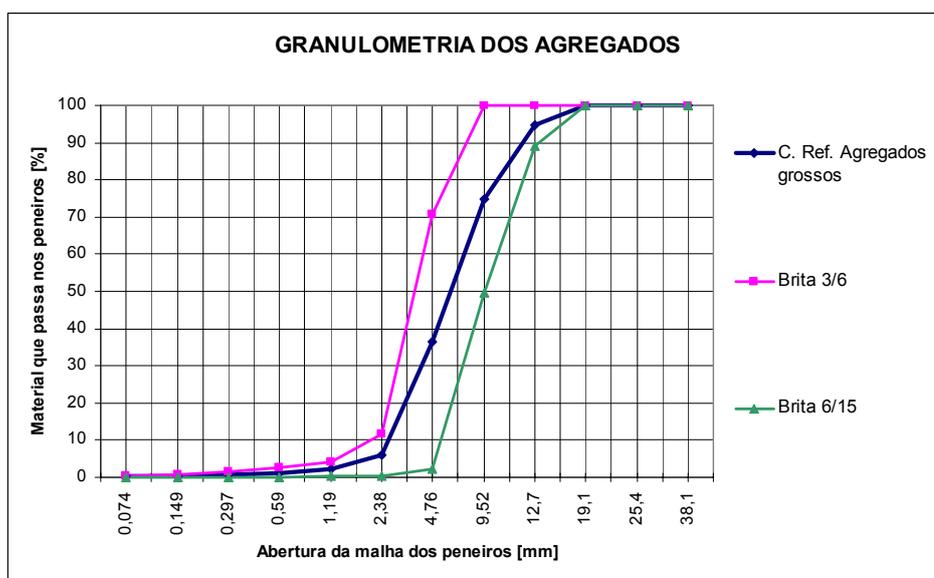


Figura 11.3 – Curva de referência dos agregados grossos

Estudos em argamassas

Definidos os materiais a utilizar, o estudo da argamassa inicia-se com a definição da razão W/C adequada, tendo em vista a obtenção da resistência pretendida nos betões. Face à metodologia adoptada, a razão W/C dos betões é igual à razão W/C das argamassas. Assim, definida a resistência média pretendida para o betão, é possível estimar a razão W/C desse betão, a qual coincide com a razão W/C da argamassa.

A relação entre a resistência à compressão do betão e a razão W/C em massa depende do tipo de cimento. As correlações obtidas para os cimentos utilizados neste trabalho foram desenhadas no gráfico que se apresentou na Figura 10.107. Por conveniência, esse gráfico é aqui reproduzido na Figura 11.4.

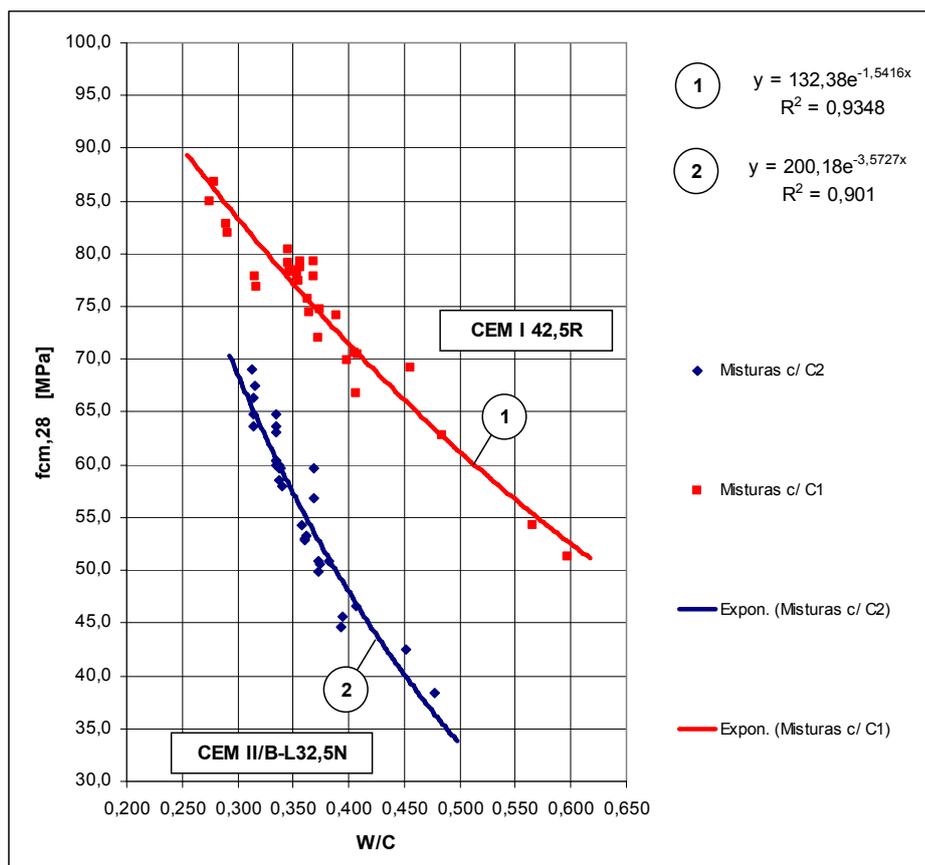


Figura 11.4 – Relação entre $f_{cm,28}$ e a razão W/C tendo por base os valores efectivos

Para a definição da argamassa será necessário adoptar um valor para a razão volumétrica (V_p/V_s). O valor de (V_p/V_s) poderá variar entre 0,60 e 0,80, mas recomenda-se que esse intervalo se situe, de preferência, entre os 0,65 e os 0,80. Como ponto de partida do estudo da composição do betão poderá adoptar-se, por exemplo, um valor médio de (V_p/V_s) entre 0,70 e 0,75.

Definido (V_p/V_s) e conhecido o valor da razão W/C da argamassa, determina-se a percentagem de substituição do cimento pela adição através das correlações ilustradas da Figura 9.119 à Figura 9.124, aqui reproduzidas da Figura 11.5 à Figura 11.10.

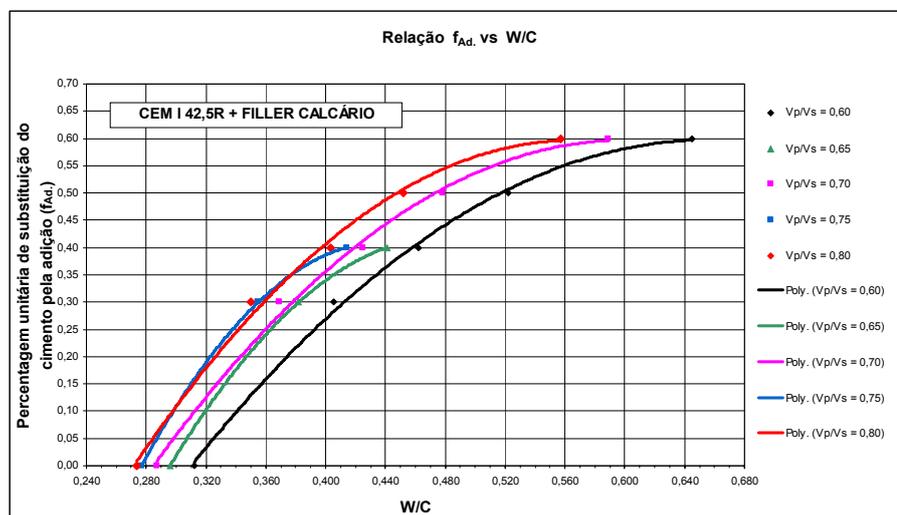


Figura 11.5 – Relação $f_{Ad.}$ versus W/C para as famílias com CEM I 42,5R e fíler calcário

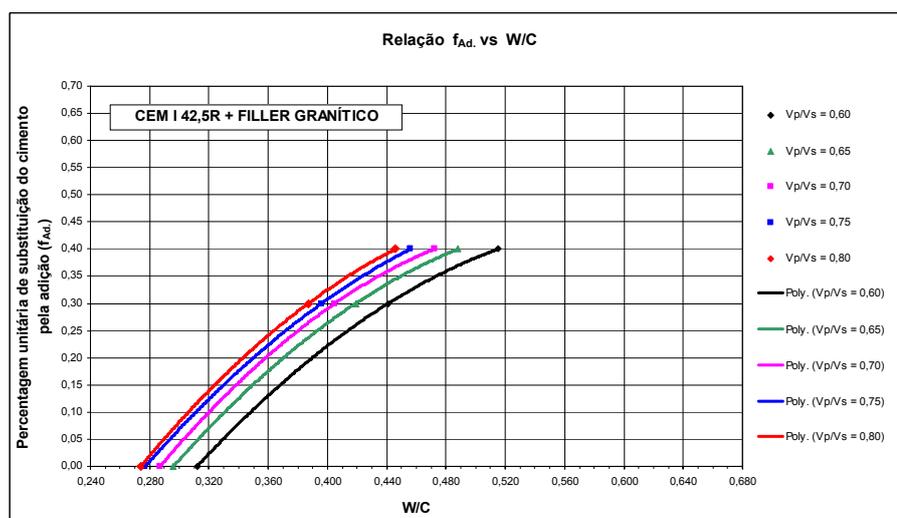


Figura 11.6 – Relação $f_{Ad.}$ versus W/C para as famílias com CEM I 42,5R e fíler granítico

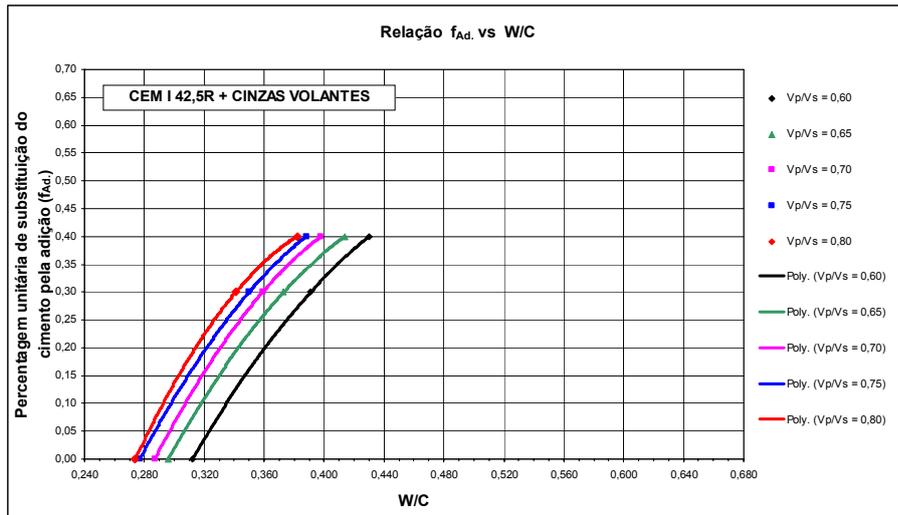


Figura 11.7 – Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM I 42,5R e cinzas volantes

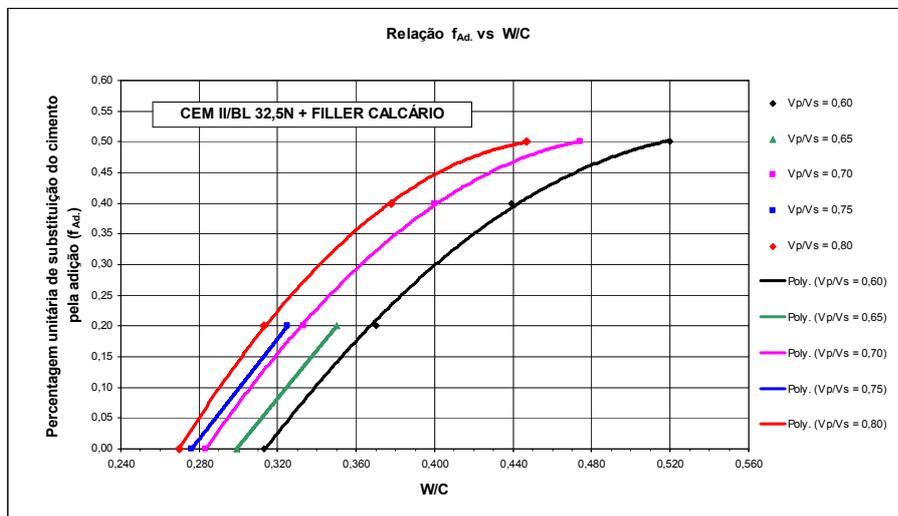


Figura 11.8 – Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e filler calcário

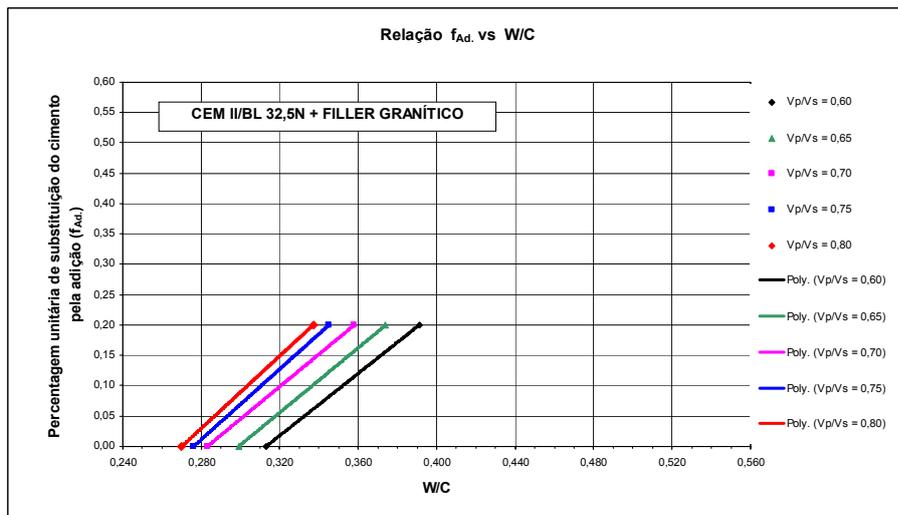


Figura 11.9 – Relação f_{Ad} vs W/C para as famílias com CEM II/B-L32,5N e filler granítico

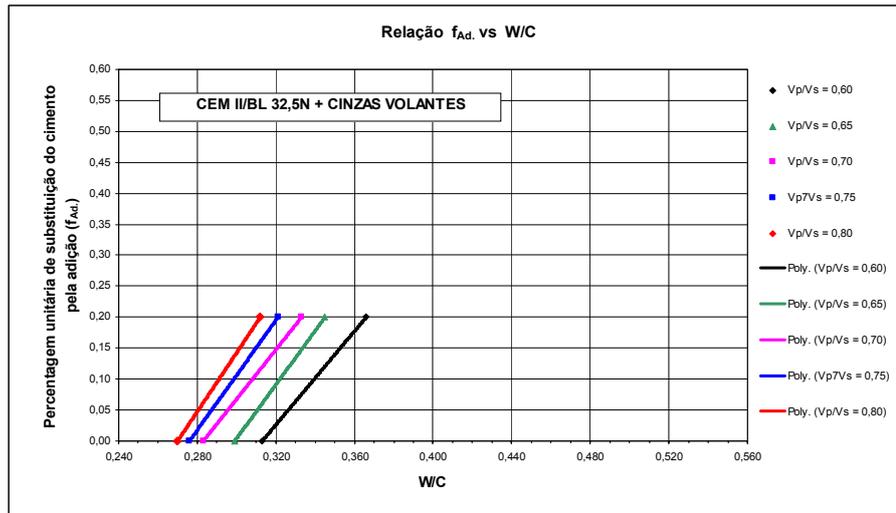


Figura 11.10 – Relação $f_{Ad.}$ vs W/C para famílias com CEM II/B-L32,5N e cinzas volantes

Uma vez definidos os parâmetros (V_p/V_s), a “família de finos” e as frações volumétricas das areias que conduzem à curva de referência estabelecida, procede-se à determinação experimental dos valores de (V_w/V_p) e ($S_p/p\%$) que conduzem às propriedades reológicas pretendidas, ou seja, G_m entre 5,3 e 5,9 e R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1} . Como ponto de partida, os valores de (V_w/V_p) e ($S_p/p\%$) poderão ser estimados a partir das correlações já existentes, ilustradas nas Figuras 9.48, 9.49, 9.51 e 9.52, aqui reproduzidas, respectivamente, nas Figuras 11.11, 11.12, 11.13 e 11.14.

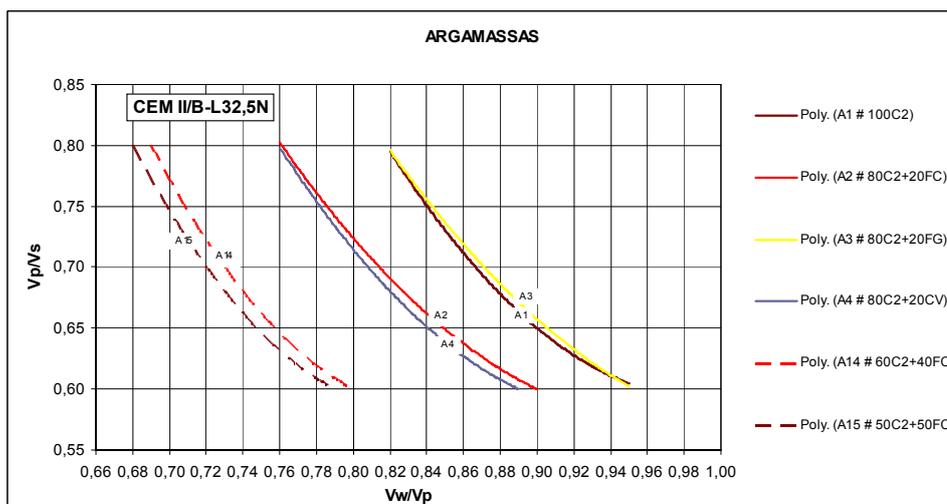


Figura 11.11 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM II/B-L32,5N

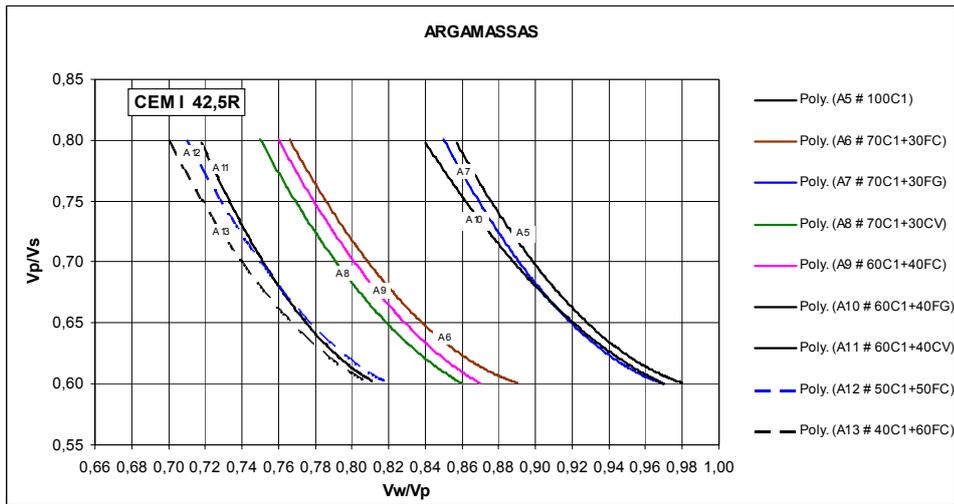


Figura 11.12 – Relação V_p/V_s versus V_w/V_p para as famílias com CEM I 42,5R

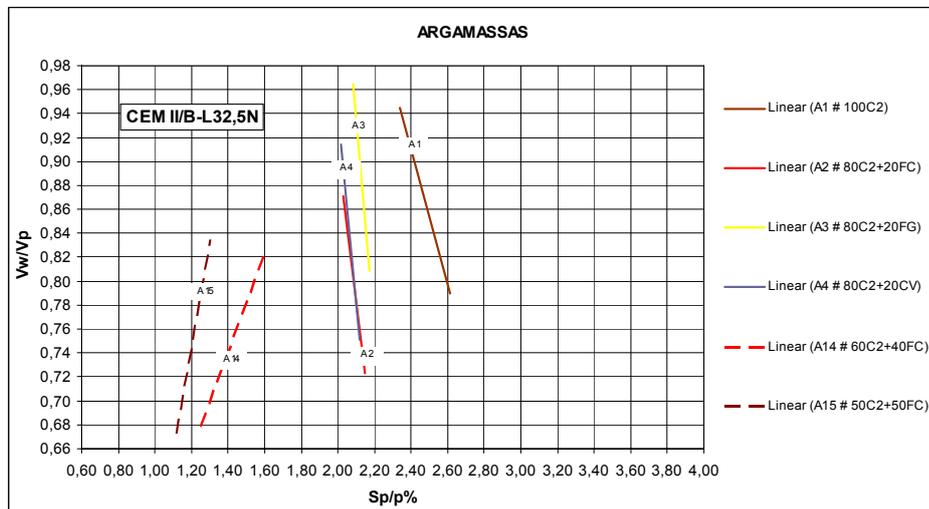


Figura 11.13 – Relação V_w/V_p versus $Sp/p\%$ para as famílias com CEM II/B-L32,5N

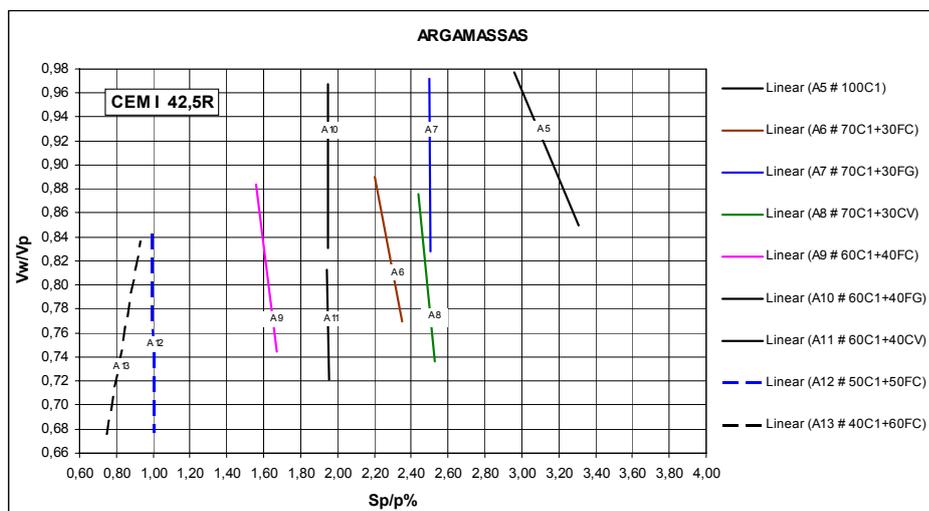


Figura 11.14 – Relação V_w/V_p versus $Sp/p\%$ para as famílias com CEM I 42,5R

Para o cálculo da composição da argamassa deverá recorrer-se ao procedimento descrito no Sub-Capítulo 7.5.2.2 ou, alternativamente, à folha de cálculo Excel desenvolvida neste trabalho e apresentada no Sub-Capítulo 7.5.2.3.

A argamassa calculada com base nos parâmetros iniciais é ensaiada em laboratório para determinar os parâmetros reológicos G_m e R_m , utilizando, respectivamente, o ensaio de espalhamento e o ensaio de fluidez (Funil-V). A dimensão dos equipamentos foi apresentada no Sub-Capítulo 7.5.3.2, enquanto que os procedimentos a adoptar na realização das amassaduras e ensaios experimentais, foram amplamente descritos nos Sub-Capítulos 7.5.3.5.3 e 7.5.3.5.4. As expressões matemáticas utilizadas para quantificar os parâmetros G_m e R_m foram igualmente descritas no Sub-Capítulo 7.5.3.5.4, tendo por base, respectivamente, o diâmetro médio de espalhamento (D_m) e o tempo de escoamento (t) medido no “Funil-V”. Caso estes parâmetros não coincidam com o intervalo estabelecido como “alvo”, deverá adoptar-se o procedimento laboratorial para “acerto da reologia das misturas”, descrito no Sub-Capítulo 7.5.3.4.

Concluído o estudo da argamassa, deverá ainda verificar-se se a razão W/C obtida corresponde efectivamente ao valor pretendido. Caso contrário, será necessário introduzir algumas alterações nos parâmetros iniciais da argamassa. Para esse efeito terão que ser alteradas a percentagem de substituição do cimento pela adição ($f_{Ad.}$) e/ou a razão (V_p/V_s) e repetir-se o procedimento experimental para determinar os parâmetros (V_w/V_p) e ($Sp/p\%$).

A decisão sobre as alterações a efectuar deverá ser tal, que conduza à convergência da razão W/C no sentido do valor pretendido. Obviamente, a maior ou menor rapidez com que essa convergência se faz, dependerá do conhecimento do comportamento da argamassa face à variação desses parâmetros. No sentido de facilitar essa decisão recomenda-se a análise dos gráficos apresentados da Figura 11.5 à Figura 11.10, juntamente com os elementos apresentados da Figura 11.11 à Figura 11.14, ou ainda aqueles apresentados na Figura 11.15 e Figura 11.16. As Figuras 11.15 e 11.16 ilustram a relação entre o parâmetro (V_p/V_s) e a razão W/C obtida em diferentes famílias de argamassas que utilizaram, respectivamente, os cimentos CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R.

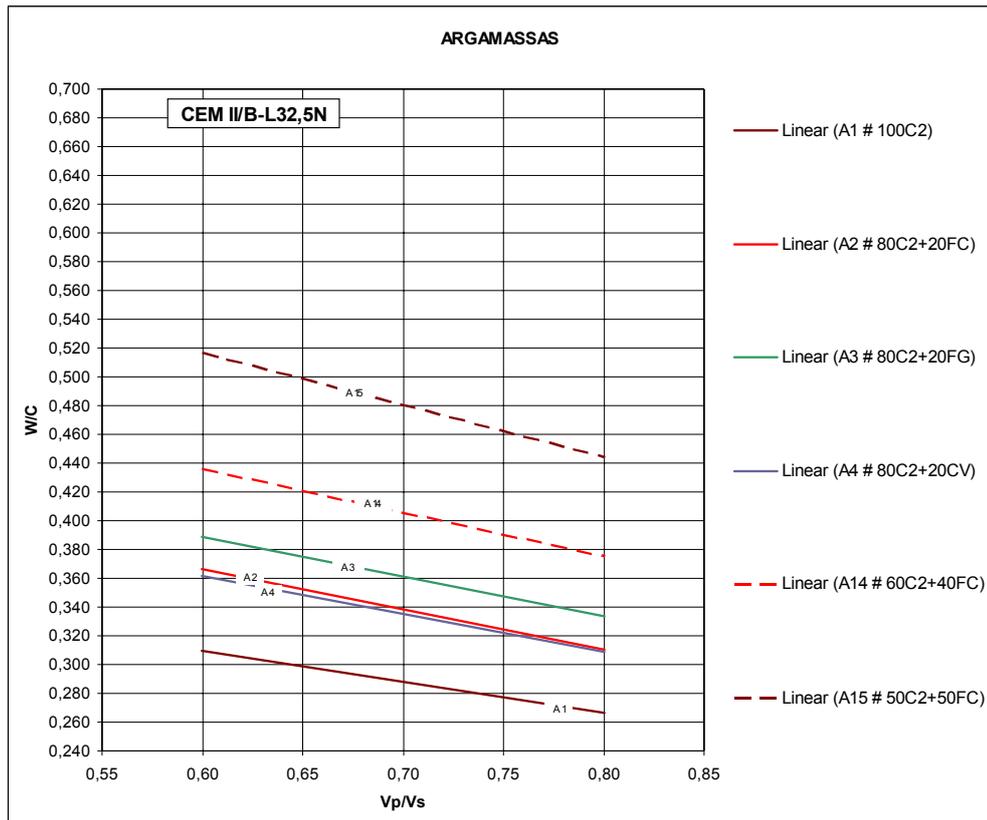


Figura 11.15 – Relação entre (Vp/Vs) e a razão W/C para misturas com CEM II/B-L32,5N

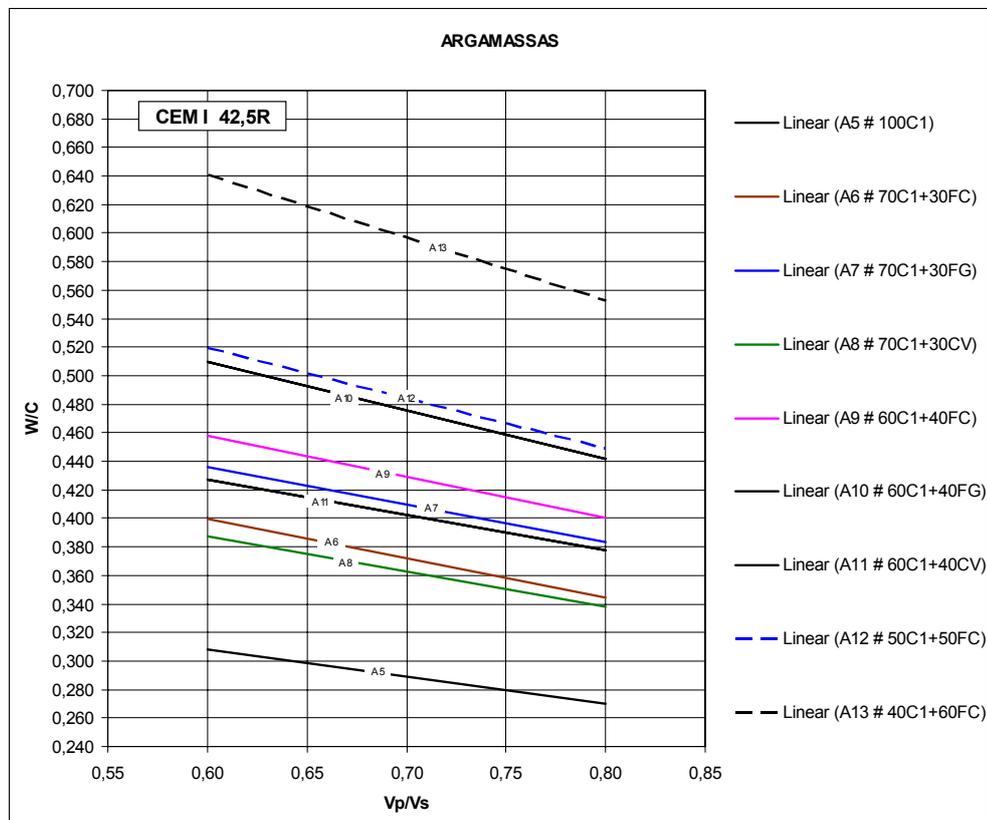


Figura 11.16 – Relação entre (Vp/Vs) e a razão W/C para misturas com CEM I 42,5R

No sentido de facilitar a tarefa de decisão acerca da alteração a introduzir no parâmetro (V_p/V_s), quando se opta por manter constante a “família de finos”, sugere-se a utilização do diagrama ilustrado na Figura 11.17. As linhas desenhadas neste diagrama a traço contínuo de cor verde representam a tendência média das seguintes equações de correlação: $V_p/V_s = f(W/C)$, $V_w/V_p = f(V_p/V_s)$ e $Sp/p\% = f(V_w/V_p)$. Este padrão de comportamento comum às diferentes argamassas é independente do tipo de cimento ou de adição utilizada. Para além disso, o diagrama apresenta a relação entre a resistência à compressão dos betões aos 28 dias de idade e a razão W/C, desenvolvida especificamente para os cimentos do tipo CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R.

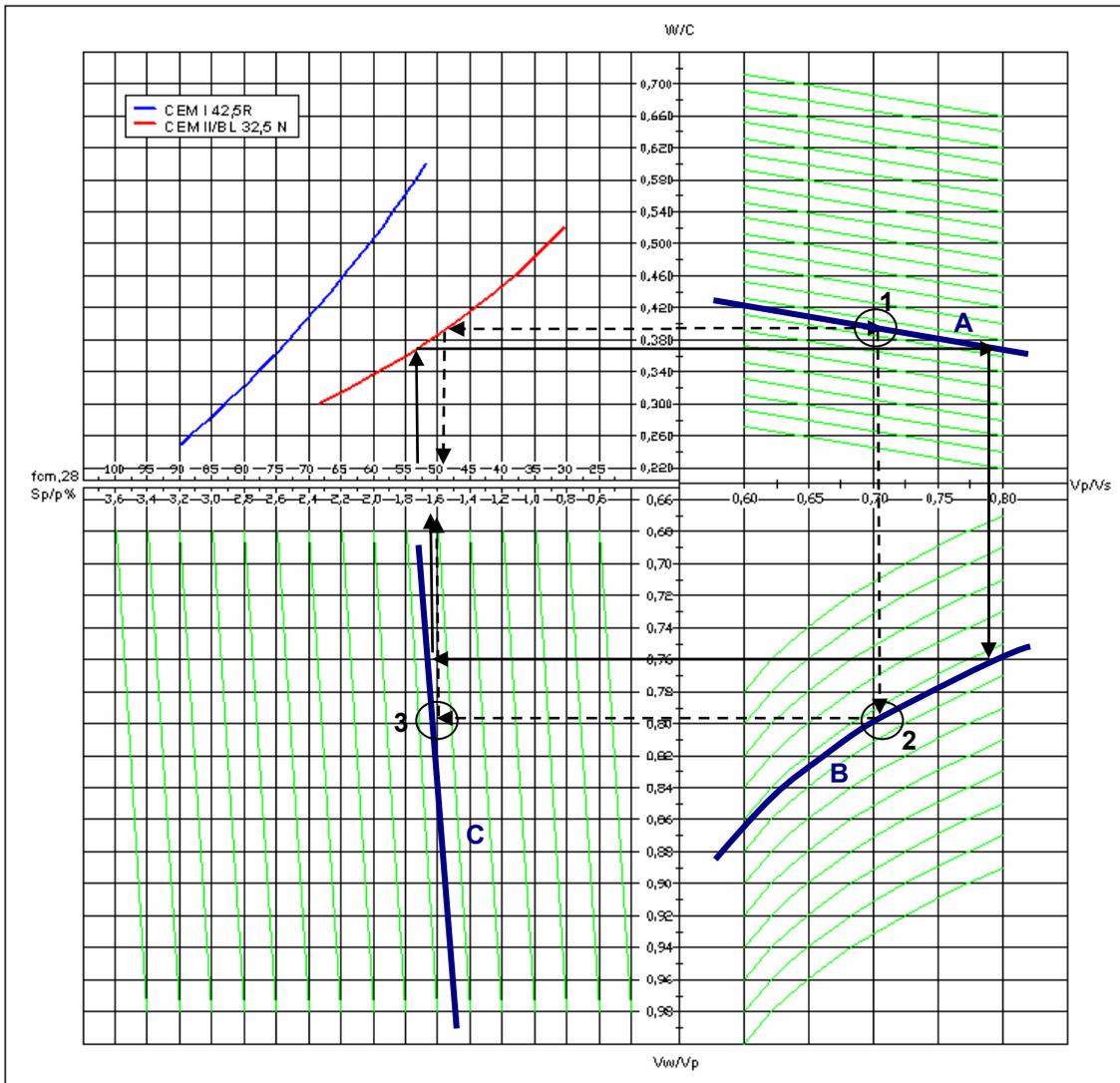


Figura 11.17 – Diagrama síntese para o estudo da composição das argamassas

Na Figura 11.17, as linhas de tendência referenciadas com as letras A, B e C, são desenhadas no gráfico, uma vez localizados os pontos referenciados, respectivamente, com os números 1, 2 e 3, correspondentes aos pares de valores obtidos experimentalmente. A estimativa da resistência faz-se a partir da razão W/C e das correlações entre essa razão e a resistência à compressão dos betões aos 28 dias de idade, traçadas para o respectivo cimento. A localização dos pontos iniciais é indicada a traço interrompido.

Uma vez desenhadas as curvas de tendência é possível percorrer o sentido inverso (desenhado a traço contínuo) e determinar, a partir do valor da resistência, todos os restantes parâmetros da argamassa. Este procedimento só é válido se a “família de finos” permanecer constante, ou seja, se a alteração dos parâmetros da argamassa se limitar ao valor de (V_p/V_s) e conseqüentemente, aos valores de (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$. Note-se ainda que este procedimento não é absolutamente necessário para a implementação da proposta que aqui se apresenta; ele deve antes ser encarado como um procedimento auxiliar ao processo de decisão, em especial quanto não se domina integralmente todas as variáveis em causa.

Importa referir, ainda a respeito da Figura 11.17, que a introdução de um novo cimento apenas requer a elaboração de novas correlações entre a resistência à compressão dos betões aos 28 dias de idade e a razão W/C, já que o padrão de comportamento das argamassas, identificado pela tendência média das equações de correlação: $V_p/V_s = f(W/C)$, $V_w/V_p = f(V_p/V_s)$ e $S_p/p\% = f(V_w/V_p)$, se revelou independente do tipo de cimento ou de adição utilizados na produção das misturas.

Estudos em betões

Uma vez definidos os parâmetros da argamassa, o estudo da composição do betão completa-se com a definição do volume de vazios (V_v) e da razão (V_m/V_g). O volume de vazios assume um valor constante da ordem de $V_v=0,030 \text{ m}^3$, enquanto que o parâmetro (V_m/V_g) é determinado em função do grau de auto-compactabilidade desejado.

O grau de auto-compactabilidade pode ser inferido, alternativamente, a partir do parâmetro (H_2/H_1) ou do parâmetro (H), medidos, respectivamente, no ensaio da “Caixa-L”

e no ensaio da “Caixa”. Se o objectivo é reduzir o número de equipamentos de ensaio necessários, os resultados obtidos no presente trabalho permitem recomendar que o grau de auto-compactabilidade seja avaliado apenas pelo ensaio da “Caixa-L”. No entanto, a equivalência entre os dois ensaios, ou melhor, a equivalência entre os parâmetros (H2/H1) e (H), pode ser consultada na Figura 10.46 (Sub-Capítulo 10.2.3.2).

A relação entre os parâmetros (H2/H1) e (MN) foi ilustrada na Figura 10.52, aqui reproduzida na Figura 11.18. Admitindo um valor de $H2/H1 \geq 0,80$ e um diâmetro de espalhamento $D_m \geq 630$ mm, o parâmetro (MN) deverá assumir um valor igual ou superior a 1,70. No limite, isto significa que $[(V_p/V_s) \times (V_m/V_g) = 1,70]$, ou seja: $V_m/V_g \geq 1,70 / (V_p/V_s)$.

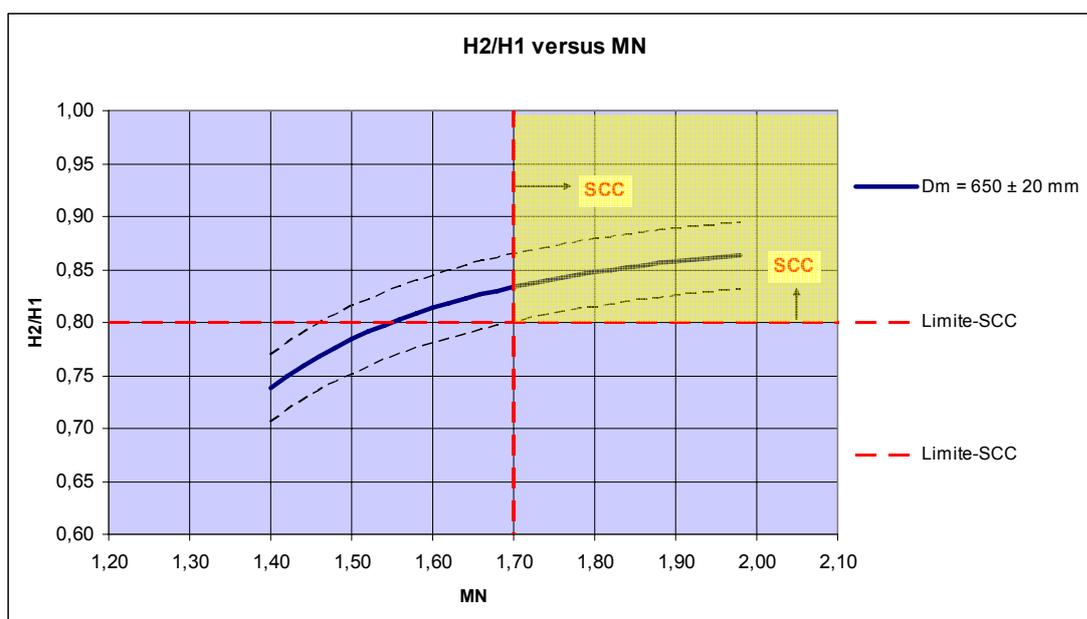


Figura 11.18 – Relação entre MN e H2/H1 quando Dm varia entre os 630 e 670 mm

O gráfico apresentado na Figura 11.18 permite outras opções para o parâmetro MN, dependendo do grau de auto-compactabilidade desejado. Contudo, deverá observar-se também que o grau de auto-compactabilidade dependerá sempre da capacidade de deformação do betão para um mesmo valor de MN. Por exemplo, se durante a realização da amassadura experimental, um betão que tenha sido calculado para $D_m=630$ mm, apresentar um valor de $D_m > 630$ mm, é provável que o grau de auto-compactabilidade seja também ele superior, ou seja, $H2/H1 > 0,80$.

Conhecidos todos os parâmetros do betão, nomeadamente, a “família de finos”, V_p/V_s , V_m/V_g , V_w/V_p , $S_p/p\%$ e V_v , e definidas as fracções volumétricas de cada agregado que conduzem às curvas de referência pretendidas, procede-se ao cálculo do betão recorrendo ao procedimento descrito no Sub-Capítulo 7.6.2.2 ou, alternativamente, à folha de cálculo Excel desenvolvida neste trabalho e apresentada no Sub-Capítulo 7.6.2.3.

As propriedades do betão no estado fresco são avaliadas laboratorialmente através da realização de uma amassadura experimental. As dimensões dos equipamentos de ensaio foram apresentadas no Sub-Capítulo 7.6.3.2. Os procedimentos a adoptar na amassadura dos betões e os procedimentos de execução dos respectivos ensaios foram exaustivamente descritos nos Sub-Capítulos 7.6.3.5.3 e 7.6.3.5.4. As expressões numéricas que serviram de base ao cálculo dos parâmetros G_c e R_c foram igualmente apresentadas no Sub-Capítulo 7.6.3.5.4.

Caso se revele necessário, são admitidas pequenas correcções ou ajustamentos das dosagens de água e de superplastificante na fase de amassadura dos betões, de forma a adequar as propriedades reológicas dos betões ao valor pretendido, conforme se descreveu no Sub-Capítulo 7.6.3.4. O diâmetro de espalhamento deverá situar-se entre os 630 e os 700 mm e o tempo de escoamento medido no “Funil-V” deverá situar-se entre os 10 e os 20 segundos. O grau de auto-compactabilidade medido no ensaio da “Caixa-L”, traduzido pelo parâmetro H_2/H_1 , deverá corresponder sensivelmente ao valor estabelecido no dimensionamento.

Caso os resultados não conduzam ao grau de auto-compactabilidade pretendido, representado pelo parâmetro H_2/H_1 ou H , o comportamento do betão deverá ser avaliado de forma a determinar as correcções a efectuar. Por exemplo, se o valor de H_2/H_1 for inferior ao pretendido, mas a mistura cumpriu os requisitos quanto à capacidade e velocidade de deformação (G_c e R_c) e não se verificaram fenómenos de exsudação ou segregação, a correcção poderá limitar-se apenas à adopção de um valor superior para (V_m/V_g). Neste caso o betão deverá ser novamente calculado e deve proceder-se a uma nova amassadura para a confirmação dos resultados.

Uma vez cumpridos os requisitos estabelecidos quanto às propriedades do betão no estado fresco, deverá procede-se à recolha de provetes para avaliação da resistência à compressão. De qualquer forma, se o valor da razão W/C corresponder ao valor de dimensionamento, a resistência à compressão deverá confirmar o valor pretendido. Essa confirmação poderá ser igualmente efectuada aos 7 dias de idade do betão, já que se conhece a razão R7/R28 para os betões fabricados com cada um dos cimentos utilizados no presente trabalho. O gráfico ilustrado na Figura 10.112, aqui reproduzido na Figura 11.19 estabelece a relação entre a resistência à compressão dos betões aos 7 e aos 28 dias de idade para cada um dos cimentos utilizados no presente trabalho.

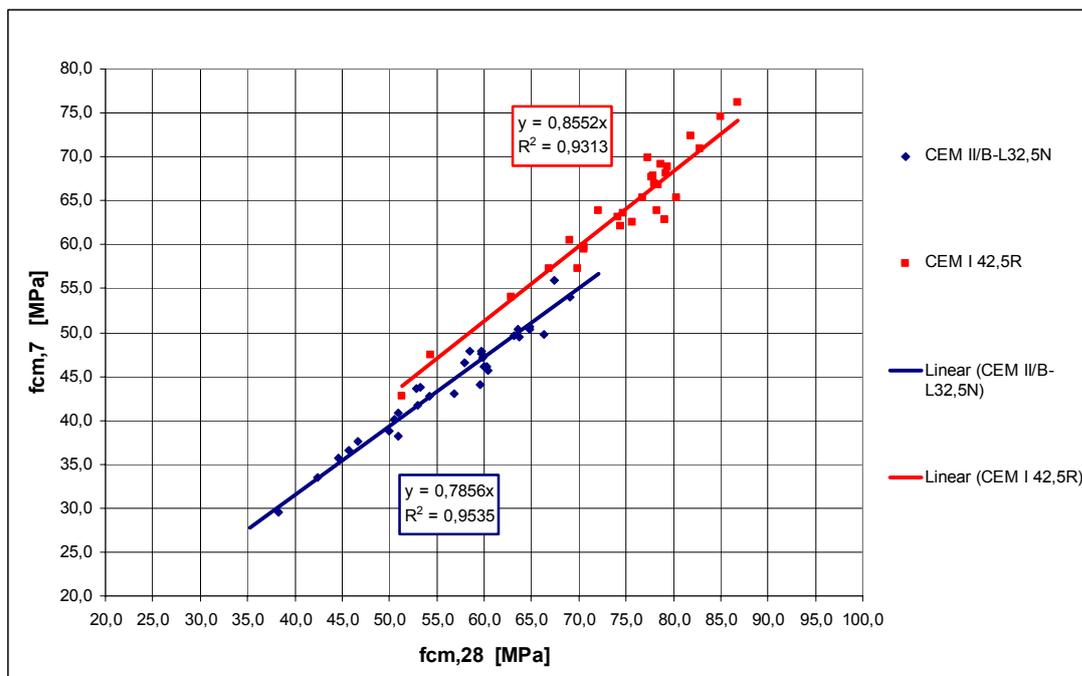


Figura 11.19 – Relação entre a resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade

Concluído o estudo da composição, cada um dos parâmetros da mistura poderá ser confrontado com os valores de referência determinados no decurso do presente trabalho. Esses valores de referência dependerão sempre da capacidade de deformação e do grau de auto-compactabilidade pretendidos. A capacidade de deformação é representada pelo valor do diâmetro médio de espalhamento (Dm), enquanto que o grau de auto-compactabilidade pode ser expresso, alternativamente, pelo parâmetro (H2/H1) ou pelo parâmetro (H).

O diâmetro médio de espalhamento (D_m) poderá variar entre os 630 e os 700 mm, conforme se sugeriu ao longo do presente trabalho, e a auto-compactabilidade é atingida quando $H_2/H_1 \geq 0,80$. Para a gama de valores proposta, a situação mais desfavorável em termos de dimensionamento corresponde à adopção de $D_m = 630\text{mm}$ e $H_2/H_1 = 0,80$. Assim, para que a auto-compactabilidade seja obtida na situação limite de dimensionamento referida, os parâmetros da mistura deverão cumprir os seguintes requisitos:

Agregados Grossos:

- $V_g \leq 0,313 \text{ m}^3$,
- $V_m/V_g \geq 2,10$.

Agregados Finos:

- O valor de (V_s/V_m) depende do valor adoptado para V_g ou V_m/V_g :
 - $V_g = 0,270$; $V_m/V_g = 2,60 \Rightarrow V_s/V_m \leq 0,448$;
 - $V_g = 0,285$; $V_m/V_g = 2,40 \Rightarrow V_s/V_m \leq 0,430$;
 - $V_g = 0,303$; $V_m/V_g = 2,20 \Rightarrow V_s/V_m \leq 0,415$;
 - $V_g = 0,313$; $V_m/V_g = 2,10 \Rightarrow V_s/V_m \leq 0,400$.

Materiais finos:

- $V_p \geq 0,210 \text{ m}^3$.

Percentual de argamassa seca:

- O valor de $(A_s\%)$ depende do valor adoptado para (V_p/V_s) :
 - $V_p/V_s = 0,80 \Rightarrow A_s\% \geq 61,2\%$;
 - $V_p/V_s = 0,70 \Rightarrow A_s\% \geq 64,2\%$;
 - $V_p/V_s = 0,60 \Rightarrow A_s\% \geq 68,0\%$.
- Recomenda-se a adopção de $V_p/V_s \geq 0,65$.

11.3 – Exemplo prático

Neste Sub-Capítulo é exemplificada a aplicação da nova abordagem proposta para o estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos. Considere-se para o efeito um betão auto-compactável, com ($H2/H1 \geq 0,80$), D_m entre 630 e 700 mm e t entre 10 e 20 s, cujo valor médio da resistência à compressão aos 28 dias de idade, medida em provetes cúbicos de 150 mm de aresta, se situe entre os 46 MPa e os 50 MPa, e cuja máxima dimensão do agregado mais grossos não ultrapasse os 19,1 mm.

As diferentes etapas do estudo da composição deste betão podem ser resumidas do seguinte modo:

1) Dados essenciais de base

→ $f_{cm,28} \approx 48 \pm 2$ MPa

→ $H2/H1 \geq 0,80$

→ D_m entre 630 mm e 700 mm; t entre 10 e 20 s

2) Opções de base: materiais

Tendo em conta o nível de resistência pretendida, a análise da Figura 11.4 recomenda a utilização do cimento CEM II/B-L32,5N. Para além disso, com o intuito de reduzir o consumo de cimento, sugere-se a utilização de uma adição mineral de fíler calcário. Os restantes materiais poderão incluir o superplastificante Sika ViscoCrete-3000 e, por exemplo, os mesmos agregados utilizados neste trabalho.

Pelo exposto, as opções de base relativamente aos materiais a utilizar são as seguintes:

→ Ligante: CEM II/B-L32,5N

→ Adição mineral: Fíler Calcário

→ Superplastificante: Sika ViscoCrete-3000

→ Agregados finos: disponíveis duas areias naturais roladas

→ Agregados grossos: disponíveis duas britas de origem granítica

Nesta fase, a selecção dos agregados inclui a determinação das respectivas fracções volumétricas, de forma a obter as curvas de referência para os agregados finos e para os agregados grossos. Uma vez que se utilizam os mesmos agregados seleccionados para o presente trabalho, essas fracções granulométricas foram já determinadas e apresentadas no Quadro 11.1 e 11.2. Os valores obtidos para os agregados finos foram $a_1=0,40$ e $a_2=0,60$. Para os agregados grossos obtiveram-se os valores $g_1=0,50$ e $g_2=0,50$.

3) Estudos em argamassas

3.1) Estimativa dos parâmetros da argamassa

→ $f_{cm,28} \approx 48 \pm 2 \text{ MPa} \Rightarrow W/C = 0,40$ (Figura 11.4)

→ Admitindo $V_p/V_s = 0,70$

→ $V_p/V_s = 0,70$ e razão $W/C = 0,40 \Rightarrow f_{Ad.} = 0,40$ (Figura 11.8)

Concluindo:

- Família de finos: 60C2+40FC
- $V_p/V_s = 0,70$

A partir das Figuras 11.11 e 11.13 podem ser estimados os valores de (V_w/V_p) e de $(S_p/p\%)$ que conduzem às propriedades pretendidas. Os valores determinados foram:

→ $V_w/V_p = 0,73$

→ $S_p/p\% = 1,40$

Tendo sido utilizados os mesmos materiais das argamassas produzidas neste trabalho, poderá admitir-se, sem grande margem de erro, que esses valores estão correctos.

3.2) Cálculo da argamassa

O estudo da composição da argamassa seria neste caso dispensável, já que se conhecem os valores exactos de (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$. De qualquer forma, a título exemplificativo, apresenta-se no Quadro 11.3 a folha de cálculo Excel com o respectivo estudo da composição da argamassa

Quadro 11.3 – Folha de cálculo Excel para o estudo da argamassa

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																	
Identificação da argamassa Exemplo			Identificação da mistura de finos 60C2+40FC			Data sem data																																																																																																																											
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>							Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																														
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																														
	a1	a2																																																																																																																															
	0,40	0,60																																																																																																																															
Percentagem de passados																																																																																																																																	
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																														
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																														
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																														
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																														
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																														
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																														
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																														
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																														
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																														
Módulos de finura																																																																																																																																	
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																														
Composição da mistura de finos						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,00</td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> </tr> </tbody> </table>				fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,00	0,60	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																																																												
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																												
0,00	0,60	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																																																																												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </tbody> </table>				δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																												
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																												
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>				δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---																																																																																																														
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																																													
2590	2610	---	---	---																																																																																																																													
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																																																														
δsp	---	---	---	---																																																																																																																													
1050	---	---	---	---																																																																																																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td colspan="6" style="text-align: right;">δp= 2912,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: right;">Vsp/Vp= 0,038827 m³/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: right;">Vp= 0,312754 m³/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: right;">Vw= 0,228311 m³/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: right;">Vsp= 0,012143 m³/m³</td> </tr> <tr> <td colspan="6" style="text-align: right;">Vs= 0,446792 m³/m³</td> </tr> </tbody> </table>						δp= 2912,00 kg/m ³						Vsp/Vp= 0,038827 m ³ /m ³						Vp= 0,312754 m ³ /m ³						Vw= 0,228311 m ³ /m ³						Vsp= 0,012143 m ³ /m ³						Vs= 0,446792 m ³ /m ³																																																																																													
δp= 2912,00 kg/m ³																																																																																																																																	
Vsp/Vp= 0,038827 m ³ /m ³																																																																																																																																	
Vp= 0,312754 m ³ /m ³																																																																																																																																	
Vw= 0,228311 m ³ /m ³																																																																																																																																	
Vsp= 0,012143 m ³ /m ³																																																																																																																																	
Vs= 0,446792 m ³ /m ³																																																																																																																																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros					Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>C1= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 570,5 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td></td> <td style="text-align: center;">2314,4</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 340,3 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 228,3 litros</td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 12,14 litros</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,400</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 462,9 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 699,7 kg</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,251</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					C1= 0,0 kg					C2= 570,5 kg					CV= 0,0 kg							<u>Massa total, em kg</u>			MS= 0,0 kg		2314,4			FC= 340,3 kg					FG= 0,0 kg					W= 228,3 litros		<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>			Sp= 12,14 litros		0,400			S1= 462,9 kg							<u>Razão água/finos</u>			S2= 699,7 kg		0,251			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>C1= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 912,7 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td></td> <td style="text-align: center;">3703,0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 544,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 365,3 ml</td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 19,43 ml</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,400</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 740,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1119,5 g</td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,251</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					C1= 0,0 g					C2= 912,7 g					CV= 0,0 g							<u>Massa total, em g</u>			MS= 0,0 g		3703,0			FC= 544,4 g					FG= 0,0 g					W= 365,3 ml		<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>			Sp= 19,43 ml		0,400			S1= 740,6 g							<u>Razão água/finos</u>			S2= 1119,5 g		0,251		
C1= 0,0 kg																																																																																																																																	
C2= 570,5 kg																																																																																																																																	
CV= 0,0 kg																																																																																																																																	
		<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																															
MS= 0,0 kg		2314,4																																																																																																																															
FC= 340,3 kg																																																																																																																																	
FG= 0,0 kg																																																																																																																																	
W= 228,3 litros		<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>																																																																																																																															
Sp= 12,14 litros		0,400																																																																																																																															
S1= 462,9 kg																																																																																																																																	
		<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																															
S2= 699,7 kg		0,251																																																																																																																															
C1= 0,0 g																																																																																																																																	
C2= 912,7 g																																																																																																																																	
CV= 0,0 g																																																																																																																																	
		<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																															
MS= 0,0 g		3703,0																																																																																																																															
FC= 544,4 g																																																																																																																																	
FG= 0,0 g																																																																																																																																	
W= 365,3 ml		<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>																																																																																																																															
Sp= 19,43 ml		0,400																																																																																																																															
S1= 740,6 g																																																																																																																																	
		<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																															
S2= 1119,5 g		0,251																																																																																																																															

3.3) Ensaio laboratoriais para verificação

Em princípio, os ensaios laboratoriais da argamassa apresentada no Quadro 11.3, deverão conduzir à obtenção de valores de Gm e de Rm no intervalo pretendido, ou seja, Gm entre 5,3 e 5,9 e Rm entre 1,14 e 1,30 s⁻¹. Se, por hipótese, esses valores não se verificassem, deveria proceder-se ao acerto da mistura conforme se descreveu no Sub-Capítulo 7.5.3.4, para determinar os valores adequados de (Vw/Vp) e (Sp/p%).

Concluída a determinação de (Vw/Vp) e (Sp/p%), deverá ainda analisar-se o valor da razão W/C. Neste caso concreto, a folha de cálculo Excel ilustrada no Quadro 11.3 confirma que a razão W/C obtida corresponde ao valor pretendido, ou seja, W/C = 0,40.

A título meramente exemplificativo, os resultados obtidos podem ser representados no diagrama que se ilustra na Figura 11.20. Localizados os pontos 1, 2, 3 e 4, desenham-se as linhas de tendência A, B e C. Desta forma, os parâmetros de uma qualquer argamassa da mesma família podem ser estimados, caso se pretenda aumentar ou reduzir a resistência da argamassas sem proceder a novos ensaios laboratoriais. A margem de variação da resistência à compressão é relativamente pequena, uma vez que (V_p/V_s) só poderá variar entre os valores de 0,65 e os 0,80. Isto significa, que modificações maiores da resistência requerem a modificação da “família de finos” (associação de materiais finos) e, nesse caso, teria que se iniciar novamente o estudo da argamassa para outra “família de finos”.

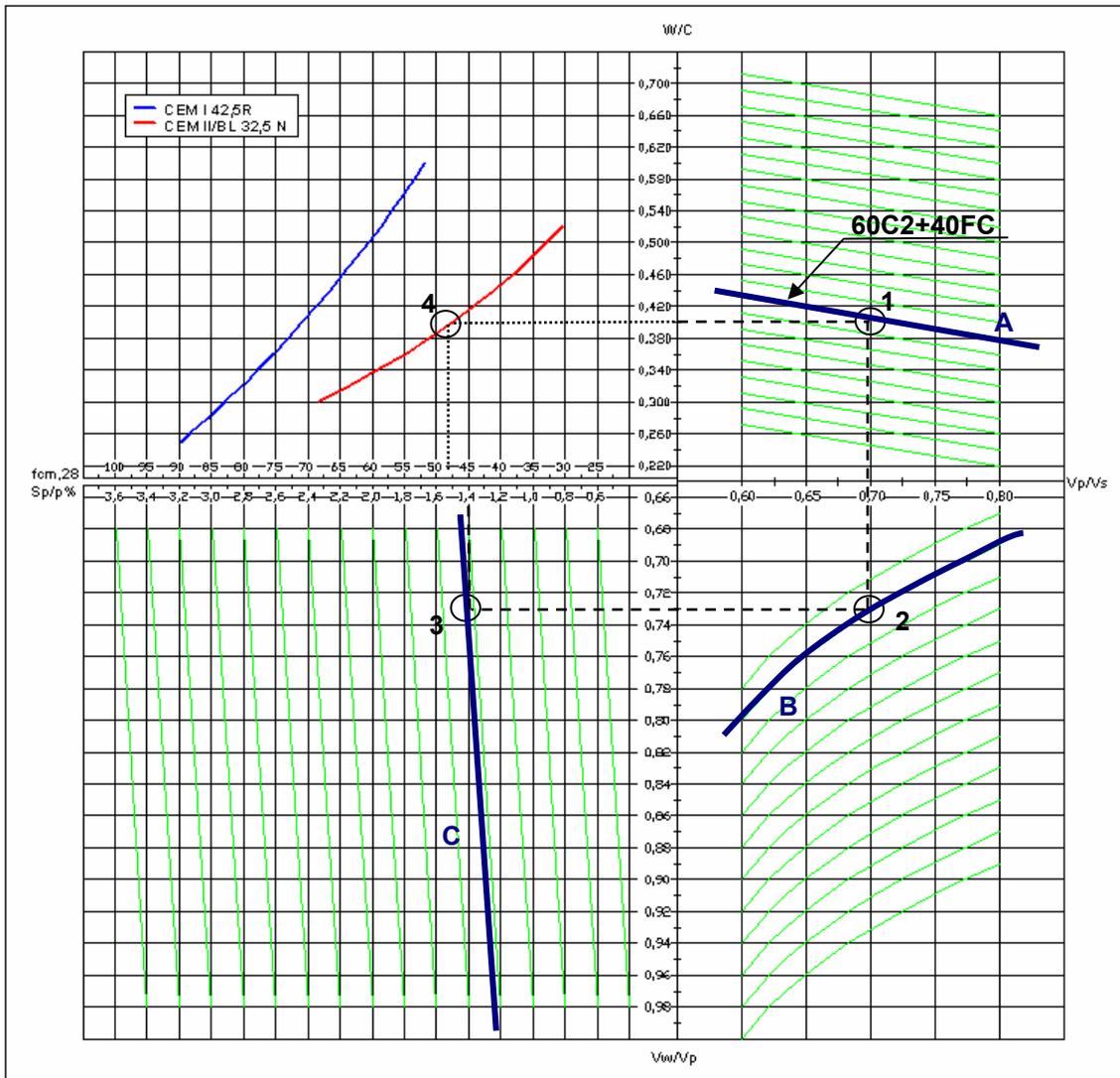


Figura 11.20 – Diagrama síntese para o estudo da composição das argamassas

4) Estudos em betões

4.1) Estimativa dos parâmetros do betão

Para o estudo da composição do betão deverá ser considerada a situação mais desfavorável do intervalo proposto para o grau de auto-compactabilidade e para a capacidade de deformação. Neste caso deverá considerar-se a situação limite $H_2/H_1 \geq 0,80$ e $D_m = 630$ mm.

→ $H_2/H_1 \geq 0,80$; $D_m = 630$ mm $\Rightarrow MN \geq 1,70$ (Figura 11.18)

→ Adoptando, por exemplo, $MN = 1,80$ $\Rightarrow H_2/H_1 \approx 0,82$ (Figura 11.18)

→ $MN = 1,80$; $V_p/V_s = 0,70$ $\Rightarrow V_m/V_g = 2,57$

Note-se que: $MN = (V_p/V_s) \times (V_m/V_g)$

→ Admita-se: $V_v = 0,030$ m³

Concluindo:

- Agregados finos: $a_1 = 0,40$; $a_2 = 0,60$
- Agregados grossos: $g_1 = 0,50$; $g_2 = 0,50$
- Família de finos: 60C2+40FC
- $V_p/V_s = 0,70$
- $V_m/V_g = 2,57$
- $V_w/V_p = 0,73$
- $S_p/p\% = 1,40$

4.2) Cálculo do betão

Estimados todos os parâmetros necessários ao estudo da composição do betão, a dosagem dos seus componentes pode ser facilmente determinada através da folha de cálculo Excel desenvolvida para esse efeito no âmbito do presente trabalho. A folha de cálculo Excel apresenta-se no Quadro 11.4.

Quadro 11.4 – Aplicação da folha de cálculo para o estudo do betão: Exemplo 1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																										
Identificação do betão Exemplo			Identificação da mistura de finos 60C2+40FC			Data sem data																																																																																				
Parâmetros da composição					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01 a1</th> <th>Areia05 a2</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr><td>9,520</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>4,760</td><td>100,00</td><td>99,94</td><td>99,96</td></tr> <tr><td>2,380</td><td>99,97</td><td>98,56</td><td>99,12</td></tr> <tr><td>1,190</td><td>99,89</td><td>84,75</td><td>90,81</td></tr> <tr><td>0,590</td><td>91,06</td><td>43,13</td><td>62,30</td></tr> <tr><td>0,297</td><td>48,16</td><td>2,97</td><td>21,05</td></tr> <tr><td>0,149</td><td>11,49</td><td>0,21</td><td>4,72</td></tr> <tr><td>0,074</td><td>2,04</td><td>0,05</td><td>0,85</td></tr> <tr><td>Resíduo</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td><td>1,494</td><td>2,704</td><td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia01 a1	Areia05 a2	Mistura (Curva Real)	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																													
Abertura da malha (mm)	Areia01 a1	Areia05 a2	Mistura (Curva Real)																																																																																							
Percentagem de passados																																																																																										
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																							
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																							
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																							
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																							
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																							
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																							
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																							
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																							
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																							
Módulos de finura																																																																																										
	1,494	2,704	2,220																																																																																							
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																						
2,570	0,030	0,700	0,730	1,400																																																																																						
Composição da mistura de finos																																																																																										
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																					
0,000	0,600	0,000	0,000	0,400	0,000																																																																																					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																																										
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																					
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																					
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																																										
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3																																																																																						
2590	2610	2710	2700	2700																																																																																						
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																																										
δsp1																																																																																										
1050																																																																																										
<p>δp= 2912,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,038827</p> <p>Vg= 0,271709 m³/m³ Vm= 0,698291 m³/m³ Vp= 0,218394 m³/m³ Vw= 0,159427 m³/m³ Vsp= 0,008479 m³/m³ Vs= 0,311991 m³/m³ Vs/Vm= 0,446792</p>																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6 g1</th> <th>Brita 6/15 g2</th> <th>Brita15/25 g3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr><td>38,100</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>25,400</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>99,79</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>19,100</td><td>100,00</td><td>100,00</td><td>68,38</td><td>100,00</td></tr> <tr><td>12,700</td><td>100,00</td><td>89,14</td><td>3,02</td><td>94,57</td></tr> <tr><td>9,520</td><td>100,00</td><td>49,79</td><td>0,22</td><td>74,90</td></tr> <tr><td>4,760</td><td>70,84</td><td>2,24</td><td>0,08</td><td>36,54</td></tr> <tr><td>2,380</td><td>11,68</td><td>0,29</td><td>0,07</td><td>5,99</td></tr> <tr><td>1,190</td><td>4,28</td><td>0,20</td><td>0,07</td><td>2,24</td></tr> <tr><td>0,590</td><td>2,46</td><td>0,16</td><td>0,05</td><td>1,31</td></tr> <tr><td>0,297</td><td>1,46</td><td>0,12</td><td>0,04</td><td>0,79</td></tr> <tr><td>0,149</td><td>0,90</td><td>0,09</td><td>0,03</td><td>0,50</td></tr> <tr><td>0,074</td><td>0,50</td><td>0,05</td><td>0,02</td><td>0,28</td></tr> <tr><td>Resíduo</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td><td>5,084</td><td>6,471</td><td>7,311</td><td>5,777</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Brita 3/6 g1	Brita 6/15 g2	Brita15/25 g3	Mistura (Curva Real)	Percentagem de passados					38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	99,79	100,00	19,100	100,00	100,00	68,38	100,00	12,700	100,00	89,14	3,02	94,57	9,520	100,00	49,79	0,22	74,90	4,760	70,84	2,24	0,08	36,54	2,380	11,68	0,29	0,07	5,99	1,190	4,28	0,20	0,07	2,24	0,590	2,46	0,16	0,05	1,31	0,297	1,46	0,12	0,04	0,79	0,149	0,90	0,09	0,03	0,50	0,074	0,50	0,05	0,02	0,28	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						5,084	6,471	7,311	5,777
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6 g1	Brita 6/15 g2	Brita15/25 g3	Mistura (Curva Real)																																																																																						
Percentagem de passados																																																																																										
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																						
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00																																																																																						
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00																																																																																						
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57																																																																																						
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90																																																																																						
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54																																																																																						
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99																																																																																						
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24																																																																																						
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31																																																																																						
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79																																																																																						
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50																																																																																						
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28																																																																																						
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																						
Módulos de finura																																																																																										
	5,084	6,471	7,311	5,777																																																																																						
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros			Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros																																																																																							
C1= 0,00 kg			C1= 0,000 kg																																																																																							
C2= 398,35 kg			C2= 9,959 kg																																																																																							
CV= 0,00 kg	<u>Massa total. em kg</u>		CV= 0,000 kg	<u>Massa total. em kg</u>																																																																																						
MS= 0,00 kg			MS= 0,000 kg																																																																																							
FC= 237,61 kg	2351,1		FC= 5,940 kg	58,78																																																																																						
FG= 0,00 kg			FG= 0,000 kg																																																																																							
W= 159,43 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		W= 3,986 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																						
Sp= 8,48 litros			Sp= 0,212 litros																																																																																							
S1= 323,22 kg	0,400		S1= 8,081 kg	0,400																																																																																						
S2= 488,58 kg			S2= 12,214 kg																																																																																							
G1= 368,17 kg	<u>Razão água/finos</u>		G1= 9,204 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																						
G2= 366,81 kg			G2= 9,170 kg																																																																																							
G3= 0,00 kg	0,251		G3= 0,000 kg	0,251																																																																																						

4.3) Ensaio laboratoriais para verificação

Os ensaios laboratoriais deverão confirmar a obtenção de valores da capacidade e velocidade de deformação dentro do “alvo” pretendido, ou seja, um diâmetro de espalhamento entre os 630 e os 700 mm e um tempo de escoamento no “Funil-V” entre os

10 e os 20 segundos. O ensaio de auto-compactabilidade na “Caixa-L” deverá fornecer um valor H_2/H_1 igual ou superior a 0,80 e não deverão ocorrer fenómenos de segregação ou bloqueio da mistura. Caso o valor de H_2/H_1 seja inferior ao pretendido, deverá efectuar-se outra amassadura com um valor de (V_m/V_g) superior.

Apenas como informação adicional, poderá verificar-se ainda se os parâmetros da mistura se situam nos intervalos sugeridos ao longo deste trabalho para a situação limite de dimensionamento. Esses intervalos foram resumidos neste Sub-Capítulo, nomeadamente, no que se refere aos parâmetros V_g , V_s/V_m , V_p e $As\%$. À excepção de $As\%$, cujo cálculo foi descrito no Sub-Capítulo 10.2.3.3.6, todos os restantes parâmetros podem ser observados directamente na folha de cálculo apresentada no Quadro 11.4. Assim, relativamente a esses parâmetros verificou-se o seguinte:

- $V_g = 0,272 \text{ m}^3$ (Confirma!)
- $V_s/V_m = 0,447$ (Confirma!)
- $V_p = 0,218 \text{ m}^3$ (Confirma!)
- $As\% = 66,3\%$ (Confirma!)

O valor obtido para o volume de agregados grossos ($V_g=0,272 \text{ m}^3$) parece ser relativamente baixo, face aos valores correntemente propostos. Deverá salientar-se, no entanto, que o valor de MN adoptado ($MN=1,80$) se situa ligeiramente acima do valor limite de dimensionamento ($MN=1,70$), o que conduz a um valor menor de (V_g) , mas, em contrapartida, proporciona uma garantia adicional de que a auto-compactabilidade será obtida mesmo quando ($D_m=630 \text{ mm}$). Por outro lado, caso se tivesse optado por $(V_p/V_s=0,80)$, o valor de (V_s/V_m) seria inferior e, em consequência, o valor de (V_g) poderia superar aquele utilizado neste exemplo. Isto significa que a abordagem proposta equaciona sempre o balanço entre o volume de areia na argamassa e o volume de agregados grossos no betão, sem esquecer o grau de auto-compactabilidade pretendido.

A título exemplificativo, apresenta-se o estudo da composição do betão, caso tivesse sido assumido um valor de $V_p/V_s=0,80$ e um valor de $MN=1,70$, correspondente à situação limite. Assim, para os mesmos materiais e para a mesma razão W/C já determinada, a percentagem de substituição do cimento pela adição é novamente estimada.

→ $f_{cm,28} \approx 48 \pm 2 \text{ MPa} \Rightarrow W/C = 0,40$ (Figura 11.4)

→ Admitindo $V_p/V_s=0,80$

→ $V_p/V_s = 0,80$ e razão $W/C = 0,40 \Rightarrow f_{Ad.} = 0,44$ (Figura 11.8)

Concluindo:

- Família de finos: 56C2+44FC
- $V_p/V_s = 0,80$

A partir das Figuras 11.11 e 11.13 são estimados (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$ que conduzem às propriedades reológicas pretendidas. Os valores determinados são os seguintes:

→ $V_w/V_p \approx 0,68$

→ $S_p/p\% \approx 1,20 \%$

Admitindo, por hipótese, que os valores de (V_w/V_p) e $(S_p/p\%)$ estão correctos, determinam-se os parâmetros do betão:

→ $H_2/H_1 \geq 0,80$; $D_m = 630 \text{ mm} \Rightarrow MN \geq 1,70$ (Figura 11.18)

→ Adoptando $MN = 1,70$ e sendo $V_p/V_s = 0,80 \Rightarrow V_m/V_g = 2,13$

→ Admita-se: $V_v = 0,030 \text{ m}^3$

Concluindo:

- Agregados finos: $a_1 = 0,40$; $a_2 = 0,60$
- Agregados grossos: $g_1 = 0,50$; $g_2 = 0,50$
- Família de finos: 56C2+44FC
- $V_p/V_s = 0,80$
- $V_m/V_g = 2,13$
- $V_w/V_p = 0,68$
- $S_p/p\% = 1,20$

O Quadro 11.5 apresenta as alterações da composição do betão face à adopção de novos parâmetros para Vp/Vs e MN. Neste caso, Vg aumentou de 0,272 m³ para 0,310 m³, enquanto que Vs/Vm reduziu de 0,447 para 0,422. Apesar de Vp ter aumentado de 0,218 m³ para 0,223 m³, isso não significou, no entanto, um aumento da dosagem de cimento.

Quadro 11.5 – Aplicação da folha de cálculo para o estudo do betão: Exemplo 2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS									
Identificação do betão Exemplo		Identificação da mistura de finos 56C2+44FC			Data sem data				
Parâmetros da composição									
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%					
2,130	0,030	0,800	0,680	1,200					
Composição da mistura de finos									
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg				
0,000	0,560	0,000	0,000	0,440	0,000				
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³									
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg				
3140	3040	2380	2170	2720	2650				
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³									
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3					
2590	2610	2710	2700	2700					
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³									
δsp1	---	---	---	---					
1050	---	---	---	---					
δp= 2899,20 kg/m ³ Vsp/vp= 0,033134 Vg= 0,309904 m ³ /m ³ Vm= 0,660096 m ³ /m ³ Vp= 0,22277 m ³ /m ³ Vw= 0,151483 m ³ /m ³ Vsp= 0,007381 m ³ /m ³ Vs= 0,278462 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,421851									
Abertura da malha (mm)		Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)			
		a1		a2					
		0,40		0,60					
Percentagem de passados									
9,520		100,00		100,00		100,00			
4,760		100,00		99,94		99,96			
2,380		99,97		98,56		99,12			
1,190		99,89		84,75		90,81			
0,590		91,06		43,13		62,30			
0,297		48,16		2,97		21,05			
0,149		11,49		0,21		4,72			
0,074		2,04		0,05		0,85			
Resíduo		0,00		0,00		0,00			
Módulos de finura									
		1,494		2,704		2,220			
Abertura da malha (mm)		Brita 3/6		Brita 6/15		Brita 15/25		Mistura (Curva Real)	
		g1		g2		g3			
		0,50		0,50		0,00			
Percentagem de passados									
38,100		100,00		100,00		100,00		100,00	
25,400		100,00		100,00		99,79		100,00	
19,100		100,00		100,00		68,38		100,00	
12,700		100,00		89,14		3,02		94,57	
9,520		100,00		49,79		0,22		74,90	
4,760		70,84		2,24		0,08		36,54	
2,380		11,68		0,29		0,07		5,99	
1,190		4,28		0,20		0,07		2,24	
0,590		2,46		0,16		0,05		1,31	
0,297		1,46		0,12		0,04		0,79	
0,149		0,90		0,09		0,03		0,50	
0,074		0,50		0,05		0,02		0,28	
Resíduo		0,00		0,00		0,00		0,00	
Módulos de finura									
		5,084		6,471		7,311		5,777	
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 379,24 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 266,61 kg FG= 0,00 kg W= 151,48 litros Sp= 7,38 litros S1= 288,49 kg S2= 436,07 kg G1= 419,92 kg G2= 418,37 kg G3= 0,00 kg					Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 9,481 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 6,665 kg FG= 0,000 kg W= 3,787 litros Sp= 0,185 litros S1= 7,212 kg S2= 10,902 kg G1= 10,498 kg G2= 10,459 kg G3= 0,000 kg				
Massa total, em kg					Massa total, em kg				
2367,9					59,20				
Razão água/(mat. cimentíceos)					Razão água/(mat. cimentíceos)				
0,399					0,399				
Razão água/finos					Razão água/finos				
0,235					0,235				

Considerando a própria variabilidade dos resultados inerente a qualquer correlação, dir-se-ia que a adopção de MN=1,70 pode não oferecer garantias suficientes de obtenção da auto-compactabilidade ($H_2/H_1 \geq 0,80$) quando $D_m=630$ mm. Neste caso seria de recomendar a adopção de MN=1,80. Aplicando este valor ao último exemplo apresentado, obtém-se um valor de $V_m/V_g=2,25$. O cálculo do betão é ilustrado no Quadro 11.6.

Quadro 11.6 – Aplicação da folha de cálculo para o estudo do betão: Exemplo 3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS																																																																																																																																																																																			
Identificação do betão			Identificação da mistura de finos				Data																																																																																																																																																																												
Exemplo			56C2+44FC				sem data																																																																																																																																																																												
Parâmetros da composição					<table border="1"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01 a1</th> <th>Areia05 a2</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="4">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia01 a1	Areia05 a2	Mistura (Curva Real)	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																						
Abertura da malha (mm)	Areia01 a1	Areia05 a2	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																			
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																
Módulos de finura																																																																																																																																																																																			
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																
V _m /V _g	V _v (m ³)	V _p /V _s	V _w /V _p	S _p /P%																																																																																																																																																																															
2,250	0,030	0,800	0,680	1,200																																																																																																																																																																															
Composição da mistura de finos																																																																																																																																																																																			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																														
0,000	0,560	0,000	0,000	0,440	0,000																																																																																																																																																																														
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																														
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																			
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3																																																																																																																																																																															
2590	2610	2710	2700	2700																																																																																																																																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																			
δsp1																																																																																																																																																																																			
1050																																																																																																																																																																																			
<p> $\delta_p = 2899,20 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp/vp} = 0,033134$ $V_g = 0,298462 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_m = 0,671538 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,226631 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,154109 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,007509 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,283289 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s/V_m = 0,421851$ </p>																																																																																																																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6 g1</th> <th>Brita 6/15 g2</th> <th>Brita 15/25 g3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>99,79</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>68,38</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>89,14</td> <td>3,02</td> <td>94,57</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>49,79</td> <td>0,22</td> <td>74,90</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>70,84</td> <td>2,24</td> <td>0,08</td> <td>36,54</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>11,68</td> <td>0,29</td> <td>0,07</td> <td>5,99</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>4,28</td> <td>0,20</td> <td>0,07</td> <td>2,24</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>2,46</td> <td>0,16</td> <td>0,05</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>1,46</td> <td>0,12</td> <td>0,04</td> <td>0,79</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,90</td> <td>0,09</td> <td>0,03</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,50</td> <td>0,05</td> <td>0,02</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,084</td> <td>6,471</td> <td>7,311</td> <td>5,777</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Brita 3/6 g1	Brita 6/15 g2	Brita 15/25 g3	Mistura (Curva Real)	Percentagem de passados					38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	99,79	100,00	19,100	100,00	100,00	68,38	100,00	12,700	100,00	89,14	3,02	94,57	9,520	100,00	49,79	0,22	74,90	4,760	70,84	2,24	0,08	36,54	2,380	11,68	0,29	0,07	5,99	1,190	4,28	0,20	0,07	2,24	0,590	2,46	0,16	0,05	1,31	0,297	1,46	0,12	0,04	0,79	0,149	0,90	0,09	0,03	0,50	0,074	0,50	0,05	0,02	0,28	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						5,084	6,471	7,311	5,777	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Abertura da malha (mm)</th> <th>Brita 3/6 g1</th> <th>Brita 6/15 g2</th> <th>Brita 15/25 g3</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td colspan="5">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>38,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>25,400</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>99,79</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>19,100</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>68,38</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>12,700</td> <td>100,00</td> <td>89,14</td> <td>3,02</td> <td>94,57</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>49,79</td> <td>0,22</td> <td>74,90</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>70,84</td> <td>2,24</td> <td>0,08</td> <td>36,54</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>11,68</td> <td>0,29</td> <td>0,07</td> <td>5,99</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>4,28</td> <td>0,20</td> <td>0,07</td> <td>2,24</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>2,46</td> <td>0,16</td> <td>0,05</td> <td>1,31</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>1,46</td> <td>0,12</td> <td>0,04</td> <td>0,79</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>0,90</td> <td>0,09</td> <td>0,03</td> <td>0,50</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>0,50</td> <td>0,05</td> <td>0,02</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>5,084</td> <td>6,471</td> <td>7,311</td> <td>5,777</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Brita 3/6 g1	Brita 6/15 g2	Brita 15/25 g3	Mistura (Curva Real)	Percentagem de passados					38,100	100,00	100,00	100,00	100,00	25,400	100,00	100,00	99,79	100,00	19,100	100,00	100,00	68,38	100,00	12,700	100,00	89,14	3,02	94,57	9,520	100,00	49,79	0,22	74,90	4,760	70,84	2,24	0,08	36,54	2,380	11,68	0,29	0,07	5,99	1,190	4,28	0,20	0,07	2,24	0,590	2,46	0,16	0,05	1,31	0,297	1,46	0,12	0,04	0,79	0,149	0,90	0,09	0,03	0,50	0,074	0,50	0,05	0,02	0,28	Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura						5,084	6,471	7,311	5,777
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6 g1	Brita 6/15 g2	Brita 15/25 g3	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																															
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																			
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																															
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00																																																																																																																																																																															
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00																																																																																																																																																																															
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57																																																																																																																																																																															
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90																																																																																																																																																																															
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54																																																																																																																																																																															
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99																																																																																																																																																																															
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24																																																																																																																																																																															
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31																																																																																																																																																																															
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79																																																																																																																																																																															
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50																																																																																																																																																																															
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28																																																																																																																																																																															
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																															
Módulos de finura																																																																																																																																																																																			
	5,084	6,471	7,311	5,777																																																																																																																																																																															
Abertura da malha (mm)	Brita 3/6 g1	Brita 6/15 g2	Brita 15/25 g3	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																															
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																			
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																															
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00																																																																																																																																																																															
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00																																																																																																																																																																															
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57																																																																																																																																																																															
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90																																																																																																																																																																															
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54																																																																																																																																																																															
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99																																																																																																																																																																															
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24																																																																																																																																																																															
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31																																																																																																																																																																															
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79																																																																																																																																																																															
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50																																																																																																																																																																															
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28																																																																																																																																																																															
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																															
Módulos de finura																																																																																																																																																																																			
	5,084	6,471	7,311	5,777																																																																																																																																																																															
<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p> C1= 0,00 kg C2= 385,82 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 271,23 kg FG= 0,00 kg W= 154,11 litros Sp= 7,51 litros S1= 293,49 kg S2= 443,63 kg G1= 404,42 kg G2= 402,92 kg G3= 0,00 kg </p> <p style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2363,5 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,399 <u>Razão água/finos</u> 0,235 </p>					<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p> C1= 0,000 kg C2= 9,645 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 6,781 kg FG= 0,000 kg W= 3,853 litros Sp= 0,188 litros S1= 7,337 kg S2= 11,091 kg G1= 10,110 kg G2= 10,073 kg G3= 0,000 kg </p> <p style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 59,09 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,399 <u>Razão água/finos</u> 0,235 </p>																																																																																																																																																																														

Efectivamente, os valores apresentados no Quadro 11.6, sem diferirem significativamente dos valores apresentados no Quadro 11.5, podem no entanto representar a diferença entre a obtenção ou não da auto-compactabilidade, quando a capacidade de deformação do betão se situa no limite inferior estabelecido.

Em situações práticas recomenda-se ainda a avaliação da capacidade de retenção da trabalhabilidade com o tempo, de forma a prevenir a ocorrência de valores da capacidade de deformação muito baixos aquando da colocação do betão em obra. Para tal, apesar do betão ser dimensionado para cumprir a auto-compactabilidade quando $D_m=630$ mm, as misturas produzidas em laboratório deverão apresentar diâmetros de espalhamento maiores, entre os 630 mm e os 700 mm.

**CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES
PARA TRABALHOS FUTUROS**

CAPÍTULO 12 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

12.1 – Introdução

A revisão bibliográfica, assim como a análise experimental apresentadas ao longo deste trabalho, proporcionaram a obtenção de algumas conclusões, as quais, por facilidade de leitura e de interpretação dos resultados, se julgou oportuno apresentar em detalhe no final de cada capítulo.

A síntese de algumas das conclusões tidas como mais significativas, no que respeita ao estudo da composição dos betões auto-compactáveis do tipo finos, será apresentada no presente capítulo. A apresentação dessas conclusões será efectuada partindo de uma abordagem mais generalista, seguindo-se a apresentação das conclusões mais relevantes emergentes da situação particular investigada no presente trabalho. O esclarecimento de alguns aspectos ainda pouco conhecidos, tornará inevitável, num futuro próximo, o lançamento de outras linhas de investigação. No final deste capítulo serão apresentadas algumas propostas para futuros temas de investigação.

12.2 – Conclusões

A revisão bibliográfica efectuada permitiu observar que têm sido propostos vários métodos para o estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos, variando entre os mais simples até aos mais complicados e sofisticados modelos de previsão do comportamento do betão no estado fresco. Os diferentes métodos avaliados na análise bibliográfica correspondem em geral aos métodos mais divulgados e acredita-se que reproduzem satisfatoriamente o estado actual do conhecimento nesta área.

Em termos genéricos pode referir-se que um primeiro processo de estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos foi desenvolvido na Universidade de

Tóquio [11, 35, 47, 51], contemplando o método geral proposto por Okamura, Ozawa e Maekawa e as contribuições posteriores de Ouchi et al. Pela sua simplicidade e uso mais generalizado, este método tem-se destacado dos restantes, o que motivou a sua abordagem no presente trabalho. Após uma primeira análise verificou-se que o método proposto por Okamura et al. permite, de forma mais ou menos expedita, dosear os componentes do betão de modo a obter a necessária auto-compactabilidade. Não obstante, não permite controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão dos betões na fase de cálculo da mistura e, por outro lado, tem sido sugerida por Sedran e Larrard [61] a necessidade de se otimizar a composição dos betões estudados com recurso a este método de modo a reduzir os consumos de pasta.

Em resultado da análise efectuada, relativamente ao método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51], foi delineada uma nova abordagem no cálculo da composição dos betões auto-compactáveis. Esta nova abordagem foi suportada por uma extensa campanha experimental que envolveu a produção e ensaio de um total de 247 argamassas e 60 betões. Os resultados obtidos foram motivadores e permitiram mesmo a apresentação de uma proposta para o estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos visando dar resposta a algumas das lacunas entretanto identificadas e largamente discutidas na revisão bibliográfica.

A análise experimental apresentada ao longo do presente trabalho foi direccionada unicamente para o estudo da composição de betões auto-compactáveis do tipo finos. A análise das propriedades dos materiais utilizados e dos betões com eles produzidos concentrou-se basicamente nos aspectos físicos e mecânicos do seu comportamento. Não foram avaliados os aspectos relativos ao comportamento químico ou de durabilidade desses betões e a avaliação das propriedades do betão endurecido limitou-se ao estudo da resistência à compressão. Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi especialmente relevante a avaliação das propriedades do betão no estado fresco e a sua relação com os parâmetros de cálculo das misturas. Por último, importa acrescentar que não foram

avaliados os aspectos económicos inerentes à produção deste tipo de betões, ainda que implicitamente este aspecto não tenha sido descurado.

A proposta desenvolvida assenta em procedimentos de cálculo expeditos, cuja primeira e fundamental abordagem é suportada por ensaios em argamassas, tal como propuseram Okamura et al. Para além disso, define um intervalo para as propriedades reológicas das argamassas adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis próximo daquele proposto por Okamura et al., estabelece uma nova metodologia para obtenção dessas propriedades, introduz novos parâmetros para quantificar as dosagens de agregados finos (V_p/V_s) e de agregados grossos (V_m/V_g) das misturas, estabelece um novo parâmetro (MN) para quantificar o volume de agregados grossos de cada betão (V_m/V_g), adequado especificamente à argamassa que este incorpora, tendo em vista a obtenção de determinado grau de auto-compactabilidade e, finalmente, utiliza simultaneamente o parâmetro (V_p/V_s) e a “família de finos” para controlar a resistência das argamassas e, indirectamente, a resistência dos betões com ela produzidos.

O parâmetro V_p/V_s foi introduzido inicialmente com o intuito de controlar a proporção entre os materiais finos e agregados finos da argamassa independentemente das dosagens de água e de superplastificante e, por outro lado, ao representar o traço volumétrico da argamassa, acreditou-se que facilitaria o controlo da resistência à compressão juntamente com a definição da “família de finos”, o que efectivamente se veio a verificar no decurso do presente trabalho. De forma similar, o parâmetro V_m/V_g foi introduzido inicialmente com o intuito de controlar a proporção entre a matriz argamassa e os agregados grossos imersos nessa matriz, independentemente do volume de vazios do betão e, por outro lado, pretende representar o traço volumétrico entre a matriz que controla a resistência e os agregados grossos. O parâmetro MN resultou em consequência da análise extensiva dos resultados experimentais e representa a relação entre os parâmetros V_p/V_s e V_m/V_g . A análise experimental realizada no decurso do presente trabalho demonstrou que esta relação (MN) pode ser correlacionada com os parâmetros reológicos e de auto-compactabilidade do betão, o que facilita o estudo da composição das misturas.

De acordo com a metodologia adoptada no presente trabalho, a composição de qualquer betão auto-compactável do tipo finos fica completamente definida mediante o conhecimento dos parâmetros “família de finos”, V_p/V_s , V_w/V_p , $Sp/p\%$, V_v , V_m/V_g e das curvas granulométricas dos agregados e respectivas fracções granulométricas. A curva granulométrica de referência dos agregados finos (CRAF) e a curva granulométrica de referência dos agregados grossos (CRAG) foram definidas na fase experimental tendo em vista a máxima compactidade. Estas curvas granulométricas foram mantidas constantes em todas as misturas, sendo que a máxima dimensão do agregado mais grosso se situou nos 19,1 mm. Em consequência, não foi avaliado o efeito da distribuição granulométrica dos agregados finos e grossos na auto-compactabilidade.

Os parâmetros “família de finos”, V_p/V_s , V_w/V_p e $Sp/p\%$ são definidos mediante o estudo em argamassas, objectivando determinado comportamento reológico previamente definido, a par da adequada resistência à compressão, traduzida pela adequada razão W/C dessa argamassa. As propriedades reológicas das argamassas deverão ser tais que conduzam às propriedades reológicas pretendidas para os betões e, concomitantemente, a razão W/C da argamassa deverá ser tal que promova a obtenção de determinada resistência à compressão dos betões. Face à metodologia adoptada, a razão W/C de um determinado betão é igual à razão W/C da argamassa que este incorpora. Desta forma, conclui-se ser possível estimar a razão W/C das argamassas em função da resistência pretendida para os betões. A relação entre a razão W/C dos betões e a sua resistência à compressão deve ser estabelecida para cada cimento. O presente trabalho apresenta essas correlações para os cimentos do tipo CEM II/B-L32,5N e CEM I 42,5R.

Conhecida a razão W/C pretendida para a argamassa, será então necessário determinar os parâmetros adequados para a “família de finos”, V_p/V_s , V_w/V_p e $Sp/p\%$ que conduzem a esse valor. Neste âmbito, o estudo realizado em argamassas permitiu concluir ser possível estabelecer, para associações binárias entre um determinado cimento e uma determinada adição, correlações sólidas entre a razão W/C das argamassas e a percentagem de substituição do cimento pela adição, desde que se conheça o valor de

(V_p/V_s) dessa argamassa. Desta forma, arbitrando para o estudo da argamassa um determinado valor de (V_p/V_s) e seleccionados os materiais finos a utilizar (cimento+adição), será possível estimar a constituição da “família de finos”, ou seja, estimar a percentagem de substituição do cimento pela adição.

Uma vez estabelecidas a “família de finos” e a razão (V_p/V_s) a adoptar para o cálculo da argamassa, procede-se à determinação experimental da razão (V_w/V_p) e ($S_p/p\%$) que conduzem às propriedades reológicas pretendidas. As propriedades reológicas pretendidas foram definidas neste trabalho adoptando um intervalo de variação para os valores de (G_m) e (R_m) que basicamente pressupõem um ligeiro acréscimo de água de amassadura face aos valores propostos por Okamura et al. [11, 35, 47, 51]. Para além disso foi adoptada uma nova metodologia para obtenção de misturas com o mesmo comportamento reológico, integralmente suportada por ensaios laboratoriais.

Os resultados experimentais vieram a confirmar que a menos das pequenas correcções das dosagens de água e de superplastificante dos betões, efectuadas durante a fase de amassadura, poderá concluir-se que o intervalo definido para os parâmetros reológicos das argamassas (G_m entre 5,3 e 5,9; R_m entre 1,14 e 1,30 s^{-1}), a que correspondem, respectivamente, os valores (D_m entre 251 e 263 mm; t entre 7,69 e 8,77 s), conduziu à obtenção de betões com os seguintes parâmetros reológicos: (G_c entre 8 e 11,25; R_c entre 0,5 e 1,0 s^{-1}), a que correspondem, respectivamente, (D_m entre 600 e 700 mm; t entre 10 e 20 s). Desta forma, poderá afirmar-se inequivocamente que as propriedades reológicas definidas neste trabalho para a matriz argamassa se revelaram adequadas à obtenção das propriedades reológicas pretendidas para os betões.

A metodologia proposta neste trabalho para a obtenção de argamassas com igual comportamento reológico, avaliado pelo ensaio de espalhamento e de fluidez, revelou-se adequada e suficientemente expedita para permitir o seu uso generalizado. Em média, é possível determinar os valores de V_w/V_p e $S_p/p\%$, adequados à obtenção de determinada capacidade e velocidade de deformação, apenas com o recurso a três ensaios laboratoriais em argamassas. Por outro lado, os resultados obtidos são os valores efectivamente

medidos em laboratório e não valores estimados como sucede nas alterações ao método geral propostas por Ouchi et al. [51]. Em síntese, a metodologia proposta neste trabalho oferece como vantagens uma maior rapidez, em resultado do menor número de ensaios envolvidos, e uma maior certeza sobre o resultado obtido para V_w/V_p e $S_p/p\%$.

Definidas as adequadas propriedades das argamassas, quer no estado fresco, quer no estado endurecido, o estudo da composição dos betões auto-compactáveis do tipo finos completa-se com a definição do volume de vazios (V_v) e da razão (V_m/V_g). O volume de vazios foi mantido constante em todas as misturas, assumindo o valor de $V_v = 0,030 \text{ m}^3$, enquanto que a razão (V_m/V_g) foi decidida em função dos parâmetros da argamassa, das propriedades reológicas do betão e do grau de auto-compactabilidade pretendido.

Os resultados obtidos no presente trabalho permitiram concluir que o volume de agregados grossos não pode ser definido independentemente das propriedades da argamassa. Mais concretamente, a razão entre os volumes de argamassa e de agregados grossos (V_m/V_g), conducentes à obtenção de determinadas propriedades reológicas e determinado grau de auto-compactabilidade, não poderão ser definidos independentemente da razão entre os volumes de materiais finos e de agregados finos presente na matriz argamassa (V_p/V_s), ainda que estas argamassas apresentem aproximadamente as mesmas propriedades reológicas.

Na tentativa de relacionar (V_p/V_s), (V_m/V_g), as propriedades reológicas do betão e o grau de auto-compactabilidade, procedeu-se a uma análise extensiva dos resultados obtidos experimentalmente. Em consequência dessa análise foi identificado um novo parâmetro, que se designou de número de mistura MN (**M**ixture **N**umber). O número de mistura MN é expresso pelo produto dos parâmetros (V_p/V_s) e (V_m/V_g). A correlação entre o parâmetro MN, os parâmetros reológicos e os parâmetros de auto-compactabilidade foi suportada pelo desenvolvimento de modelos matemáticos que tiveram por base os registos efectuados na análise experimental.

Na ausência de reómetros, foi necessário adoptar uma metodologia, que permitisse avaliar os parâmetros reológicos separadamente dos parâmetros de auto-compactabilidade

dos betões. A metodologia proposta para este trabalho revelou-se suficientemente adequada e ajustada aos objectivos pretendidos. Concretamente, essa abordagem propõe que os parâmetros reológicos sejam avaliados indirectamente através dos ensaios de espalhamento e de fluidez, à semelhança das argamassas, desde que não ocorram fenómenos de segregação e bloqueio da mistura. Uma vez garantido o adequado comportamento reológico das misturas, procede-se aos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” para avaliar as exigências funcionais quanto à auto-compactabilidade.

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que, na ausência de reómetros e mediante determinadas condições de escoamento, a correspondência entre as propriedades reológicas das argamassas e as propriedades reológicas dos betões pode resultar igualmente efectiva, se estas propriedades forem avaliadas em condições de ensaio similares. Por outras palavras, salvaguardando as devidas proporções, a reologia das argamassas e dos betões deverá ser avaliada pelos respectivos ensaios de espalhamento e de fluidez e na ausência de segregação e de bloqueio da mistura.

Os resultados obtidos permitem concluir que os parâmetros T50 e T40 podem ser úteis para avaliar o comportamento reológico do betão fresco auto-compactável, mas não deverão substituir o ensaio do “Funil-V” na fase de estudo da composição. Eventualmente, para o controle de qualidade da produção em obra ou central, não se justificará a utilização de todos os ensaios seleccionados para este trabalho e, nesse caso, os parâmetros T50 ou T40 poderão revelar-se muito úteis se o objectivo for reduzir o número de ensaios.

Em geral, as propriedades das argamassas adequadas à obtenção de betões auto-compactáveis têm sido definidas para volumes aproximadamente constantes de agregados finos e grossos, como sucede, por exemplo, no método proposto por Okamura et al. [11, 35, 47, 51]. A análise experimental efectuada no presente trabalho permitiu concluir que qualquer variação no volume destes materiais poderá obrigar à introdução de pequenas correcções nas dosagens de água e de superplastificante para adequar as propriedades reológicas das argamassas. Não obstante, admitindo que no presente trabalho as correcções de água e de superplastificante efectuadas durante a fase de amassadura

podem ser consideradas desprezáveis, poderá igualmente admitir-se que a correspondência entre as propriedades reológicas das argamassas e as propriedades reológicas dos betões ocorrem independentemente dos valores adoptados para os parâmetros (V_p/V_s) e (V_m/V_g) , desde que estes assumam os valores propostos neste trabalho. O parâmetro (V_p/V_s) variou entre 0,60 e 0,80, enquanto que o parâmetro (V_m/V_g) variou entre 2,00 e 2,60.

A metodologia adoptada no presente trabalho, à semelhança de outras, fixa um intervalo de variação admissível para a capacidade e velocidade de deformação dos betões. Nesta medida, diferentes misturas, com diferentes parâmetros reológicos dentro do “alvo” estabelecido, podem conduzir ao mesmo valor do parâmetro de auto-compactabilidade. Em consequência, poderá concluir-se que a relação entre os parâmetros da composição e os parâmetros de auto-compactabilidade não poderá ser analisada independentemente da capacidade de deformação e da velocidade de deformação. Da mesma forma, a análise da relação entre a reologia e a auto-compactabilidade também não poderá ser efectuada independentemente dos parâmetros da mistura.

De seguida resumem-se algumas das conclusões tidas como mais relevantes no que respeita ao estudo realizado em betões auto-compactáveis do tipo finos:

- No presente trabalho foi utilizada a título experimental uma adição constituída por filer granítico. Na fase de estudo das argamassas a sua utilização mostrou-se adequada e o comportamento de misturas produzidas com esta adição revelou-se promissor, tendo em vista a sua utilização na produção de betões auto-compactáveis. Apesar de terem sido produzidos escassos betões com este material, os resultados obtidos indicam que o filer granítico se revelou adequado, pelo menos em termos físicos, como adição mineral para substituição parcial do cimento na produção de betões auto-compactáveis;

- Em geral, os consumos de superplastificante nos betões que incorporaram filer granítico foram semelhantes aos consumos de superplastificante obtidos nos betões com adições de filer calcário ou cinzas volantes, em condições de escoamento semelhantes;

- Os consumos de água de amassadura em misturas com fíler granítico igualaram os consumos de água das misturas de referência só com cimento, independentemente da percentagem de substituição do cimento pela adição. Sob condições semelhantes, as dosagens de água das misturas que incorporaram fíler granítico superaram sempre os consumos de água das misturas com fíler calcário ou cinzas volantes;

- As adições de fíler calcário e de cinzas volantes utilizadas no presente trabalho como material fino para substituição parcial do cimento, confirmaram a sua utilidade na produção de betões auto-compactáveis do tipo finos;

- A adição de microssílica revelou um desempenho desfavorável na produção de betões auto-compactáveis do tipo finos, na estreita medida em que, mesmo em associações ternárias e utilizando percentagens de substituição muito pequenas (cerca de 5%, em massa), exigiu quantidades muito elevadas de superplastificante, necessárias para se obter as adequadas propriedades reológicas das argamassas;

- Para cada “família de finos”, a razão (V_p/V_s) mostra uma boa correlação com a resistência à compressão. Concretamente, a resistência à compressão aumenta com o aumento da razão (V_p/V_s) segundo uma relação do tipo linear. A gama de variação média da resistência à compressão rondou os 10 MPa, quando os valores de (V_p/V_s) variaram entre os valores mínimo e máximo do intervalo adoptado neste trabalho, ou seja, quando (V_p/V_s) variou entre 0,60 e 0,80. Isto significa que, uma vez conhecida a “família de finos”, é possível prever pequenas variações da resistência à compressão através da razão (V_p/V_s);

- Em associações binárias de materiais finos e para uma mesma “família de argamassas”, o aumento do parâmetro (V_p/V_s) conduz a menores razões volumétricas (V_w/V_p). Por outro lado, para um mesmo valor de (V_p/V_s) e comparando as “famílias de argamassas” com o mesmo tipo de cimento e de adição, a razão (V_w/V_p) diminui com o aumento da percentagem de substituição do cimento por essa adição. Verificou-se também que para uma mesma “família de argamassas”, a dosagem de superplastificante, expressa pelo parâmetro ($S_p/p\%$), não sofre alterações muito significativas com a variação de (V_w/V_p), ou indirectamente, com a variação de (V_p/V_s). Para misturas com o mesmo valor

de (V_p/V_s), o mesmo tipo de cimento e o mesmo tipo de adição, verificou-se que a dosagem de superplastificante, expressa pelo parâmetro ($Sp/p\%$), tende a diminuir quando se aumenta a percentagem de substituição do cimento pela adição. O consumo de superplastificante evidenciou uma boa correlação com consumo de cimento, válida para cada tipo de cimento utilizado;

- No estudo realizado com associações binárias de materiais finos, concluiu-se que as correlações $V_p/V_s = f(W/C)$, $V_w/V_p = f(V_p/V_s)$ e $Sp/p\% = f(V_w/V_p)$ não podem ser generalizadas para diferentes “famílias de argamassas”, mas são efectivas para uma mesma “família de argamassas” e quando se utiliza o mesmo superplastificante. Não obstante, detectou-se um padrão de comportamento comum a todas as famílias de argamassas no que respeita à forma das equações estabelecidas. Esse padrão de comportamento parece ser independente do tipo de cimento, do tipo de adições utilizadas, ou mesmo, do facto de se terem utilizado remessas diferentes do mesmo superplastificante;

- As misturas com igual valor de MN apresentam aproximadamente a mesma proporção entre os componentes sólidos da mistura, mas distinguem-se entre elas por utilizarem “famílias de finos” diferentes e diferentes dosagens de água de amassadura e de superplastificante. Quando o valor do parâmetro MN permanece constante, as alterações na reologia e na auto-compactabilidade resultam basicamente de alterações na composição e volume da pasta incorporada nos betões. Por outro lado, quando o valor do parâmetro MN varia no intervalo definido no presente trabalho (MN entre 1,44 e 1,92), as alterações na reologia e na auto-compactabilidade ocorrem em consequência da alteração simultânea das proporções dos componentes sólidos da mistura e da composição e volume da pasta;

- Quando nenhum dos componentes do betão é modificado, com excepção de alterações muito pequenas das dosagens de água e de superplastificante, ocorre um aumento do valor de (H_2/H_1) ou do valor de (H), com o aumento simultâneo dos parâmetros G_c e R_c , ou seja, com o aumento do diâmetro de espalhamento e redução do tempo de escoamento (Funil-V). Em síntese, um ligeiro aumento das dosagens de água e de superplastificante permite um aumento simultâneo da área relativa de espalhamento G_c e

da velocidade relativa de escoamento R_c , resultando em consequência um ligeiro aumento dos valores de (H_2/H_1) ou de (H) , consoante se trate do ensaio da “Caixa-L” ou da “Caixa”;

- Em misturas diferentes, mas com igual valor de MN , verificou-se que os parâmetros (H_2/H_1) e (H) são influenciados basicamente pela capacidade de deformação. Em síntese, independentemente da constituição dos materiais finos da pasta, existe uma tendência para o aumento dos valores de (H_2/H_1) ou de (H) com o aumento do diâmetro de espalhamento (D_m) , desde que o parâmetro MN se mantenha constante. Em consequência, poderá concluir-se também que auto-compactabilidade, avaliada pelo parâmetro (H_2/H_1) ou pelo parâmetro (H) , evidencia uma maior dependência do volume de materiais finos que da própria constituição desses materiais;

- Os parâmetros (H_2/H_1) ou (H) medidos, respectivamente, nos ensaios da “Caixa-L” e da “Caixa”, podem ser correlacionados com duas outras variáveis, nomeadamente, o diâmetro de espalhamento (D_m) e o número de mistura (MN) . Essa relação foi estabelecida através de modelos matemáticos para ambos os ensaios. O modelo matemático para a “Caixa-L” apresentou um coeficiente de correlação de aproximadamente 0,90, enquanto que para o ensaio da “Caixa” esse valor se situou próximo de 0,68;

- Os modelos matemáticos desenvolvidos para representar o comportamento do betão auto-compactável no estado fresco, quer no ensaio da “Caixa-L”, quer no ensaio da “Caixa”, revelaram-se suficientemente adequados e permitiram, de forma eficaz, isolar o efeito da capacidade de deformação na relação entre o parâmetros da mistura (MN) e os parâmetros de auto-compactabilidade (H_2/H_1) e (H) . Conhecido o valor do parâmetro MN de cada uma das misturas de betão estudadas, os modelos matemáticos permitem estimar os valores de (H_2/H_1) ou (H) dessas misturas, quando estas apresentam em comum o mesmo valor do diâmetro de espalhamento, situado entre os 600 mm e os 700 mm. Por outras palavras, o parâmetro MN apresenta uma boa relação com o parâmetro (H_2/H_1) ou com o parâmetro (H) , quando a capacidade de deformação das misturas permanece constante;

- O conhecimento da relação entre os parâmetros MN , (D_m) e (H_2/H_1) , ou entre os parâmetros MN , (D_m) e (H) , revelou-se útil na definição dos parâmetros da mistura.

Concretamente, conhecido o parâmetro (V_p/V_s) de uma determinada argamassa, facilmente se pode estimar o valor de (V_m/V_g) a adoptar no cálculo do betão, se for conhecido o valor de MN adequado. Dito de outra forma, facilmente se poderia estimar o volume de agregados grossos da mistura adequado especificamente a essa argamassa. Por outro lado, o parâmetro MN depende mais do volume total de finos que da constituição desses finos, o que possibilita a sua utilização independentemente da “família de finos” em estudo;

- Qualitativamente, a análise efectuada permite recomendar que, no estudo dos betões, se adopte um valor de D_m igual ou superior a 630 mm. Na prática, durante a colocação do betão em obra, o valor de D_m poderá situar-se entre os 630 mm e os 700 mm;

- Se o betão for dimensionado para $D_m=630$ mm e admitindo que a auto-compactabilidade é atingida quando $H_2/H_1 \geq 0,80$, poderá concluir-se que o valor mínimo a adoptar para o parâmetro MN deverá ser de 1,70. Isto significa que o produto dos parâmetros (V_p/V_s) e (V_m/V_g) deverá ser igual ou superior a 1,70. Considerando novamente um valor de $D_m=630$ mm e admitindo um valor de $MN \geq 1,70$, conclui-se que a auto-compactabilidade é atingida no ensaio da “Caixa” quando $H \geq 322$ mm, a que corresponde um valor de $H_2/H_1 \geq 0,80$ no ensaio da “Caixa-L”;

- A comparação entre os parâmetros de auto-compactabilidade medidos nos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa” e os valores mínimos desses parâmetros consensualmente admitidos como sendo necessários à obtenção da auto-compactabilidade, permitem verificar que a condição imposta para o ensaio da “Caixa-L” ($H_2/H_1 \geq 0,80$) é mais limitativa que aquela imposta para o ensaio da “Caixa” ($H \geq 300$ mm). Por outras palavras, um betão pode ser auto-compactável de acordo com o critério definido para o ensaio da “Caixa” e não o ser de acordo com o critério especificado para a “Caixa-L”. Em consequência, a análise efectuada permite recomendar que, preferencialmente, a avaliação do grau de auto-compactabilidade seja efectuada com o recurso à “Caixa-L”;

- Sob condições constantes da capacidade de deformação, traduzida por um valor constante do diâmetro de espalhamento, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade no ensaio da “Caixa-L”, expresso pelo parâmetro (H_2/H_1), depende da combinação entre o

volume absoluto de agregados finos na argamassa (V_s/V_m) e o volume absoluto de agregados grossos especificado para o betão (V_g);

- Se for considerado um diâmetro de espalhamento mínimo de 630 mm e um valor de ($H_2/H_1 \geq 0,80$), podem ser definidos limites para as dosagens de agregados grossos e de agregados finos. Independentemente do valor de (V_s/V_m), o parâmetro (H_2/H_1) só será igual ou superior a 0,80 se $V_g \leq 0,313 \text{ m}^3$ ($V_{ap}\% \leq 53,2\%$ ou $V_m/V_g \geq 2,10$). Para este volume de agregados grossos, o parâmetro (V_s/V_m) deverá assumir um valor igual ou inferior a 0,40. Neste caso, se a auto-compactabilidade for obtida para $D_m=630$ mm, ela será automaticamente garantida para diâmetros superiores do intervalo recomendado;

- No balanço efectuado no cálculo do betão, se forem especificados o volume de vazios e os volumes de agregados finos e de agregados grossos da mistura, adequados à obtenção da auto-compactabilidade, obtém-se um único volume de pasta e, neste caso, o volume de materiais finos será ditado pelas propriedades reológicas da pasta. Se for especificado o volume de vazios e se forem garantidas algumas condições quanto às características e proporções entre os agregados finos e os agregados grossos, o volume total da pasta das misturas pode ser especificado como parâmetro de cálculo e, neste caso, as dosagens dos agregados serão consequência da dosagem de pasta. Contudo, também neste caso, o volume de materiais finos será ditado pelas propriedades reológicas da pasta;

- Sob condições constantes da capacidade de deformação e admitindo que as curvas granulométricas do total de agregados não diferem significativamente entre si, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade registado no ensaio da “Caixa-L”, traduzido pelo parâmetro (H_2/H_1), está relacionado com o volume total de materiais finos e com o tipo de ligante utilizado. Independentemente da capacidade de deformação dos betões, ocorre uma convergência entre as correlações obtidas para o cimento CEM II/B-L32,5N e para o cimento CEM I 42,5R, a partir de um valor de $V_p=0,210 \text{ m}^3$. Isto significa que, a partir deste valor, o maior ou menor grau de auto-compactabilidade deixa de depender do tipo de ligante e passa a depender exclusivamente do volume total de materiais finos. Por outro lado, o volume de materiais finos inclui diferentes combinações binárias entre o ligante e as

adições, e este facto parece ser menos relevante para a auto-compactabilidade que o volume total de materiais finos;

- Se for considerado um diâmetro de espalhamento mínimo de 630 mm e um valor de $(H2/H1 \geq 0,80)$, o volume total de materiais finos deverá ser igual ou superior a $0,210 \text{ m}^3$, independentemente do tipo de ligante. Se a auto-compactabilidade for obtida para $D_m=630$ mm, ela será automaticamente obtida para diâmetros superiores do intervalo estabelecido;

- Sob uma capacidade de deformação constante, o valor do percentual de argamassa seca ($A_s\%$) que conduz à auto-compactabilidade ($H2/H1 \geq 0,80$) depende do traço volumétrico dessa argamassa, ou seja, da razão (V_p/V_s). Considerando um diâmetro de espalhamento mínimo de 630 mm e um valor de $(H2/H1 \geq 0,80)$, verifica-se que o percentual mínimo de argamassa seca ($A_s\%$) que conduz à auto-compactabilidade ($H2/H1 \geq 0,80$) será de 61,2% quando $V_p/V_s=0,80$ e de 64,2% quando $V_p/V_s=0,70$. Para os valores avaliados não é possível determinar com precisão o percentual mínimo de argamassa seca para o traço volumétrico $V_p/V_s=0,60$, mas por estimativa esse valor poderá rondar os 68%. Um valor de $A_s\%=68\%$ pode ser considerado muito elevado e, neste caso, recomendar-se-ia a adopção de valores de (V_p/V_s) acima de 0,60;

- As curvas de referência do total de agregados, obtidas em diferentes misturas com o mesmo valor de MN, não diferem significativamente entre si. Nesta medida, todas as misturas com o mesmo valor de MN, podem ser convenientemente representadas pela curva de referência média do total de agregados obtida para esse valor de MN. Quando, por outro lado, se comparam as curvas de referência médias obtidas para diferentes valores de MN, observa-se, como seria de esperar, algumas diferenças entre elas. A sobreposição de todas as curvas de referência médias, obtidas para diferentes valores de MN, permite definir um intervalo granulométrico para o total de agregados, que inclui todos os betões produzidos neste trabalho;

- Os resultados obtidos permitiram identificar uma boa relação entre o parâmetro MN e o valor médio do volume total de agregados do betão (V_s+V_g) que lhe está associado. Em consequência, a auto-compactabilidade pode ser relacionada com o parâmetro MN e

este, por sua vez, permite estimar, não só o volume total de agregados da mistura (V_s+V_g), mas também a curva de referência adequada do total desses agregados;

- Uma das conclusões finais que se oferece como significativa, em resultado da análise efectuada neste trabalho, é que a nova abordagem proposta identifica claramente a interacção entre os diferentes parâmetros da mistura e, concomitantemente, permite, a definição desses parâmetros e a selecção dos materiais em função do nível de resistência à compressão pretendido. Nesta fase inicial do seu desenvolvimento, o procedimento proposto encontra apenas aplicação para os materiais e condições impostas no presente trabalho. Contudo, facilmente pode ser estendido a outros materiais se forem desenvolvidas as correlações adequadas;

- Importa salientar que as conclusões que se apresentaram no presente capítulo resultaram directamente da discussão relativa ao estudo das argamassas e betões e devem por isso ser interpretadas à luz da metodologia adoptada na realização do presente trabalho. A par da metodologia adoptada, deverá igualmente considerar-se o tipo e dimensão dos equipamentos utilizados, os procedimentos de amassadura, os procedimentos de ensaio e a metodologia adoptada na análise e interpretação dos resultados em todas as suas fases.

12.3 – Recomendações para trabalhos futuros

Em resultado das inúmeras contribuições científicas que têm sido publicadas na última década, o “estado da arte” no domínio dos betões auto-compactáveis encontra-se já actualmente a um nível elevado de conhecimento. Apesar disso, tem sido reconhecida a necessidade de se prosseguir a investigação nesta área para que seja possível explorar de forma mais eficiente o grande potencial oferecido pelo betão auto-compactável [67].

As necessidades identificadas requerem investigação fundamental assim como investigação aplicada em praticamente todos os domínios. Refira-se, por exemplo, o estudo de novas adições provenientes de materiais reutilizáveis, o desenvolvimento de novos cimentos e superplastificantes, o ajustamento dos métodos de cálculo das misturas para facilitar a utilização de agregados locais e a adequação das composições às exigências

regulamentares, o estudo e uniformização de ensaios para avaliação das propriedades reológicas e de trabalhabilidade, especificações concretas quanto às exigências das betoneiras, sequência e tempo de mistura, proposta de parâmetros para o controle da produção e de mecanismos de medição “on line” da reologia e trabalhabilidade, avaliação dos aspectos relativos à pressão na cofragem, modelação do escoamento, transporte do betão, inclinações, acabamento da superfície e sistemas de cofragem, avaliação da microestrutura, durabilidade, resistência, retração e fluência do betão endurecido, projectos estruturais e de arquitectura alternativos que promovam as potenciais vantagens do betão auto-compactável e a avaliação de técnicas de reparação e reforço usando este material.

A par dos desenvolvimentos científicos, tem sido referida também a necessidade de serem desenvolvidos esforços em larga escala que envolvam a transferência de tecnologia para o ensino e indústria da construção [67]. As seguintes acções têm sido definidas como adequadas a este propósito: o desenvolvimento de métodos normalizados para ensaio do betão auto-compactável; recomendações de cálculo e formulação de critérios relevantes (donos de obra, autoridades e engenheiros de estruturas); recomendações para o estudo da composição e produção do betão auto-compactável (produtores de betão); recomendações no planeamento da produção e betonagem com o betão auto-compactável (construtores).

Da análise experimental apresentada e discutida no decurso do presente trabalho resultou um contributo para o estudo da composição de betões auto-compactáveis que, em certa medida, responde a algumas das necessidades de investigação identificadas na revisão bibliográfica. Refira-se, a título de exemplo, a utilização de uma nova adição proveniente de desperdícios industriais, a utilização de agregados locais, a simplificação de alguns procedimentos no estudo das argamassas, a comparação de diferentes métodos e equipamentos para avaliação da trabalhabilidade e, mais importante ainda, a adequação dos métodos de estudo da composição existentes, visando o cumprimento de disposições regulamentares, nomeadamente, o cumprimento de determinada resistência à compressão.

No seguimento da investigação relatada nesta tese, apresentam-se de forma muito resumida, alguns dos campos de investigação que potencialmente poderão merecer atenção futura:

- Por opção metodológica, a curva granulométrica dos agregados finos (CRAF) e a curva granulométrica dos agregados grossos (CRAG) foram mantidas constantes em todos os betões produzidos no âmbito do presente trabalho, impossibilitando a avaliação da influência da distribuição granulométrica na auto-compactabilidade. Seria recomendável como trabalho futuro, a produção de betões idênticos com iguais parâmetros da mistura, fazendo variar unicamente a distribuição granulométrica dos agregados finos e grossos. Concomitantemente com a avaliação da distribuição granulométrica deveria ser avaliada a influência na auto-compactabilidade resultante da utilização de agregados com diferentes massas volúmicas e diferentes naturezas (britado ou rolado). Por outro lado, as curvas granulométricas deveriam prever igualmente a variação da máxima dimensão do agregado mais grosso. O objectivo deste estudo seria a optimização das curvas granulométricas de referência dos agregados finos e grossos para a produção de betões auto-compactáveis em função da natureza, massa volúmica e máxima dimensão do agregado mais grosso;

- O método proposto no presente trabalho prevê, nesta primeira fase do seu desenvolvimento, que a máxima dimensão do agregado mais grosso da mistura não ultrapasse os 19,1 mm, enquanto que impõe simultaneamente condições muito exigentes em termos de espaçamento entre varões nos obstáculos colocados nos ensaios de auto-compactabilidade. Prevendo que o betão auto-compactável possa ser aplicado em situações menos exigentes e ciente que isso permitirá certamente aumentar o volume de agregados grossos da mistura e conseqüentemente reduzir o custo do betão, propõe-se que se proceda a estudos laboratoriais nesse sentido. O objectivo deste estudo seria o de avaliar a influência nos parâmetros de auto-compactabilidade (H_2/H_1) e (H) quando se aumenta o espaçamento entre armaduras colocado, respectivamente, nos obstáculos dos ensaios da “Caixa-L” e “Caixa”. Por outro lado ao aumentar o espaçamento entre varões deveria

avaliar-se também a possibilidade de se utilizarem agregados de maiores dimensões, no máximo até os 25,4 mm;

- Reconhecidamente, a massa volúmica dos agregados desempenha um papel significativo na capacidade de deformação dos betões pelo efeito gravítico exercido sobre a mistura por acção do seu peso próprio. Apesar da revisão bibliográfica não ter sido orientada nesse sentido, parecem ser ainda escassos os trabalhos experimentais objectivando a produção de betões auto-compactáveis com agregados leves. Neste caso seria especialmente interessante a realização de estudos relativos à possibilidade de se produzirem betões de enchimento, sem grandes exigências do ponto de vista estrutural, auto-compactáveis ou mesmo auto-nivelantes e de baixo custo. Para esse efeito poderiam testar-se adições resultantes de desperdícios industriais;

- Um dos aspectos que ficou por investigar e que deverá merecer atenção futura, diz respeito à avaliação das propriedades químicas, microestrutura e de durabilidade dos betões auto-compactáveis produzidos com adições de fíler granítico em substituição parcial do cimento. Esta avaliação deverá incluir a análise da interface de ligação entre o agregado e a pasta já que se detectou a presença de alguma argila resultante da alteração dos feldspatos presentes no granito. Por outro lado, se o material se destina a ser usado em betões auto-compactáveis, devem ser avaliadas as possíveis reacções alcali-silica, como sugerem Ho et al. [28]. A variabilidade do fornecimento do material em termos das suas propriedades será igualmente importante, já que se trata de um desperdício industrial;

- Outras adições minerais resultantes de desperdícios industriais deverão ser testadas na produção de betões auto-compactáveis. O efeito sobre a durabilidade dos betões, em consequência das elevadas dosagens de adições minerais normalmente utilizadas em substituição parcial do cimento, deverá igualmente merecer atenção especial;

- O efeito sobre as correlações propostas no âmbito do presente trabalho quando se altera o tipo de superplastificante, concretamente pelos efeitos que poderá induzir na alteração da dosagem de água e, conseqüentemente, na alteração da razão W/C, deverá ser avaliado de modo a testar a aplicabilidade do método proposto;

- Os parâmetros reológicos estabelecidos no presente trabalho com recurso à medição da capacidade de deformação e da velocidade de deformação deverão ser correlacionados com os parâmetros reológicos medidos em reómetros;

- As exigências funcionais da trabalhabilidade dos betões produzidos com base na proposta apresentada deverão ser avaliadas na aplicação prática em situações reais em obra. Outros elementos importantes como a retenção da trabalhabilidade, sequência de amassadura, transporte e colocação em obra deverão ser igualmente avaliados;

- Outros estudos deverão envolver a análise das propriedades do betão endurecido, para além da sua resistência à compressão. Esses estudos passam pela avaliação de propriedades como o módulo de elasticidade, retracção e fluência dos betões produzidos no presente trabalho experimental;

- Tudo indica que os ensaios não destrutivos, tradicionalmente utilizados em betões correntes, encontram também aplicabilidade para estruturas produzidas com betões auto-compactáveis. Não obstante, a presença de uma maior quantidade de materiais finos no betão auto-compactável deixa antever a necessidade de se avaliar cuidadosamente, caso a caso, a aplicabilidade dos diferentes ensaios;

- A modificação aos procedimentos de cálculo de modo a possibilitar a produção de betões com fibras de carbono, têxteis ou metálicas poderá resultar igualmente interessante, em especial tendo em vista a sua utilização em alvenaria armada. A aplicação do betão auto-compactável no reforço de estruturas poderá igualmente merecer atenção especial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ALMEIDA, Ivan R.– Betões de Alta Resistência e Durabilidade, Lisboa, LNEC, 1990.
- [2] BARTOS, P. – An Appraisal of the Orimet Test: As a Method for On-site Assessment of Fresh SCC Concrete, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 121-135.
- [3] BEAUPRÉ, D.; LACOMBE, P.; KHAYAT, K.H. – Laboratory Investigations of Rheological Properties and Scaling Resistance of Air Entrained Self-consolidating Concrete, in «Materials and Structures», vol. 32, April 1999, p. 235-240.
- [4] BUI, V. K. – Test Method Description: Penetration Test of Resistance to Segregation (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 136-138.
- [5] BUI, V. K.; MONTGOMERY, D. - Mixture Proportioning Method for Self-Compacting High Performance Concrete with Minimum Paste Volume, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 373-384.
- [6] BUI, V.K.; MONTGOMERY, D.; HINCZAK, I.; TURNER, K. – Rapid Testing Method for Segregation Resistance of Self-Compacting Concrete, in «Cement and Concrete Research», 32, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 2002, p. 1489-1496.
- [7] BYUN, K.; KIM, J.; SONG, H. – Self-Compacting Concrete in Korea, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 23-33.
- [8] DAVID, J. – Betão Auto-compactável: Notas sobre um conceito que avança, in «1º Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão», vol.1, Junho 2000, p. 267-272.
- [9] DIAS, Nídia Costa – Betão Auto-Compactável Branco, «Dissertação de Mestrado apresentada na FCTUC», Coimbra, Novembro 2002.

- [10] Documents Scientifiques et Techniques – Betons Auto-Plaçants: Recommandations Provisoires, Association Française de Génie Civil, Juillet 2000.
- [11] DOMONE, P. – Mix Design (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 49-65.
- [12] DOMONE, P.; CHAI, H.; JIN, J. - Optimum Mix Proportioning of Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of International Conference on Innovation in Concrete Structures: Design and Construction», Dundee, September 1999. Thomas Telford; London, p 277-285 (citado em [11])
- [13] DOMONE, P.L.J.; JIN, J. – Properties of Mortar for Self-compacting Concrete, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 109-120.
- [14] EDAMATSU, Y.; NISHIDA, N.; OUCHI, M. – A Rational Mix-design Method for Self-Compacting Concrete Considering Interaction Between Coarse Aggregate and Mortar Particles, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 309-320.
- [15] EDAMATSU, Y.; YASUMOTO, A.; MIZUKOSHI, M.; NAGAOKA, S. – Influence of Sand or Gravel Volume on Self-Compactability of Fresh Concrete, in «Proceedings of the Japan Concrete Institute», vol.19, No.1, 1996, p. 37-46 (em Japonês - citado em [35])
- [16] Especificação LNEC E226-1968 – Betão: Ensaio de compressão.
- [17] Especificação LNEC E245-1971 - Inertes para Argamassas e Betões: Análise Granulométrica.
- [18] Especificação LNEC E247-1971 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação da Baridade.
- [19] Especificação LNEC E248-1971 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das Massas Volúmicas e da Absorção de Água de Areias.
- [20] Especificação LNEC E255-1971 – Betões: Preparação de Provetes para Ensaios de Compressão e de Flexão.

- [21] Especificação LNEC E372-1993 – Água de Amassadura para Betões: Características e Verificação da Conformidade.
- [22] Especificação LNEC E374-1993 – Adjuvantes para Argamassas e Betões: Características e Verificação da Conformidade.
- [23] Especificação LNEC E64-1960 - Cimento Portland: Determinação da massa específica.
- [24] FERRARIS, C.F.; BROWER, L.; OZYILDIRIM, C.; DACZKO, J. – Workability of Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of International Symposium on High Performance Concrete», PCI/FHWA/FIB, Orlando, Florida, Sept., 2000, p. 398-407.
- [25] FERRARIS, Chiara F. – Measurement of the Rheological Properties of High Performance Concrete: State of the Art Report, in «Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology», vol. 104, No 5, Sept-Oct., 1999, p. 461-478.
- [26] FERREIRA, Rui M.S. – Betão Auto-Compactável: Metodologia de Composição, «Dissertação de Mestrado apresentada na Universidade do Minho», Guimarães, Julho 2001.
- [27] HIGUCHI, M. – State-of-the-art Report on Manufacturing of Self-Compacting Concrete, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 360-367.
- [28] HO, D.W.S.; SHEINN, A.M.M.; NG, C.C.; TAM, C.T. – The Use of Quarry Dust for SCC Applications, in «Cement and Concrete Research», 32, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 2002, p. 505-511.
- [29] KHAYAT, K. H. – Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete, in «ACI Materials Journal», vol. 96, No 3, May-June 1999, p. 346-353.
- [30] KHAYAT, K.; AITCIN, P. – Use of Self-Consolidating Concrete in Canada – Present Situation and Perspectives, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 11-22.

- [31] KHAYAT, K.; GHEZAL, A.; HADRICHE, M. – Factorial Design Models for Proportioning Self-Consolidating Concrete, in «Materials and Structures», vol. 32, RILEM, Nov.1999, p. 679-686.
- [32] KHAYAT, K.; TANGTERMSIRIKUL, S. – Fresh Concrete Properties (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 17-22.
- [33] LARRARD, François - Structures Granulaires et Formulation des Bétons, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, France, 2000.
- [34] NAGAMOTO, N.; OZAWA, K. – Mixture Proportions of Self-Compacting High Performance Concrete, in « High Performance Concrete: Design and Materials and Recent Advances in Concrete Technology», ACI International, SP-172, 1997, p. 623-636 (citado em [35])
- [35] NAWA, T. ; IZUMI, T. ; EDAMATSU, Y. – State-of-the-art Report on Materials and Design of Self-Compacting Concrete, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August, 1998, p. 160-190.
- [36] NEPOMUCENO, Miguel – Estudo da Composição de Betões, in «Provas de Aptidão Pedagógica e Capacidade Científica», Covilhã, UBI, 1999.
- [37] NEVILLE, A M. – Properties of Concrete, 4ª Edition., London, Longman Group Limited, 1995.
- [38] NOGUCHI, T.; MORI, H. – State-of-the-art Report: Evaluation of Fresh Properties of Self-Compacting Concrete in Laboratory and on Site, in «International Workshop on Self-compacting Concrete», August, 1998, p. 97-110.
- [39] Norma Portuguesa Definitiva – NP 581 – Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das Massas Volúmicas e da Absorção de Água de Britas e Godos. IGPAI, Lisboa, 1969.
- [40] Norma Portuguesa Definitiva – NP 954 – Inertes para Argamassas e Betões: Determinação das Massas Volúmicas e da Absorção de Água de Areias. IGPAI, Lisboa, 1973.

- [41] Norma Portuguesa Definitiva – NP 955 - Inertes para Argamassas e Betões: Determinação da Baridade. IGPAI, Lisboa, 1973.
- [42] Norma Portuguesa NP 2064 – Cimentos. Definições, Composição, Especificações e Critérios de Conformidade, IPQ, 1991.
- [43] Norma Portuguesa NP ENV206: 1993 - Betão: Comportamento, Produção, Colocação e Critérios de Conformidade – Lisboa, Instituto Português da Qualidade, 1993.
- [44] NUNES, S.C.; FIGUEIRAS, J.A.; COUTINHO, J.; SAMPAIO, J. – Betão Auto-Compactável (BAC): Uma Composição, in «Encontro Nacional: Betão Estrutural 2000», Porto, ISBN: 972-752-043-X, Nov. 2000, p. 75-84.
- [45] NUNES, Sandra C.B. – Betão Auto-Compactável: Tecnologia e Propriedades, «Dissertação de Mestrado apresentada na FEUP», Porto, Setembro 2001.
- [46] OKAMURA, H.; OUCHI, M. – Self-Compacting Concrete: Development, Present Use and Future (keynote Lectures), in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 3-14.
- [47] OKAMURA, H.; OZAWA, K.; OUCHI, M. – Self-Compacting Concrete, in «Structural Concrete: Journal of the fib», vol.1, No. 1, Thomas Telford Ltd, March 2000, p. 3-17.
- [48] OLIVEIRA, L.A.P. – Optimização da Composição do Betão Auto-Compactável, in «Encontro Nacional: Betão Estrutural 2000», Porto, ISBN: 972-752-043-X, Nov. 2000, p. 65-74.
- [49] OUCHI, M. – History of Development and applications of Self-Compacting Concrete in Japan, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 1-10.
- [50] OUCHI, M. – State-of-the-art Report: Self-Compactability Evaluation for Mix-Proportioning and Inspection, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 111-120.

- [51] OUCHI, M.; HIBINO, M.; OZAWA, K.; OKAMURA, H. – A Rational Mix-Design Method for Mortar in Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of the Sixth East-Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction», Taipei, Taiwan, 1998, p. 1307-1312
- [52] PELOVA, G.; TAKADA, K.; WALRAVEN, J. - Aspects of the development of Self-Compacting Concrete in the Netherlands, Applying the Japanese Mix-design System. Fracture Mechanics and Physics of Construction Materials and Structures; Andreikiv oy, Luchko JJ, editors, 3rd ed. The national Academy of Sciences of Ukraine, Kamaniyas, 1998 (citado em [11])
- [53] PETERSSON, O. – Applications (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 95-110.
- [54] PETERSSON, O. – Mixing (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 69-76.
- [55] PETERSSON, O. – Test Method Description: L-Shape Box Test (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 126-128.
- [56] PETERSSON, O.; BILLBERG, P. – Investigation on Blocking of Self-Compacting Concrete with Different maximum Aggregate Size and Use of Viscosity Agent Instead of Filler, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 333-344.
- [57] PETERSSON, O.; BILLBERG, P; BUI, V. K. - A model for Self-Compacting Concrete, in «Proceedings of RILEM International Conference on Production Methods and Workability of Fresh Concrete», Paisley, June 1996, Ed. Bartos PJM, Marrs DL, and Cleland DJ, E&FN Spon; London, p 484-492 (citado em [11])
- [58] RIBEIRO, A. B.; VIEIRA, M. - Betões Autocompactáveis: Ganhos Obtidos, in «Engenharia e Vida», Ano I, N.º 7, Nov. 2004, p. 44-46

- [59] SAMPAIO, J.; MOREIRA, J. - Uma Aplicação Especial de Betão Auto-Nivelante, in «Encontro Nacional de Betão estrutural 2000»
- [60] SARI, M.; PRAT, E.; LABASTIRE, F. – High Strength Self-Compacting Concrete: Original Solutions Associating Organic and Inorganic Admixtures, in «Cement and Concrete Research», 29, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 1999, p. 813-818.
- [61] SEDRAN, T.; LARRARD, F. – Optimization of Self-Compacting Concrete Thanks to Packing Model, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 321-332.
- [62] SIKA - Catálogo de Informação Técnica, Sika Industria Química, S.A., Gaia, 2000
- [63] SKARENDAHL, A. – Definitions and Development Objectives (Background Documents), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 3-13.
- [64] SKARENDAHL, A. – Early Age and Hardened Properties (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 43-46.
- [65] SKARENDAHL, A. – Environment (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 91-92.
- [66] SKARENDAHL, A. - Foreword, in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. ix.
- [67] SKARENDAHL, A. – Future Work (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 113-114.
- [68] SKARENDAHL, A. – Report of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Sept., 13-17, 1999, in «Materials and Structures», vol.33, March 2000, p. 143-144.

- [69] SKARENDAHL, A. – Self-Compacting Concrete in Sweden – Research and Application, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 60-71.
- [70] SKARENDAHL, Ake – Self-Compacting Concrete for Improved Productivity, Working Environment and Performance, Swedish Cement and Concrete Research Institute, S-100 44, Stockholm, 1999.
- [71] TAKADA, K. – Placement (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 79-87.
- [72] TAKADA, K. – Test Method Description: Box-Shape Test (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 123-125.
- [73] TAKADA, K. – Test Method Description: Slump-Flow Test (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 117-119.
- [74] TAKADA, K. – Test Method Description: V-Funnel Test (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 120-122.
- [75] TAKADA, K.; PELOVA, G. I.; WALRAVEN, J. C.- Influence of Microfillers on Proportioning of Mortar in Self Compacting Concrete, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 537-548.
- [76] TAKADA, K.; PELOVA, G.; WALRAVEN, J. – Influence of Mixing Efficiency on the Fresh Properties of Self-Compacting Concrete, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 368-383.
- [77] TAKADA, K.; PELOVA, G.; WALRAVEN, J. - The First Trial of Self-Compacting Concrete in The Netherlands According to the Japanese Design Method, in «Proceedings of FIP Congress», Amsterdam, 1998, p. 113-115 (citado em [11])

- [78] TAKADA, K.; TANGTERMSIRIKUL, S. – Testing of Fresh Concrete (Background Document), in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 25-39.
- [79] TANGTERMSIRIKUL, S. – Design and Construction of Self-Compacting Concrete in Thailand, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 72-86.
- [80] TANGTERMSIRIKUL, S.; BUI, V. K. - Blocking Criteria for Aggregate Phase of Self-Compacting High-Performance Concrete, in «Proceedings of Regional Symposium on Infrastructure Development in Civil Thailand Engineering», December, 1995, Bangkok, p. 58-69 (citado em [11])
- [81] WALLEVIK, O.; NIELSSON, I. – Self Compacting Concrete – A Rheological Approach, in «International Workshop on Self-Compacting Concrete», August 1998, p. 136-159.
- [82] WALLEVIK, Ólafur H. - Foreword, in «Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Reykjavik, Iceland, ISBN: 2-912143-42-X, Aug. 17-20, 2003, p. xix
- [83] XIE, Y.; LIU, B.; YIN, J.; ZHOU, S. – Optimum Mix Parameters of High-strength Self-Compacting Concrete With Ultrapulverized Fly Ash, in «Cement and Concrete Research», 32, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 2002, p. 477-480.
- [84] YAMADA, K.; YANAGISAWA, T.; HANEHARA, S. - Influence of Temperature on the Dispersibility of Polycarboxylate Type Superplasticizer for Highly Fluid Concrete, in «Proceedings of the 1st International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 437-448.
- [85] ZAIN, M.F.M.; SAFIUDDIN, M.; YUSOF, K.M. – A Study on the Properties of Freshly Mixed High Performance Concrete, in «Cement and Concrete Research», 29, Pergamon, Elsevier Science Ltd, 1999, p. 1427-1432.

ANEXOS

ANEXO A.1

ESTUDOS EM ARGAMASSAS

ANEXO A.1.1

COMPOSIÇÃO DAS ARGAMASSAS QUE CUMPRIRAM OS PARÂMETROS REOLÓGICOS

Quadro A.1 – Composição da argamassa A.1.0,60.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																															
Identificação da argamassa A.1.0,60.3				Identificação da mistura de finos 100C2				Data 09-03-2004																																																																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,95</td> <td>2,40</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,60	0,95	2,40	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																								
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																													
0,60	0,95	2,40																																																																																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																												
	a1	a2																																																																																																																																													
Percentagem de passados																																																																																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																												
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																												
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																												
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																												
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																												
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																												
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																												
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																												
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																												
Módulos de finura																																																																																																																																															
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,00</td> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																										
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																															
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																															
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																										
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																										
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																															
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>824,7 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">2278,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>257,7 litros</td> <td style="text-align: right;">0,313</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>18,85 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>468,4 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>708,1 kg</td> <td style="text-align: right;">0,313</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	0,0 kg					C2=	824,7 kg					CV=	0,0 kg	Massa total, em kg				MS=	0,0 kg	2278,7				FC=	0,0 kg					FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				W=	257,7 litros	0,313				Sp=	18,85 litros					S1=	468,4 kg	Razão água/finos				S2=	708,1 kg	0,313				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>1,320 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">3,65</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>0,412 litros</td> <td style="text-align: right;">0,313</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>0,030 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>0,749 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1,133 kg</td> <td style="text-align: right;">0,313</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	0,000 kg					C2=	1,320 kg					CV=	0,000 kg	Massa total, em kg				MS=	0,000 kg	3,65				FC=	0,000 kg					FG=	0,000 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				W=	0,412 litros	0,313				Sp=	0,030 litros					S1=	0,749 kg	Razão água/finos				S2=	1,133 kg	0,313			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																															
C1=	0,0 kg																																																																																																																																														
C2=	824,7 kg																																																																																																																																														
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg																																																																																																																																													
MS=	0,0 kg	2278,7																																																																																																																																													
FC=	0,0 kg																																																																																																																																														
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																													
W=	257,7 litros	0,313																																																																																																																																													
Sp=	18,85 litros																																																																																																																																														
S1=	468,4 kg	Razão água/finos																																																																																																																																													
S2=	708,1 kg	0,313																																																																																																																																													
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																															
C1=	0,000 kg																																																																																																																																														
C2=	1,320 kg																																																																																																																																														
CV=	0,000 kg	Massa total, em kg																																																																																																																																													
MS=	0,000 kg	3,65																																																																																																																																													
FC=	0,000 kg																																																																																																																																														
FG=	0,000 kg	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																													
W=	0,412 litros	0,313																																																																																																																																													
Sp=	0,030 litros																																																																																																																																														
S1=	0,749 kg	Razão água/finos																																																																																																																																													
S2=	1,133 kg	0,313																																																																																																																																													

δp=	3040,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,069486 m ³ /m ³
Vp=	0,271286 m ³ /m ³
Vw=	0,257721 m ³ /m ³
Vsp=	0,01885 m ³ /m ³
Vs=	0,452143 m ³ /m ³

Quadro A.2 – Composição da argamassa A.1.0,65.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																															
Identificação da argamassa A.1.0,65.1				Identificação da mistura de finos 100C2				Data 10-03-2004																																																																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,65</td> <td>0,91</td> <td>2,40</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,65	0,91	2,40	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																								
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																													
0,65	0,91	2,40																																																																																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																												
	a1	a2																																																																																																																																													
Percentagem de passados																																																																																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																												
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																												
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																												
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																												
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																												
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																												
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																												
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																												
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																												
Módulos de finura																																																																																																																																															
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,00</td> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																										
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																															
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																															
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																										
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																										
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																															
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>864,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">2281,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>258,7 litros</td> <td style="text-align: right;">0,299</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>19,75 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>453,1 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>684,8 kg</td> <td style="text-align: right;">0,299</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	0,0 kg					C2=	864,1 kg					CV=	0,0 kg	Massa total, em kg				MS=	0,0 kg	2281,5				FC=	0,0 kg					FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				W=	258,7 litros	0,299				Sp=	19,75 litros					S1=	453,1 kg	Razão água/finos				S2=	684,8 kg	0,299				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>1,383 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">3,65</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,000 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,000 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>0,414 litros</td> <td style="text-align: right;">0,299</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>0,032 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>0,725 kg</td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1,096 kg</td> <td style="text-align: right;">0,299</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	0,000 kg					C2=	1,383 kg					CV=	0,000 kg	Massa total, em kg				MS=	0,000 kg	3,65				FC=	0,000 kg					FG=	0,000 kg	Razão água/(mat. cimentícios)				W=	0,414 litros	0,299				Sp=	0,032 litros					S1=	0,725 kg	Razão água/finos				S2=	1,096 kg	0,299			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																															
C1=	0,0 kg																																																																																																																																														
C2=	864,1 kg																																																																																																																																														
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg																																																																																																																																													
MS=	0,0 kg	2281,5																																																																																																																																													
FC=	0,0 kg																																																																																																																																														
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																													
W=	258,7 litros	0,299																																																																																																																																													
Sp=	19,75 litros																																																																																																																																														
S1=	453,1 kg	Razão água/finos																																																																																																																																													
S2=	684,8 kg	0,299																																																																																																																																													
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																															
C1=	0,000 kg																																																																																																																																														
C2=	1,383 kg																																																																																																																																														
CV=	0,000 kg	Massa total, em kg																																																																																																																																													
MS=	0,000 kg	3,65																																																																																																																																													
FC=	0,000 kg																																																																																																																																														
FG=	0,000 kg	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																													
W=	0,414 litros	0,299																																																																																																																																													
Sp=	0,032 litros																																																																																																																																														
S1=	0,725 kg	Razão água/finos																																																																																																																																													
S2=	1,096 kg	0,299																																																																																																																																													

δp=	3040,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,069486 m ³ /m ³
Vp=	0,284257 m ³ /m ³
Vw=	0,258674 m ³ /m ³
Vsp=	0,019752 m ³ /m ³
Vs=	0,437318 m ³ /m ³

Quadro A.3 – Composição da argamassa A.1.0,70.6

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa A.1.0,70.6			Identificação da mistura de finos 100C2			Data 05-03-2004					
Parâmetros da composição											
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%									
0,70	0,86	2,55									
Composição da mistura de finos						Abertura da malha (mm)					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2	Mistura (Curva Real)			
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60				
						Percentagem de passados					
						9,520	100,00	100,00	100,00		
						4,760	100,00	99,94	99,96		
						2,380	99,97	98,56	99,12		
						1,190	99,89	84,75	90,81		
						0,590	91,06	43,13	62,30		
						0,297	48,16	2,97	21,05		
						0,149	11,49	0,21	4,72		
						0,074	2,04	0,05	0,85		
						Resíduo	0,00	0,00	0,00		
						Módulos de finura					
						1,494	2,704	2,220			
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³											
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg						
3140	3040	2380	2170	2720	2650						
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³											
δs1	δs2	---	---	---	---						
2590	2610	---	---	---	---						
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³											
δsp	---	---	---	---	---						
1050	---	---	---	---	---						
						δp= 3040,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,073829 m ³ /m ³ Vp= 0,297407 m ³ /m ³ Vw= 0,25577 m ³ /m ³ Vsp= 0,021957 m ³ /m ³ Vs= 0,424867 m ³ /m ³					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros					
C1=	0,0 kg					C1=	0,000 kg				
C2=	904,1 kg					C2=	1,447 kg				
CV=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>		2288,4		CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>		3,66	
MS=	0,0 kg					MS=	0,000 kg				
FC=	0,0 kg					FC=	0,000 kg				
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		0,283		FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		0,283	
W=	255,8 litros					W=	0,409 litros				
Sp=	21,96 litros					Sp=	0,035 litros				
S1=	440,2 kg	<u>Razão água/finos</u>		0,283		S1=	0,704 kg	<u>Razão água/finos</u>		0,283	
S2=	665,3 kg					S2=	1,065 kg				

Quadro A.4 – Composição da argamassa A.1.0,75.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa A.1.0,75.3			Identificação da mistura de finos 100C2			Data 11-03-2004					
Parâmetros da composição											
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%									
0,75	0,84	2,45									
Composição da mistura de finos						Abertura da malha (mm)					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2	Mistura (Curva Real)			
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	0,60				
						Percentagem de passados					
						9,520	100,00	100,00	100,00		
						4,760	100,00	99,94	99,96		
						2,380	99,97	98,56	99,12		
						1,190	99,89	84,75	90,81		
						0,590	91,06	43,13	62,30		
						0,297	48,16	2,97	21,05		
						0,149	11,49	0,21	4,72		
						0,074	2,04	0,05	0,85		
						Resíduo	0,00	0,00	0,00		
						Módulos de finura					
						1,494	2,704	2,220			
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³											
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg						
3140	3040	2380	2170	2720	2650						
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³											
δs1	δs2	---	---	---	---						
2590	2610	---	---	---	---						
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³											
δsp	---	---	---	---	---						
1050	---	---	---	---	---						
						δp= 3040,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,070933 m ³ /m ³ Vp= 0,308236 m ³ /m ³ Vw= 0,258918 m ³ /m ³ Vsp= 0,021864 m ³ /m ³ Vs= 0,410981 m ³ /m ³					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros					
C1=	0,0 kg					C1=	0,000 kg				
C2=	937,0 kg					C2=	1,499 kg				
CV=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>		2288,3		CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>		3,66	
MS=	0,0 kg					MS=	0,000 kg				
FC=	0,0 kg					FC=	0,000 kg				
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		0,276		FG=	0,000 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		0,276	
W=	258,9 litros					W=	0,414 litros				
Sp=	21,86 litros					Sp=	0,035 litros				
S1=	425,8 kg	<u>Razão água/finos</u>		0,276		S1=	0,681 kg	<u>Razão água/finos</u>		0,276	
S2=	643,6 kg					S2=	1,030 kg				

Quadro A.5 – Composição da argamassa A.1.0,80.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.1.0,80.4				Identificação da mistura de finos 100C2				Data 08-03-2004																																																														
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 967,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 260,9 litros Sp= 23,03 litros S1= 412,1 kg S2= 622,9 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2287,6 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,270 <u>Razão água/finos</u> 0,270 </div> </td> <td style="width: 50%;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,548 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,418 litros Sp= 0,037 litros S1= 0,659 kg S2= 0,997 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,66 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,270 <u>Razão água/finos</u> 0,270 </div> </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 967,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 260,9 litros Sp= 23,03 litros S1= 412,1 kg S2= 622,9 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2287,6 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,270 <u>Razão água/finos</u> 0,270 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,548 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,418 litros Sp= 0,037 litros S1= 0,659 kg S2= 0,997 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,66 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,270 <u>Razão água/finos</u> 0,270 </div>																																																															
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 967,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 260,9 litros Sp= 23,03 litros S1= 412,1 kg S2= 622,9 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2287,6 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,270 <u>Razão água/finos</u> 0,270 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,548 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,418 litros Sp= 0,037 litros S1= 0,659 kg S2= 0,997 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,66 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,270 <u>Razão água/finos</u> 0,270 </div>																																																																					

Quadro A.6 – Composição da argamassa A.2.0,60.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.2.0,60.3				Identificação da mistura de finos 80C2+20FC				Data 15-03-2004																																																														
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,00	0,80	0,00	0,00	0,20	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 670,9 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 150,1 kg FG= 0,0 kg W= 248,3 litros Sp= 16,03 litros S1= 476,4 kg S2= 720,0 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2282,5 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div> </td> <td style="width: 50%;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,074 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,240 kg FG= 0,000 kg W= 0,397 litros Sp= 0,026 litros S1= 0,762 kg S2= 1,152 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,65 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div> </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 670,9 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 150,1 kg FG= 0,0 kg W= 248,3 litros Sp= 16,03 litros S1= 476,4 kg S2= 720,0 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2282,5 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,074 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,240 kg FG= 0,000 kg W= 0,397 litros Sp= 0,026 litros S1= 0,762 kg S2= 1,152 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,65 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>																																																															
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 670,9 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 150,1 kg FG= 0,0 kg W= 248,3 litros Sp= 16,03 litros S1= 476,4 kg S2= 720,0 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 2282,5 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,074 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,240 kg FG= 0,000 kg W= 0,397 litros Sp= 0,026 litros S1= 0,762 kg S2= 1,152 kg <div style="text-align: right;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,65 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>																																																																					

Quadro A.7 – Composição da argamassa A.2.0,65.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS													
Identificação da argamassa A.2.0,65.1			Identificação da mistura de finos 80C2+20FC			Data 18-03-2004							
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2			
0,65	0,85	2,05				0,40	0,60			Percentagem de passados			
Composição da mistura de finos						9,520	100,00	100,00	100,00				
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	4,760	100,00	99,94	99,96				
0,00	0,80	0,00	0,00	0,20	0,00	2,380	99,97	98,56	99,12				
						1,190	99,89	84,75	90,81				
						0,590	91,06	43,13	62,30				
						0,297	48,16	2,97	21,05				
						0,149	11,49	0,21	4,72				
						0,074	2,04	0,05	0,85				
						Resíduo	0,00	0,00	0,00				
						Módulos de finura							
						1,494	2,704	2,220					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2976,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,058103 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,290144 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,246622 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,016858 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,446375 \text{ m}^3/\text{m}^3$							
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}								
3140	3040	2380	2170	2720	2650								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---								
2590	2610	---	---	---	---								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³													
δ_{sp}	---	---	---	---	---								
1050	---	---	---	---	---								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros							
C1=	0,0 kg					C1=	0,000 kg						
C2=	705,6 kg					C2=	1,129 kg						
CV=	0,0 kg		<u>Massa total, em kg</u>			CV=	0,000 kg		<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,0 kg		2289,3			MS=	0,000 kg		3,66				
FC=	157,8 kg					FC=	0,253 kg						
FG=	0,0 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG=	0,000 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W=	246,6 litros		0,350			W=	0,395 litros		0,350				
Sp=	16,86 litros					Sp=	0,027 litros						
S1=	462,4 kg		<u>Razão água/finos</u>			S1=	0,740 kg		<u>Razão água/finos</u>				
S2=	699,0 kg		0,286			S2=	1,118 kg		0,286				

Quadro A.8 – Composição da argamassa A.2.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS													
Identificação da argamassa A.2.0,70.2			Identificação da mistura de finos 80C2+20FC			Data 16-03-2004							
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2			
0,70	0,81	2,10				0,40	0,60			Percentagem de passados			
Composição da mistura de finos						9,520	100,00	100,00	100,00				
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	4,760	100,00	99,94	99,96				
0,00	0,80	0,00	0,00	0,20	0,00	2,380	99,97	98,56	99,12				
						1,190	99,89	84,75	90,81				
						0,590	91,06	43,13	62,30				
						0,297	48,16	2,97	21,05				
						0,149	11,49	0,21	4,72				
						0,074	2,04	0,05	0,85				
						Resíduo	0,00	0,00	0,00				
						Módulos de finura							
						1,494	2,704	2,220					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2976,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,05952 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,303206 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,245597 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,018047 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,433151 \text{ m}^3/\text{m}^3$							
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}								
3140	3040	2380	2170	2720	2650								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---								
2590	2610	---	---	---	---								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³													
δ_{sp}	---	---	---	---	---								
1050	---	---	---	---	---								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros							
C1=	0,0 kg					C1=	0,000 kg						
C2=	737,4 kg					C2=	1,180 kg						
CV=	0,0 kg		<u>Massa total, em kg</u>			CV=	0,000 kg		<u>Massa total, em kg</u>				
MS=	0,0 kg		2293,9			MS=	0,000 kg		3,67				
FC=	164,9 kg					FC=	0,264 kg						
FG=	0,0 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG=	0,000 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W=	245,6 litros		0,333			W=	0,393 litros		0,333				
Sp=	18,05 litros					Sp=	0,029 litros						
S1=	448,7 kg		<u>Razão água/finos</u>			S1=	0,718 kg		<u>Razão água/finos</u>				
S2=	678,3 kg		0,272			S2=	1,085 kg		0,272				

Quadro A.9 – Composição da argamassa A.2.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.2.0,75.2				Identificação da mistura de finos 80C2+20FC				Data 17-03-2004																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,00	0,80	0,00	0,00	0,20	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 764,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 171,0 kg FG= 0,0 kg W= 248,3 litros Sp= 18,26 litros S1= 434,2 kg S2= 656,3 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 2293,4</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,325</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,265</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 1,223 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,274 kg FG= 0,000 kg W= 0,397 litros Sp= 0,029 litros S1= 0,695 kg S2= 1,050 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 3,67</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,325</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,265</p> </td> </tr> </table>						<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 764,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 171,0 kg FG= 0,0 kg W= 248,3 litros Sp= 18,26 litros S1= 434,2 kg S2= 656,3 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 2293,4</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,325</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,265</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 1,223 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,274 kg FG= 0,000 kg W= 0,397 litros Sp= 0,029 litros S1= 0,695 kg S2= 1,050 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 3,67</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,325</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,265</p>																																																														
<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 764,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 171,0 kg FG= 0,0 kg W= 248,3 litros Sp= 18,26 litros S1= 434,2 kg S2= 656,3 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 2293,4</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,325</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,265</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 1,223 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,274 kg FG= 0,000 kg W= 0,397 litros Sp= 0,029 litros S1= 0,695 kg S2= 1,050 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 3,67</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,325</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,265</p>																																																																				
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/Vp= 0,058103 m³/m³ Vp= 0,314323 m³/m³ Vw= 0,248316 m³/m³ Vsp= 0,018263 m³/m³ Vs= 0,419098 m³/m³</p> </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>						<p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/Vp= 0,058103 m³/m³ Vp= 0,314323 m³/m³ Vw= 0,248316 m³/m³ Vsp= 0,018263 m³/m³ Vs= 0,419098 m³/m³</p>																																																															
<p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/Vp= 0,058103 m³/m³ Vp= 0,314323 m³/m³ Vw= 0,248316 m³/m³ Vsp= 0,018263 m³/m³ Vs= 0,419098 m³/m³</p>																																																																					

Quadro A.10 – Composição da argamassa A.2.0,80.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.2.0,80.1				Identificação da mistura de finos 80C2+20FC				Data 16-03-2004																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,00	0,80	0,00	0,00	0,20	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 792,3 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 177,2 kg FG= 0,0 kg W= 247,6 litros Sp= 19,39 litros S1= 421,9 kg S2= 637,7 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 2297,1</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,313</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,255</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 1,268 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,284 kg FG= 0,000 kg W= 0,396 litros Sp= 0,031 litros S1= 0,675 kg S2= 1,020 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 3,68</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,313</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,255</p> </td> </tr> </table>						<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 792,3 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 177,2 kg FG= 0,0 kg W= 247,6 litros Sp= 19,39 litros S1= 421,9 kg S2= 637,7 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 2297,1</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,313</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,255</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 1,268 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,284 kg FG= 0,000 kg W= 0,396 litros Sp= 0,031 litros S1= 0,675 kg S2= 1,020 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 3,68</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,313</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,255</p>																																																														
<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 792,3 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 177,2 kg FG= 0,0 kg W= 247,6 litros Sp= 19,39 litros S1= 421,9 kg S2= 637,7 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 2297,1</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,313</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,255</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 1,268 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,284 kg FG= 0,000 kg W= 0,396 litros Sp= 0,031 litros S1= 0,675 kg S2= 1,020 kg</p> <p style="text-align: right;">Massa total, em kg 3,68</p> <p style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,313</p> <p style="text-align: right;">Razão água/finos 0,255</p>																																																																				
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/Vp= 0,05952 m³/m³ Vp= 0,325784 m³/m³ Vw= 0,247596 m³/m³ Vsp= 0,019391 m³/m³ Vs= 0,40723 m³/m³</p> </td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> </table>						<p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/Vp= 0,05952 m³/m³ Vp= 0,325784 m³/m³ Vw= 0,247596 m³/m³ Vsp= 0,019391 m³/m³ Vs= 0,40723 m³/m³</p>																																																															
<p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/Vp= 0,05952 m³/m³ Vp= 0,325784 m³/m³ Vw= 0,247596 m³/m³ Vsp= 0,019391 m³/m³ Vs= 0,40723 m³/m³</p>																																																																					

Quadro A.11 – Composição da argamassa A.3.0,60.6

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS													
Identificação da argamassa A.3.0,60.6			Identificação da mistura de finos 80C2+20FG			Data 23-03-2004							
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2			
0,60	0,95	2,10				0,40	0,60						
Composição da mistura de finos						Percentagem de passados							
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,20	4,760	100,00	99,94	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96
						2,380	99,97	98,56	99,12	99,12	99,12	99,12	99,12
						1,190	99,89	84,75	90,81	90,81	90,81	90,81	90,81
						0,590	91,06	43,13	62,30	62,30	62,30	62,30	62,30
						0,297	48,16	2,97	21,05	21,05	21,05	21,05	21,05
						0,149	11,49	0,21	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
						0,074	2,04	0,05	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
						Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						Módulos de finura							
						1,494	2,704	2,220					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2962,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,05924 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,272042 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,25844 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,016116 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,453403 \text{ m}^3/\text{m}^3$							
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}								
3140	3040	2380	2170	2720	2650								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---								
2590	2610	---	---	---	---								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³													
δ_{sp}	---	---	---	---	---								
1050	---	---	---	---	---								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros							
C1= 0,0 kg						C1= 0,000 kg							
C2= 661,6 kg						C2= 1,059 kg							
CV= 0,0 kg			<u>Massa total em kg</u>			CV= 0,000 kg			<u>Massa total em kg</u>				
MS= 0,0 kg			2260,9			MS= 0,000 kg			3,62				
FC= 0,0 kg						FC= 0,000 kg							
FG= 144,2 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG= 0,231 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W= 258,4 litros			0,391			W= 0,414 litros			0,391				
Sp= 16,12 litros						Sp= 0,026 litros							
S1= 469,7 kg			<u>Razão água/finos</u>			S1= 0,752 kg			<u>Razão água/finos</u>				
S2= 710,0 kg			0,321			S2= 1,136 kg			0,321				

Quadro A.12 – Composição da argamassa A.3.0,65.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS													
Identificação da argamassa A.3.0,65.2			Identificação da mistura de finos 80C2+20FG			Data 25-03-2004							
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2			
0,65	0,91	2,10				0,40	0,60						
Composição da mistura de finos						Percentagem de passados							
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	9,520	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,20	4,760	100,00	99,94	99,96	99,96	99,96	99,96	99,96
						2,380	99,97	98,56	99,12	99,12	99,12	99,12	99,12
						1,190	99,89	84,75	90,81	90,81	90,81	90,81	90,81
						0,590	91,06	43,13	62,30	62,30	62,30	62,30	62,30
						0,297	48,16	2,97	21,05	21,05	21,05	21,05	21,05
						0,149	11,49	0,21	4,72	4,72	4,72	4,72	4,72
						0,074	2,04	0,05	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85
						Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
						Módulos de finura							
						1,494	2,704	2,220					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2962,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,05924 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,285087 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,259429 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,016889 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,438595 \text{ m}^3/\text{m}^3$							
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}								
3140	3040	2380	2170	2720	2650								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---								
2590	2610	---	---	---	---								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³													
δ_{sp}	---	---	---	---	---								
1050	---	---	---	---	---								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros							
C1= 0,0 kg						C1= 0,000 kg							
C2= 693,3 kg						C2= 1,109 kg							
CV= 0,0 kg			<u>Massa total em kg</u>			CV= 0,000 kg			<u>Massa total em kg</u>				
MS= 0,0 kg			2262,8			MS= 0,000 kg			3,62				
FC= 0,0 kg						FC= 0,000 kg							
FG= 151,1 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG= 0,242 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W= 259,4 litros			0,374			W= 0,415 litros			0,374				
Sp= 16,89 litros						Sp= 0,027 litros							
S1= 454,4 kg			<u>Razão água/finos</u>			S1= 0,727 kg			<u>Razão água/finos</u>				
S2= 686,8 kg			0,307			S2= 1,099 kg			0,307				

Quadro A.13 – Composição da argamassa A.3.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.3.0,70.2				Identificação da mistura de finos 80C2+20FG				Data 24-03-2004																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,20																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
<table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 724,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 157,8 kg W= 259,0 litros Sp= 18,05 litros S1= 440,6 kg S2= 666,0 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2266,2 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358 <u>Razão água/finos</u> 0,294 </div> </td> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,158 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,252 kg W= 0,414 litros Sp= 0,029 litros S1= 0,705 kg S2= 1,066 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,63 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358 <u>Razão água/finos</u> 0,294 </div> </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 724,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 157,8 kg W= 259,0 litros Sp= 18,05 litros S1= 440,6 kg S2= 666,0 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2266,2 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358 <u>Razão água/finos</u> 0,294 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,158 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,252 kg W= 0,414 litros Sp= 0,029 litros S1= 0,705 kg S2= 1,066 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,63 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358 <u>Razão água/finos</u> 0,294 </div>																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 724,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 157,8 kg W= 259,0 litros Sp= 18,05 litros S1= 440,6 kg S2= 666,0 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2266,2 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358 <u>Razão água/finos</u> 0,294 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,158 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,252 kg W= 0,414 litros Sp= 0,029 litros S1= 0,705 kg S2= 1,066 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,63 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358 <u>Razão água/finos</u> 0,294 </div>																																																																				

δp= 2962,00 kg/m ³
Vsp/Vp= 0,06065 m ³ /m ³
Vp= 0,297688 m ³ /m ³
Vw= 0,258989 m ³ /m ³
Vsp= 0,018055 m ³ /m ³
Vs= 0,425269 m ³ /m ³

Quadro A.14 – Composição da argamassa A.3.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.3.0,75.2				Identificação da mistura de finos 80C2+20FG				Data 25-03-2004																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,20																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
<table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 752,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 163,9 kg W= 259,7 litros Sp= 18,75 litros S1= 427,1 kg S2= 645,6 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2268,1 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,345 <u>Razão água/finos</u> 0,284 </div> </td> <td style="width:50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,203 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,262 kg W= 0,416 litros Sp= 0,030 litros S1= 0,683 kg S2= 1,033 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,63 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,345 <u>Razão água/finos</u> 0,284 </div> </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 752,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 163,9 kg W= 259,7 litros Sp= 18,75 litros S1= 427,1 kg S2= 645,6 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2268,1 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,345 <u>Razão água/finos</u> 0,284 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,203 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,262 kg W= 0,416 litros Sp= 0,030 litros S1= 0,683 kg S2= 1,033 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,63 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,345 <u>Razão água/finos</u> 0,284 </div>																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 752,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 163,9 kg W= 259,7 litros Sp= 18,75 litros S1= 427,1 kg S2= 645,6 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2268,1 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,345 <u>Razão água/finos</u> 0,284 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,203 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,262 kg W= 0,416 litros Sp= 0,030 litros S1= 0,683 kg S2= 1,033 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,63 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,345 <u>Razão água/finos</u> 0,284 </div>																																																																				

δp= 2962,00 kg/m ³
Vsp/Vp= 0,06065 m ³ /m ³
Vp= 0,309216 m ³ /m ³
Vw= 0,259742 m ³ /m ³
Vsp= 0,018754 m ³ /m ³
Vs= 0,412288 m ³ /m ³

Quadro A.15 – Composição da argamassa A.3.0,80.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação da argamassa A.3.0,80.1			Identificação da mistura de finos 80C2+20FG			Data 23-03-2004								
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2				
0,80	0,82	2,15				0,40	0,60							
Composição da mistura de finos						Percentagem de passados								
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	9,520	100,00	100,00	100,00					
0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,20	4,760	100,00	99,94	99,96					
						2,380	99,97	98,56	99,12					
						1,190	99,89	84,75	90,81					
						0,590	91,06	43,13	62,30					
						0,297	48,16	2,97	21,05					
						0,149	11,49	0,21	4,72					
						0,074	2,04	0,05	0,85					
						Resíduo	0,00	0,00	0,00					
						Módulos de finura								
						1,494	2,704	2,220						
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2962,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,06065 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,319422 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,261926 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,019373 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,399278 \text{ m}^3/\text{m}^3$								
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}									
3140	3040	2380	2170	2720	2650									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³														
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---									
2590	2610	---	---	---	---									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³														
δ_{sp}	---	---	---	---	---									
1050	---	---	---	---	---									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros								
C1=	0,0 kg					C1=	0,000 kg							
C2=	776,8 kg					C2=	1,243 kg							
CV=	0,0 kg		<u>Massa total, em kg</u>			CV=	0,000 kg		<u>Massa total, em kg</u>					
MS=	0,0 kg		2267,3			MS=	0,000 kg		3,63					
FC=	0,0 kg					FC=	0,000 kg							
FG=	169,3 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG=	0,271 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>					
W=	261,9 litros		0,337			W=	0,419 litros		0,337					
Sp=	19,37 litros					Sp=	0,031 litros							
S1=	413,7 kg		<u>Razão água/finos</u>			S1=	0,662 kg		<u>Razão água/finos</u>					
S2=	625,3 kg		0,277			S2=	1,000 kg		0,277					

Quadro A.16 – Composição da argamassa A.4.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação da argamassa A.4.0,60.2			Identificação da mistura de finos 80C2+20CV			Data 29-03-2004								
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2				
0,60	0,89	2,05				0,40	0,60							
Composição da mistura de finos						Percentagem de passados								
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	9,520	100,00	100,00	100,00					
0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	4,760	100,00	99,94	99,96					
						2,380	99,97	98,56	99,12					
						1,190	99,89	84,75	90,81					
						0,590	91,06	43,13	62,30					
						0,297	48,16	2,97	21,05					
						0,149	11,49	0,21	4,72					
						0,074	2,04	0,05	0,85					
						Resíduo	0,00	0,00	0,00					
						Módulos de finura								
						1,494	2,704	2,220						
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2908,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,056775 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,276744 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,246303 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,015712 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,461241 \text{ m}^3/\text{m}^3$								
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}									
3140	3040	2380	2170	2720	2650									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³														
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---									
2590	2610	---	---	---	---									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³														
δ_{sp}	---	---	---	---	---									
1050	---	---	---	---	---									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros								
C1=	0,0 kg					C1=	0,000 kg							
C2=	673,0 kg					C2=	1,077 kg							
CV=	131,7 kg		<u>Massa total, em kg</u>			CV=	0,211 kg		<u>Massa total, em kg</u>					
MS=	0,0 kg		2267,7			MS=	0,000 kg		3,63					
FC=	0,0 kg					FC=	0,000 kg							
FG=	0,0 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG=	0,000 kg		<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>					
W=	246,3 litros		0,306			W=	0,394 litros		0,306					
Sp=	15,71 litros					Sp=	0,025 litros							
S1=	477,8 kg		<u>Razão água/finos</u>			S1=	0,765 kg		<u>Razão água/finos</u>					
S2=	722,3 kg		0,306			S2=	1,156 kg		0,306					

Quadro A.17 – Composição da argamassa A.4.0,65.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.4.0,65.2				Identificação da mistura de finos 80C2+20CV				Data 31-03-2004																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 708,0 kg CV= 138,6 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 244,5 litros Sp= 16,53 litros S1= 464,0 kg S2= 701,3 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2273,7 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,289 <u>Razão água/finos</u> 0,289 </div> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,133 kg CV= 0,222 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,391 litros Sp= 0,026 litros S1= 0,742 kg S2= 1,122 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,64 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,289 <u>Razão água/finos</u> 0,289 </div> </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 708,0 kg CV= 138,6 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 244,5 litros Sp= 16,53 litros S1= 464,0 kg S2= 701,3 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2273,7 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,289 <u>Razão água/finos</u> 0,289 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,133 kg CV= 0,222 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,391 litros Sp= 0,026 litros S1= 0,742 kg S2= 1,122 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,64 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,289 <u>Razão água/finos</u> 0,289 </div>																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 708,0 kg CV= 138,6 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 244,5 litros Sp= 16,53 litros S1= 464,0 kg S2= 701,3 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2273,7 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,289 <u>Razão água/finos</u> 0,289 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,133 kg CV= 0,222 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,391 litros Sp= 0,026 litros S1= 0,742 kg S2= 1,122 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,64 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,289 <u>Razão água/finos</u> 0,289 </div>																																																																				

Quadro A.18 – Composição da argamassa A.4.0,70.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.4.0,70.3				Identificação da mistura de finos 80C2+20CV				Data 30-03-2004																																																													
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 737,7 kg CV= 144,4 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 245,7 litros Sp= 17,64 litros S1= 448,9 kg S2= 678,6 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2273,8 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,180 kg CV= 0,231 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,393 litros Sp= 0,028 litros S1= 0,718 kg S2= 1,086 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,64 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div> </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 737,7 kg CV= 144,4 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 245,7 litros Sp= 17,64 litros S1= 448,9 kg S2= 678,6 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2273,8 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,180 kg CV= 0,231 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,393 litros Sp= 0,028 litros S1= 0,718 kg S2= 1,086 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,64 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div>																																																														
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 737,7 kg CV= 144,4 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 245,7 litros Sp= 17,64 litros S1= 448,9 kg S2= 678,6 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2273,8 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div>	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,000 kg C2= 1,180 kg CV= 0,231 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 0,393 litros Sp= 0,028 litros S1= 0,718 kg S2= 1,086 kg <div style="text-align: right; margin-top: 10px;"> <u>Massa total, em kg</u> 3,64 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div>																																																																				

Quadro A.19 – Composição da argamassa A.4.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS													
Identificação da argamassa A.4.0,75.2			Identificação da mistura de finos 80C2+20CV			Data 30-03-2004							
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2			
0,75	0,78	2,10				0,40	0,60			Percentagem de passados			
Composição da mistura de finos						9,520	100,00	100,00	100,00				
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	4,760	100,00	99,94	99,96				
0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	2,380	99,97	98,56	99,12				
						1,190	99,89	84,75	90,81				
						0,590	91,06	43,13	62,30				
						0,297	48,16	2,97	21,05				
						0,149	11,49	0,21	4,72				
						0,074	2,04	0,05	0,85				
						Resíduo	0,00	0,00	0,00				
						Módulos de finura							
						1,494	2,704	2,220					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2908,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,05816 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,315309 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,245941 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,018338 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,420412 \text{ m}^3/\text{m}^3$							
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}								
3140	3040	2380	2170	2720	2650								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---								
2590	2610	---	---	---	---								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³													
δ_{sp}	---	---	---	---	---								
1050	---	---	---	---	---								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros							
C1= 0,0 kg						C1= 0,000 kg							
C2= 766,8 kg						C2= 1,227 kg							
CV= 150,1 kg			<u>Massa total em kg</u>			CV= 0,240 kg			<u>Massa total em kg</u>				
MS= 0,0 kg			2276,0			MS= 0,000 kg			3,64				
FC= 0,0 kg						FC= 0,000 kg							
FG= 0,0 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG= 0,000 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W= 245,9 litros			0,268			W= 0,394 litros			0,268				
Sp= 18,34 litros						Sp= 0,029 litros							
S1= 435,5 kg			<u>Razão água/finos</u>			S1= 0,697 kg			<u>Razão água/finos</u>				
S2= 658,4 kg			0,268			S2= 1,053 kg			0,268				

Quadro A.20 – Composição da argamassa A.4.0,80.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS													
Identificação da argamassa A.4.0,80.3			Identificação da mistura de finos 80C2+20CV			Data 29-03-2004							
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Areia01		Areia05		Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%							a1	a2			
0,80	0,76	2,10				0,40	0,60			Percentagem de passados			
Composição da mistura de finos						9,520	100,00	100,00	100,00				
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	4,760	100,00	99,94	99,96				
0,00	0,80	0,20	0,00	0,00	0,00	2,380	99,97	98,56	99,12				
						1,190	99,89	84,75	90,81				
						0,590	91,06	43,13	62,30				
						0,297	48,16	2,97	21,05				
						0,149	11,49	0,21	4,72				
						0,074	2,04	0,05	0,85				
						Resíduo	0,00	0,00	0,00				
						Módulos de finura							
						1,494	2,704	2,220					
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³						$\delta_p = 2908,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,05816 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,325928 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,247705 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,018956 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,40741 \text{ m}^3/\text{m}^3$							
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}	δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}								
3140	3040	2380	2170	2720	2650								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---								
2590	2610	---	---	---	---								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³													
δ_{sp}	---	---	---	---	---								
1050	---	---	---	---	---								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros							
C1= 0,0 kg						C1= 0,000 kg							
C2= 792,7 kg						C2= 1,268 kg							
CV= 155,1 kg			<u>Massa total em kg</u>			CV= 0,248 kg			<u>Massa total em kg</u>				
MS= 0,0 kg			2275,5			MS= 0,000 kg			3,64				
FC= 0,0 kg						FC= 0,000 kg							
FG= 0,0 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>			FG= 0,000 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				
W= 247,7 litros			0,261			W= 0,396 litros			0,261				
Sp= 18,96 litros						Sp= 0,030 litros							
S1= 422,1 kg			<u>Razão água/finos</u>			S1= 0,675 kg			<u>Razão água/finos</u>				
S2= 638,0 kg			0,261			S2= 1,021 kg			0,261				

Quadro A.21 – Composição da argamassa A.5.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.5.0,60.2				Identificação da mistura de finos 100C1				Data 05-04-2004																																																																																																																																																																																																															
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,98</td> <td>3,00</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,60	0,98	3,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
0,60	0,98	3,00																																																																																																																																																																																																																					
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																																																				
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																		
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>840,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>262,3 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>24,01 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>462,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>698,5 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2288,5</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,312</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,312</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	840,4 kg					C2=	0,0 kg					CV=	0,0 kg					MS=	0,0 kg					FC=	0,0 kg					FG=	0,0 kg					W=	262,3 litros					Sp=	24,01 litros					S1=	462,1 kg					S2=	698,5 kg							<u>Massa total, em kg</u>						2288,5							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,312							<u>Razão água/finos</u>						0,312		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>1344,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>419,7 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>38,42 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>739,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1117,7 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3661,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,312</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,312</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	1344,6 g					C2=	0,0 g					CV=	0,0 g					MS=	0,0 g					FC=	0,0 g					FG=	0,0 g					W=	419,7 ml					Sp=	38,42 ml					S1=	739,4 g					S2=	1117,7 g							<u>Massa total, em g</u>						3661,7							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,312							<u>Razão água/finos</u>						0,312	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	840,4 kg																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
W=	262,3 litros																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	24,01 litros																																																																																																																																																																																																																						
S1=	462,1 kg																																																																																																																																																																																																																						
S2=	698,5 kg																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																					
		2288,5																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,312																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,312																																																																																																																																																																																																																			
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	1344,6 g																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
W=	419,7 ml																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	38,42 ml																																																																																																																																																																																																																						
S1=	739,4 g																																																																																																																																																																																																																						
S2=	1117,7 g																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																																																																																																																					
		3661,7																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,312																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,312																																																																																																																																																																																																																			

δp=	3140,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,089714 m ³ /m ³
Vp=	0,267639 m ³ /m ³
Vw=	0,262286 m ³ /m ³
Vsp=	0,024011 m ³ /m ³
Vs=	0,446064 m ³ /m ³

Quadro A.22 – Composição da argamassa A.5.0,65.5

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.5.0,65.5				Identificação da mistura de finos 100C1				Data 06-04-2004																																																																																																																																																																																																															
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,65</td> <td>0,93</td> <td>3,10</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,65	0,93	3,10	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
0,65	0,93	3,10																																																																																																																																																																																																																					
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																																																				
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																		
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>881,7 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>261,2 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>26,03 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>447,6 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>676,5 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2294,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,296</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,296</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	881,7 kg					C2=	0,0 kg					CV=	0,0 kg					MS=	0,0 kg					FC=	0,0 kg					FG=	0,0 kg					W=	261,2 litros					Sp=	26,03 litros					S1=	447,6 kg					S2=	676,5 kg							<u>Massa total, em kg</u>						2294,3							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,296							<u>Razão água/finos</u>						0,296		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>1410,8 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>417,8 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>41,65 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>716,1 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1082,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3670,9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,296</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,296</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	1410,8 g					C2=	0,0 g					CV=	0,0 g					MS=	0,0 g					FC=	0,0 g					FG=	0,0 g					W=	417,8 ml					Sp=	41,65 ml					S1=	716,1 g					S2=	1082,4 g							<u>Massa total, em g</u>						3670,9							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,296							<u>Razão água/finos</u>						0,296	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	881,7 kg																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
W=	261,2 litros																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	26,03 litros																																																																																																																																																																																																																						
S1=	447,6 kg																																																																																																																																																																																																																						
S2=	676,5 kg																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																					
		2294,3																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,296																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,296																																																																																																																																																																																																																			
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	1410,8 g																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
W=	417,8 ml																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	41,65 ml																																																																																																																																																																																																																						
S1=	716,1 g																																																																																																																																																																																																																						
S2=	1082,4 g																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																																																																																																																					
		3670,9																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,296																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,296																																																																																																																																																																																																																			

δp=	3140,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,092705 m ³ /m ³
Vp=	0,280807 m ³ /m ³
Vw=	0,26115 m ³ /m ³
Vsp=	0,026032 m ³ /m ³
Vs=	0,432011 m ³ /m ³

Quadro A.23 – Composição da argamassa A.5.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa A.5.0,70.2			Identificação da mistura de finos 100C1			Data 06-04-2004																																																																								
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,90</td> <td>3,10</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,70	0,90	3,10				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,70	0,90	3,10																																																																												
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2																																																																												
	0,40	0,60																																																																												
Percentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																											
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																											
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																											
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																											
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																																											
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																													
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																													
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																													
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>3140,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,092705 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,292289 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,26306 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,027097 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,417555 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	3140,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,092705 m ³ /m ³	Vp=	0,292289 m ³ /m ³	Vw=	0,26306 m ³ /m ³	Vsp=	0,027097 m ³ /m ³	Vs=	0,417555 m ³ /m ³																																											
δsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
δp=	3140,00 kg/m ³																																																																													
Vsp/Vp=	0,092705 m ³ /m ³																																																																													
Vp=	0,292289 m ³ /m ³																																																																													
Vw=	0,26306 m ³ /m ³																																																																													
Vsp=	0,027097 m ³ /m ³																																																																													
Vs=	0,417555 m ³ /m ³																																																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="3">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td colspan="3">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>917,8 kg</td> <td></td> <td>C1=</td> <td>1468,5 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td><u>Massa total, em kg</u></td> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td><u>Massa total, em g</u></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td>2295,8</td> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td>3673,2</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>263,1 litros</td> <td>0,287</td> <td>W=</td> <td>420,9 ml</td> <td>0,287</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>27,10 litros</td> <td></td> <td>Sp=</td> <td>43,35 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>432,6 kg</td> <td><u>Razão água/finos</u></td> <td>S1=</td> <td>692,1 g</td> <td><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>653,9 kg</td> <td>0,287</td> <td>S2=</td> <td>1046,2 g</td> <td>0,287</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			C1=	917,8 kg		C1=	1468,5 g		C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g		CV=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV=	0,0 g	<u>Massa total, em g</u>	MS=	0,0 kg	2295,8	MS=	0,0 g	3673,2	FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g		FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FG=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	W=	263,1 litros	0,287	W=	420,9 ml	0,287	Sp=	27,10 litros		Sp=	43,35 ml		S1=	432,6 kg	<u>Razão água/finos</u>	S1=	692,1 g	<u>Razão água/finos</u>	S2=	653,9 kg	0,287	S2=	1046,2 g	0,287							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																											
C1=	917,8 kg		C1=	1468,5 g																																																																										
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																																										
CV=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV=	0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																									
MS=	0,0 kg	2295,8	MS=	0,0 g	3673,2																																																																									
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g																																																																										
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FG=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																									
W=	263,1 litros	0,287	W=	420,9 ml	0,287																																																																									
Sp=	27,10 litros		Sp=	43,35 ml																																																																										
S1=	432,6 kg	<u>Razão água/finos</u>	S1=	692,1 g	<u>Razão água/finos</u>																																																																									
S2=	653,9 kg	0,287	S2=	1046,2 g	0,287																																																																									

Quadro A.24 – Composição da argamassa A.5.0,75.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa A.5.0,75.4			Identificação da mistura de finos 100C1			Data 15-04-2004																																																																								
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,87</td> <td>3,30</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,75	0,87	3,30				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,75	0,87	3,30																																																																												
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2																																																																												
	0,40	0,60																																																																												
Percentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																											
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																											
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																											
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																											
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																																											
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																													
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																													
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																													
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>3140,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,098686 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,302845 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,263475 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,029886 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,403793 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	3140,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,098686 m ³ /m ³	Vp=	0,302845 m ³ /m ³	Vw=	0,263475 m ³ /m ³	Vsp=	0,029886 m ³ /m ³	Vs=	0,403793 m ³ /m ³																																											
δsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
δp=	3140,00 kg/m ³																																																																													
Vsp/Vp=	0,098686 m ³ /m ³																																																																													
Vp=	0,302845 m ³ /m ³																																																																													
Vw=	0,263475 m ³ /m ³																																																																													
Vsp=	0,029886 m ³ /m ³																																																																													
Vs=	0,403793 m ³ /m ³																																																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td colspan="3">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td colspan="3">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>950,9 kg</td> <td></td> <td>C1=</td> <td>1521,5 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td><u>Massa total, em kg</u></td> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td><u>Massa total, em g</u></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td>2296,5</td> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td>3674,3</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>263,5 litros</td> <td>0,277</td> <td>W=</td> <td>421,6 ml</td> <td>0,277</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>29,89 litros</td> <td></td> <td>Sp=</td> <td>47,82 ml</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>418,3 kg</td> <td><u>Razão água/finos</u></td> <td>S1=</td> <td>669,3 g</td> <td><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>632,3 kg</td> <td>0,277</td> <td>S2=</td> <td>1011,7 g</td> <td>0,277</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			C1=	950,9 kg		C1=	1521,5 g		C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g		CV=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV=	0,0 g	<u>Massa total, em g</u>	MS=	0,0 kg	2296,5	MS=	0,0 g	3674,3	FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g		FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FG=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	W=	263,5 litros	0,277	W=	421,6 ml	0,277	Sp=	29,89 litros		Sp=	47,82 ml		S1=	418,3 kg	<u>Razão água/finos</u>	S1=	669,3 g	<u>Razão água/finos</u>	S2=	632,3 kg	0,277	S2=	1011,7 g	0,277							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																											
C1=	950,9 kg		C1=	1521,5 g																																																																										
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																																										
CV=	0,0 kg	<u>Massa total, em kg</u>	CV=	0,0 g	<u>Massa total, em g</u>																																																																									
MS=	0,0 kg	2296,5	MS=	0,0 g	3674,3																																																																									
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g																																																																										
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>	FG=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																									
W=	263,5 litros	0,277	W=	421,6 ml	0,277																																																																									
Sp=	29,89 litros		Sp=	47,82 ml																																																																										
S1=	418,3 kg	<u>Razão água/finos</u>	S1=	669,3 g	<u>Razão água/finos</u>																																																																									
S2=	632,3 kg	0,277	S2=	1011,7 g	0,277																																																																									

Quadro A.25 – Composição da argamassa A.5.0,80.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.5.0,80.3				Identificação da mistura de finos 100C1				Data 14-04-2004																																																																																																																																																																																																															
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,86</td> <td>3,25</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,86	3,25	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
0,80	0,86	3,25																																																																																																																																																																																																																					
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																																																				
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																		
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>979,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>268,1 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>30,30 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>403,8 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>610,3 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2293,1</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,274</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,274</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	979,1 kg					C2=	0,0 kg					CV=	0,0 kg					MS=	0,0 kg					FC=	0,0 kg					FG=	0,0 kg					W=	268,1 litros					Sp=	30,30 litros					S1=	403,8 kg					S2=	610,3 kg							<u>Massa total, em kg</u>						2293,1							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,274							<u>Razão água/finos</u>						0,274		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>1566,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>429,0 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>48,49 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>646,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>976,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3669,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,274</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,274</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	1566,5 g					C2=	0,0 g					CV=	0,0 g					MS=	0,0 g					FC=	0,0 g					FG=	0,0 g					W=	429,0 ml					Sp=	48,49 ml					S1=	646,0 g					S2=	976,6 g							<u>Massa total, em g</u>						3669,0							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,274							<u>Razão água/finos</u>						0,274	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	979,1 kg																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
W=	268,1 litros																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	30,30 litros																																																																																																																																																																																																																						
S1=	403,8 kg																																																																																																																																																																																																																						
S2=	610,3 kg																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																					
		2293,1																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,274																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,274																																																																																																																																																																																																																			
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	1566,5 g																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
W=	429,0 ml																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	48,49 ml																																																																																																																																																																																																																						
S1=	646,0 g																																																																																																																																																																																																																						
S2=	976,6 g																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																																																																																																																					
		3669,0																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,274																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,274																																																																																																																																																																																																																			

Quadro A.26 – Composição da argamassa A.6.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.6.0,60.2				Identificação da mistura de finos 70C1+30FC				Data 15-04-2004																																																																																																																																																																																																															
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,89</td> <td>2,20</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,60	0,89	2,20	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
0,60	0,89	2,20																																																																																																																																																																																																																					
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																																																				
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																		
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>607,2 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>225,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>245,9 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>17,45 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>477,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>721,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2294,9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,405</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,295</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	607,2 kg					C2=	0,0 kg					CV=	0,0 kg					MS=	0,0 kg					FC=	225,4 kg					FG=	0,0 kg					W=	245,9 litros					Sp=	17,45 litros					S1=	477,0 kg					S2=	721,0 kg							<u>Massa total, em kg</u>						2294,9							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,405							<u>Razão água/finos</u>						0,295		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>971,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>360,7 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>393,4 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>27,91 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>763,2 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1153,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3671,8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,405</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,295</td> <td></td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	971,5 g					C2=	0,0 g					CV=	0,0 g					MS=	0,0 g					FC=	360,7 g					FG=	0,0 g					W=	393,4 ml					Sp=	27,91 ml					S1=	763,2 g					S2=	1153,6 g							<u>Massa total, em g</u>						3671,8							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,405							<u>Razão água/finos</u>						0,295	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	607,2 kg																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FC=	225,4 kg																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
W=	245,9 litros																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	17,45 litros																																																																																																																																																																																																																						
S1=	477,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
S2=	721,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																					
		2294,9																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,405																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,295																																																																																																																																																																																																																			
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	971,5 g																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FC=	360,7 g																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
W=	393,4 ml																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	27,91 ml																																																																																																																																																																																																																						
S1=	763,2 g																																																																																																																																																																																																																						
S2=	1153,6 g																																																																																																																																																																																																																						
		<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																																																																																																																					
		3671,8																																																																																																																																																																																																																					
			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																				
			0,405																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,295																																																																																																																																																																																																																			

Quadro A.27 – Composição da argamassa A.6.0,65.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa A.6.0,65.3			Identificação da mistura de finos 70C1+30FC			Data 21-04-2004																																																																								
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,65</td> <td>0,84</td> <td>2,30</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,65	0,84	2,30				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,65	0,84	2,30																																																																												
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2																																																																												
	0,40	0,60																																																																												
Percentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																											
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																											
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																											
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																											
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																																											
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																													
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																													
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																													
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>3014,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,066021 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,290319 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,243868 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,019167 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,446645 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	3014,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,066021 m ³ /m ³	Vp=	0,290319 m ³ /m ³	Vw=	0,243868 m ³ /m ³	Vsp=	0,019167 m ³ /m ³	Vs=	0,446645 m ³ /m ³																																											
δsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
δp=	3014,00 kg/m ³																																																																													
Vsp/Vp=	0,066021 m ³ /m ³																																																																													
Vp=	0,290319 m ³ /m ³																																																																													
Vw=	0,243868 m ³ /m ³																																																																													
Vsp=	0,019167 m ³ /m ³																																																																													
Vs=	0,446645 m ³ /m ³																																																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td style="width: 50%;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1= 638,1 kg</td> <td>C1= 1021,0 g</td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td>C2= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td>CV= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td>MS= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FC= 236,9 kg</td> <td>FC= 379,0 g</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td>FG= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>W= 243,9 litros</td> <td>W= 390,2 ml</td> </tr> <tr> <td>Sp= 19,17 litros</td> <td>Sp= 30,67 ml</td> </tr> <tr> <td>S1= 462,7 kg</td> <td>S1= 740,4 g</td> </tr> <tr> <td>S2= 699,4 kg</td> <td>S2= 1119,1 g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">2301,2</td> <td style="text-align: right;">3681,9</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">0,382</td> <td style="text-align: right;">0,382</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">0,279</td> <td style="text-align: right;">0,279</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros	Quantidades para um volume de: 1,60 litros	C1= 638,1 kg	C1= 1021,0 g	C2= 0,0 kg	C2= 0,0 g	CV= 0,0 kg	CV= 0,0 g	MS= 0,0 kg	MS= 0,0 g	FC= 236,9 kg	FC= 379,0 g	FG= 0,0 kg	FG= 0,0 g	W= 243,9 litros	W= 390,2 ml	Sp= 19,17 litros	Sp= 30,67 ml	S1= 462,7 kg	S1= 740,4 g	S2= 699,4 kg	S2= 1119,1 g	Massa total, em kg	Massa total, em g	2301,2	3681,9	Razão água/(mat. cimentícios)	Razão água/(mat. cimentícios)	0,382	0,382	Razão água/finos	Razão água/finos	0,279	0,279																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros	Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																													
C1= 638,1 kg	C1= 1021,0 g																																																																													
C2= 0,0 kg	C2= 0,0 g																																																																													
CV= 0,0 kg	CV= 0,0 g																																																																													
MS= 0,0 kg	MS= 0,0 g																																																																													
FC= 236,9 kg	FC= 379,0 g																																																																													
FG= 0,0 kg	FG= 0,0 g																																																																													
W= 243,9 litros	W= 390,2 ml																																																																													
Sp= 19,17 litros	Sp= 30,67 ml																																																																													
S1= 462,7 kg	S1= 740,4 g																																																																													
S2= 699,4 kg	S2= 1119,1 g																																																																													
Massa total, em kg	Massa total, em g																																																																													
2301,2	3681,9																																																																													
Razão água/(mat. cimentícios)	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																													
0,382	0,382																																																																													
Razão água/finos	Razão água/finos																																																																													
0,279	0,279																																																																													

Quadro A.28 – Composição da argamassa A.6.0,70.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa A.6.0,70.3			Identificação da mistura de finos 70C1+30FC			Data 20-04-2004																																																																								
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,81</td> <td>2,30</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,70	0,81	2,30				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,70	0,81	2,30																																																																												
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2																																																																												
	0,40	0,60																																																																												
Percentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																											
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																											
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																											
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																											
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																																											
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																													
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00																																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																													
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																													
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>3014,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,066021 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,302609 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,245113 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,019979 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,432299 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	3014,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,066021 m ³ /m ³	Vp=	0,302609 m ³ /m ³	Vw=	0,245113 m ³ /m ³	Vsp=	0,019979 m ³ /m ³	Vs=	0,432299 m ³ /m ³																																											
δsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
δp=	3014,00 kg/m ³																																																																													
Vsp/Vp=	0,066021 m ³ /m ³																																																																													
Vp=	0,302609 m ³ /m ³																																																																													
Vw=	0,245113 m ³ /m ³																																																																													
Vsp=	0,019979 m ³ /m ³																																																																													
Vs=	0,432299 m ³ /m ³																																																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td style="width: 50%;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1= 665,1 kg</td> <td>C1= 1064,2 g</td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td>C2= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td>CV= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td>MS= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FC= 246,9 kg</td> <td>FC= 395,1 g</td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td>FG= 0,0 g</td> </tr> <tr> <td>W= 245,1 litros</td> <td>W= 392,2 ml</td> </tr> <tr> <td>Sp= 19,98 litros</td> <td>Sp= 31,97 ml</td> </tr> <tr> <td>S1= 447,9 kg</td> <td>S1= 716,6 g</td> </tr> <tr> <td>S2= 677,0 kg</td> <td>S2= 1083,2 g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">2303,0</td> <td style="text-align: right;">3684,8</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">0,369</td> <td style="text-align: right;">0,369</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td style="text-align: right;">0,269</td> <td style="text-align: right;">0,269</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros	Quantidades para um volume de: 1,60 litros	C1= 665,1 kg	C1= 1064,2 g	C2= 0,0 kg	C2= 0,0 g	CV= 0,0 kg	CV= 0,0 g	MS= 0,0 kg	MS= 0,0 g	FC= 246,9 kg	FC= 395,1 g	FG= 0,0 kg	FG= 0,0 g	W= 245,1 litros	W= 392,2 ml	Sp= 19,98 litros	Sp= 31,97 ml	S1= 447,9 kg	S1= 716,6 g	S2= 677,0 kg	S2= 1083,2 g	Massa total, em kg	Massa total, em g	2303,0	3684,8	Razão água/(mat. cimentícios)	Razão água/(mat. cimentícios)	0,369	0,369	Razão água/finos	Razão água/finos	0,269	0,269																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros	Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																													
C1= 665,1 kg	C1= 1064,2 g																																																																													
C2= 0,0 kg	C2= 0,0 g																																																																													
CV= 0,0 kg	CV= 0,0 g																																																																													
MS= 0,0 kg	MS= 0,0 g																																																																													
FC= 246,9 kg	FC= 395,1 g																																																																													
FG= 0,0 kg	FG= 0,0 g																																																																													
W= 245,1 litros	W= 392,2 ml																																																																													
Sp= 19,98 litros	Sp= 31,97 ml																																																																													
S1= 447,9 kg	S1= 716,6 g																																																																													
S2= 677,0 kg	S2= 1083,2 g																																																																													
Massa total, em kg	Massa total, em g																																																																													
2303,0	3684,8																																																																													
Razão água/(mat. cimentícios)	Razão água/(mat. cimentícios)																																																																													
0,369	0,369																																																																													
Razão água/finos	Razão água/finos																																																																													
0,269	0,269																																																																													

Quadro A.29 – Composição da argamassa A.6.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS												
Identificação da argamassa A.6.0,75.2			Identificação da mistura de finos 70C1+30FC			Data 21-04-2004						
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Mistura (Curva Real)			
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%										
0,75	0,78	2,30				Percentagem de passados						
Composição da mistura de finos						9,520	100,00	100,00	100,00			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	4,760	100,00	99,94	99,96			
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	2,380	99,97	98,56	99,12			
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						1,190	99,89	84,75	90,81			
						0,590	91,06	43,13	62,30			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	0,297	48,16	2,97	21,05			
3140	3040	2380	2170	2720	2650	0,149	11,49	0,21	4,72			
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						0,074	2,04	0,05	0,85			
						2590	2610	---	---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δp= 3014,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,066021 m ³ /m ³ Vp= 0,314529 m ³ /m ³ Vw= 0,245333 m ³ /m ³ Vsp= 0,020766 m ³ /m ³ Vs= 0,419372 m ³ /m ³						
												δsp
1050	---	---	---	---	---	Módulos de finura			1,494	2,704	2,220	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						
												C1=
C2=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)		0,355	C2=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		0,355			
CV=	0,0 kg	Razão água/finos		0,259	CV=	0,0 g	Razão água/finos		0,259			
MS=	0,0 kg	Razão água/finos		0,259	MS=	0,0 g	Razão água/finos		0,259			
FC=	256,7 kg	Razão água/finos		0,259	FC=	410,6 g	Razão água/finos		0,259			
FG=	0,0 kg	Razão água/finos		0,259	FG=	0,0 g	Razão água/finos		0,259			
W=	245,3 litros	Razão água/finos		0,259	W=	392,5 ml	Razão água/finos		0,259			
Sp=	20,77 litros	Razão água/finos		0,259	Sp=	33,22 ml	Razão água/finos		0,259			
S1=	434,5 kg	Razão água/finos		0,259	S1=	695,2 g	Razão água/finos		0,259			
S2=	656,7 kg	Razão água/finos		0,259	S2=	1050,8 g	Razão água/finos		0,259			

Quadro A.30 – Composição da argamassa A.6.0,80.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS												
Identificação da argamassa A.6.0,80.4			Identificação da mistura de finos 70C1+30FC			Data 20-04-2004						
Parâmetros da composição						Abertura da malha (mm)			Mistura (Curva Real)			
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%										
0,80	0,77	2,35				Percentagem de passados						
Composição da mistura de finos						9,520	100,00	100,00	100,00			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	4,760	100,00	99,94	99,96			
0,70	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	2,380	99,97	98,56	99,12			
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						1,190	99,89	84,75	90,81			
						0,590	91,06	43,13	62,30			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	0,297	48,16	2,97	21,05			
3140	3040	2380	2170	2720	2650	0,149	11,49	0,21	4,72			
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						0,074	2,04	0,05	0,85			
						2590	2610	---	---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δp= 3014,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,067456 m ³ /m ³ Vp= 0,323891 m ³ /m ³ Vw= 0,249396 m ³ /m ³ Vsp= 0,021848 m ³ /m ³ Vs= 0,404864 m ³ /m ³						
												δsp
1050	---	---	---	---	---	Módulos de finura			1,494	2,704	2,220	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						
												C1=
C2=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)		0,350	C2=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		0,350			
CV=	0,0 kg	Razão água/finos		0,255	CV=	0,0 g	Razão água/finos		0,255			
MS=	0,0 kg	Razão água/finos		0,255	MS=	0,0 g	Razão água/finos		0,255			
FC=	264,3 kg	Razão água/finos		0,255	FC=	422,9 g	Razão água/finos		0,255			
FG=	0,0 kg	Razão água/finos		0,255	FG=	0,0 g	Razão água/finos		0,255			
W=	249,4 litros	Razão água/finos		0,255	W=	399,0 ml	Razão água/finos		0,255			
Sp=	21,85 litros	Razão água/finos		0,255	Sp=	34,96 ml	Razão água/finos		0,255			
S1=	419,4 kg	Razão água/finos		0,255	S1=	671,1 g	Razão água/finos		0,255			
S2=	634,0 kg	Razão água/finos		0,255	S2=	1014,4 g	Razão água/finos		0,255			

Quadro A.31 – Composição da argamassa A.7.0,60.5

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																
Identificação da argamassa A.7.0,60.5		Identificação da mistura de finos 70C1+30FG		Data 23-04-2004																																																												
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05					Mistura (Curva Real)																																																									
	a1	a2																																																														
	0,40	0,60																																																														
Percentagem de passados																																																																
9,520	100,00	100,00				100,00																																																										
4,760	100,00	99,94				99,96																																																										
2,380	99,97	98,56				99,12																																																										
1,190	99,89	84,75				90,81																																																										
0,590	91,06	43,13				62,30																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																													
0,149	11,49	0,21	4,72																																																													
0,074	2,04	0,05	0,85																																																													
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																													
Módulos de finura																																																																
	1,494	2,704	2,220																																																													
Composição da mistura de finos																																																																
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																											
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30																																																											
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																											
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																											
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																
δs1	δs2	---	---	---	---																																																											
2590	2610	---	---	---	---																																																											
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																
δsp	---	---	---	---	---																																																											
1050	---	---	---	---	---																																																											
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																													
C1=	592,8 kg		C1=	948,5 g																																																												
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																												
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																											
MS=	0,0 kg	2258,5	MS=	0,0 g	3613,7																																																											
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g																																																												
FG=	214,4 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	343,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																											
W=	261,6 litros	0,441	W=	418,6 ml	0,441																																																											
Sp=	19,22 litros		Sp=	30,75 ml																																																												
S1=	465,7 kg	Razão água/finos	S1=	745,1 g	Razão água/finos																																																											
S2=	703,9 kg	0,324	S2=	1126,2 g	0,324																																																											

$\delta_p = 2993,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,071262 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,269692 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,261602 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,019219 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,449487 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Quadro A.32 – Composição da argamassa A.7.0,65.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																
Identificação da argamassa A.7.0,65.2		Identificação da mistura de finos 70C1+30FG		Data 23-04-2004																																																												
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05					Mistura (Curva Real)																																																									
	a1	a2																																																														
	0,40	0,60																																																														
Percentagem de passados																																																																
9,520	100,00	100,00				100,00																																																										
4,760	100,00	99,94				99,96																																																										
2,380	99,97	98,56				99,12																																																										
1,190	99,89	84,75				90,81																																																										
0,590	91,06	43,13				62,30																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																													
0,149	11,49	0,21	4,72																																																													
0,074	2,04	0,05	0,85																																																													
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																													
Módulos de finura																																																																
	1,494	2,704	2,220																																																													
Composição da mistura de finos																																																																
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																											
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30																																																											
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																											
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																											
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																
δs1	δs2	---	---	---	---																																																											
2590	2610	---	---	---	---																																																											
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																
δsp	---	---	---	---	---																																																											
1050	---	---	---	---	---																																																											
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																													
C1=	622,7 kg		C1=	996,3 g																																																												
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																												
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																											
MS=	0,0 kg	2263,9	MS=	0,0 g	3622,2																																																											
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g																																																												
FG=	225,2 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	360,4 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																											
W=	260,6 litros	0,419	W=	417,0 ml	0,419																																																											
Sp=	20,19 litros		Sp=	32,30 ml																																																												
S1=	451,5 kg	Razão água/finos	S1=	722,5 g	Razão água/finos																																																											
S2=	682,6 kg	0,307	S2=	1092,1 g	0,307																																																											

$\delta_p = 2993,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,071262 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,283308 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,260644 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,020189 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,435859 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Quadro A.33 – Composição da argamassa A.7.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																													
Identificação da argamassa A.7.0,70.2			Identificação da mistura de finos 70C1+30FG			Data 27-04-2004																																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,89</td> <td>2,50</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,70	0,89	2,50	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																											
0,70	0,89	2,50																																																																																																											
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																								
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30																																																																																																								
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																										
	a1	a2																																																																																																											
Percentagem de passados																																																																																																													
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																										
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																										
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																										
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																										
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																										
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																										
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																										
Módulos de finura																																																																																																													
	1,494	2,704	2,220																																																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>			δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---	Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																				
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																								
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																								
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																									
2590	2610	---	---	---																																																																																																									
δsp	---	---	---	---																																																																																																									
1050	---	---	---	---																																																																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 648,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 234,5 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 262,5 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 21,02 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 436,6 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 660,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 648,4 kg					C2= 0,0 kg					CV= 0,0 kg					MS= 0,0 kg					FC= 0,0 kg					FG= 234,5 kg					W= 262,5 litros					Sp= 21,02 litros					S1= 436,6 kg					S2= 660,0 kg					Quantidades para um volume de: 1,60 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 1037,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 375,2 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 420,1 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 33,64 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 698,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1055,9 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 1037,5 g					C2= 0,0 g					CV= 0,0 g					MS= 0,0 g					FC= 0,0 g					FG= 375,2 g					W= 420,1 ml					Sp= 33,64 ml					S1= 698,6 g					S2= 1055,9 g				
C1= 648,4 kg																																																																																																													
C2= 0,0 kg																																																																																																													
CV= 0,0 kg																																																																																																													
MS= 0,0 kg																																																																																																													
FC= 0,0 kg																																																																																																													
FG= 234,5 kg																																																																																																													
W= 262,5 litros																																																																																																													
Sp= 21,02 litros																																																																																																													
S1= 436,6 kg																																																																																																													
S2= 660,0 kg																																																																																																													
C1= 1037,5 g																																																																																																													
C2= 0,0 g																																																																																																													
CV= 0,0 g																																																																																																													
MS= 0,0 g																																																																																																													
FC= 0,0 g																																																																																																													
FG= 375,2 g																																																																																																													
W= 420,1 ml																																																																																																													
Sp= 33,64 ml																																																																																																													
S1= 698,6 g																																																																																																													
S2= 1055,9 g																																																																																																													
<table style="width:100%;"> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">2264,1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,405</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,297</td> </tr> </table>							Massa total, em kg					2264,1						Razão água/(mat. cimentícios)					0,405						Razão água/finos					0,297	<table style="width:100%;"> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">3622,6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,405</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,297</td> </tr> </table>							Massa total, em g					3622,6						Razão água/(mat. cimentícios)					0,405						Razão água/finos					0,297																																								
		Massa total, em kg																																																																																																											
		2264,1																																																																																																											
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																										
			0,405																																																																																																										
				Razão água/finos																																																																																																									
				0,297																																																																																																									
		Massa total, em g																																																																																																											
		3622,6																																																																																																											
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																										
			0,405																																																																																																										
				Razão água/finos																																																																																																									
				0,297																																																																																																									

δp=	2993,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,071262 m ³ /m ³
Vp=	0,295 m ³ /m ³
Vw=	0,26255 m ³ /m ³
Vsp=	0,021022 m ³ /m ³
Vs=	0,421428 m ³ /m ³

Quadro A.34 – Composição da argamassa A.7.0,75.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																													
Identificação da argamassa A.7.0,75.3			Identificação da mistura de finos 70C1+30FG			Data 28-04-2004																																																																																																							
Parâmetros da composição <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,87</td> <td>2,50</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,75	0,87	2,50	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																											
0,75	0,87	2,50																																																																																																											
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																								
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30																																																																																																								
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																										
	a1	a2																																																																																																											
Percentagem de passados																																																																																																													
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																										
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																										
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																										
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																										
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																										
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																										
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																										
Módulos de finura																																																																																																													
	1,494	2,704	2,220																																																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>			δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---	Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																				
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																								
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																								
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																									
2590	2610	---	---	---																																																																																																									
δsp	---	---	---	---																																																																																																									
1050	---	---	---	---																																																																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 671,2 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 242,8 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 265,7 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 21,76 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 421,8 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 637,6 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 671,2 kg					C2= 0,0 kg					CV= 0,0 kg					MS= 0,0 kg					FC= 0,0 kg					FG= 242,8 kg					W= 265,7 litros					Sp= 21,76 litros					S1= 421,8 kg					S2= 637,6 kg					Quantidades para um volume de: 1,60 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 1074,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 388,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 425,1 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 34,82 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 674,9 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1020,2 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 1074,0 g					C2= 0,0 g					CV= 0,0 g					MS= 0,0 g					FC= 0,0 g					FG= 388,4 g					W= 425,1 ml					Sp= 34,82 ml					S1= 674,9 g					S2= 1020,2 g				
C1= 671,2 kg																																																																																																													
C2= 0,0 kg																																																																																																													
CV= 0,0 kg																																																																																																													
MS= 0,0 kg																																																																																																													
FC= 0,0 kg																																																																																																													
FG= 242,8 kg																																																																																																													
W= 265,7 litros																																																																																																													
Sp= 21,76 litros																																																																																																													
S1= 421,8 kg																																																																																																													
S2= 637,6 kg																																																																																																													
C1= 1074,0 g																																																																																																													
C2= 0,0 g																																																																																																													
CV= 0,0 g																																																																																																													
MS= 0,0 g																																																																																																													
FC= 0,0 g																																																																																																													
FG= 388,4 g																																																																																																													
W= 425,1 ml																																																																																																													
Sp= 34,82 ml																																																																																																													
S1= 674,9 g																																																																																																													
S2= 1020,2 g																																																																																																													
<table style="width:100%;"> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">2262,0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,396</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,291</td> </tr> </table>							Massa total, em kg					2262,0						Razão água/(mat. cimentícios)					0,396						Razão água/finos					0,291	<table style="width:100%;"> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">3619,2</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,396</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,291</td> </tr> </table>							Massa total, em g					3619,2						Razão água/(mat. cimentícios)					0,396						Razão água/finos					0,291																																								
		Massa total, em kg																																																																																																											
		2262,0																																																																																																											
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																										
			0,396																																																																																																										
				Razão água/finos																																																																																																									
				0,291																																																																																																									
		Massa total, em g																																																																																																											
		3619,2																																																																																																											
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																										
			0,396																																																																																																										
				Razão água/finos																																																																																																									
				0,291																																																																																																									

δp=	2993,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,071262 m ³ /m ³
Vp=	0,305381 m ³ /m ³
Vw=	0,265682 m ³ /m ³
Vsp=	0,021762 m ³ /m ³
Vs=	0,407175 m ³ /m ³

Quadro A.35 – Composição da argamassa A.7.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																
Identificação da argamassa A.7.0,80.2		Identificação da mistura de finos 70C1+30FG		Data 26-04-2004																																																												
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05					Mistura (Curva Real)																																																									
	a1	a2																																																														
	0,40	0,60																																																														
Percentagem de passados																																																																
9,520	100,00	100,00				100,00																																																										
4,760	100,00	99,94				99,96																																																										
2,380	99,97	98,56				99,12																																																										
1,190	99,89	84,75				90,81																																																										
0,590	91,06	43,13				62,30																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																													
0,149	11,49	0,21	4,72																																																													
0,074	2,04	0,05	0,85																																																													
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																													
Módulos de finura																																																																
	1,494	2,704	2,220																																																													
Composição da mistura de finos																																																																
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																											
0,70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30																																																											
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																											
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																											
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																
δs1	δs2	---	---	---	---																																																											
2590	2610	---	---	---	---																																																											
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																
δsp	---	---	---	---	---																																																											
1050	---	---	---	---	---																																																											
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																													
C1=	693,1 kg		C1=	1109,0 g																																																												
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																												
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																											
MS=	0,0 kg	2261,0	MS=	0,0 g	3617,7																																																											
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g																																																												
FG=	250,7 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	401,1 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																											
W=	268,0 litros	0,387	W=	428,9 ml	0,387																																																											
Sp=	22,47 litros		Sp=	35,95 ml																																																												
S1=	408,4 kg	Razão água/finos	S1=	653,4 g	Razão água/finos																																																											
S2=	617,3 kg	0,284	S2=	987,6 g	0,284																																																											

$\delta_p = 2993,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,071262 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,315332 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,268032 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,022471 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,394165 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Quadro A.36 – Composição da argamassa A.8.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																
Identificação da argamassa A.8.0,60.2		Identificação da mistura de finos 70C1+30CV		Data 13-05-2004																																																												
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05					Mistura (Curva Real)																																																									
	a1	a2																																																														
	0,40	0,60																																																														
Percentagem de passados																																																																
9,520	100,00	100,00				100,00																																																										
4,760	100,00	99,94				99,96																																																										
2,380	99,97	98,56				99,12																																																										
1,190	99,89	84,75				90,81																																																										
0,590	91,06	43,13				62,30																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																													
0,149	11,49	0,21	4,72																																																													
0,074	2,04	0,05	0,85																																																													
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																													
Módulos de finura																																																																
	1,494	2,704	2,220																																																													
Composição da mistura de finos																																																																
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																											
0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																											
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																											
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																											
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																
δs1	δs2	---	---	---	---																																																											
2590	2610	---	---	---	---																																																											
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																
δsp	---	---	---	---	---																																																											
1050	---	---	---	---	---																																																											
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																													
C1=	611,5 kg		C1=	978,4 g																																																												
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																												
CV=	198,6 kg	Massa total, em kg	CV=	317,8 g	Massa total, em g																																																											
MS=	0,0 kg	2275,6	MS=	0,0 g	3641,0																																																											
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g																																																												
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																											
W=	239,2 litros	0,295	W=	382,8 ml	0,295																																																											
Sp=	18,90 litros		Sp=	30,24 ml																																																												
S1=	480,3 kg	Razão água/finos	S1=	768,6 g	Razão água/finos																																																											
S2=	726,1 kg	0,295	S2=	1161,7 g	0,295																																																											

$\delta_p = 2912,00 \text{ kg/m}^3$
 $V_{sp}/V_p = 0,067947 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_p = 0,278194 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_w = 0,239247 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_{sp} = 0,018902 \text{ m}^3/\text{m}^3$
 $V_s = 0,463657 \text{ m}^3/\text{m}^3$

Quadro A.37 – Composição da argamassa A.8.0,65.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.8.0,65.3				Identificação da mistura de finos 70C1+30CV				Data 10-05-2004																																																													
Parâmetros da composição								<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
						<table style="width:100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2912,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,069333 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,291733 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,239221 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,020227 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,44882 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2912,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³	Vp=	0,291733 m ³ /m ³	Vw=	0,239221 m ³ /m ³	Vsp=	0,020227 m ³ /m ³	Vs=	0,44882 m ³ /m ³																																														
δp=	2912,00 kg/m ³																																																																				
Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³																																																																				
Vp=	0,291733 m ³ /m ³																																																																				
Vw=	0,239221 m ³ /m ³																																																																				
Vsp=	0,020227 m ³ /m ³																																																																				
Vs=	0,44882 m ³ /m ³																																																																				
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																															
C1=	641,2 kg					C1=	1026,0 g																																																														
C2=	0,0 kg					C2=	0,0 g																																																														
CV=	208,3 kg	<u>Massa total, em kg</u>				CV=	333,3 g	<u>Massa total, em g</u>																																																													
MS=	0,0 kg	2277,8				MS=	0,0 g	3644,5																																																													
FC=	0,0 kg					FC=	0,0 g																																																														
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				FG=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																													
W=	239,2 litros	0,282				W=	382,8 ml	0,282																																																													
Sp=	20,23 litros					Sp=	32,36 ml																																																														
S1=	465,0 kg	<u>Razão água/finos</u>				S1=	744,0 g	<u>Razão água/finos</u>																																																													
S2=	702,9 kg	0,282				S2=	1124,6 g	0,282																																																													

Quadro A.38 – Composição da argamassa A.8.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.8.0,70.2				Identificação da mistura de finos 70C1+30CV				Data 11-05-2004																																																													
Parâmetros da composição								<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
						<table style="width:100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2912,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,069333 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,304145 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,240275 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,021087 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,434493 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2912,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³	Vp=	0,304145 m ³ /m ³	Vw=	0,240275 m ³ /m ³	Vsp=	0,021087 m ³ /m ³	Vs=	0,434493 m ³ /m ³																																														
δp=	2912,00 kg/m ³																																																																				
Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³																																																																				
Vp=	0,304145 m ³ /m ³																																																																				
Vw=	0,240275 m ³ /m ³																																																																				
Vsp=	0,021087 m ³ /m ³																																																																				
Vs=	0,434493 m ³ /m ³																																																																				
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																															
C1=	668,5 kg					C1=	1069,6 g																																																														
C2=	0,0 kg					C2=	0,0 g																																																														
CV=	217,2 kg	<u>Massa total, em kg</u>				CV=	347,5 g	<u>Massa total, em g</u>																																																													
MS=	0,0 kg	2278,6				MS=	0,0 g	3645,8																																																													
FC=	0,0 kg					FC=	0,0 g																																																														
FG=	0,0 kg	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				FG=	0,0 g	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																													
W=	240,3 litros	0,271				W=	384,4 ml	0,271																																																													
Sp=	21,09 litros					Sp=	33,74 ml																																																														
S1=	450,1 kg	<u>Razão água/finos</u>				S1=	720,2 g	<u>Razão água/finos</u>																																																													
S2=	680,4 kg	0,271				S2=	1088,7 g	0,271																																																													

Quadro A.39 – Composição da argamassa A.8.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																															
Identificação da argamassa A.8.0,75.2			Identificação da mistura de finos 70C1+30CV			Data 11-05-2004																																																																									
Parâmetros da composição <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,77</td> <td>2,50</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,75	0,77	2,50				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220							
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																													
0,75	0,77	2,50																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																												
	a1	a2																																																																													
	0,40	0,60																																																																													
Percentagem de passados																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																												
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																												
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																												
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																												
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																												
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																												
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																												
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																												
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																												
Módulos de finura																																																																															
	1,494	2,704	2,220																																																																												
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																										
0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																										
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																														
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																										
2590	2610	---	---	---	---																																																																										
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---	<table style="width:100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2912,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,069333 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,315192 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,242698 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,021853 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,420256 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2912,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³	Vp=	0,315192 m ³ /m ³	Vw=	0,242698 m ³ /m ³	Vsp=	0,021853 m ³ /m ³	Vs=	0,420256 m ³ /m ³																																												
δsp	---	---	---	---	---																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																										
δp=	2912,00 kg/m ³																																																																														
Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³																																																																														
Vp=	0,315192 m ³ /m ³																																																																														
Vw=	0,242698 m ³ /m ³																																																																														
Vsp=	0,021853 m ³ /m ³																																																																														
Vs=	0,420256 m ³ /m ³																																																																														
<table style="width:100%;"> <tr> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td style="text-align: right;">1000,00 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>692,8 kg</td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>225,0 kg</td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>242,7 litros</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>21,85 litros</td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>435,4 kg</td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>658,1 kg</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">2277,0</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,264</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,264</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de:	1000,00 litros	C1=	692,8 kg	C2=	0,0 kg	CV=	225,0 kg	MS=	0,0 kg	FC=	0,0 kg	FG=	0,0 kg	W=	242,7 litros	Sp=	21,85 litros	S1=	435,4 kg	S2=	658,1 kg	Massa total, em kg		2277,0		Razão água/(mat. cimentícios)		0,264		Razão água/finos		0,264		<table style="width:100%;"> <tr> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td style="text-align: right;">1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>1108,5 g</td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>360,1 g</td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>388,3 ml</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>34,97 ml</td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>696,6 g</td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1053,0 g</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Massa total, em g</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">3643,2</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,264</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,264</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de:	1,60 litros	C1=	1108,5 g	C2=	0,0 g	CV=	360,1 g	MS=	0,0 g	FC=	0,0 g	FG=	0,0 g	W=	388,3 ml	Sp=	34,97 ml	S1=	696,6 g	S2=	1053,0 g	Massa total, em g		3643,2		Razão água/(mat. cimentícios)		0,264		Razão água/finos		0,264	
Quantidades para um volume de:	1000,00 litros																																																																														
C1=	692,8 kg																																																																														
C2=	0,0 kg																																																																														
CV=	225,0 kg																																																																														
MS=	0,0 kg																																																																														
FC=	0,0 kg																																																																														
FG=	0,0 kg																																																																														
W=	242,7 litros																																																																														
Sp=	21,85 litros																																																																														
S1=	435,4 kg																																																																														
S2=	658,1 kg																																																																														
Massa total, em kg																																																																															
2277,0																																																																															
Razão água/(mat. cimentícios)																																																																															
0,264																																																																															
Razão água/finos																																																																															
0,264																																																																															
Quantidades para um volume de:	1,60 litros																																																																														
C1=	1108,5 g																																																																														
C2=	0,0 g																																																																														
CV=	360,1 g																																																																														
MS=	0,0 g																																																																														
FC=	0,0 g																																																																														
FG=	0,0 g																																																																														
W=	388,3 ml																																																																														
Sp=	34,97 ml																																																																														
S1=	696,6 g																																																																														
S2=	1053,0 g																																																																														
Massa total, em g																																																																															
3643,2																																																																															
Razão água/(mat. cimentícios)																																																																															
0,264																																																																															
Razão água/finos																																																																															
0,264																																																																															

Quadro A.40 – Composição da argamassa A.8.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																															
Identificação da argamassa A.8.0,80.2			Identificação da mistura de finos 70C1+30CV			Data 12-05-2004																																																																									
Parâmetros da composição <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,75</td> <td>2,50</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,75	2,50				<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220							
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																													
0,80	0,75	2,50																																																																													
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																												
	a1	a2																																																																													
	0,40	0,60																																																																													
Percentagem de passados																																																																															
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																												
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																												
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																												
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																												
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																												
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																												
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																												
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																												
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																												
Módulos de finura																																																																															
	1,494	2,704	2,220																																																																												
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,00</td> <td>0,30</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																										
0,70	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																										
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																										
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																														
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																										
2590	2610	---	---	---	---																																																																										
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---	<table style="width:100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2912,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,069333 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,325804 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,244353 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,022589 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,407255 m³/m³</td> </tr> </table>						δp=	2912,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³	Vp=	0,325804 m ³ /m ³	Vw=	0,244353 m ³ /m ³	Vsp=	0,022589 m ³ /m ³	Vs=	0,407255 m ³ /m ³																																												
δsp	---	---	---	---	---																																																																										
1050	---	---	---	---	---																																																																										
δp=	2912,00 kg/m ³																																																																														
Vsp/Vp=	0,069333 m ³ /m ³																																																																														
Vp=	0,325804 m ³ /m ³																																																																														
Vw=	0,244353 m ³ /m ³																																																																														
Vsp=	0,022589 m ³ /m ³																																																																														
Vs=	0,407255 m ³ /m ³																																																																														
<table style="width:100%;"> <tr> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td style="text-align: right;">1000,00 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>716,1 kg</td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>232,6 kg</td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>244,4 litros</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>22,59 litros</td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>421,9 kg</td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>637,8 kg</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">2276,5</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,258</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,258</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de:	1000,00 litros	C1=	716,1 kg	C2=	0,0 kg	CV=	232,6 kg	MS=	0,0 kg	FC=	0,0 kg	FG=	0,0 kg	W=	244,4 litros	Sp=	22,59 litros	S1=	421,9 kg	S2=	637,8 kg	Massa total, em kg		2276,5		Razão água/(mat. cimentícios)		0,258		Razão água/finos		0,258		<table style="width:100%;"> <tr> <td>Quantidades para um volume de:</td> <td style="text-align: right;">1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>1145,8 g</td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>372,2 g</td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>391,0 ml</td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>36,14 ml</td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>675,1 g</td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1020,4 g</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Massa total, em g</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">3642,4</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,258</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: right;">0,258</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de:	1,60 litros	C1=	1145,8 g	C2=	0,0 g	CV=	372,2 g	MS=	0,0 g	FC=	0,0 g	FG=	0,0 g	W=	391,0 ml	Sp=	36,14 ml	S1=	675,1 g	S2=	1020,4 g	Massa total, em g		3642,4		Razão água/(mat. cimentícios)		0,258		Razão água/finos		0,258	
Quantidades para um volume de:	1000,00 litros																																																																														
C1=	716,1 kg																																																																														
C2=	0,0 kg																																																																														
CV=	232,6 kg																																																																														
MS=	0,0 kg																																																																														
FC=	0,0 kg																																																																														
FG=	0,0 kg																																																																														
W=	244,4 litros																																																																														
Sp=	22,59 litros																																																																														
S1=	421,9 kg																																																																														
S2=	637,8 kg																																																																														
Massa total, em kg																																																																															
2276,5																																																																															
Razão água/(mat. cimentícios)																																																																															
0,258																																																																															
Razão água/finos																																																																															
0,258																																																																															
Quantidades para um volume de:	1,60 litros																																																																														
C1=	1145,8 g																																																																														
C2=	0,0 g																																																																														
CV=	372,2 g																																																																														
MS=	0,0 g																																																																														
FC=	0,0 g																																																																														
FG=	0,0 g																																																																														
W=	391,0 ml																																																																														
Sp=	36,14 ml																																																																														
S1=	675,1 g																																																																														
S2=	1020,4 g																																																																														
Massa total, em g																																																																															
3642,4																																																																															
Razão água/(mat. cimentícios)																																																																															
0,258																																																																															
Razão água/finos																																																																															
0,258																																																																															

Quadro A.41 – Composição da argamassa A.9.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																											
Identificação da argamassa A.9.0,60.2				Identificação da mistura de finos 60C1+40FC				Data 21-05-2004																																																																			
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,87</td> <td>1,60</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,60	0,87	1,60	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																									
0,60	0,87	1,60																																																																									
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																								
	a1	a2																																																																									
	0,40	0,60																																																																									
Percentagem de passados																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																								
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																								
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																								
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																								
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																								
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																								
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																								
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																								
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																								
Módulos de finura																																																																											
	1,494	2,704	2,220																																																																								
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>$\delta p =$</td> <td>2972,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp}/V_p =$</td> <td>0,045288 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_p =$</td> <td>0,279177 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_w =$</td> <td>0,242884 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp} =$</td> <td>0,012643 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_s =$</td> <td>0,465295 m³/m³</td> </tr> </table>						$\delta p =$	2972,00 kg/m ³	$V_{sp}/V_p =$	0,045288 m ³ /m ³	$V_p =$	0,279177 m ³ /m ³	$V_w =$	0,242884 m ³ /m ³	$V_{sp} =$	0,012643 m ³ /m ³	$V_s =$	0,465295 m ³ /m ³																																								
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																						
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																						
$\delta p =$	2972,00 kg/m ³																																																																										
$V_{sp}/V_p =$	0,045288 m ³ /m ³																																																																										
$V_p =$	0,279177 m ³ /m ³																																																																										
$V_w =$	0,242884 m ³ /m ³																																																																										
$V_{sp} =$	0,012643 m ³ /m ³																																																																										
$V_s =$	0,465295 m ³ /m ³																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>$\delta c1$</th> <th>$\delta c2$</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						$\delta c1$	$\delta c2$	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																										
$\delta c1$	$\delta c2$	δcv	δms	δfc	δfg																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																						
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>$\delta s1$</th> <th>$\delta s2$</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						$\delta s1$	$\delta s2$	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																										
$\delta s1$	$\delta s2$	---	---	---	---																																																																						
2590	2610	---	---	---	---																																																																						
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																										
δsp	---	---	---	---	---																																																																						
1050	---	---	---	---	---																																																																						
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 526,0 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 303,7 kg FG= 0,0 kg W= 242,9 litros Sp= 12,64 litros S1= 482,0 kg S2= 728,7 kg Massa total, em kg 2296,6 Razão água/(mat. cimentícios) 0,462 Razão água/finos 0,293 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 841,6 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 486,0 g FG= 0,0 g W= 388,6 ml Sp= 20,23 ml S1= 771,3 g S2= 1165,8 g Massa total, em g 3674,5 Razão água/(mat. cimentícios) 0,462 Razão água/finos 0,293 </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 526,0 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 303,7 kg FG= 0,0 kg W= 242,9 litros Sp= 12,64 litros S1= 482,0 kg S2= 728,7 kg Massa total, em kg 2296,6 Razão água/(mat. cimentícios) 0,462 Razão água/finos 0,293	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 841,6 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 486,0 g FG= 0,0 g W= 388,6 ml Sp= 20,23 ml S1= 771,3 g S2= 1165,8 g Massa total, em g 3674,5 Razão água/(mat. cimentícios) 0,462 Razão água/finos 0,293																																																																				
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 526,0 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 303,7 kg FG= 0,0 kg W= 242,9 litros Sp= 12,64 litros S1= 482,0 kg S2= 728,7 kg Massa total, em kg 2296,6 Razão água/(mat. cimentícios) 0,462 Razão água/finos 0,293	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 841,6 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 486,0 g FG= 0,0 g W= 388,6 ml Sp= 20,23 ml S1= 771,3 g S2= 1165,8 g Massa total, em g 3674,5 Razão água/(mat. cimentícios) 0,462 Razão água/finos 0,293																																																																										

Quadro A.42 – Composição da argamassa A.9.0,65.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																											
Identificação da argamassa A.9.0,65.2				Identificação da mistura de finos 60C1+40FC				Data 20-05-2004																																																																			
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,65</td> <td>0,83</td> <td>1,60</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,65	0,83	1,60	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																									
0,65	0,83	1,60																																																																									
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																								
	a1	a2																																																																									
	0,40	0,60																																																																									
Percentagem de passados																																																																											
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																								
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																								
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																								
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																								
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																								
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																								
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																								
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																								
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																								
Módulos de finura																																																																											
	1,494	2,704	2,220																																																																								
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	<table style="width: 100%;"> <tr> <td>$\delta p =$</td> <td>2972,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp}/V_p =$</td> <td>0,045288 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_p =$</td> <td>0,292933 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_w =$</td> <td>0,243134 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp} =$</td> <td>0,013266 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>$V_s =$</td> <td>0,450666 m³/m³</td> </tr> </table>						$\delta p =$	2972,00 kg/m ³	$V_{sp}/V_p =$	0,045288 m ³ /m ³	$V_p =$	0,292933 m ³ /m ³	$V_w =$	0,243134 m ³ /m ³	$V_{sp} =$	0,013266 m ³ /m ³	$V_s =$	0,450666 m ³ /m ³																																								
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																						
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																						
$\delta p =$	2972,00 kg/m ³																																																																										
$V_{sp}/V_p =$	0,045288 m ³ /m ³																																																																										
$V_p =$	0,292933 m ³ /m ³																																																																										
$V_w =$	0,243134 m ³ /m ³																																																																										
$V_{sp} =$	0,013266 m ³ /m ³																																																																										
$V_s =$	0,450666 m ³ /m ³																																																																										
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>$\delta c1$</th> <th>$\delta c2$</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						$\delta c1$	$\delta c2$	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																										
$\delta c1$	$\delta c2$	δcv	δms	δfc	δfg																																																																						
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																						
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>$\delta s1$</th> <th>$\delta s2$</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						$\delta s1$	$\delta s2$	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																										
$\delta s1$	$\delta s2$	---	---	---	---																																																																						
2590	2610	---	---	---	---																																																																						
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																										
δsp	---	---	---	---	---																																																																						
1050	---	---	---	---	---																																																																						
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 551,9 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 318,7 kg FG= 0,0 kg W= 243,1 litros Sp= 13,27 litros S1= 466,9 kg S2= 705,7 kg Massa total, em kg 2300,3 Razão água/(mat. cimentícios) 0,441 Razão água/finos 0,279 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 883,0 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 509,9 g FG= 0,0 g W= 389,0 ml Sp= 21,23 ml S1= 747,0 g S2= 1129,2 g Massa total, em g 3680,5 Razão água/(mat. cimentícios) 0,441 Razão água/finos 0,279 </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 551,9 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 318,7 kg FG= 0,0 kg W= 243,1 litros Sp= 13,27 litros S1= 466,9 kg S2= 705,7 kg Massa total, em kg 2300,3 Razão água/(mat. cimentícios) 0,441 Razão água/finos 0,279	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 883,0 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 509,9 g FG= 0,0 g W= 389,0 ml Sp= 21,23 ml S1= 747,0 g S2= 1129,2 g Massa total, em g 3680,5 Razão água/(mat. cimentícios) 0,441 Razão água/finos 0,279																																																																				
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 551,9 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 318,7 kg FG= 0,0 kg W= 243,1 litros Sp= 13,27 litros S1= 466,9 kg S2= 705,7 kg Massa total, em kg 2300,3 Razão água/(mat. cimentícios) 0,441 Razão água/finos 0,279	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 883,0 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 509,9 g FG= 0,0 g W= 389,0 ml Sp= 21,23 ml S1= 747,0 g S2= 1129,2 g Massa total, em g 3680,5 Razão água/(mat. cimentícios) 0,441 Razão água/finos 0,279																																																																										

Quadro A.43 – Composição da argamassa A.9.0,70.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS							
Identificação da argamassa A.9.0,70.3		Identificação da mistura de finos 60C1+40FC		Data 18-05-2004			
Parâmetros da composição			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		a1	a2		
0,70	0,80	1,60		0,40	0,60		
Composição da mistura de finos				Percentagem de passados			
fc1	fc2	fcv		fms	ffc	ffg	
0,60	0,00	0,00		0,00	0,40	0,00	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³				9,520	100,00	100,00	100,00
δc1	δc2	δcv		δms	δfc	δfg	
3140	3040	2380		2170	2720	2650	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				4,760	100,00	99,94	99,96
δs1	δs2	---	---	---	---		
2590	2610	---	---	---	---		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			2,380	99,97	98,56	99,12	
δsp	---	---	---	---	---		
1050	---	---	---	---	---		
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros				
C1=	575,5 kg		C1=	920,7 g			
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g			
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g		
MS=	0,0 kg	2302,1	MS=	0,0 g	3683,3		
FC=	332,3 kg		FC=	531,7 g			
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		
W=	244,4 litros	0,425	W=	391,0 ml	0,425		
Sp=	13,83 litros		Sp=	22,13 ml			
S1=	452,1 kg	Razão água/finos	S1=	723,3 g	Razão água/finos		
S2=	683,3 kg	0,269	S2=	1093,3 g	0,269		

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2972,00 \text{ kg/m}^3 \\ V_{sp}/V_p &= 0,045288 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_p &= 0,30545 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_w &= 0,24436 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_{sp} &= 0,013833 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_s &= 0,436357 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Quadro A.44 – Composição da argamassa A.9.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS						
Identificação da argamassa A.9.0,75.2		Identificação da mistura de finos 60C1+40FC		Data 19-05-2004		
Parâmetros da composição			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		a1	a2	
0,75	0,78	1,65		0,40	0,60	
Composição da mistura de finos				Percentagem de passados		
fc1	fc2	fcv		fms	ffc	ffg
0,60	0,00	0,00		0,00	0,40	0,00
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³				9,520	100,00	100,00
δc1	δc2	δcv		δms	δfc	δfg
3140	3040	2380		2170	2720	2650
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				4,760	100,00	99,94
δs1	δs2	---	---	---	---	
2590	2610	---	---	---	---	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			2,380	99,97	98,56	99,12
δsp	---	---	---	---	---	
1050	---	---	---	---	---	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros			
C1=	596,2 kg		C1=	953,9 g		
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g		
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g	
MS=	0,0 kg	2300,7	MS=	0,0 g	3681,2	
FC=	344,3 kg		FC=	550,9 g		
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)	
W=	246,8 litros	0,414	W=	394,9 ml	0,414	
Sp=	14,78 litros		Sp=	23,65 ml		
S1=	437,1 kg	Razão água/finos	S1=	699,4 g	Razão água/finos	
S2=	660,8 kg	0,262	S2=	1057,2 g	0,262	

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2972,00 \text{ kg/m}^3 \\ V_{sp}/V_p &= 0,046703 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_p &= 0,316452 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_w &= 0,246833 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_{sp} &= 0,014779 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_s &= 0,421936 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Quadro A.45 – Composição da argamassa A.9.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.9.0,80.2				Identificação da mistura de finos 60C1+40FC				Data 19-05-2004																																																																																																																																																																																																															
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,76</td> <td>1,65</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,76	1,65	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
0,80	0,76	1,65																																																																																																																																																																																																																					
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																																																				
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																		
0,60	0,00	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>616,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>355,9 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>248,6 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>15,28 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>423,7 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>640,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2301,0</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,403</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,256</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	616,4 kg					C2=	0,0 kg					CV=	0,0 kg					MS=	0,0 kg					FC=	355,9 kg					FG=	0,0 kg					W=	248,6 litros					Sp=	15,28 litros					S1=	423,7 kg					S2=	640,4 kg								<u>Massa total, em kg</u>						2301,0							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,403							<u>Razão água/finos</u>						0,256	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>986,2 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>569,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>397,8 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>24,45 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>677,9 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1024,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3681,6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,403</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,256</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	986,2 g					C2=	0,0 g					CV=	0,0 g					MS=	0,0 g					FC=	569,5 g					FG=	0,0 g					W=	397,8 ml					Sp=	24,45 ml					S1=	677,9 g					S2=	1024,6 g								<u>Massa total, em g</u>						3681,6							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,403							<u>Razão água/finos</u>						0,256
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	616,4 kg																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FC=	355,9 kg																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
W=	248,6 litros																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	15,28 litros																																																																																																																																																																																																																						
S1=	423,7 kg																																																																																																																																																																																																																						
S2=	640,4 kg																																																																																																																																																																																																																						
			<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																				
			2301,0																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,403																																																																																																																																																																																																																			
					<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																		
					0,256																																																																																																																																																																																																																		
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	986,2 g																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FC=	569,5 g																																																																																																																																																																																																																						
FG=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
W=	397,8 ml																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	24,45 ml																																																																																																																																																																																																																						
S1=	677,9 g																																																																																																																																																																																																																						
S2=	1024,6 g																																																																																																																																																																																																																						
			<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																																																																																																																				
			3681,6																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,403																																																																																																																																																																																																																			
					<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																		
					0,256																																																																																																																																																																																																																		

Quadro A.46 – Composição da argamassa A.10.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.10.0,60.2				Identificação da mistura de finos 60C1+40FG				Data 21-06-2004																																																																																																																																																																																																															
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,97</td> <td>1,95</td> </tr> </table>						Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,60	0,97	1,95	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																																																																												
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																																																																					
0,60	0,97	1,95																																																																																																																																																																																																																					
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																																																																				
Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> </tr> </table>						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																																																																		
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																								
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>510,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>287,2 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>262,8 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>14,81 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>467,8 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>707,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em kg</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">2250,7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,515</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,329</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						C1=	510,4 kg					C2=	0,0 kg					CV=	0,0 kg					MS=	0,0 kg					FC=	0,0 kg					FG=	287,2 kg					W=	262,8 litros					Sp=	14,81 litros					S1=	467,8 kg					S2=	707,1 kg								<u>Massa total, em kg</u>						2250,7							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,515							<u>Razão água/finos</u>						0,329	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</th> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>816,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>459,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>420,4 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>23,70 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>748,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>1131,3 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Massa total, em g</u></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">3601,1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,515</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;"><u>Razão água/finos</u></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: center;">0,329</td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1,60 litros						C1=	816,6 g					C2=	0,0 g					CV=	0,0 g					MS=	0,0 g					FC=	0,0 g					FG=	459,5 g					W=	420,4 ml					Sp=	23,70 ml					S1=	748,4 g					S2=	1131,3 g								<u>Massa total, em g</u>						3601,1							<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>						0,515							<u>Razão água/finos</u>						0,329
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	510,4 kg																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 kg																																																																																																																																																																																																																						
FG=	287,2 kg																																																																																																																																																																																																																						
W=	262,8 litros																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	14,81 litros																																																																																																																																																																																																																						
S1=	467,8 kg																																																																																																																																																																																																																						
S2=	707,1 kg																																																																																																																																																																																																																						
			<u>Massa total, em kg</u>																																																																																																																																																																																																																				
			2250,7																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,515																																																																																																																																																																																																																			
					<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																		
					0,329																																																																																																																																																																																																																		
Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																																																																																																																							
C1=	816,6 g																																																																																																																																																																																																																						
C2=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
CV=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
MS=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FC=	0,0 g																																																																																																																																																																																																																						
FG=	459,5 g																																																																																																																																																																																																																						
W=	420,4 ml																																																																																																																																																																																																																						
Sp=	23,70 ml																																																																																																																																																																																																																						
S1=	748,4 g																																																																																																																																																																																																																						
S2=	1131,3 g																																																																																																																																																																																																																						
			<u>Massa total, em g</u>																																																																																																																																																																																																																				
			3601,1																																																																																																																																																																																																																				
				<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																																																																																																																			
				0,515																																																																																																																																																																																																																			
					<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																																																																																																																		
					0,329																																																																																																																																																																																																																		

Quadro A.47 – Composição da argamassa A.10.0,65.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.10.0,65.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40FG			Data 22-06-2004																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220			
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																
C1=	536,3 kg			Massa total, em kg		C1=	858,0 g			Massa total, em g																																																												
C2=	0,0 kg			2255,7		C2=	0,0 g			3609,1																																																												
CV=	0,0 kg			Razão água/(mat. cimentícios)		CV=	0,0 g			Razão água/(mat. cimentícios)																																																												
MS=	0,0 kg			0,488		MS=	0,0 g			0,488																																																												
FC=	0,0 kg			Razão água/finos		FC=	0,0 g			Razão água/finos																																																												
FG=	301,7 kg			0,313		FG=	482,8 g			0,313																																																												
W=	261,9 litros					W=	419,0 ml																																																															
Sp=	15,56 litros					Sp=	24,90 ml																																																															
S1=	453,7 kg					S1=	725,9 g																																																															
S2=	685,8 kg					S2=	1097,2 g																																																															

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2944,00 \text{ kg/m}^3 \\ V_{sp}/V_p &= 0,054674 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_p &= 0,284646 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_w &= 0,261874 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_{sp} &= 0,015563 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_s &= 0,437917 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Quadro A.48 – Composição da argamassa A.10.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.10.0,70.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40FG			Data 21-06-2004																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220			
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																
C1=	558,5 kg			Massa total, em kg		C1=	893,6 g			Massa total, em g																																																												
C2=	0,0 kg			2255,6		C2=	0,0 g			3608,9																																																												
CV=	0,0 kg			Razão água/(mat. cimentícios)		CV=	0,0 g			Razão água/(mat. cimentícios)																																																												
MS=	0,0 kg			0,472		MS=	0,0 g			0,472																																																												
FC=	0,0 kg			Razão água/finos		FC=	0,0 g			Razão água/finos																																																												
FG=	314,2 kg			0,302		FG=	502,8 g			0,302																																																												
W=	263,8 litros					W=	422,1 ml																																																															
Sp=	16,21 litros					Sp=	25,93 ml																																																															
S1=	438,7 kg					S1=	702,0 g																																																															
S2=	663,2 kg					S2=	1061,1 g																																																															

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2944,00 \text{ kg/m}^3 \\ V_{sp}/V_p &= 0,054674 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_p &= 0,29645 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_w &= 0,263841 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_{sp} &= 0,016208 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_s &= 0,423501 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Quadro A.49 – Composição da argamassa A.10.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.10.0,75.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40FG			Data 22-06-2004																																																																																																																	
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,86</td> <td>1,95</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,75	0,86	1,95	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																					
0,75	0,86	1,95																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																		
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40																																																																																																																		
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>										Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>										Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																																																												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>										Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																												
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td colspan="5" style="text-align: right;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>580,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>C1=</td> <td>928,1 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2257,0</td> <td></td> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">3611,2</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>326,4 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> <td>FG=</td> <td>522,2 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>264,8 litros</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,456</td> <td></td> <td>W=</td> <td>423,6 ml</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,456</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>16,83 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Sp=</td> <td>26,93 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>425,3 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> <td>S1=</td> <td>680,5 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>642,9 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,292</td> <td></td> <td>S2=</td> <td>1028,6 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,292</td> <td></td> </tr> </table>										Quantidades para um volume de: 1000,00 litros					Quantidades para um volume de: 1,60 litros					C1=	580,0 kg				C1=	928,1 g				C2=	0,0 kg				C2=	0,0 g				CV=	0,0 kg		Massa total, em kg		CV=	0,0 g		Massa total, em g		MS=	0,0 kg		2257,0		MS=	0,0 g		3611,2		FC=	0,0 kg				FC=	0,0 g				FG=	326,4 kg		Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	522,2 g		Razão água/(mat. cimentícios)		W=	264,8 litros		0,456		W=	423,6 ml		0,456		Sp=	16,83 litros				Sp=	26,93 ml				S1=	425,3 kg		Razão água/finos		S1=	680,5 g		Razão água/finos		S2=	642,9 kg		0,292		S2=	1028,6 g		0,292	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros					Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																		
C1=	580,0 kg				C1=	928,1 g																																																																																																																	
C2=	0,0 kg				C2=	0,0 g																																																																																																																	
CV=	0,0 kg		Massa total, em kg		CV=	0,0 g		Massa total, em g																																																																																																															
MS=	0,0 kg		2257,0		MS=	0,0 g		3611,2																																																																																																															
FC=	0,0 kg				FC=	0,0 g																																																																																																																	
FG=	326,4 kg		Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	522,2 g		Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																															
W=	264,8 litros		0,456		W=	423,6 ml		0,456																																																																																																															
Sp=	16,83 litros				Sp=	26,93 ml																																																																																																																	
S1=	425,3 kg		Razão água/finos		S1=	680,5 g		Razão água/finos																																																																																																															
S2=	642,9 kg		0,292		S2=	1028,6 g		0,292																																																																																																															

δp=	2944,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,054674 m ³ /m ³
Vp=	0,307881 m ³ /m ³
Vw=	0,264778 m ³ /m ³
Vsp=	0,016833 m ³ /m ³
Vs=	0,410508 m ³ /m ³

Quadro A.50 – Composição da argamassa A.10.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.10.0,80.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40FG			Data 18-06-2004																																																																																																																	
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,84</td> <td>1,95</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,84	1,95	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2	Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																					
0,80	0,84	1,95																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																		
0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40																																																																																																																		
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>										Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																												
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																																																																							
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>										Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																																																												
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																																																																							
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																																																																		
2590	2610	---	---	---	---																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>										Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---																																																																																												
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																																																																							
δsp	---	---	---	---	---																																																																																																																		
1050	---	---	---	---	---																																																																																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="5" style="text-align: right;">Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</td> <td colspan="5" style="text-align: right;">Quantidades para um volume de: 1,60 litros</td> </tr> <tr> <td>C1=</td> <td>599,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>C1=</td> <td>958,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>C2=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td>CV=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2255,8</td> <td></td> <td>MS=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">3609,4</td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>FC=</td> <td>0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG=</td> <td>337,1 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> <td>FG=</td> <td>539,3 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td>W=</td> <td>267,1 litros</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,446</td> <td></td> <td>W=</td> <td>427,4 ml</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,446</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp=</td> <td>17,39 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Sp=</td> <td>27,82 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1=</td> <td>411,8 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> <td>S1=</td> <td>658,9 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2=</td> <td>622,5 kg</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,285</td> <td></td> <td>S2=</td> <td>996,0 g</td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,285</td> <td></td> </tr> </table>										Quantidades para um volume de: 1000,00 litros					Quantidades para um volume de: 1,60 litros					C1=	599,1 kg				C1=	958,6 g				C2=	0,0 kg				C2=	0,0 g				CV=	0,0 kg		Massa total, em kg		CV=	0,0 g		Massa total, em g		MS=	0,0 kg		2255,8		MS=	0,0 g		3609,4		FC=	0,0 kg				FC=	0,0 g				FG=	337,1 kg		Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	539,3 g		Razão água/(mat. cimentícios)		W=	267,1 litros		0,446		W=	427,4 ml		0,446		Sp=	17,39 litros				Sp=	27,82 ml				S1=	411,8 kg		Razão água/finos		S1=	658,9 g		Razão água/finos		S2=	622,5 kg		0,285		S2=	996,0 g		0,285	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros					Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																																																																		
C1=	599,1 kg				C1=	958,6 g																																																																																																																	
C2=	0,0 kg				C2=	0,0 g																																																																																																																	
CV=	0,0 kg		Massa total, em kg		CV=	0,0 g		Massa total, em g																																																																																																															
MS=	0,0 kg		2255,8		MS=	0,0 g		3609,4																																																																																																															
FC=	0,0 kg				FC=	0,0 g																																																																																																																	
FG=	337,1 kg		Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	539,3 g		Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																															
W=	267,1 litros		0,446		W=	427,4 ml		0,446																																																																																																															
Sp=	17,39 litros				Sp=	27,82 ml																																																																																																																	
S1=	411,8 kg		Razão água/finos		S1=	658,9 g		Razão água/finos																																																																																																															
S2=	622,5 kg		0,285		S2=	996,0 g		0,285																																																																																																															

δp=	2944,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,054674 m ³ /m ³
Vp=	0,317998 m ³ /m ³
Vw=	0,267118 m ³ /m ³
Vsp=	0,017386 m ³ /m ³
Vs=	0,397497 m ³ /m ³

Quadro A.51 – Composição da argamassa A.11.0,60.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																														
Identificação da argamassa A.11.0,60.3		Identificação da mistura de finos 60C1+40CV		Data 08-06-2004																																																										
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>	Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05			Mistura (Curva Real)																																																									
	a1	a2																																																												
	0,40	0,60																																																												
Percentagem de passados																																																														
9,520	100,00	100,00		100,00																																																										
4,760	100,00	99,94		99,96																																																										
2,380	99,97	98,56		99,12																																																										
1,190	99,89	84,75		90,81																																																										
0,590	91,06	43,13		62,30																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																											
Módulos de finura																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																											
Composição da mistura de finos																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																									
0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																														
δs1	δs2	---	---	---	---																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																														
δsp	---	---	---	---	---																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 533,8 kg C2= 0,0 kg CV= 269,7 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 229,5 litros Sp= 14,92 litros S1= 489,2 kg S2= 739,5 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 854,1 g C2= 0,0 g CV= 431,6 g MS= 0,0 g FC= 0,0 g FG= 0,0 g W= 367,2 ml Sp= 23,88 ml S1= 782,8 g S2= 1183,2 g																																																											
Massa total, em kg 2277,5			Massa total, em g 3644,0																																																											
Razão água/(mat. cimentícios) 0,286			Razão água/(mat. cimentícios) 0,286																																																											
Razão água/finos 0,286			Razão água/finos 0,286																																																											

δp= 2836,00 kg/m ³
Vsp/Vp= 0,052669 m ³ /m ³
Vp= 0,283339 m ³ /m ³
Vw= 0,229505 m ³ /m ³
Vsp= 0,014923 m ³ /m ³
Vs= 0,472232 m ³ /m ³

Quadro A.52 – Composição da argamassa A.11.0,65.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																														
Identificação da argamassa A.11.0,65.2		Identificação da mistura de finos 60C1+40CV		Data 14-06-2004																																																										
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>	Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05			Mistura (Curva Real)																																																									
	a1	a2																																																												
	0,40	0,60																																																												
Percentagem de passados																																																														
9,520	100,00	100,00		100,00																																																										
4,760	100,00	99,94		99,96																																																										
2,380	99,97	98,56		99,12																																																										
1,190	99,89	84,75		90,81																																																										
0,590	91,06	43,13		62,30																																																										
0,297	48,16	2,97	21,05																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																											
Módulos de finura																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																											
Composição da mistura de finos																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																									
0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00																																																									
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																									
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																														
δs1	δs2	---	---	---	---																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																									
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																														
δsp	---	---	---	---	---																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																									
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 558,9 kg C2= 0,0 kg CV= 282,4 kg MS= 0,0 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 231,4 litros Sp= 15,62 litros S1= 472,8 kg S2= 714,7 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 894,2 g C2= 0,0 g CV= 451,8 g MS= 0,0 g FC= 0,0 g FG= 0,0 g W= 370,2 ml Sp= 25,00 ml S1= 756,5 g S2= 1143,5 g																																																											
Massa total, em kg 2276,5			Massa total, em g 3642,4																																																											
Razão água/(mat. cimentícios) 0,275			Razão água/(mat. cimentícios) 0,275																																																											
Razão água/finos 0,275			Razão água/finos 0,275																																																											

δp= 2836,00 kg/m ³
Vsp/Vp= 0,052669 m ³ /m ³
Vp= 0,296636 m ³ /m ³
Vw= 0,231376 m ³ /m ³
Vsp= 0,015623 m ³ /m ³
Vs= 0,456364 m ³ /m ³

Quadro A.53 – Composição da argamassa A.11.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.11.0,70.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40CV			Data 09-06-2004																																																																																																																	
Parâmetros da composição <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,75</td> <td>1,95</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,70	0,75	1,95	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																		
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																					
0,70	0,75	1,95																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																		
0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00																																																																																																																		
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																				
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>			δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---	Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																		
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																																			
2590	2610	---	---	---																																																																																																																			
δsp	---	---	---	---																																																																																																																			
1050	---	---	---	---																																																																																																																			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 583,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 294,6 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">2277,3</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 232,1 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 16,30 litros</td> <td style="text-align: right;">0,264</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 458,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 692,3 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">0,264</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 583,1 kg					C2= 0,0 kg					CV= 294,6 kg	<u>Massa total em kg</u>				MS= 0,0 kg	2277,3				FC= 0,0 kg					FG= 0,0 kg					W= 232,1 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				Sp= 16,30 litros	0,264				S1= 458,0 kg					S2= 692,3 kg	<u>Razão água/finos</u>					0,264				Quantidades para um volume de: 1,60 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 932,9 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 471,4 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total em g</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;">3643,7</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 371,4 ml</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 26,08 ml</td> <td style="text-align: right;">0,264</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 732,8 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1107,8 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">0,264</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 932,9 g					C2= 0,0 g					CV= 471,4 g	<u>Massa total em g</u>				MS= 0,0 g	3643,7				FC= 0,0 g					FG= 0,0 g					W= 371,4 ml	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				Sp= 26,08 ml	0,264				S1= 732,8 g					S2= 1107,8 g	<u>Razão água/finos</u>					0,264			
C1= 583,1 kg																																																																																																																							
C2= 0,0 kg																																																																																																																							
CV= 294,6 kg	<u>Massa total em kg</u>																																																																																																																						
MS= 0,0 kg	2277,3																																																																																																																						
FC= 0,0 kg																																																																																																																							
FG= 0,0 kg																																																																																																																							
W= 232,1 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																						
Sp= 16,30 litros	0,264																																																																																																																						
S1= 458,0 kg																																																																																																																							
S2= 692,3 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																						
	0,264																																																																																																																						
C1= 932,9 g																																																																																																																							
C2= 0,0 g																																																																																																																							
CV= 471,4 g	<u>Massa total em g</u>																																																																																																																						
MS= 0,0 g	3643,7																																																																																																																						
FC= 0,0 g																																																																																																																							
FG= 0,0 g																																																																																																																							
W= 371,4 ml	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																						
Sp= 26,08 ml	0,264																																																																																																																						
S1= 732,8 g																																																																																																																							
S2= 1107,8 g	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																						
	0,264																																																																																																																						
<table style="width:100%;"> <tr> <td>δp= 2836,00 kg/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp= 0,052669 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vp= 0,309479 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vw= 0,232109 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vsp= 0,0163 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vs= 0,442112 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					δp= 2836,00 kg/m ³					Vsp/Vp= 0,052669 m ³ /m ³					Vp= 0,309479 m ³ /m ³					Vw= 0,232109 m ³ /m ³					Vsp= 0,0163 m ³ /m ³					Vs= 0,442112 m ³ /m ³																																																																																									
δp= 2836,00 kg/m ³																																																																																																																							
Vsp/Vp= 0,052669 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vp= 0,309479 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vw= 0,232109 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vsp= 0,0163 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vs= 0,442112 m ³ /m ³																																																																																																																							

Quadro A.54 – Composição da argamassa A.11.0,75.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																							
Identificação da argamassa A.11.0,75.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40CV			Data 14-06-2004																																																																																																																	
Parâmetros da composição <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,73</td> <td>1,95</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,75	0,73	1,95	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																		
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																					
0,75	0,73	1,95																																																																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																		
0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00																																																																																																																		
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																				
	a1	a2																																																																																																																					
	0,40	0,60																																																																																																																					
Percentagem de passados																																																																																																																							
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																				
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																				
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																				
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																				
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																				
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																				
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																				
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																				
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																				
Módulos de finura																																																																																																																							
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																				
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>			δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---	Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																		
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																		
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																																			
2590	2610	---	---	---																																																																																																																			
δsp	---	---	---	---																																																																																																																			
1050	---	---	---	---																																																																																																																			
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 604,6 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 305,5 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total em kg</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td style="text-align: right;">2275,6</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 234,3 litros</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 16,90 litros</td> <td style="text-align: right;">0,257</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 443,3 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 670,1 kg</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">0,257</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 604,6 kg					C2= 0,0 kg					CV= 305,5 kg	<u>Massa total em kg</u>				MS= 0,0 kg	2275,6				FC= 0,0 kg					FG= 0,0 kg					W= 234,3 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				Sp= 16,90 litros	0,257				S1= 443,3 kg					S2= 670,1 kg	<u>Razão água/finos</u>					0,257				Quantidades para um volume de: 1,60 litros <table style="width:100%;"> <tr> <td>C1= 967,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 488,8 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Massa total em g</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td style="text-align: right;">3640,9</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 374,8 ml</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 27,04 ml</td> <td style="text-align: right;">0,257</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 709,3 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1072,1 g</td> <td style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">0,257</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					C1= 967,4 g					C2= 0,0 g					CV= 488,8 g	<u>Massa total em g</u>				MS= 0,0 g	3640,9				FC= 0,0 g					FG= 0,0 g					W= 374,8 ml	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>				Sp= 27,04 ml	0,257				S1= 709,3 g					S2= 1072,1 g	<u>Razão água/finos</u>					0,257			
C1= 604,6 kg																																																																																																																							
C2= 0,0 kg																																																																																																																							
CV= 305,5 kg	<u>Massa total em kg</u>																																																																																																																						
MS= 0,0 kg	2275,6																																																																																																																						
FC= 0,0 kg																																																																																																																							
FG= 0,0 kg																																																																																																																							
W= 234,3 litros	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																						
Sp= 16,90 litros	0,257																																																																																																																						
S1= 443,3 kg																																																																																																																							
S2= 670,1 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																						
	0,257																																																																																																																						
C1= 967,4 g																																																																																																																							
C2= 0,0 g																																																																																																																							
CV= 488,8 g	<u>Massa total em g</u>																																																																																																																						
MS= 0,0 g	3640,9																																																																																																																						
FC= 0,0 g																																																																																																																							
FG= 0,0 g																																																																																																																							
W= 374,8 ml	<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																																																																																						
Sp= 27,04 ml	0,257																																																																																																																						
S1= 709,3 g																																																																																																																							
S2= 1072,1 g	<u>Razão água/finos</u>																																																																																																																						
	0,257																																																																																																																						
<table style="width:100%;"> <tr> <td>δp= 2836,00 kg/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp= 0,052669 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vp= 0,320924 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vw= 0,234275 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vsp= 0,016903 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vs= 0,427899 m³/m³</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>					δp= 2836,00 kg/m ³					Vsp/Vp= 0,052669 m ³ /m ³					Vp= 0,320924 m ³ /m ³					Vw= 0,234275 m ³ /m ³					Vsp= 0,016903 m ³ /m ³					Vs= 0,427899 m ³ /m ³																																																																																									
δp= 2836,00 kg/m ³																																																																																																																							
Vsp/Vp= 0,052669 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vp= 0,320924 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vw= 0,234275 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vsp= 0,016903 m ³ /m ³																																																																																																																							
Vs= 0,427899 m ³ /m ³																																																																																																																							

Quadro A.55 – Composição da argamassa A.11.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.11.0,80.2			Identificação da mistura de finos 60C1+40CV			Data 07-06-2004																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220			
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,60	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																
C1=	623,3 kg			<u>Massa total, em kg</u>		C1=	997,3 g			<u>Massa total, em g</u>																																																												
C2=	0,0 kg			2270,8		C2=	0,0 g			3633,2																																																												
CV=	315,0 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		CV=	503,9 g			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																												
MS=	0,0 kg			0,254		MS=	0,0 g			0,254																																																												
FC=	0,0 kg			<u>W=</u>		FC=	0,0 g			<u>W=</u>																																																												
FG=	0,0 kg			238,2 litros		FG=	0,0 g			381,1 ml																																																												
W=	238,2 litros			<u>Sp=</u>		W=	381,1 ml			<u>Sp=</u>																																																												
Sp=	17,42 litros			0,254		Sp=	27,88 ml			0,254																																																												
S1=	428,4 kg			<u>S1=</u>		S1=	685,5 g			<u>S1=</u>																																																												
S2=	647,6 kg			0,254		S2=	1036,2 g			0,254																																																												

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2836,00 \text{ kg/m}^3 \\ V_{sp}/V_p &= 0,052669 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_p &= 0,330833 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_w &= 0,2382 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_{sp} &= 0,017425 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_s &= 0,413542 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Quadro A.56 – Composição da argamassa A.12.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.12.0,60.2			Identificação da mistura de finos 50C1+50FC			Data 25-10-2004																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220			
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																
C1=	446,7 kg			<u>Massa total, em kg</u>		C1=	714,7 g			<u>Massa total, em g</u>																																																												
C2=	0,0 kg			2309,2		C2=	0,0 g			3694,8																																																												
CV=	0,0 kg			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>		CV=	0,0 g			<u>Razão água/(mat. cimentícios)</u>																																																												
MS=	0,0 kg			0,522		MS=	0,0 g			0,522																																																												
FC=	387,0 kg			<u>W=</u>		FC=	619,1 g			<u>W=</u>																																																												
FG=	0,0 kg			233,3 litros		FG=	0,0 g			373,3 ml																																																												
W=	233,3 litros			<u>Sp=</u>		W=	373,3 ml			<u>Sp=</u>																																																												
Sp=	7,94 litros			0,280		Sp=	12,70 ml			0,280																																																												
S1=	491,3 kg			<u>S1=</u>		S1=	786,1 g			<u>S1=</u>																																																												
S2=	742,6 kg			0,280		S2=	1188,2 g			0,280																																																												

$$\begin{aligned} \delta_p &= 2930,00 \text{ kg/m}^3 \\ V_{sp}/V_p &= 0,027905 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_p &= 0,28453 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_w &= 0,233314 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_{sp} &= 0,00794 \text{ m}^3/\text{m}^3 \\ V_s &= 0,474216 \text{ m}^3/\text{m}^3 \end{aligned}$$

Quadro A.57 – Composição da argamassa A.12.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																									
Identificação da argamassa A.12.0,70.2			Identificação da mistura de finos 50C1+50FC			Data 25-10-2004																																																																																																																																																																			
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,70</td> <td>0,75</td> <td>1,00</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,70	0,75	1,00	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,50</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,50</td> <td>0,00</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																				
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																							
0,70	0,75	1,00																																																																																																																																																																							
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																				
0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00																																																																																																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																						
	a1	a2																																																																																																																																																																							
	0,40	0,60																																																																																																																																																																							
Percentagem de passados																																																																																																																																																																									
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																						
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																						
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																						
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																						
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																						
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																						
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																						
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																						
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																						
Módulos de finura																																																																																																																																																																									
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																						
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>			δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---	Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																																																																																
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																				
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																				
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																																																																																					
2590	2610	---	---	---																																																																																																																																																																					
δsp	---	---	---	---																																																																																																																																																																					
1050	---	---	---	---																																																																																																																																																																					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros <table style="width: 100%;"> <tr> <td>C1= 489,6 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 424,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 233,9 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 8,70 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 461,6 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 697,7 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">2316,1</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,478</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,256</td> </tr> </table>					C1= 489,6 kg					C2= 0,0 kg					CV= 0,0 kg					MS= 0,0 kg					FC= 424,1 kg					FG= 0,0 kg					W= 233,9 litros					Sp= 8,70 litros					S1= 461,6 kg					S2= 697,7 kg						Massa total, em kg						2316,1						Razão água/(mat. cimentícios)					0,478						Razão água/finos					0,256	Quantidades para um volume de: 1,60 litros <table style="width: 100%;"> <tr> <td>C1= 783,4 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 678,6 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 374,2 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 13,92 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 738,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1116,3 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">3705,7</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,478</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,256</td> </tr> </table>					C1= 783,4 g					C2= 0,0 g					CV= 0,0 g					MS= 0,0 g					FC= 678,6 g					FG= 0,0 g					W= 374,2 ml					Sp= 13,92 ml					S1= 738,5 g					S2= 1116,3 g						Massa total, em g						3705,7						Razão água/(mat. cimentícios)					0,478						Razão água/finos					0,256
C1= 489,6 kg																																																																																																																																																																									
C2= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
CV= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
MS= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
FC= 424,1 kg																																																																																																																																																																									
FG= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
W= 233,9 litros																																																																																																																																																																									
Sp= 8,70 litros																																																																																																																																																																									
S1= 461,6 kg																																																																																																																																																																									
S2= 697,7 kg																																																																																																																																																																									
	Massa total, em kg																																																																																																																																																																								
		2316,1																																																																																																																																																																							
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																																																						
			0,478																																																																																																																																																																						
				Razão água/finos																																																																																																																																																																					
				0,256																																																																																																																																																																					
C1= 783,4 g																																																																																																																																																																									
C2= 0,0 g																																																																																																																																																																									
CV= 0,0 g																																																																																																																																																																									
MS= 0,0 g																																																																																																																																																																									
FC= 678,6 g																																																																																																																																																																									
FG= 0,0 g																																																																																																																																																																									
W= 374,2 ml																																																																																																																																																																									
Sp= 13,92 ml																																																																																																																																																																									
S1= 738,5 g																																																																																																																																																																									
S2= 1116,3 g																																																																																																																																																																									
	Massa total, em g																																																																																																																																																																								
		3705,7																																																																																																																																																																							
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																																																						
			0,478																																																																																																																																																																						
				Razão água/finos																																																																																																																																																																					
				0,256																																																																																																																																																																					

δp=	2930,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,027905 m ³ /m ³
Vp=	0,311869 m ³ /m ³
Vw=	0,233902 m ³ /m ³
Vsp=	0,008703 m ³ /m ³
Vs=	0,445527 m ³ /m ³

Quadro A.58 – Composição da argamassa A.12.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																																																																																																																									
Identificação da argamassa A.12.0,80.2			Identificação da mistura de finos 50C1+50FC			Data 25-10-2004																																																																																																																																																																			
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,71</td> <td>1,00</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,71	1,00	Composição da mistura de finos <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,50</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,50</td> <td>0,00</td> </tr> </table>			fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220																																																																																				
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																																																																																																																							
0,80	0,71	1,00																																																																																																																																																																							
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																																																																																																																				
0,50	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00																																																																																																																																																																				
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																																																																																																																						
	a1	a2																																																																																																																																																																							
	0,40	0,60																																																																																																																																																																							
Percentagem de passados																																																																																																																																																																									
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																																																																																																																						
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																																																																																																																						
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																																																																																																																						
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																																																																																																																						
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																																																																																																																						
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																																																																																																																						
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																																																																																																																						
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																																																																																																																						
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																																																																																																																						
Módulos de finura																																																																																																																																																																									
	1,494	2,704	2,220																																																																																																																																																																						
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>			δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650	Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>			δs1	δs2	---	---	---	2590	2610	---	---	---	Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³ <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>				δsp	---	---	---	---	1050	---	---	---	---																																																																																																																																
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																																																																																																																				
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																																																																																																																				
δs1	δs2	---	---	---																																																																																																																																																																					
2590	2610	---	---	---																																																																																																																																																																					
δsp	---	---	---	---																																																																																																																																																																					
1050	---	---	---	---																																																																																																																																																																					
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros <table style="width: 100%;"> <tr> <td>C1= 525,5 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 455,2 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 237,6 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 9,34 litros</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 433,4 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 655,1 kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em kg</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">2316,6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,452</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,242</td> </tr> </table>					C1= 525,5 kg					C2= 0,0 kg					CV= 0,0 kg					MS= 0,0 kg					FC= 455,2 kg					FG= 0,0 kg					W= 237,6 litros					Sp= 9,34 litros					S1= 433,4 kg					S2= 655,1 kg						Massa total, em kg						2316,6						Razão água/(mat. cimentícios)					0,452						Razão água/finos					0,242	Quantidades para um volume de: 1,60 litros <table style="width: 100%;"> <tr> <td>C1= 840,7 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>C2= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CV= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>MS= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FC= 728,3 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FG= 0,0 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>W= 380,2 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sp= 14,94 ml</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S1= 693,5 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>S2= 1048,2 g</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;">Massa total, em g</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">3706,6</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/(mat. cimentícios)</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,452</td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">Razão água/finos</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">0,242</td> </tr> </table>					C1= 840,7 g					C2= 0,0 g					CV= 0,0 g					MS= 0,0 g					FC= 728,3 g					FG= 0,0 g					W= 380,2 ml					Sp= 14,94 ml					S1= 693,5 g					S2= 1048,2 g						Massa total, em g						3706,6						Razão água/(mat. cimentícios)					0,452						Razão água/finos					0,242
C1= 525,5 kg																																																																																																																																																																									
C2= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
CV= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
MS= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
FC= 455,2 kg																																																																																																																																																																									
FG= 0,0 kg																																																																																																																																																																									
W= 237,6 litros																																																																																																																																																																									
Sp= 9,34 litros																																																																																																																																																																									
S1= 433,4 kg																																																																																																																																																																									
S2= 655,1 kg																																																																																																																																																																									
	Massa total, em kg																																																																																																																																																																								
		2316,6																																																																																																																																																																							
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																																																						
			0,452																																																																																																																																																																						
				Razão água/finos																																																																																																																																																																					
				0,242																																																																																																																																																																					
C1= 840,7 g																																																																																																																																																																									
C2= 0,0 g																																																																																																																																																																									
CV= 0,0 g																																																																																																																																																																									
MS= 0,0 g																																																																																																																																																																									
FC= 728,3 g																																																																																																																																																																									
FG= 0,0 g																																																																																																																																																																									
W= 380,2 ml																																																																																																																																																																									
Sp= 14,94 ml																																																																																																																																																																									
S1= 693,5 g																																																																																																																																																																									
S2= 1048,2 g																																																																																																																																																																									
	Massa total, em g																																																																																																																																																																								
		3706,6																																																																																																																																																																							
			Razão água/(mat. cimentícios)																																																																																																																																																																						
			0,452																																																																																																																																																																						
				Razão água/finos																																																																																																																																																																					
				0,242																																																																																																																																																																					

δp=	2930,00 kg/m ³
Vsp/Vp=	0,027905 m ³ /m ³
Vp=	0,334683 m ³ /m ³
Vw=	0,237625 m ³ /m ³
Vsp=	0,009339 m ³ /m ³
Vs=	0,418353 m ³ /m ³

Quadro A.59 – Composição da argamassa A.13.0,60.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																													
Identificação da argamassa A.13.0,60.3		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC		Data 26-10-2004																																																									
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>	Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05			Mistura (Curva Real)																																																								
	a1	a2																																																											
	0,40	0,60																																																											
Percentagem de passados																																																													
9,520	100,00	100,00		100,00																																																									
4,760	100,00	99,94		99,96																																																									
2,380	99,97	98,56		99,12																																																									
1,190	99,89	84,75		90,81																																																									
0,590	91,06	43,13		62,30																																																									
0,297	48,16	2,97	21,05																																																										
0,149	11,49	0,21	4,72																																																										
0,074	2,04	0,05	0,85																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																										
Módulos de finura																																																													
	1,494	2,704	2,220																																																										
Composição da mistura de finos			<p> $\delta_p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,024754 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,285598 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,231335 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,00707 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,475997 \text{ m}^3/\text{m}^3$ </p>																																																										
fc1	fc2	fcv		fms	ffc	ffg																																																							
0,40	0,00	0,00		0,00	0,60	0,00																																																							
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																													
δc1	δc2	δcv		δms	δfc	δfg																																																							
3140	3040	2380		2170	2720	2650																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																													
δs1	δs2	---		---	---	---																																																							
2590	2610	---		---	---	---																																																							
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																													
δsp	---	---	---	---	---																																																								
1050	---	---	---	---	---																																																								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																										
C1=	358,7 kg		C1=	573,9 g																																																									
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																									
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																								
MS=	0,0 kg	2302,1	MS=	0,0 g	3683,4																																																								
FC=	466,1 kg		FC=	745,8 g																																																									
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																								
W=	231,3 litros	0,645	W=	370,1 ml	0,645																																																								
Sp=	7,07 litros		Sp=	11,31 ml																																																									
S1=	493,1 kg	Razão água/finos	S1=	789,0 g	Razão água/finos																																																								
S2=	745,4 kg	0,280	S2=	1192,7 g	0,280																																																								

Quadro A.60 – Composição da argamassa A.13.0,70.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																													
Identificação da argamassa A.13.0,70.1		Identificação da mistura de finos 40C1+60FC		Data 26-10-2004																																																									
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>	Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05			Mistura (Curva Real)																																																								
	a1	a2																																																											
	0,40	0,60																																																											
Percentagem de passados																																																													
9,520	100,00	100,00		100,00																																																									
4,760	100,00	99,94		99,96																																																									
2,380	99,97	98,56		99,12																																																									
1,190	99,89	84,75		90,81																																																									
0,590	91,06	43,13		62,30																																																									
0,297	48,16	2,97	21,05																																																										
0,149	11,49	0,21	4,72																																																										
0,074	2,04	0,05	0,85																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																										
Módulos de finura																																																													
	1,494	2,704	2,220																																																										
Composição da mistura de finos			<p> $\delta_p = 2888,00 \text{ kg/m}^3$ $V_{sp}/V_p = 0,022004 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_p = 0,313423 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_w = 0,231933 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_{sp} = 0,006897 \text{ m}^3/\text{m}^3$ $V_s = 0,447747 \text{ m}^3/\text{m}^3$ </p>																																																										
fc1	fc2	fcv		fms	ffc	ffg																																																							
0,40	0,00	0,00		0,00	0,60	0,00																																																							
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																													
δc1	δc2	δcv		δms	δfc	δfg																																																							
3140	3040	2380		2170	2720	2650																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																													
δs1	δs2	---		---	---	---																																																							
2590	2610	---		---	---	---																																																							
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																													
δsp	---	---	---	---	---																																																								
1050	---	---	---	---	---																																																								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																										
C1=	393,7 kg		C1=	629,9 g																																																									
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g																																																									
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																								
MS=	0,0 kg	2309,4	MS=	0,0 g	3695,0																																																								
FC=	511,5 kg		FC=	818,4 g																																																									
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																								
W=	231,9 litros	0,589	W=	371,1 ml	0,589																																																								
Sp=	6,90 litros		Sp=	11,03 ml																																																									
S1=	463,9 kg	Razão água/finos	S1=	742,2 g	Razão água/finos																																																								
S2=	701,2 kg	0,256	S2=	1121,9 g	0,256																																																								

Quadro A.61 – Composição da argamassa A.13.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa A.13.0,80.2			Identificação da mistura de finos 40C1+60FC			Data 26-10-2004																																																																								
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,80</td> <td>0,70</td> <td>0,80</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,80	0,70	0,80				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,80	0,70	0,80																																																																												
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2																																																																												
	0,40	0,60																																																																												
Percentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																											
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																											
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																											
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																											
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,40</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																							
Composição da mistura de finos																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
0,40	0,00	0,00	0,00	0,60	0,00																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																							
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																														
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---				<table style="width: 100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2888,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,022004 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,336473 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,235531 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,007404 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,420592 m³/m³</td> </tr> </table>			δp=	2888,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,022004 m ³ /m ³	Vp=	0,336473 m ³ /m ³	Vw=	0,235531 m ³ /m ³	Vsp=	0,007404 m ³ /m ³	Vs=	0,420592 m ³ /m ³																																					
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																														
δsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
δp=	2888,00 kg/m ³																																																																													
Vsp/Vp=	0,022004 m ³ /m ³																																																																													
Vp=	0,336473 m ³ /m ³																																																																													
Vw=	0,235531 m ³ /m ³																																																																													
Vsp=	0,007404 m ³ /m ³																																																																													
Vs=	0,420592 m ³ /m ³																																																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 422,6 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 549,1 kg FG= 0,0 kg W= 235,5 litros Sp= 7,40 litros S1= 435,7 kg S2= 658,6 kg Massa total, em kg 2309,4 Razão água/(mat. cimentícios) 0,557 Razão água/finos 0,242 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 676,2 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 878,6 g FG= 0,0 g W= 376,9 ml Sp= 11,85 ml S1= 697,2 g S2= 1053,8 g Massa total, em g 3695,1 Razão água/(mat. cimentícios) 0,557 Razão água/finos 0,242 </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 422,6 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 549,1 kg FG= 0,0 kg W= 235,5 litros Sp= 7,40 litros S1= 435,7 kg S2= 658,6 kg Massa total, em kg 2309,4 Razão água/(mat. cimentícios) 0,557 Razão água/finos 0,242	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 676,2 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 878,6 g FG= 0,0 g W= 376,9 ml Sp= 11,85 ml S1= 697,2 g S2= 1053,8 g Massa total, em g 3695,1 Razão água/(mat. cimentícios) 0,557 Razão água/finos 0,242																																																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 422,6 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 549,1 kg FG= 0,0 kg W= 235,5 litros Sp= 7,40 litros S1= 435,7 kg S2= 658,6 kg Massa total, em kg 2309,4 Razão água/(mat. cimentícios) 0,557 Razão água/finos 0,242	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 676,2 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 878,6 g FG= 0,0 g W= 376,9 ml Sp= 11,85 ml S1= 697,2 g S2= 1053,8 g Massa total, em g 3695,1 Razão água/(mat. cimentícios) 0,557 Razão água/finos 0,242																																																																													

Quadro A.62 – Composição da argamassa A.14.0,60.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																														
Identificação da argamassa A.14.0,60.2			Identificação da mistura de finos 60C2+40FC			Data 28-10-2004																																																																								
Parâmetros da composição <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th>Vp/Vs</th> <th>Vw/Vp</th> <th>Sp/P%</th> </tr> <tr> <td>0,60</td> <td>0,80</td> <td>1,55</td> </tr> </table>			Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	0,60	0,80	1,55				<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220						
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																																												
0,60	0,80	1,55																																																																												
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																											
	a1	a2																																																																												
	0,40	0,60																																																																												
Percentagem de passados																																																																														
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																											
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																											
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																											
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																											
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																											
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																											
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																											
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																											
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																											
Módulos de finura																																																																														
	1,494	2,704	2,220																																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Composição da mistura de finos</th> </tr> <tr> <th>fc1</th> <th>fc2</th> <th>fcv</th> <th>fms</th> <th>ffc</th> <th>ffg</th> </tr> <tr> <td>0,00</td> <td>0,60</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,40</td> <td>0,00</td> </tr> </table>						Composição da mistura de finos						fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	0,00	0,60	0,00	0,00	0,40	0,00																																																							
Composição da mistura de finos																																																																														
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																									
0,00	0,60	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δc1</th> <th>δc2</th> <th>δcv</th> <th>δms</th> <th>δfc</th> <th>δfg</th> </tr> <tr> <td>3140</td> <td>3040</td> <td>2380</td> <td>2170</td> <td>2720</td> <td>2650</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³						δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg	3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																							
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																														
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																									
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δs1</th> <th>δs2</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>2590</td> <td>2610</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³						δs1	δs2	---	---	---	---	2590	2610	---	---	---	---																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																														
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																									
2590	2610	---	---	---	---																																																																									
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="6" style="text-align: center;">Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³</th> </tr> <tr> <th>δsp</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> <th>---</th> </tr> <tr> <td>1050</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </table>						Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³						δsp	---	---	---	---	---	1050	---	---	---	---	---				<table style="width: 100%;"> <tr> <td>δp=</td> <td>2912,00 kg/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp/Vp=</td> <td>0,042987 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vp=</td> <td>0,284928 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vw=</td> <td>0,227943 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vsp=</td> <td>0,012248 m³/m³</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>0,474881 m³/m³</td> </tr> </table>			δp=	2912,00 kg/m ³	Vsp/Vp=	0,042987 m ³ /m ³	Vp=	0,284928 m ³ /m ³	Vw=	0,227943 m ³ /m ³	Vsp=	0,012248 m ³ /m ³	Vs=	0,474881 m ³ /m ³																																					
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																														
δsp	---	---	---	---	---																																																																									
1050	---	---	---	---	---																																																																									
δp=	2912,00 kg/m ³																																																																													
Vsp/Vp=	0,042987 m ³ /m ³																																																																													
Vp=	0,284928 m ³ /m ³																																																																													
Vw=	0,227943 m ³ /m ³																																																																													
Vsp=	0,012248 m ³ /m ³																																																																													
Vs=	0,474881 m ³ /m ³																																																																													
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 519,7 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 310,0 kg FG= 0,0 kg W= 227,9 litros Sp= 12,25 litros S1= 492,0 kg S2= 743,7 kg Massa total, em kg 2306,2 Razão água/(mat. cimentícios) 0,439 Razão água/finos 0,275 </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,0 g C2= 831,5 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 496,0 g FG= 0,0 g W= 364,7 ml Sp= 19,60 ml S1= 787,2 g S2= 1189,9 g Massa total, em g 3689,8 Razão água/(mat. cimentícios) 0,439 Razão água/finos 0,275 </td> </tr> </table>						Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 519,7 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 310,0 kg FG= 0,0 kg W= 227,9 litros Sp= 12,25 litros S1= 492,0 kg S2= 743,7 kg Massa total, em kg 2306,2 Razão água/(mat. cimentícios) 0,439 Razão água/finos 0,275	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,0 g C2= 831,5 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 496,0 g FG= 0,0 g W= 364,7 ml Sp= 19,60 ml S1= 787,2 g S2= 1189,9 g Massa total, em g 3689,8 Razão água/(mat. cimentícios) 0,439 Razão água/finos 0,275																																																																							
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 0,0 kg C2= 519,7 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 310,0 kg FG= 0,0 kg W= 227,9 litros Sp= 12,25 litros S1= 492,0 kg S2= 743,7 kg Massa total, em kg 2306,2 Razão água/(mat. cimentícios) 0,439 Razão água/finos 0,275	Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 0,0 g C2= 831,5 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 496,0 g FG= 0,0 g W= 364,7 ml Sp= 19,60 ml S1= 787,2 g S2= 1189,9 g Massa total, em g 3689,8 Razão água/(mat. cimentícios) 0,439 Razão água/finos 0,275																																																																													

Quadro A.63 – Composição da argamassa A.14.0,70.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.14.0,70.2			Identificação da mistura de finos 60C2+40FC			Data 28-10-2004																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220			
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,00	0,60	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
						δp= 2912,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,03744 m ³ /m ³ Vp= 0,31289 m ³ /m ³ Vw= 0,22841 m ³ /m ³ Vsp= 0,011715 m ³ /m ³ Vs= 0,446986 m ³ /m ³																																																																
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																
C1=	0,0 kg			C1=	0,0 g			C1=	0,0 g																																																													
C2=	570,7 kg			C2=	913,1 g			C2=	913,1 g																																																													
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg		CV=	0,0 g	Massa total, em g		CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																												
MS=	0,0 kg	2314,9		MS=	0,0 g	3703,8		MS=	0,0 g	3703,8																																																												
FC=	340,4 kg			FC=	544,7 g			FC=	544,7 g																																																													
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																												
W=	228,4 litros	0,400		W=	365,5 ml	0,400		W=	365,5 ml	0,400																																																												
Sp=	11,71 litros			Sp=	18,74 ml			Sp=	18,74 ml																																																													
S1=	463,1 kg	Razão água/finos		S1=	740,9 g	Razão água/finos		S1=	740,9 g	Razão água/finos																																																												
S2=	700,0 kg	0,251		S2=	1120,0 g	0,251		S2=	1120,0 g	0,251																																																												

Quadro A.64 – Composição da argamassa A.14.0,80.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.14.0,80.1			Identificação da mistura de finos 60C2+40FC			Data 28-10-2004																																																																
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220			
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,00	0,60	0,00	0,00	0,40	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
						δp= 2912,00 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,036053 m ³ /m ³ Vp= 0,336015 m ³ /m ³ Vw= 0,231851 m ³ /m ³ Vsp= 0,012114 m ³ /m ³ Vs= 0,420019 m ³ /m ³																																																																
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros						Quantidades para um volume de: 1,60 litros																																																																
C1=	0,0 kg			C1=	0,0 g			C1=	0,0 g																																																													
C2=	612,9 kg			C2=	980,6 g			C2=	980,6 g																																																													
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg		CV=	0,0 g	Massa total, em g		CV=	0,0 g	Massa total, em g																																																												
MS=	0,0 kg	2315,9		MS=	0,0 g	3705,5		MS=	0,0 g	3705,5																																																												
FC=	365,6 kg			FC=	584,9 g			FC=	584,9 g																																																													
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)																																																												
W=	231,9 litros	0,378		W=	371,0 ml	0,378		W=	371,0 ml	0,378																																																												
Sp=	12,11 litros			Sp=	19,38 ml			Sp=	19,38 ml																																																													
S1=	435,1 kg	Razão água/finos		S1=	696,2 g	Razão água/finos		S1=	696,2 g	Razão água/finos																																																												
S2=	657,8 kg	0,237		S2=	1052,4 g	0,237		S2=	1052,4 g	0,237																																																												

Quadro A.65 – Composição da argamassa A.15,0,60,2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.15,0,60,2				Identificação da mistura de finos 50C2+50FC				Data 27-10-2004																																																														
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 435,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 389,6 kg FG= 0,0 kg W= 226,3 litros Sp= 9,82 litros S1= 494,6 kg S2= 747,6 kg</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,0 g C2= 696,7 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 623,3 g FG= 0,0 g W= 362,1 ml Sp= 15,71 ml S1= 791,4 g S2= 1196,2 g</p> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Massa total, em kg 2303,9</td> <td style="text-align: center;">Massa total, em g 3686,2</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,520</td> <td style="text-align: center;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,520</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Razão água/finos 0,274</td> <td style="text-align: center;">Razão água/finos 0,274</td> </tr> </table>						<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 435,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 389,6 kg FG= 0,0 kg W= 226,3 litros Sp= 9,82 litros S1= 494,6 kg S2= 747,6 kg</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,0 g C2= 696,7 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 623,3 g FG= 0,0 g W= 362,1 ml Sp= 15,71 ml S1= 791,4 g S2= 1196,2 g</p>	Massa total, em kg 2303,9	Massa total, em g 3686,2	Razão água/(mat. cimentícios) 0,520	Razão água/(mat. cimentícios) 0,520	Razão água/finos 0,274	Razão água/finos 0,274																																																									
<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 435,4 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 389,6 kg FG= 0,0 kg W= 226,3 litros Sp= 9,82 litros S1= 494,6 kg S2= 747,6 kg</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,0 g C2= 696,7 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 623,3 g FG= 0,0 g W= 362,1 ml Sp= 15,71 ml S1= 791,4 g S2= 1196,2 g</p>																																																																					
Massa total, em kg 2303,9	Massa total, em g 3686,2																																																																					
Razão água/(mat. cimentícios) 0,520	Razão água/(mat. cimentícios) 0,520																																																																					
Razão água/finos 0,274	Razão água/finos 0,274																																																																					

Quadro A.66 – Composição da argamassa A.15,0,70,2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																						
Identificação da argamassa A.15,0,70,2				Identificação da mistura de finos 50C2+50FC				Data 27-10-2004																																																														
Parâmetros da composição						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th>Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>						Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2			0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																			
	a1	a2																																																																				
	0,40	0,60																																																																				
Percentagem de passados																																																																						
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																			
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																			
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																			
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																			
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																			
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																			
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																			
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																			
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																			
Módulos de finura																																																																						
	1,494	2,704	2,220																																																																			
Composição da mistura de finos																																																																						
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																	
0,00	0,50	0,00	0,00	0,50	0,00																																																																	
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																						
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																	
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																						
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																	
2590	2610	---	---	---	---																																																																	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																						
δsp	---	---	---	---	---																																																																	
1050	---	---	---	---	---																																																																	
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 478,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 427,7 kg FG= 0,0 kg W= 226,4 litros Sp= 9,92 litros S1= 465,4 kg S2= 703,5 kg</p> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,0 g C2= 764,8 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 684,3 g FG= 0,0 g W= 362,3 ml Sp= 15,87 ml S1= 744,6 g S2= 1125,6 g</p> </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Massa total, em kg 2311,3</td> <td style="text-align: center;">Massa total, em g 3698,1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,474</td> <td style="text-align: center;">Razão água/(mat. cimentícios) 0,474</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Razão água/finos 0,250</td> <td style="text-align: center;">Razão água/finos 0,250</td> </tr> </table>						<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 478,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 427,7 kg FG= 0,0 kg W= 226,4 litros Sp= 9,92 litros S1= 465,4 kg S2= 703,5 kg</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,0 g C2= 764,8 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 684,3 g FG= 0,0 g W= 362,3 ml Sp= 15,87 ml S1= 744,6 g S2= 1125,6 g</p>	Massa total, em kg 2311,3	Massa total, em g 3698,1	Razão água/(mat. cimentícios) 0,474	Razão água/(mat. cimentícios) 0,474	Razão água/finos 0,250	Razão água/finos 0,250																																																									
<p>Quantidades para um volume de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,0 kg C2= 478,0 kg CV= 0,0 kg MS= 0,0 kg FC= 427,7 kg FG= 0,0 kg W= 226,4 litros Sp= 9,92 litros S1= 465,4 kg S2= 703,5 kg</p>	<p>Quantidades para um volume de: 1,60 litros</p> <p>C1= 0,0 g C2= 764,8 g CV= 0,0 g MS= 0,0 g FC= 684,3 g FG= 0,0 g W= 362,3 ml Sp= 15,87 ml S1= 744,6 g S2= 1125,6 g</p>																																																																					
Massa total, em kg 2311,3	Massa total, em g 3698,1																																																																					
Razão água/(mat. cimentícios) 0,474	Razão água/(mat. cimentícios) 0,474																																																																					
Razão água/finos 0,250	Razão água/finos 0,250																																																																					

Quadro A.67 – Composição da argamassa A.15.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS							
Identificação da argamassa A.15.0,80.2		Identificação da mistura de finos 50C2+50FC		Data 27-10-2004			
Parâmetros da composição			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		a1	a2		
0,80	0,68	1,15		0,40	0,60		
Composição da mistura de finos				Percentagem de passados			
fc1	fc2	fcv		fms	ffc	ffg	
0,00	0,50	0,00		0,00	0,50	0,00	9,520
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³				Módulos de finura			100,00
δc1	δc2	δcv		δms	δfc	δfg	4,760
3140	3040	2380		2170	2720	2650	2,380
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				δp= 2880,00 kg/m ³			1,190
δs1	δs2	---	---	---	---	0,590	
2590	2610	---	---	---	---	0,297	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			Vsp/Vp= 0,031543 m ³ /m ³			0,149	
δsp	---	---	---	---	---	0,297	
1050	---	---	---	---	---	0,149	
			Vp= 0,337662 m ³ /m ³			0,074	
			Vw= 0,22961 m ³ /m ³			Resíduo	
			Vsp= 0,010651 m ³ /m ³			0,00	
			Vs= 0,422077 m ³ /m ³			0,00	
						1,494	
						2,704	
						2,220	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros				
C1=	0,0 kg		C1=	0,0 g			
C2=	513,2 kg		C2=	821,2 g			
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g		
MS=	0,0 kg	2311,5	MS=	0,0 g	3698,4		
FC=	459,2 kg		FC=	734,8 g			
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		
W=	229,6 litros	0,447	W=	367,4 ml	0,447		
Sp=	10,65 litros		Sp=	17,04 ml			
S1=	437,3 kg	Razão água/finos	S1=	699,6 g	Razão água/finos		
S2=	661,0 kg	0,236	S2=	1057,6 g	0,236		

Quadro A.68 – Composição da argamassa A.I.0,80.7

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS							
Identificação da argamassa A.I.0,80.7		Identificação da mistura de finos 93C1+7MS		Data 27-05-2004			
Parâmetros da composição			Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%		a1	a2		
0,80	0,77	9,50		0,40	0,60		
Composição da mistura de finos				Percentagem de passados			
fc1	fc2	fcv		fms	ffc	ffg	
0,93	0,00	0,00		0,07	0,00	0,00	9,520
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³				Módulos de finura			100,00
δc1	δc2	δcv		δms	δfc	δfg	4,760
3140	3040	2380		2170	2720	2650	2,380
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				δp= 3072,10 kg/m ³			1,190
δs1	δs2	---	---	---	---	0,590	
2590	2610	---	---	---	---	0,297	
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			Vsp/Vp= 0,277952 m ³ /m ³			0,149	
δsp	---	---	---	---	---	0,297	
1050	---	---	---	---	---	0,149	
			Vp= 0,303218 m ³ /m ³			0,074	
			Vw= 0,233478 m ³ /m ³			Resíduo	
			Vsp= 0,08428 m ³ /m ³			0,00	
			Vs= 0,379023 m ³ /m ³			0,00	
						1,494	
						2,704	
						2,220	
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros				
C1=	885,5 kg		C1=	1416,7 g			
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g			
CV=	0,0 kg	Massa total, em kg	CV=	0,0 g	Massa total, em g		
MS=	46,1 kg	2239,7	MS=	73,7 g	3583,5		
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g			
FG=	0,0 kg	Razão água/(mat. cimentícios)	FG=	0,0 g	Razão água/(mat. cimentícios)		
W=	233,5 litros	0,251	W=	373,6 ml	0,251		
Sp=	84,28 litros		Sp=	134,85 ml			
S1=	392,7 kg	Razão água/finos	S1=	628,3 g	Razão água/finos		
S2=	593,6 kg	0,251	S2=	949,7 g	0,251		

Quadro A.69 – Composição da argamassa A.II.0,80.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa A.II.0,80.1			Identificação da mistura de finos 65C1+5MS+30FC			Data 01-06-2004					
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha (mm)			Mistura (Curva Real)		
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2	
0,80	0,72	4,80	0,65	0,00	0,00	0,05	0,30	0,00	0,40	0,60	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2965,50 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,135566 m ³ /m ³ Vp= 0,322003 m ³ /m ³ Vw= 0,231842 m ³ /m ³ Vsp= 0,043653 m ³ /m ³ Vs= 0,402503 m ³ /m ³		
δs1	δs2	---	δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg			
2590	2610	---	3140	3040	2380	2170	2720	2650	1050	---	---
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros								
C1=	657,2 kg		C1=	1051,5 g		Massa total, em kg			Massa total, em g		
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g		Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/(mat. cimentícios)		
CV=	0,0 kg		CV=	0,0 g		Razão água/finos			Razão água/finos		
MS=	34,9 kg		MS=	55,9 g		0,335			0,335		
FC=	262,8 kg		FC=	420,4 g		0,243			0,243		
FG=	0,0 kg		FG=	0,0 g							
W=	231,8 litros		W=	370,9 ml							
Sp=	43,65 litros		Sp=	69,84 ml							
S1=	417,0 kg		S1=	667,2 g							
S2=	630,3 kg		S2=	1008,5 g							

Quadro A.70 – Composição da argamassa A.III.0,80.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS											
Identificação da argamassa A.III.0,80.4			Identificação da mistura de finos 65C1+5MS+30FG			Data 29-05-2004					
Parâmetros da composição			Composição da mistura de finos			Abertura da malha (mm)			Mistura (Curva Real)		
Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%	fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg	a1	a2	
0,80	0,81	5,70	0,65	0,00	0,00	0,05	0,00	0,30	0,40	0,60	
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³			Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³			Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³			δp= 2944,50 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,159844 m ³ /m ³ Vp= 0,310574 m ³ /m ³ Vw= 0,251565 m ³ /m ³ Vsp= 0,049643 m ³ /m ³ Vs= 0,388218 m ³ /m ³		
δs1	δs2	---	δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg			
2590	2610	---	3140	3040	2380	2170	2720	2650	1050	---	---
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros			Quantidades para um volume de: 1,60 litros								
C1=	633,9 kg		C1=	1014,2 g		Massa total, em kg			Massa total, em g		
C2=	0,0 kg		C2=	0,0 g		Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/(mat. cimentícios)		
CV=	0,0 kg		CV=	0,0 g		Razão água/finos			Razão água/finos		
MS=	33,7 kg		MS=	53,9 g		0,377			0,377		
FC=	0,0 kg		FC=	0,0 g		0,275			0,275		
FG=	246,9 kg		FG=	395,1 g							
W=	251,6 litros		W=	402,5 ml							
Sp=	49,64 litros		Sp=	79,43 ml							
S1=	402,2 kg		S1=	643,5 g							
S2=	607,9 kg		S2=	972,7 g							

Quadro A.71 – Composição da argamassa A.IV.0,80.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																													
Identificação da argamassa A.IV.0,80.4		Identificação da mistura de finos 65C1+5MS+30CV		Data 31-05-2004																																																									
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>	Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05			Mistura (Curva Real)																																																								
	a1	a2																																																											
	0,40	0,60																																																											
Percentagem de passados																																																													
9,520	100,00	100,00		100,00																																																									
4,760	100,00	99,94		99,96																																																									
2,380	99,97	98,56		99,12																																																									
1,190	99,89	84,75		90,81																																																									
0,590	91,06	43,13		62,30																																																									
0,297	48,16	2,97	21,05																																																										
0,149	11,49	0,21	4,72																																																										
0,074	2,04	0,05	0,85																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																										
Módulos de finura																																																													
	1,494	2,704	2,220																																																										
Composição da mistura de finos			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>$\delta_p = 2863,50 \text{ kg/m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp}/V_p = 0,155447 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_p = 0,319954 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_w = 0,230367 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp} = 0,049736 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_s = 0,399943 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> </tbody> </table>	$\delta_p = 2863,50 \text{ kg/m}^3$	$V_{sp}/V_p = 0,155447 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_p = 0,319954 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_w = 0,230367 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_{sp} = 0,049736 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_s = 0,399943 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																				
$\delta_p = 2863,50 \text{ kg/m}^3$																																																													
$V_{sp}/V_p = 0,155447 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_p = 0,319954 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_w = 0,230367 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_{sp} = 0,049736 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_s = 0,399943 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																													
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}		δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}																																																							
3140	3040	2380		2170	2720	2650																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---																																																								
2590	2610	---	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																													
δ_{sp}	---	---	---	---	---																																																								
1050	---	---	---	---	---																																																								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 653,0 kg C2= 0,0 kg CV= 228,4 kg MS= 34,7 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 230,4 litros Sp= 49,74 litros S1= 414,3 kg S2= 626,3 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 1044,8 g C2= 0,0 g CV= 365,5 g MS= 55,5 g FC= 0,0 g FG= 0,0 g W= 368,6 ml Sp= 79,58 ml S1= 662,9 g S2= 1002,1 g																																																										
Massa total, em kg			Massa total, em g																																																										
2239,4			3583,1																																																										
Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/(mat. cimentícios)																																																										
0,251			0,251																																																										
Razão água/finos			Razão água/finos																																																										
0,251			0,251																																																										

Quadro A.72 – Composição da argamassa A.V.0,80.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																													
Identificação da argamassa A.V.0,80.2		Identificação da mistura de finos 56C1+4MS+40FC		Data 01-06-2004																																																									
Parâmetros da composição			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>	Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05			Mistura (Curva Real)																																																								
	a1	a2																																																											
	0,40	0,60																																																											
Percentagem de passados																																																													
9,520	100,00	100,00		100,00																																																									
4,760	100,00	99,94		99,96																																																									
2,380	99,97	98,56		99,12																																																									
1,190	99,89	84,75		90,81																																																									
0,590	91,06	43,13		62,30																																																									
0,297	48,16	2,97	21,05																																																										
0,149	11,49	0,21	4,72																																																										
0,074	2,04	0,05	0,85																																																										
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																										
Módulos de finura																																																													
	1,494	2,704	2,220																																																										
Composição da mistura de finos			<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td>$\delta_p = 2933,20 \text{ kg/m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp}/V_p = 0,09498 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_p = 0,328409 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_w = 0,229887 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_{sp} = 0,031192 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> <tr> <td>$V_s = 0,410512 \text{ m}^3/\text{m}^3$</td> </tr> </tbody> </table>	$\delta_p = 2933,20 \text{ kg/m}^3$	$V_{sp}/V_p = 0,09498 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_p = 0,328409 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_w = 0,229887 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_{sp} = 0,031192 \text{ m}^3/\text{m}^3$	$V_s = 0,410512 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																				
$\delta_p = 2933,20 \text{ kg/m}^3$																																																													
$V_{sp}/V_p = 0,09498 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_p = 0,328409 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_w = 0,229887 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_{sp} = 0,031192 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
$V_s = 0,410512 \text{ m}^3/\text{m}^3$																																																													
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																													
δ_{c1}	δ_{c2}	δ_{cv}		δ_{ms}	δ_{fc}	δ_{fg}																																																							
3140	3040	2380		2170	2720	2650																																																							
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																													
δ_{s1}	δ_{s2}	---	---	---	---																																																								
2590	2610	---	---	---	---																																																								
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																													
δ_{sp}	---	---	---	---	---																																																								
1050	---	---	---	---	---																																																								
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 577,5 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 28,5 kg FC= 357,3 kg FG= 0,0 kg W= 229,9 litros Sp= 31,19 litros S1= 425,3 kg S2= 642,9 kg			Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 924,0 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 45,6 g FC= 571,7 g FG= 0,0 g W= 367,8 ml Sp= 49,91 ml S1= 680,5 g S2= 1028,6 g																																																										
Massa total, em kg			Massa total, em g																																																										
2294,1			3670,5																																																										
Razão água/(mat. cimentícios)			Razão água/(mat. cimentícios)																																																										
0,379			0,379																																																										
Razão água/finos			Razão água/finos																																																										
0,239			0,239																																																										

Quadro A.73 – Composição da argamassa A.VI.0,80.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.VI.0,80.3				Identificação da mistura de finos 56C1+4MS+40FG				Data 02-06-2004																																																													
Parâmetros da composição								<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,56	0,00	0,00	0,04	0,00	0,40																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
						δp= 2905,20 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,116208 m ³ /m ³ Vp= 0,315835 m ³ /m ³ Vw= 0,252668 m ³ /m ³ Vsp= 0,036703 m ³ /m ³ Vs= 0,394794 m ³ /m ³																																																															
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 555,4 kg C2= 0,0 kg CV= 0,0 kg MS= 27,4 kg FC= 0,0 kg FG= 334,8 kg W= 252,7 litros Sp= 36,70 litros S1= 409,0 kg S2= 618,2 kg						Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 888,6 g C2= 0,0 g CV= 0,0 g MS= 43,9 g FC= 0,0 g FG= 535,7 g W= 404,3 ml Sp= 58,72 ml S1= 654,4 g S2= 989,2 g																																																															
Massa total, em kg						Massa total, em g																																																															
2236,0						3577,6																																																															
Razão água/(mat. cimentícios)						Razão água/(mat. cimentícios)																																																															
0,434						0,434																																																															
Razão água/finos						Razão água/finos																																																															
0,275						0,275																																																															

Quadro A.74 – Composição da argamassa A.VII.0,80.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE ARGAMASSAS																																																																					
Identificação da argamassa A.VII.0,80.3				Identificação da mistura de finos 56C1+4MS+40CV				Data 31-05-2004																																																													
Parâmetros da composição								<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <th colspan="4">Percentagem de passados</th> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Módulos de finura</th> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>				Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																		
	a1	a2																																																																			
	0,40	0,60																																																																			
Percentagem de passados																																																																					
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																		
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																		
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																		
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																		
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																		
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																		
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																		
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																		
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																		
Módulos de finura																																																																					
	1,494	2,704	2,220																																																																		
Composição da mistura de finos																																																																					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																																
0,56	0,00	0,40	0,04	0,00	0,00																																																																
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																																
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																																
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																					
δs1	δs2	---	---	---	---																																																																
2590	2610	---	---	---	---																																																																
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																					
δsp	---	---	---	---	---																																																																
1050	---	---	---	---	---																																																																
						δp= 2797,20 kg/m ³ Vsp/Vp= 0,111888 m ³ /m ³ Vp= 0,326596 m ³ /m ³ Vw= 0,228617 m ³ /m ³ Vsp= 0,036542 m ³ /m ³ Vs= 0,408245 m ³ /m ³																																																															
Quantidades para um volume de: 1000,00 litros C1= 574,3 kg C2= 0,0 kg CV= 310,9 kg MS= 28,3 kg FC= 0,0 kg FG= 0,0 kg W= 228,6 litros Sp= 36,54 litros S1= 422,9 kg S2= 639,3 kg						Quantidades para um volume de: 1,60 litros C1= 918,9 g C2= 0,0 g CV= 497,5 g MS= 45,4 g FC= 0,0 g FG= 0,0 g W= 365,8 ml Sp= 58,47 ml S1= 676,7 g S2= 1022,9 g																																																															
Massa total, em kg						Massa total, em g																																																															
2242,8						3588,5																																																															
Razão água/(mat. cimentícios)						Razão água/(mat. cimentícios)																																																															
0,250						0,250																																																															
Razão água/finos						Razão água/finos																																																															
0,250						0,250																																																															

ANEXO A.1.2

ESTUDOS REOLÓGICOS DAS ARGAMASSAS

Quadro A.75 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,60

ARGAMASSA: A.1.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.1.0,60.1	0,60	0,89	2,40	208	202	14,31	3,20	0,70
A.1.0,60.2	0,60	0,91	2,40	216	215	11,24	3,64	0,89
A.1.0,60.3	0,60	0,95	2,40	253	251	8,53	5,35	1,17
A.1.0,60.4	0,60	0,89	2,70	289	283	11,09	7,18	0,90
A.1.0,60.5	0,60	0,91	2,70	302	294	9,62	7,88	1,04

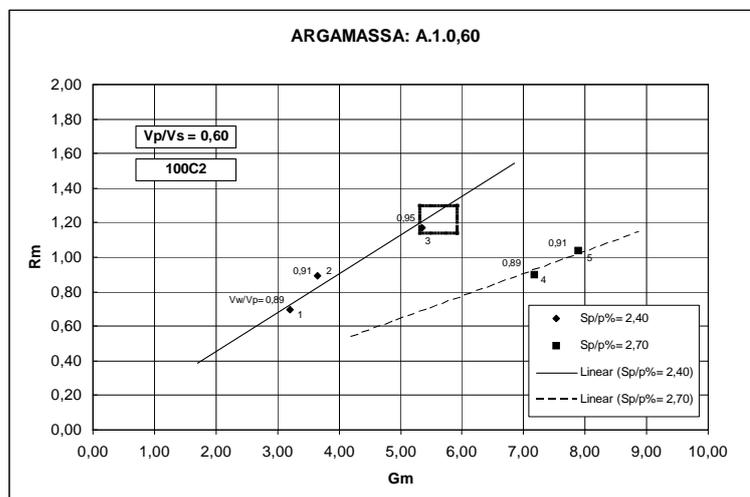


Figura A.1 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,60

Quadro A.76 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,65

ARGAMASSA: A.1.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.1.0,65.1	0,65	0,91	2,40	257	250	7,93	5,43	1,26
A.1.0,65.2	0,65	0,93	2,40	275	263	6,24	6,24	1,60
A.1.0,65.3	0,65	0,89	2,40	235	231	10,42	4,43	0,96
A.1.0,65.4	0,65	0,93	2,50	321	310	5,84	8,95	1,71
A.1.0,65.5	0,65	0,89	2,50	288	280	8,60	7,07	1,16

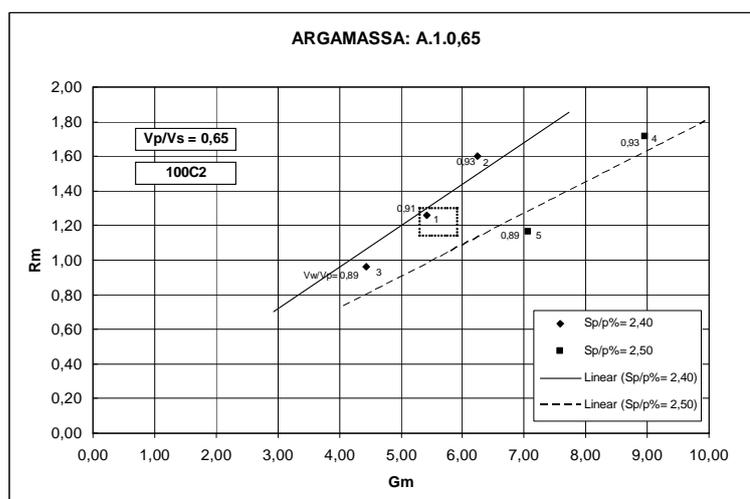


Figura A.2 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,65

Quadro A.77 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,70

ARGAMASSA: A.1.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.1.0,70.1	0,70	0,88	2,00	229	217	9,75	3,97	1,03
A.1.0,70.2	0,70	0,89	2,00	235	232	8,38	4,45	1,19
A.1.0,70.3	0,70	0,90	2,00	249	243	7,56	5,05	1,32
A.1.0,70.4	0,70	0,86	2,45	248	248	8,04	5,15	1,24
A.1.0,70.5	0,70	0,87	2,45	259	259	7,28	5,71	1,37
A.1.0,70.6	0,70	0,86	2,55	255	253	7,91	5,45	1,26

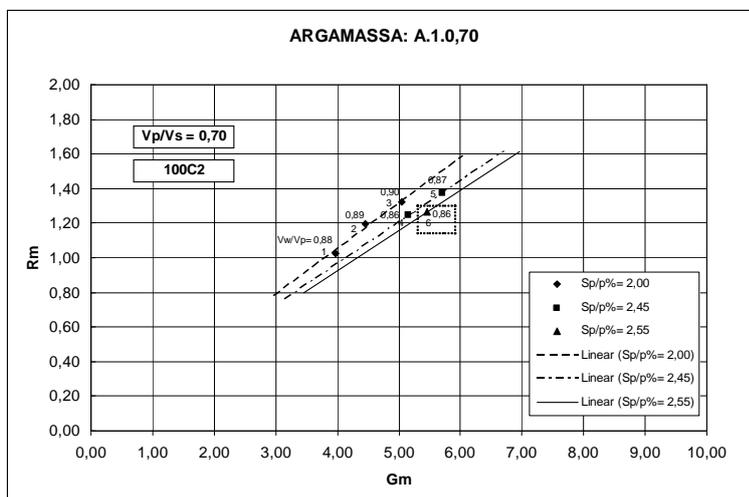


Figura A.3 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,70

Quadro A.78 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,75

ARGAMASSA: A.1.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.1.0,75.1	0,75	0,85	2,40	253	248	8,12	5,28	1,23
A.1.0,75.2	0,75	0,86	2,40	263	255	7,20	5,71	1,39
A.1.0,75.3	0,75	0,84	2,45	264	254	8,31	5,71	1,20
A.1.0,75.4	0,75	0,83	2,50	252	243	10,44	5,13	0,96
A.1.0,75.5	0,75	0,83	2,60	309	299	7,76	8,24	1,29

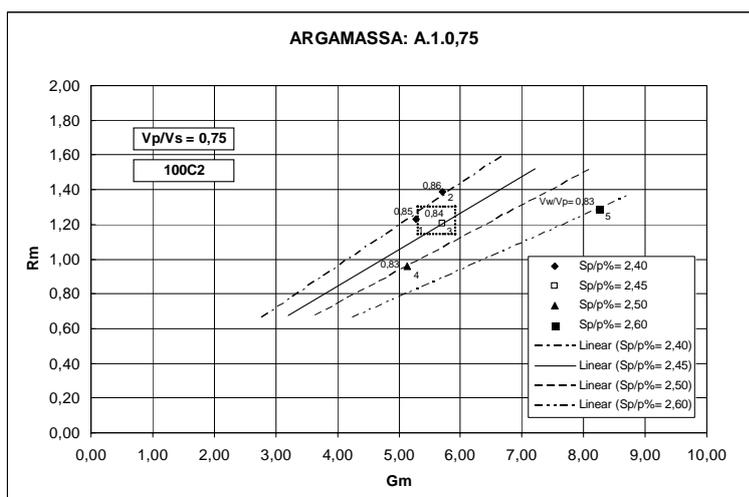


Figura A.4 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,75

Quadro A.79 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,80

ARGAMASSA: A.1.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.1.0,80.1	0,80	0,88	2,20	260	247	5,93	5,43	1,69
A.1.0,80.2	0,80	0,85	2,20	249	243	7,58	5,05	1,32
A.1.0,80.3	0,80	0,85	2,50	300	310	5,60	8,30	1,79
A.1.0,80.4	0,80	0,82	2,50	260	250	7,97	5,50	1,25

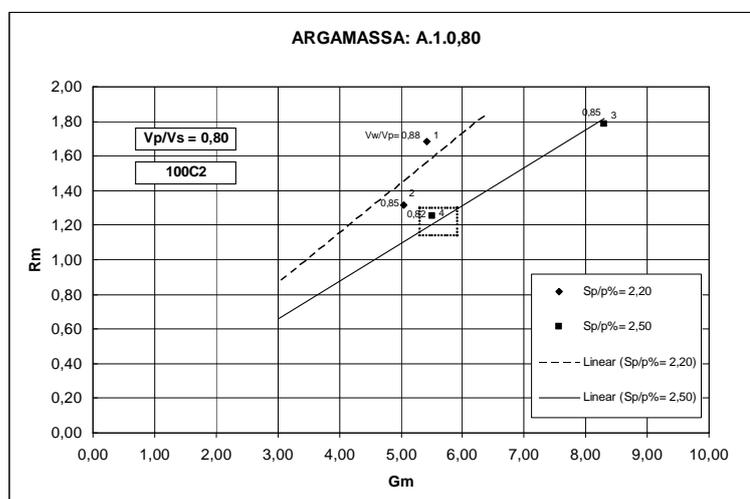


Figura A.5 – Estudos reológicos da argamassa A.1.0,80

Quadro A.80 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,60

ARGAMASSA: A.2.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.2.0,60.1	0,60	0,93	2,00	266	271	6,38	6,21	1,57
A.2.0,60.2	0,60	0,89	2,05	249	249	8,61	5,20	1,16
A.2.0,60.3	0,60	0,90	2,05	263	261	7,82	5,86	1,28

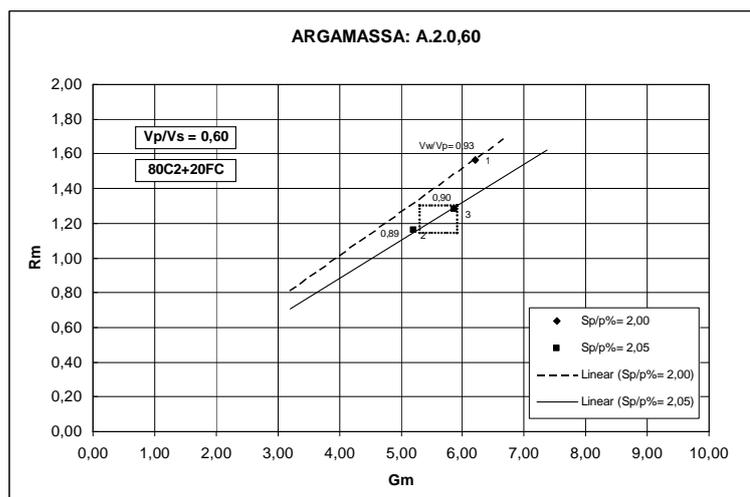


Figura A.6 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,60

Quadro A.81 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,65

ARGAMASSA: A.2.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.2.0,65.1	0,65	0,85	2,05	255	263	8,07	5,71	1,24
A.2.0,65.2	0,65	0,84	2,05	246	243	8,57	4,98	1,17
A.2.0,65.3	0,65	0,84	2,10	264	265	8,38	6,00	1,19

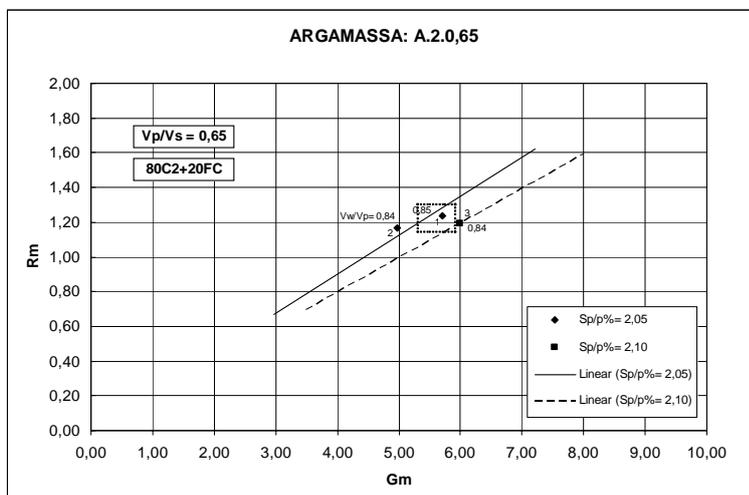


Figura A.7 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,65

Quadro A.82 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,70

ARGAMASSA: A.2.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.2.0,70.1	0,70	0,83	2,05	264	261	7,25	5,89	1,38
A.2.0,70.2	0,70	0,81	2,10	260	256	8,64	5,66	1,16
A.2.0,70.3	0,70	0,80	2,10	253	250	9,81	5,33	1,02

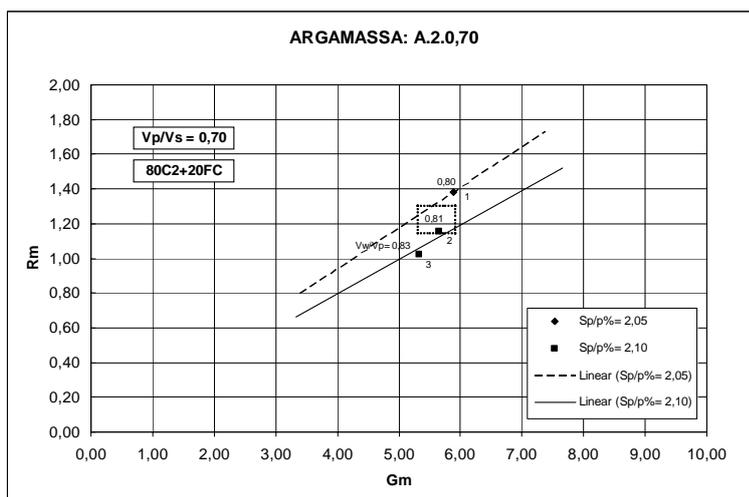


Figura A.8 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,70

Quadro A.83 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,75

ARGAMASSA: A.2.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.2.0,75.1	0,75	0,78	2,05	255	251	8,52	5,40	1,17
A.2.0,75.2	0,75	0,79	2,05	261	256	8,09	5,68	1,24
A.2.0,75.3	0,75	0,80	2,05	269	263	7,72	6,08	1,30

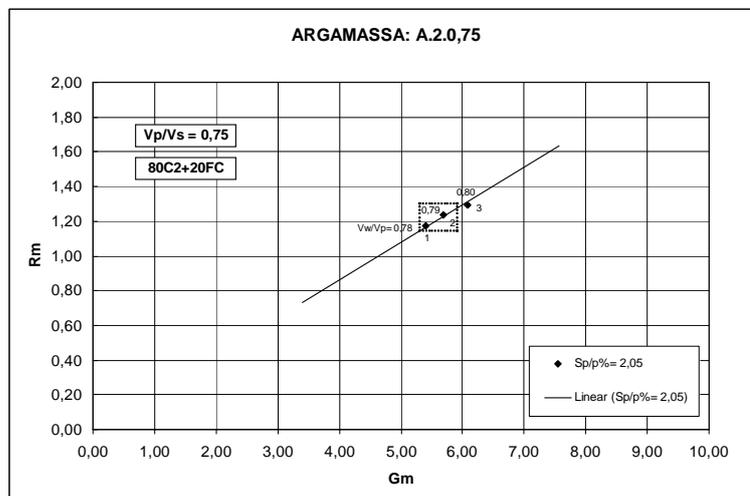


Figura A.9 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,75

Quadro A.84 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,80

ARGAMASSA: A.2.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.2.0,80.1	0,80	0,76	2,10	263	261	8,57	5,86	1,17
A.2.0,80.2	0,80	0,77	2,30	276	275	7,72	6,59	1,30
A.2.0,80.3	0,80	0,75	2,30	265	264	8,75	6,00	1,14
A.2.0,80.4	0,80	0,77	2,40	281	280	7,68	6,87	1,30

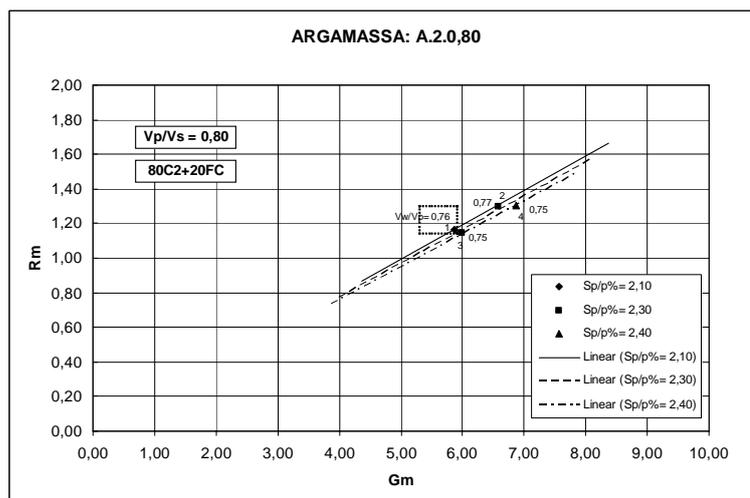


Figura A.10 – Estudos reológicos da argamassa A.2.0,80

Quadro A.85 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,60

ARGAMASSA: A.3.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.3.0,60.1	0,60	0,92	1,95	205	210	13,05	3,31	0,77
A.3.0,60.2	0,60	0,94	1,95	230	228	9,19	4,24	1,09
A.3.0,60.3	0,60	0,95	1,95	236	234	8,92	4,52	1,12
A.3.0,60.4	0,60	0,96	1,95	242	241	8,55	4,83	1,17
A.3.0,60.5	0,60	0,95	2,00	243	244	8,58	4,93	1,17
A.3.0,60.6	0,60	0,95	2,10	254	254	8,22	5,45	1,22

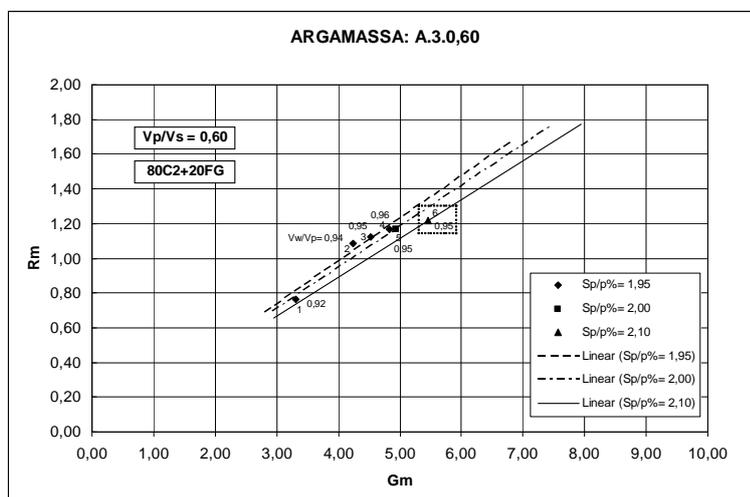


Figura A.11 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,60

Quadro A.86 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,65

ARGAMASSA: A.3.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.3.0,65.1	0,65	0,90	2,10	236	235	10,10	4,55	0,99
A.3.0,65.2	0,65	0,91	2,10	254	253	8,40	5,43	1,19
A.3.0,65.3	0,65	0,92	2,10	264	266	7,50	6,02	1,33

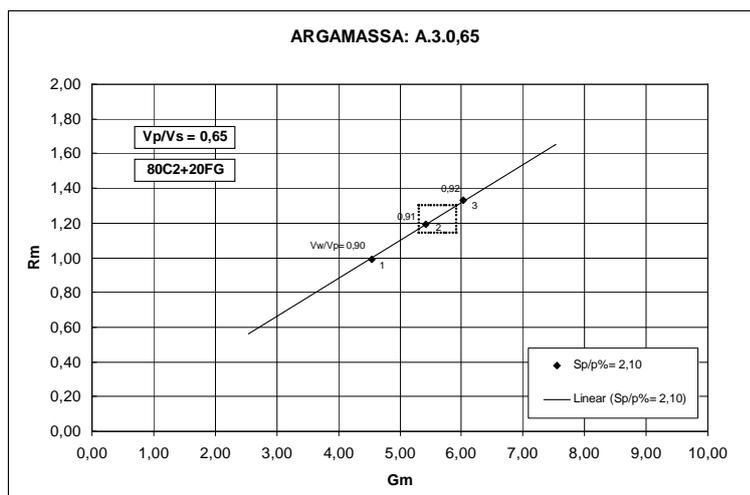


Figura A.12 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,65

Quadro A.87 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,70

ARGAMASSA: A.3.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.3.0,70.1	0,70	0,86	2,15	248	250	8,96	5,20	1,12
A.3.0,70.2	0,70	0,87	2,15	256	253	8,47	5,48	1,18
A.3.0,70.3	0,70	0,88	2,15	261	260	7,56	5,79	1,32

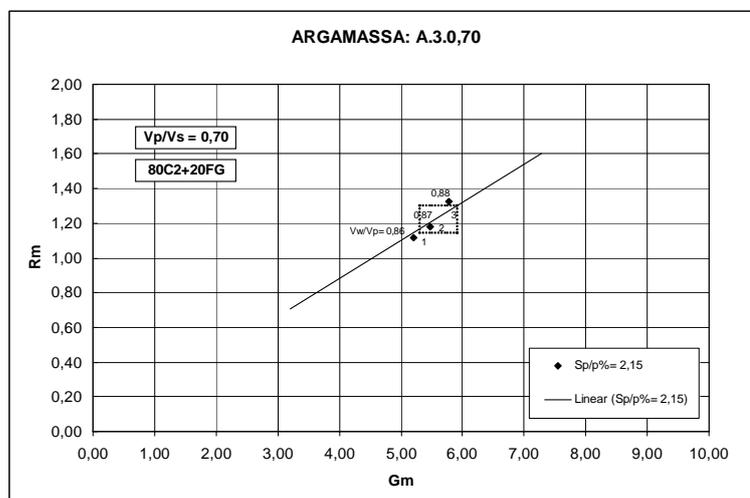


Figura A.13 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,70

Quadro A.88 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,75

ARGAMASSA: A.3.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.3.0,75.1	0,75	0,83	2,15	248	249	9,56	5,18	1,05
A.3.0,75.2	0,75	0,84	2,15	260	260	8,49	5,76	1,18
A.3.0,75.3	0,75	0,85	2,15	266	265	7,96	6,05	1,26

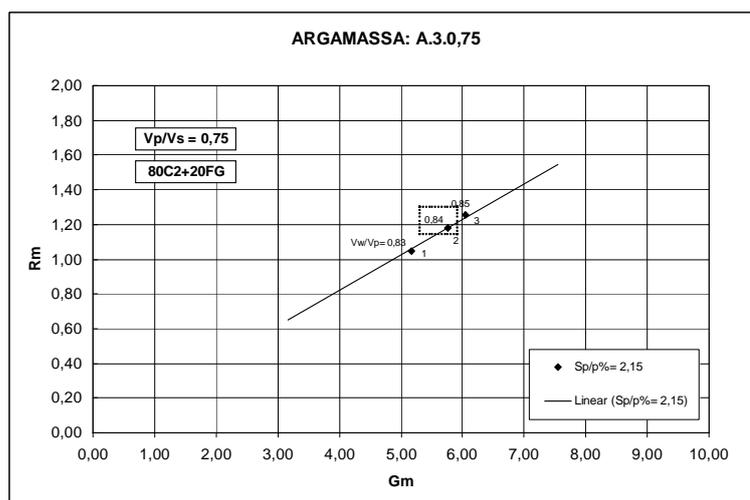


Figura A.14 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,75

Quadro A.89 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,80

ARGAMASSA: A.3.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.3.0,80.1	0,80	0,82	2,15	255	254	8,65	5,48	1,16
A.3.0,80.2	0,80	0,83	2,15	269	265	7,84	6,13	1,28
A.3.0,80.3	0,80	0,82	2,20	270	269	8,38	6,26	1,19

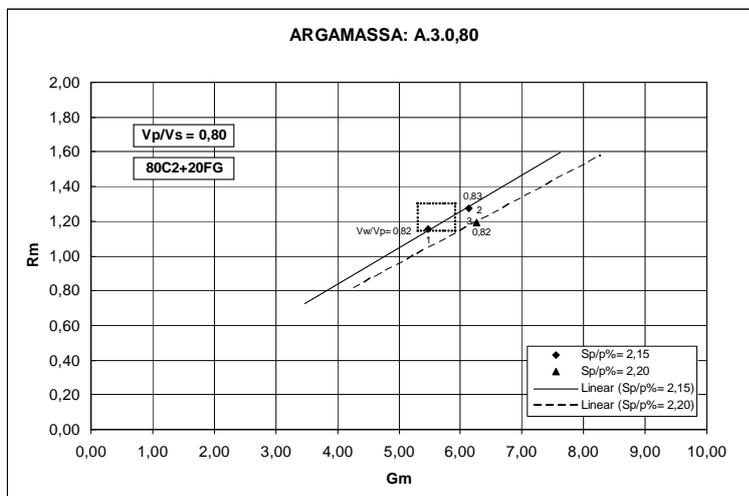


Figura A.15 – Estudos reológicos da argamassa A.3.0,80

Quadro A.90 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,60

ARGAMASSA: A.4.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.4.0,60.1	0,60	0,88	2,05	244	243	8,94	4,93	1,12
A.4.0,60.2	0,60	0,89	2,05	251	253	8,13	5,35	1,23
A.4.0,60.3	0,60	0,90	2,05	258	255	7,59	5,58	1,32

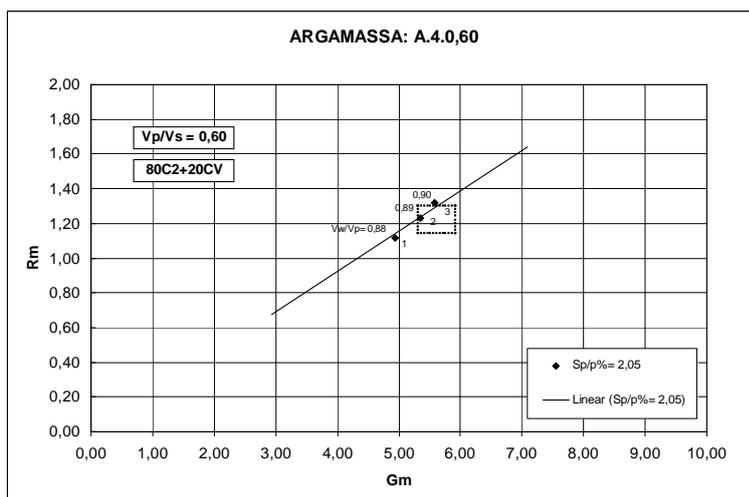


Figura A.16 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,60

Quadro A.91 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,65

ARGAMASSA: A.4.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.4.0,65.1	0,65	0,83	2,05	249	247	8,95	5,15	1,12
A.4.0,65.2	0,65	0,84	2,05	254	252	8,49	5,40	1,18
A.4.0,65.3	0,65	0,85	2,05	268	265	7,61	6,10	1,31

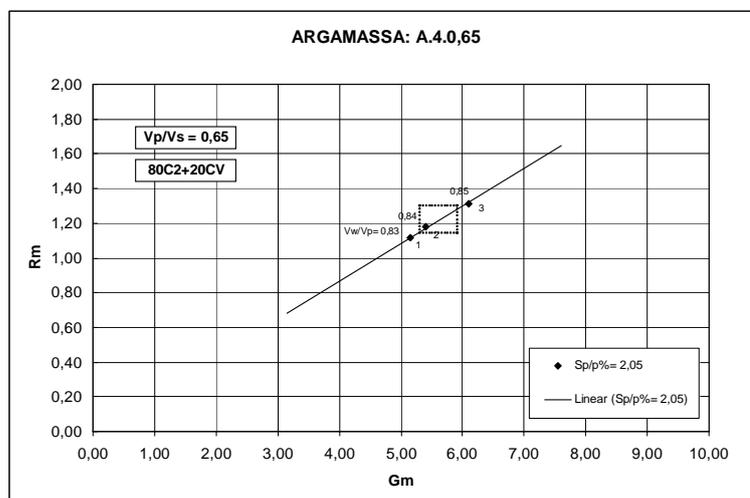


Figura A.17 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,65

Quadro A.92 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,70

ARGAMASSA: A.4.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.4.0,70.1	0,70	0,79	2,10	231	231	9,56	4,34	1,05
A.4.0,70.2	0,70	0,80	2,10	248	245	8,72	5,08	1,15
A.4.0,70.3	0,70	0,81	2,10	256	255	7,85	5,53	1,27

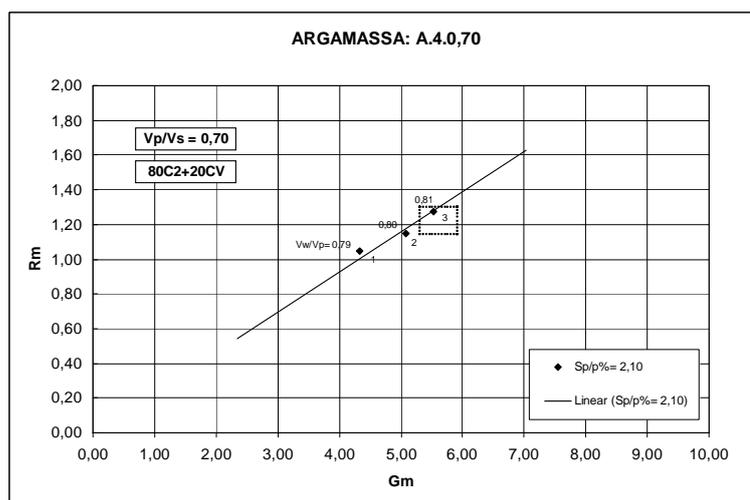


Figura A.18 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,70

Quadro A.93 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,75

ARGAMASSA: A.4.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.4.0,75.1	0,75	0,77	2,10	245	245	8,85	5,00	1,13
A.4.0,75.2	0,75	0,78	2,10	259	256	8,04	5,63	1,24
A.4.0,75.3	0,75	0,79	2,10	264	262	7,56	5,92	1,32

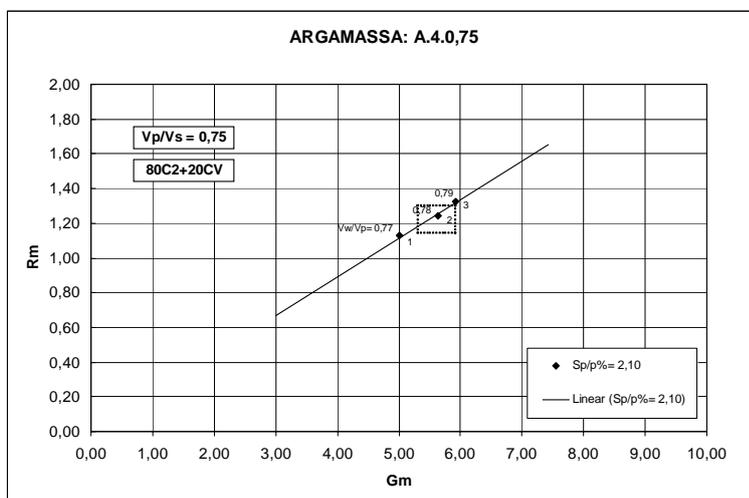


Figura A.19 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,75

Quadro A.94 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,80

ARGAMASSA: A.4.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.4.0,80.1	0,80	0,74	2,10	242	240	9,89	4,81	1,01
A.4.0,80.2	0,80	0,75	2,10	250	249	9,13	5,23	1,10
A.4.0,80.3	0,80	0,76	2,10	256	255	8,33	5,53	1,20

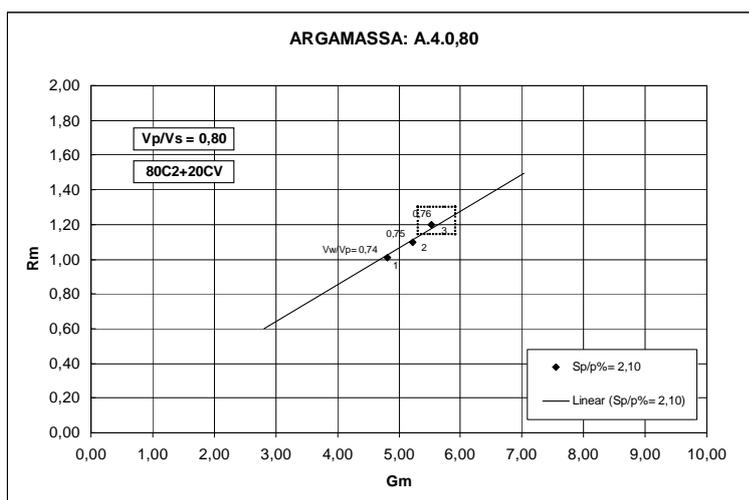


Figura A.20 – Estudos reológicos da argamassa A.4.0,80

Quadro A.95 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,60

ARGAMASSA: A.5.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.5.0,60.1	0,60	0,97	3,00	237	240	9,31	4,69	1,07
A.5.0,60.2	0,60	0,98	3,00	254	253	8,06	5,43	1,24
A.5.0,60.3	0,60	0,99	3,00	260	260	7,36	5,76	1,36
A.5.0,60.4	0,60	0,96	3,10	232	232	11,02	4,38	0,91

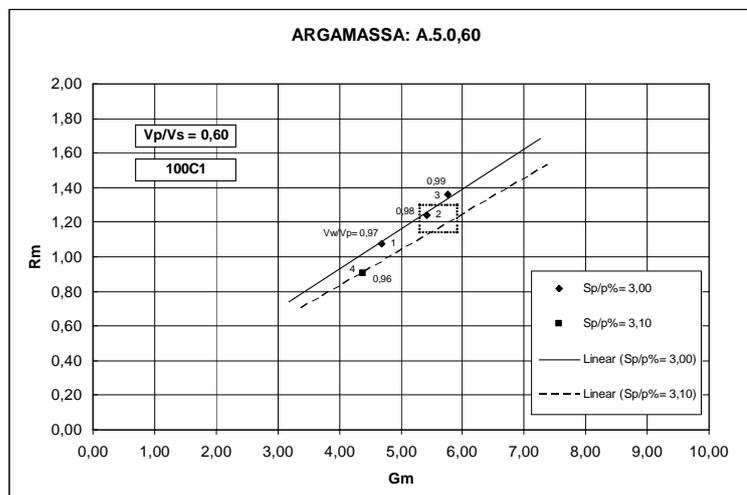


Figura A.21 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,60

Quadro A.96 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,65

ARGAMASSA: A.5.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.5.0,65.1	0,65	0,93	3,00	240	238	8,76	4,71	1,14
A.5.0,65.2	0,65	0,94	3,00	244	242	8,15	4,90	1,23
A.5.0,65.3	0,65	0,95	3,00	248	247	7,85	5,13	1,27
A.5.0,65.4	0,65	0,94	3,05	249	248	8,08	5,18	1,24
A.5.0,65.5	0,65	0,93	3,10	254	252	8,12	5,40	1,23

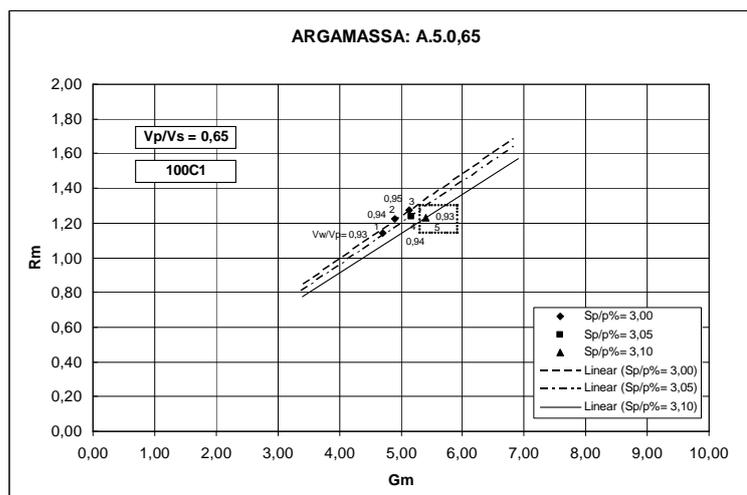


Figura A.22 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,65

Quadro A.97 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,70

ARGAMASSA: A.5.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.5.0,70.1	0,70	0,89	3,10	243	244	9,37	4,93	1,07
A.5.0,70.2	0,70	0,90	3,10	254	251	8,50	5,38	1,18
A.5.0,70.3	0,70	0,91	3,10	263	258	7,56	5,79	1,32

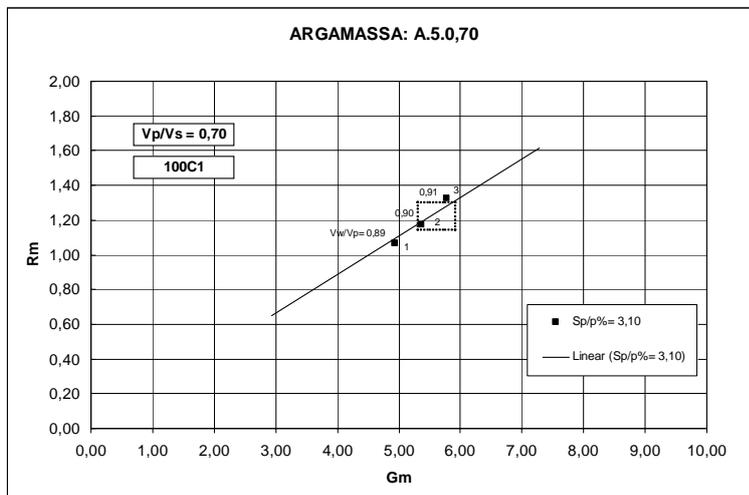


Figura A.23 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,70

Quadro A.98 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,75

ARGAMASSA: A.5.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.5.0,75.1	0,75	0,87	3,20	229	230	9,29	4,27	1,08
A.5.0,75.2	0,75	0,88	3,20	243	244	7,58	4,93	1,32
A.5.0,75.3	0,75	0,87	3,25	239	237	8,55	4,66	1,17
A.5.0,75.4	0,75	0,87	3,30	250	253	7,90	5,33	1,27

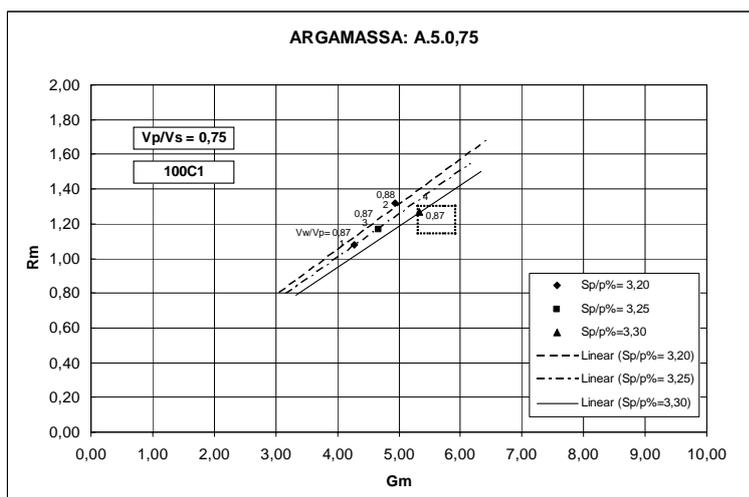


Figura A.24 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,75

Quadro A.99 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,80

ARGAMASSA: A.5.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.5.0,80.1	0,80	0,85	3,15	217	220	9,91	3,77	1,01
A.5.0,80.2	0,80	0,86	3,15	239	236	9,02	4,64	1,11
A.5.0,80.3	0,80	0,86	3,25	253	252	8,30	5,38	1,20

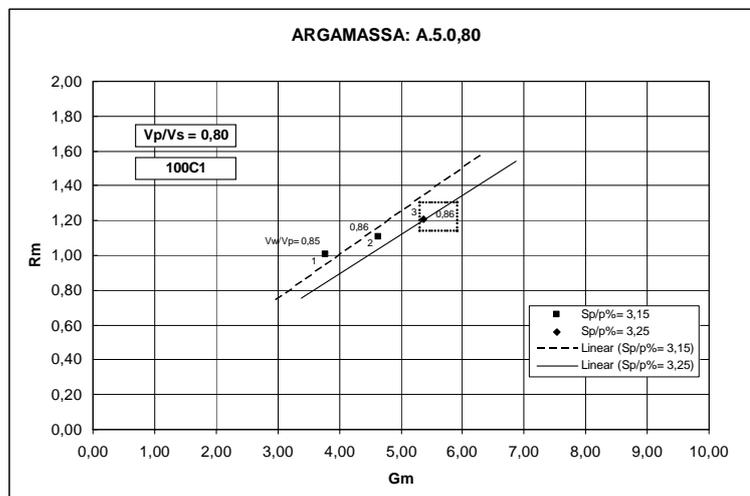


Figura A.25 – Estudos reológicos da argamassa A.5.0,80

Quadro A.100 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,60

ARGAMASSA: A.6.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.6.0,60.1	0,60	0,88	2,20	249	246	8,69	5,13	1,15
A.6.0,60.2	0,60	0,89	2,20	259	256	8,20	5,63	1,22
A.6.0,60.3	0,60	0,92	2,30	290	292	6,53	7,47	1,53

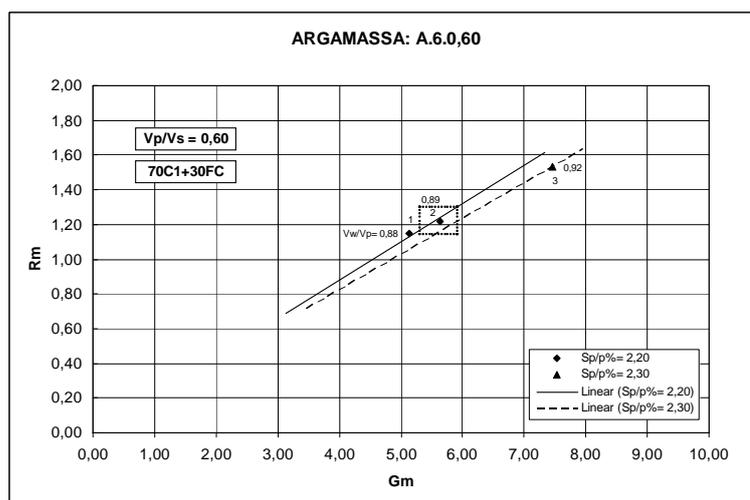


Figura A.26 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,60

Quadro A.101 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,65

ARGAMASSA: A.6.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.6.0,65.1	0,65	0,83	2,25	234	231	9,71	4,41	1,03
A.6.0,65.2	0,65	0,84	2,25	244	243	9,12	4,93	1,10
A.6.0,65.3	0,65	0,84	2,30	256	258	8,17	5,60	1,22

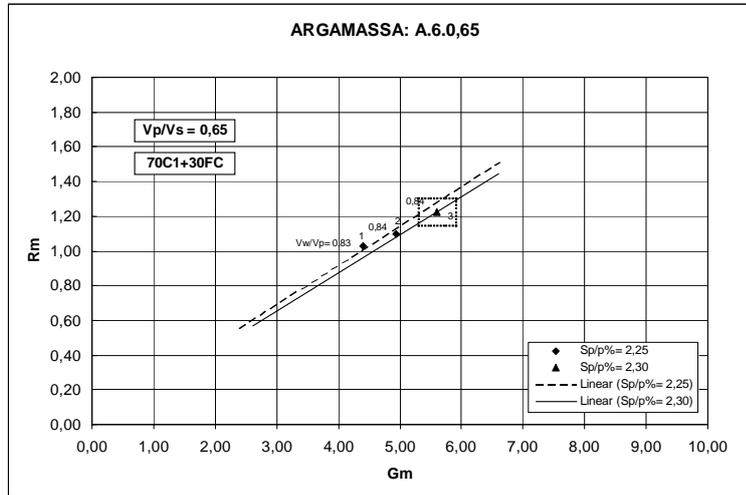


Figura A.27 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,65

Quadro A.102 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,70

ARGAMASSA: A.6.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.6.0,70.1	0,70	0,79	2,30	245	240	9,48	4,88	1,05
A.6.0,70.2	0,70	0,80	2,30	253	252	8,47	5,38	1,18
A.6.0,70.3	0,70	0,81	2,30	261	260	7,92	5,79	1,26

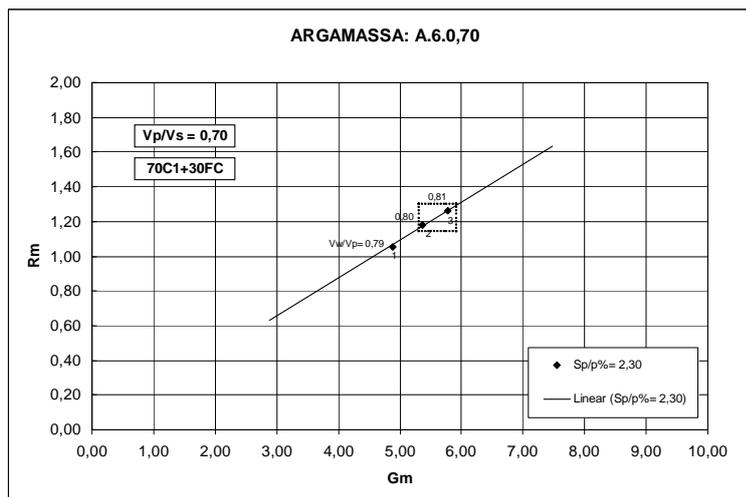


Figura A.28 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,70

Quadro A.103 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,75

ARGAMASSA: A.6.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.6.0,75.1	0,75	0,77	2,30	233	235	10,18	4,48	0,98
A.6.0,75.2	0,75	0,78	2,30	257	257	8,54	5,60	1,17
A.6.0,75.3	0,75	0,79	2,30	267	270	7,55	6,21	1,32

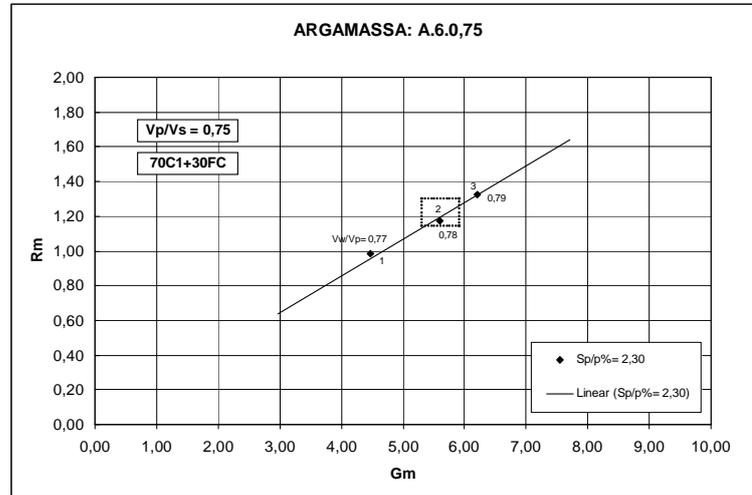


Figura A.29 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,75

Quadro A.104 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,80

ARGAMASSA: A.6.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.6.0,80.1	0,80	0,76	2,25	237	237	8,95	4,62	1,12
A.6.0,80.2	0,80	0,77	2,25	242	241	8,56	4,83	1,17
A.6.0,80.3	0,80	0,76	2,35	240	242	9,09	4,81	1,10
A.6.0,80.4	0,80	0,77	2,35	253	256	8,64	5,48	1,16
A.6.0,80.5	0,80	0,78	2,35	270	274	7,71	6,40	1,30

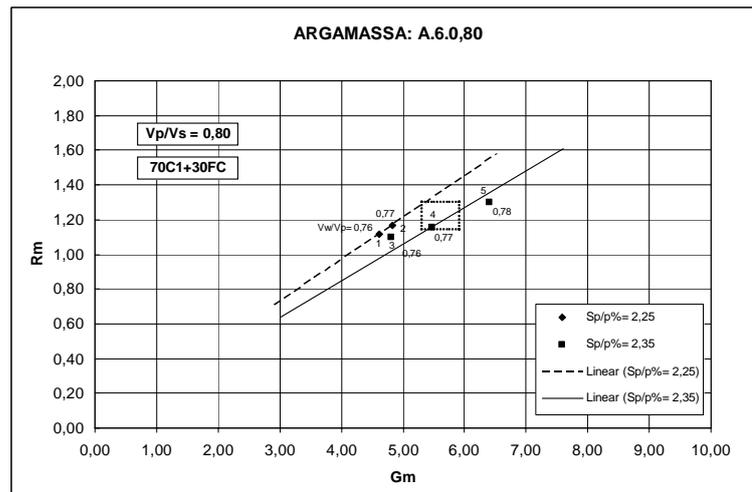


Figura A.30 – Estudos reológicos da argamassa A.6.0,80

Quadro A.105 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,60

ARGAMASSA: A.7.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.7.0.60.1	0,60	0,97	2,40	238	238	8,56	4,66	1,17
A.7.0.60.2	0,60	0,96	2,45	228	230	9,89	4,24	1,01
A.7.0.60.3	0,60	0,97	2,45	245	246	8,37	5,03	1,19
A.7.0.60.4	0,60	0,98	2,45	261	260	7,35	5,79	1,36
A.7.0.60.5	0,60	0,97	2,50	257	257	8,06	5,60	1,24

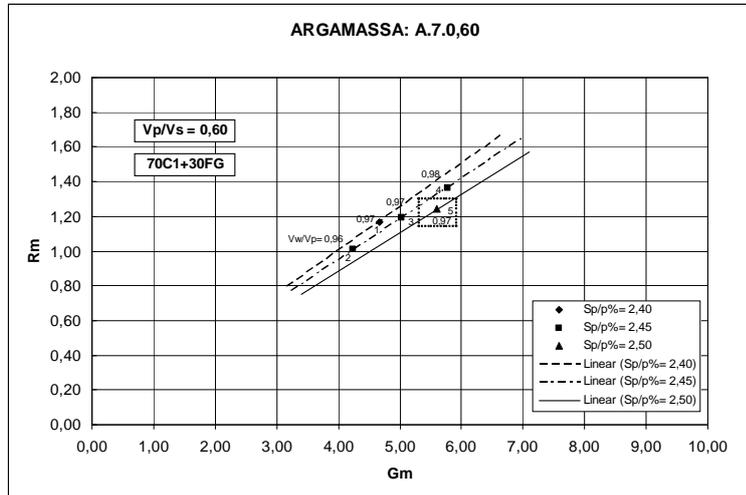


Figura A.31 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,60

Quadro A.106 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,65

ARGAMASSA: A.7.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.7.0.65.1	0,65	0,91	2,50	246	248	9,31	5,10	1,07
A.7.0.65.2	0,65	0,92	2,50	252	253	8,57	5,38	1,17
A.7.0.65.3	0,65	0,93	2,50	260	259	7,58	5,73	1,32

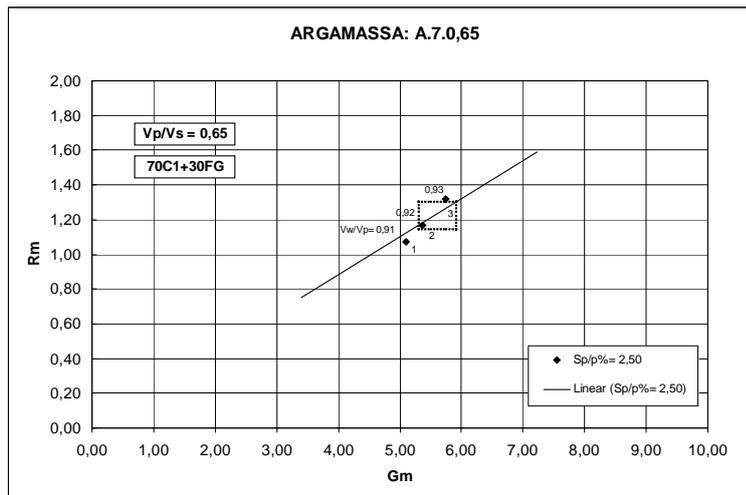


Figura A.32 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,65

Quadro A.107 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,70

ARGAMASSA: A.7.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.7.0,70.1	0,70	0,88	2,50	254	255	8,93	5,48	1,12
A.7.0,70.2	0,70	0,89	2,50	260	261	8,51	5,79	1,18
A.7.0,70.3	0,70	0,90	2,50	273	275	7,70	6,51	1,30

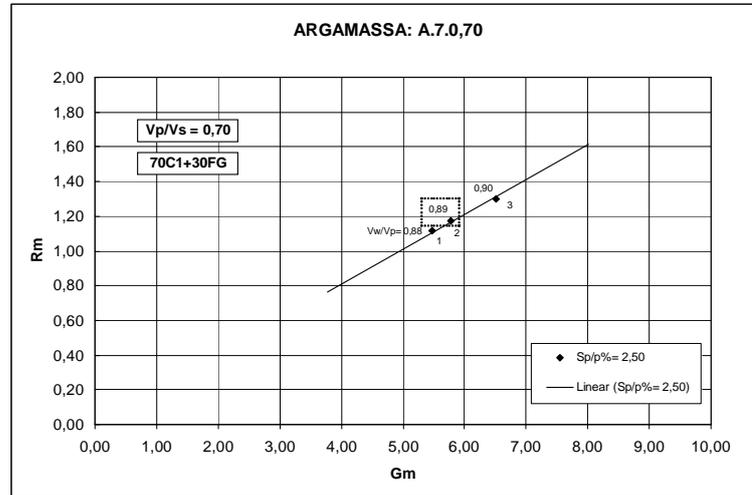


Figura A.33 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,70

Quadro A.108 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,75

ARGAMASSA: A.7.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.7.0,75.1	0,75	0,85	2,50	240	241	10,39	4,78	0,96
A.7.0,75.2	0,75	0,86	2,50	246	247	9,55	5,08	1,05
A.7.0,75.3	0,75	0,87	2,50	260	260	8,36	5,76	1,20

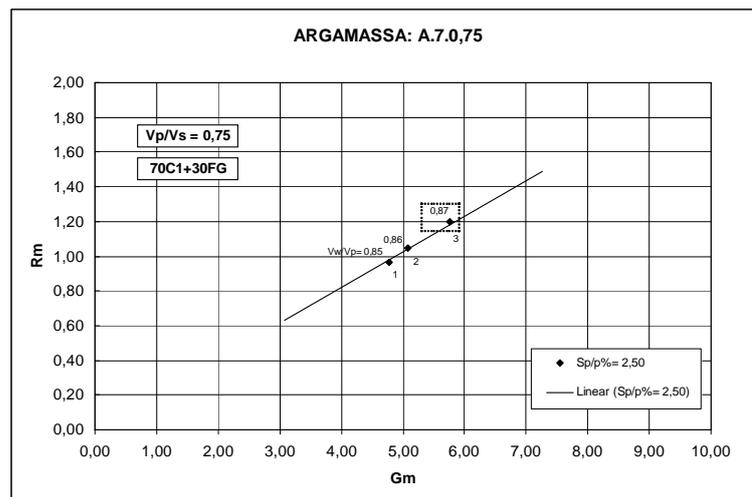


Figura A.34 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,75

Quadro A.109 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,80

ARGAMASSA: A.7.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.7.0,80.1	0,80	0,84	2,50	253	252	8,95	5,38	1,12
A.7.0,80.2	0,80	0,85	2,50	261	260	7,91	5,79	1,26
A.7.0,80.3	0,80	0,86	2,50	270	268	7,61	6,24	1,31
A.7.0,80.4	0,80	0,84	2,60	269	271	7,99	6,29	1,25

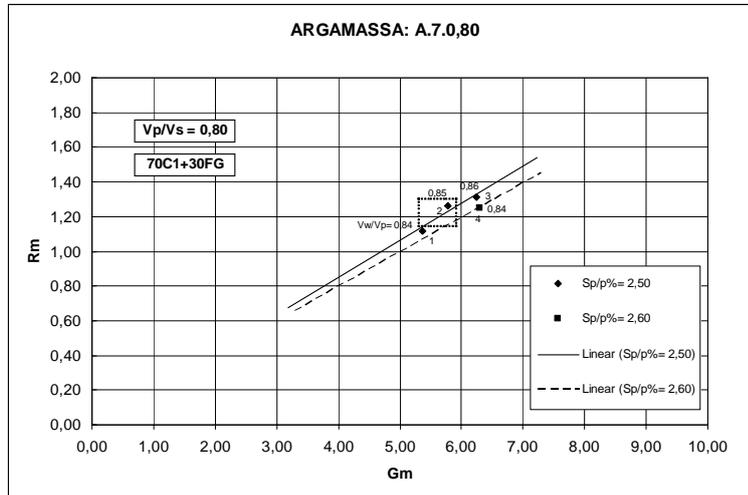


Figura A.35 – Estudos reológicos da argamassa A.7.0,80

Quadro A.110 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,60

ARGAMASSA: A.8.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.8.0,60.1	0,60	0,85	2,45	248	243	9,65	5,03	1,04
A.8.0,60.2	0,60	0,86	2,45	255	256	8,30	5,53	1,20
A.8.0,60.3	0,60	0,87	2,45	264	265	7,42	6,00	1,35

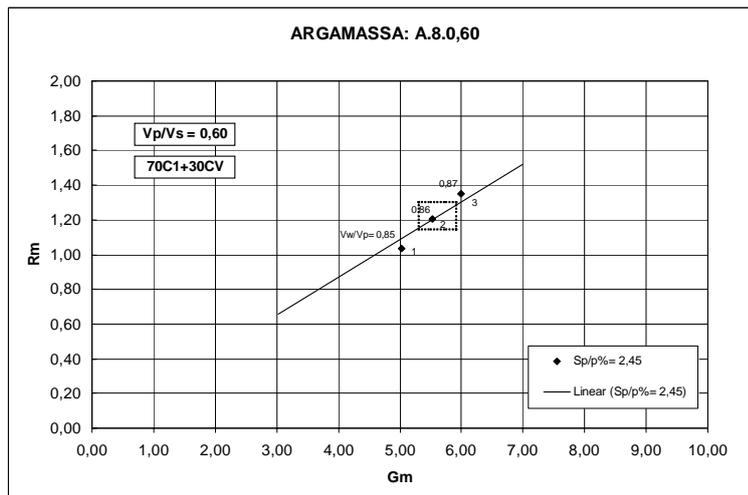


Figura A.36 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,60

Quadro A.111 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,65

ARGAMASSA: A.8.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.8.0,65.1	0,65	0,83	2,40	248	249	7,99	5,18	1,25
A.8.0,65.2	0,65	0,80	2,50	236	237	10,04	4,59	1,00
A.8.0,65.3	0,65	0,82	2,50	259	261	8,18	5,76	1,22
A.8.0,65.4	0,65	0,83	2,50	263	264	7,66	5,94	1,31
A.8.0,65.5	0,65	0,80	3,10	290	287	7,84	7,32	1,28

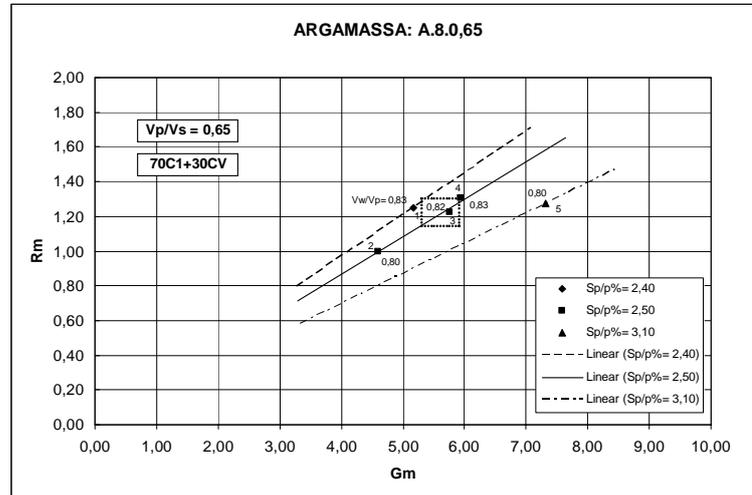


Figura A.37 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,65

Quadro A.112 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,70

ARGAMASSA: A.8.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.8.0,70.1	0,70	0,78	2,50	242	243	9,01	4,88	1,11
A.8.0,70.2	0,70	0,79	2,50	252	253	8,27	5,38	1,21
A.8.0,70.3	0,70	0,80	2,50	271	265	7,45	6,18	1,34

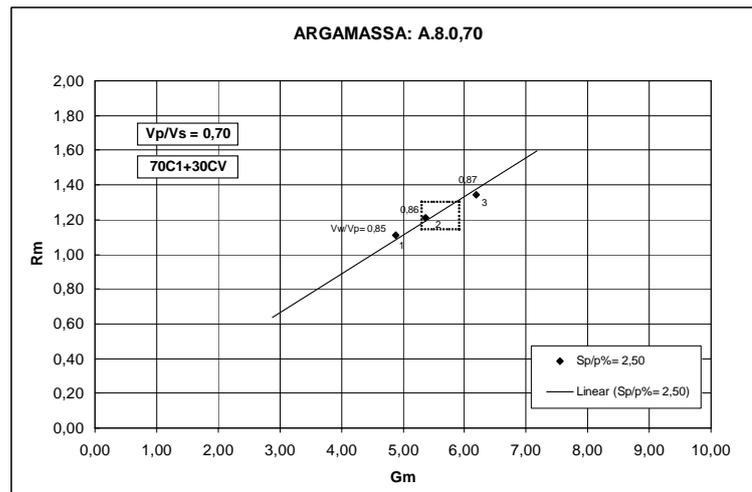


Figura A.38 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,70

Quadro A.113 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,75

ARGAMASSA: A.8.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.8.0,75.1	0,75	0,76	2,50	252	250	8,94	5,30	1,12
A.8.0,75.2	0,75	0,77	2,50	260	259	8,63	5,73	1,16
A.8.0,75.3	0,75	0,78	2,50	271	265	7,95	6,18	1,26

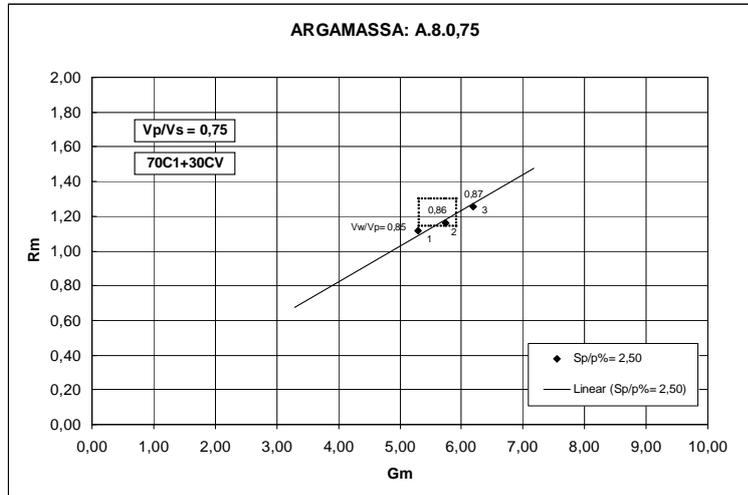


Figura A.39 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,75

Quadro A.114 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,80

ARGAMASSA: A.8.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.8.0,80.1	0,80	0,74	2,50	243	245	8,67	4,95	1,15
A.8.0,80.2	0,80	0,75	2,50	261	260	7,99	5,79	1,25
A.8.0,80.3	0,80	0,76	2,50	276	277	6,98	6,65	1,43

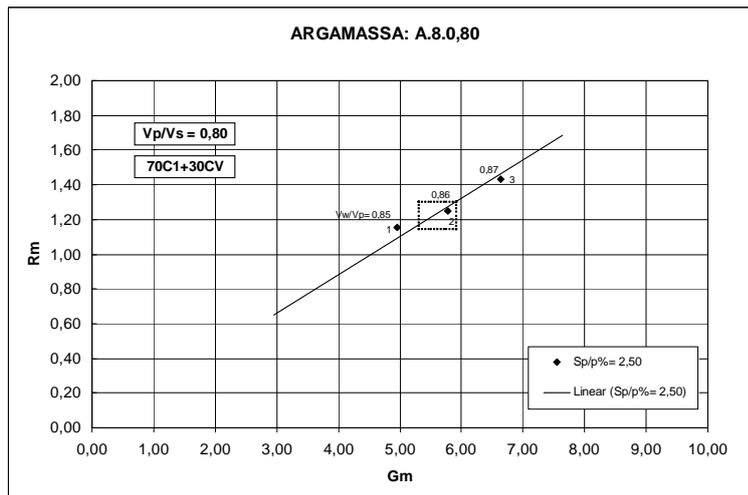


Figura A.40 – Estudos reológicos da argamassa A.8.0,80

Quadro A.115 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,60

ARGAMASSA: A.9.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.9.0,60.1	0,60	0,86	1,60	240	237	9,31	4,69	1,07
A.9.0,60.2	0,60	0,87	1,60	256	255	8,58	5,53	1,17
A.9.0,60.3	0,60	0,88	1,60	263	262	7,49	5,89	1,34

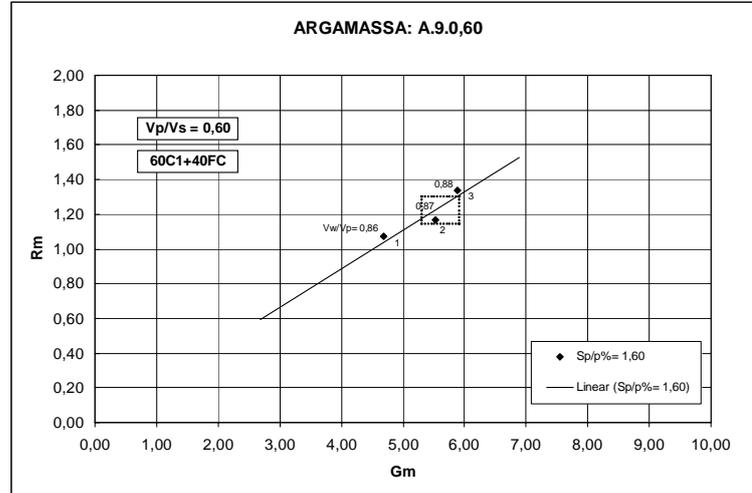


Figura A.41 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,60

Quadro A.116 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,65

ARGAMASSA: A.9.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.9.0,65.1	0,65	0,82	1,60	237	238	9,89	4,64	1,01
A.9.0,65.2	0,65	0,83	1,60	251	252	8,53	5,33	1,17
A.9.0,65.3	0,65	0,84	1,60	261	260	7,48	5,79	1,34

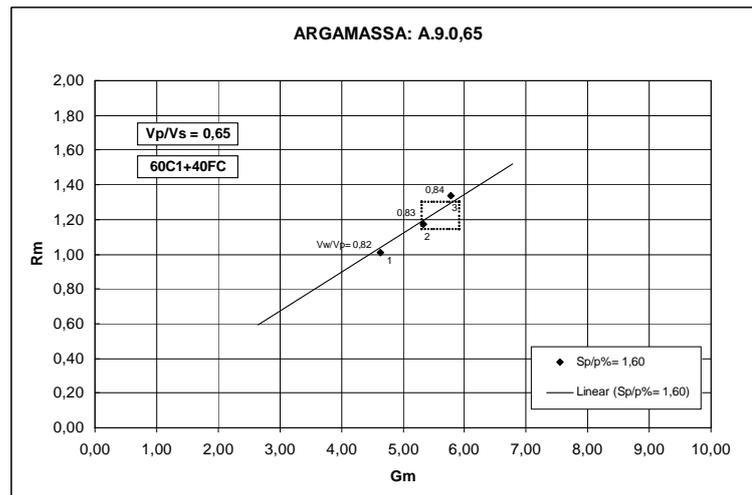


Figura A.42 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,65

Quadro A.117 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,70

ARGAMASSA: A.9.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.9.0,70.1	0,70	0,80	1,50	225	229	9,31	4,15	1,07
A.9.0,70.2	0,70	0,79	1,60	251	247	9,06	5,20	1,10
A.9.0,70.3	0,70	0,80	1,60	261	260	8,20	5,79	1,22
A.9.0,70.4	0,70	0,81	1,60	264	263	7,81	5,94	1,28
A.9.0,70.5	0,70	0,79	1,70	278	275	8,52	6,65	1,17

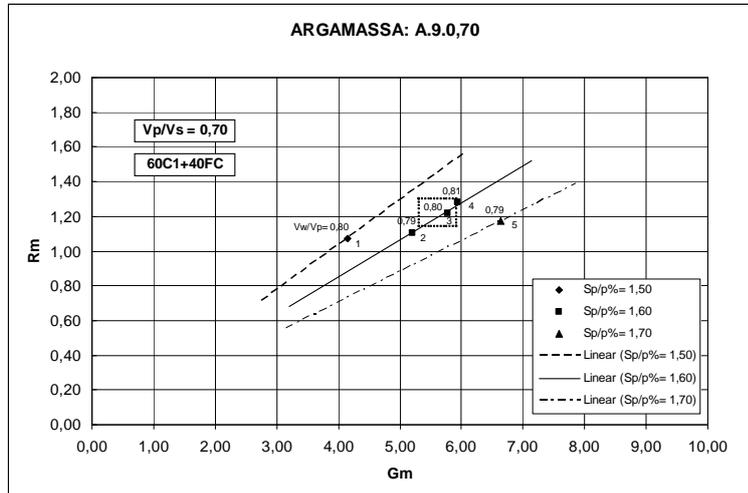


Figura A.43 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,70

Quadro A.118 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,75

ARGAMASSA: A.9.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.9.0,75.1	0,75	0,77	1,65	251	253	8,37	5,35	1,19
A.9.0,75.2	0,75	0,78	1,65	260	260	7,74	5,76	1,29
A.9.0,75.3	0,75	0,79	1,65	275	277	7,00	6,62	1,43

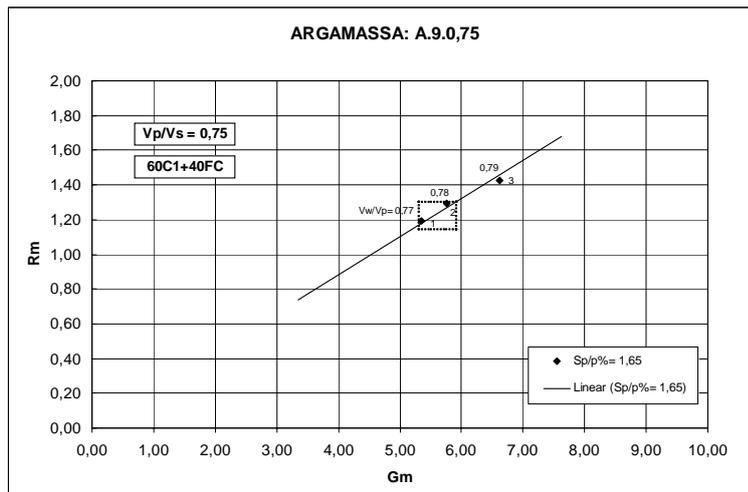


Figura A.44 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,75

Quadro A.119 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,80

ARGAMASSA: A.9.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.9.0,80.1	0,80	0,75	1,65	252	253	8,44	5,38	1,18
A.9.0,80.2	0,80	0,76	1,65	257	258	8,20	5,63	1,22
A.9.0,80.3	0,80	0,77	1,65	272	269	7,24	6,32	1,38

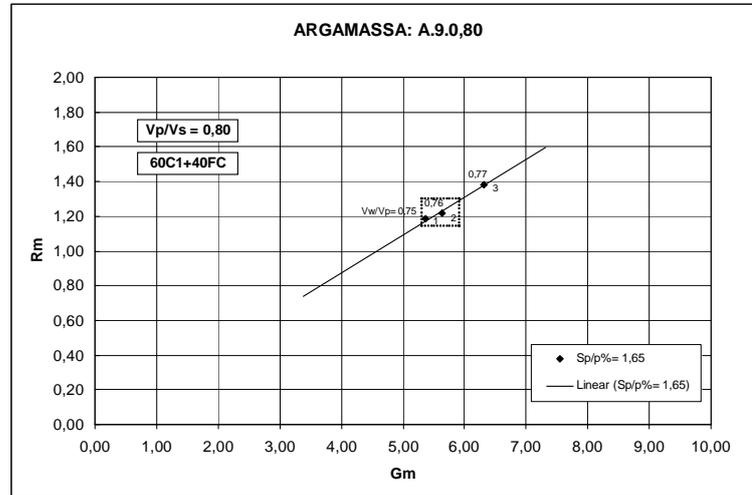


Figura A.45 – Estudos reológicos da argamassa A.9.0,80

Quadro A.120 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,60

ARGAMASSA: A.10.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.10.0,60.1	0,60	0,96	1,95	247	247	8,58	5,10	1,17
A.10.0,60.2	0,60	0,97	1,95	254	251	8,06	5,38	1,24
A.10.0,60.3	0,60	0,98	1,95	268	267	7,22	6,16	1,39

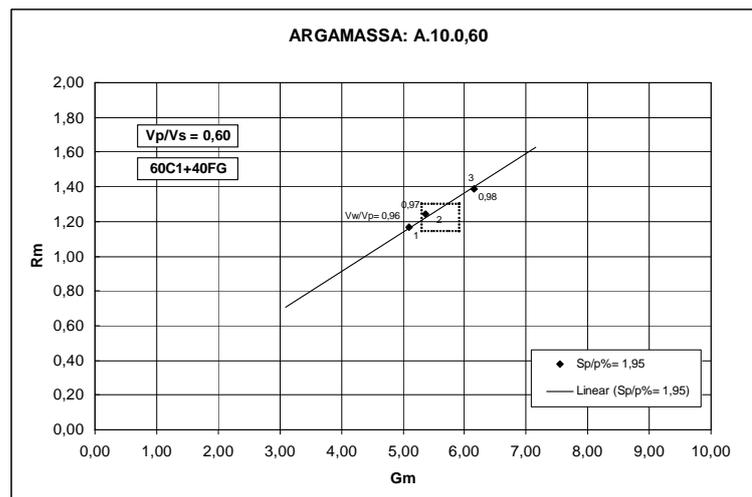


Figura A.46 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,60

Quadro A.121 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,65

ARGAMASSA: A.10.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.10.0,65.1	0,65	0,91	1,95	241	242	9,73	4,83	1,03
A.10.0,65.2	0,65	0,92	1,95	254	253	8,39	5,43	1,19
A.10.0,65.3	0,65	0,93	1,95	272	269	7,08	6,32	1,41

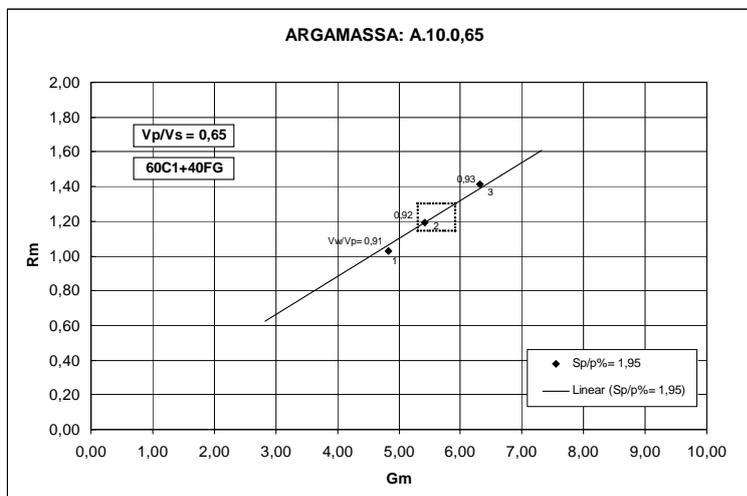


Figura A.47 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,65

Quadro A.122 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,70

ARGAMASSA: A.10.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.10.0,70.1	0,70	0,88	1,95	244	239	9,41	4,83	1,06
A.10.0,70.2	0,70	0,89	1,95	254	252	8,29	5,40	1,21
A.10.0,70.3	0,70	0,90	1,95	264	262	7,78	5,92	1,29

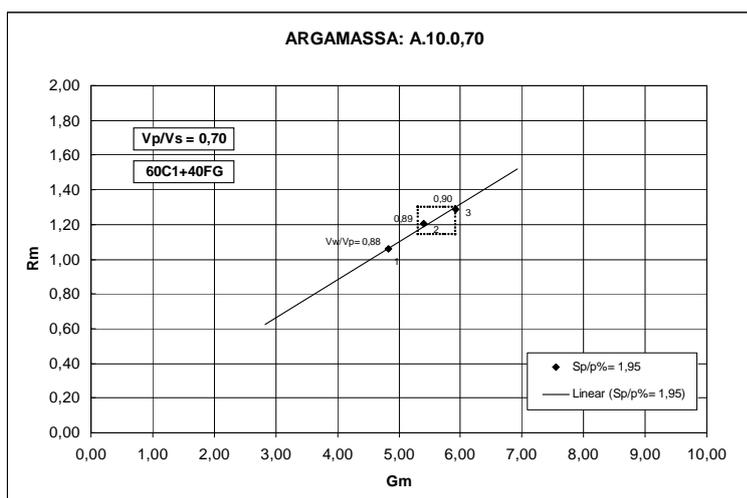


Figura A.48 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,70

Quadro A.123 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,75

ARGAMASSA: A.10.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.10.0,75.1	0,75	0,85	1,95	250	247	9,38	5,18	1,07
A.10.0,75.2	0,75	0,86	1,95	260	260	8,47	5,76	1,18
A.10.0,75.3	0,75	0,87	1,95	263	260	8,03	5,84	1,25

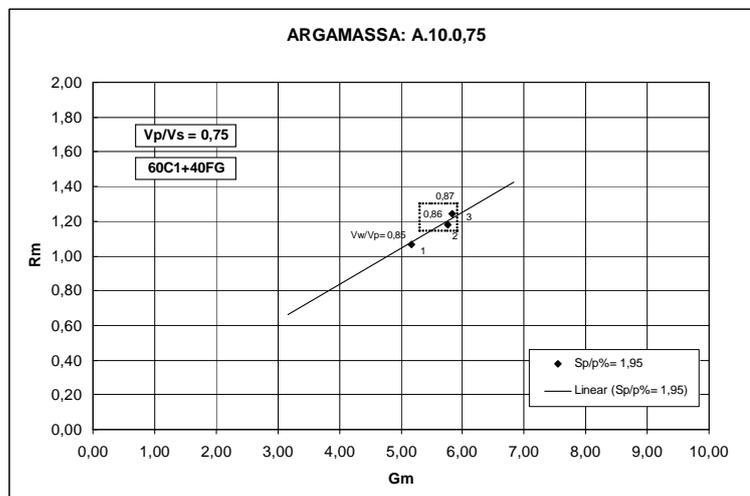


Figura A.49 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,75

Quadro A.124 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,80

ARGAMASSA: A.10.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.10.0,80.1	0,80	0,83	1,95	241	242	9,46	4,83	1,06
A.10.0,80.2	0,80	0,84	1,95	258	259	8,31	5,68	1,20
A.10.0,80.3	0,80	0,85	1,95	265	265	7,65	6,02	1,31

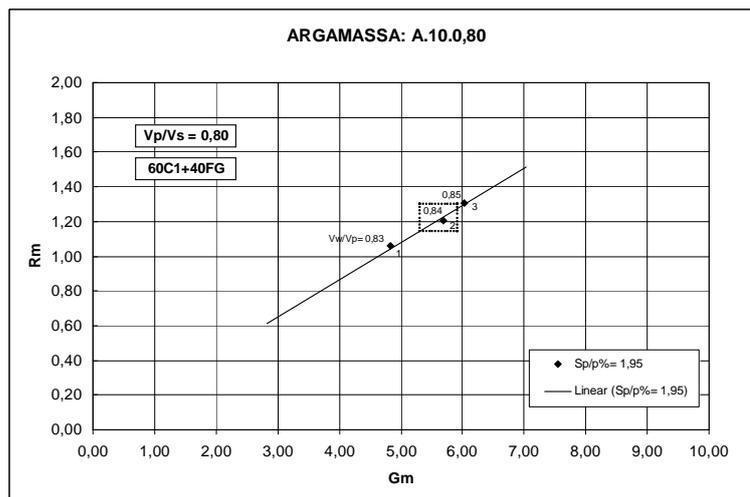


Figura A.50 – Estudos reológicos da argamassa A.10.0,80

Quadro A.125 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,60

ARGAMASSA: A.11.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.11.0,60.1	0,60	0,83	1,90	255	252	7,13	5,43	1,40
A.11.0,60.2	0,60	0,80	1,95	239	241	9,08	4,76	1,10
A.11.0,60.3	0,60	0,81	1,95	257	254	7,81	5,53	1,28

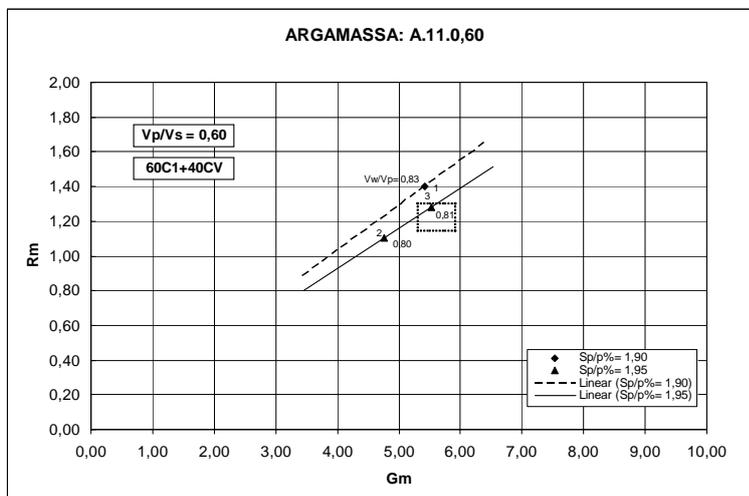


Figura A.51 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,60

Quadro A.126 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,65

ARGAMASSA: A.11.0,65								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.11.0,65.1	0,65	0,77	1,95	242	242	8,82	4,86	1,13
A.11.0,65.2	0,65	0,78	1,95	258	252	7,85	5,50	1,27
A.11.0,65.3	0,65	0,79	1,95	263	259	7,45	5,81	1,34

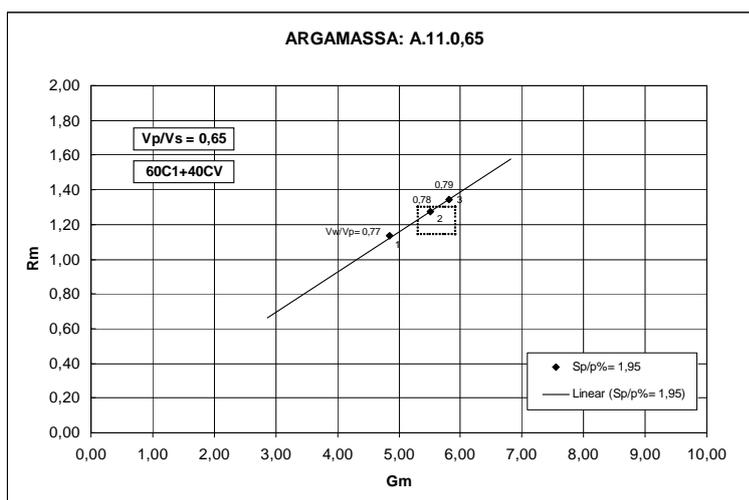


Figura A.52 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,65

Quadro A.127 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,70

ARGAMASSA: A.11.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.11.0,70.1	0,70	0,74	1,95	243	241	8,94	4,86	1,12
A.11.0,70.2	0,70	0,75	1,95	252	253	8,06	5,38	1,24
A.11.0,70.3	0,70	0,74	2,00	262	261	7,88	5,84	1,27
A.11.0,70.4	0,70	0,75	2,00	267	272	7,53	6,26	1,33

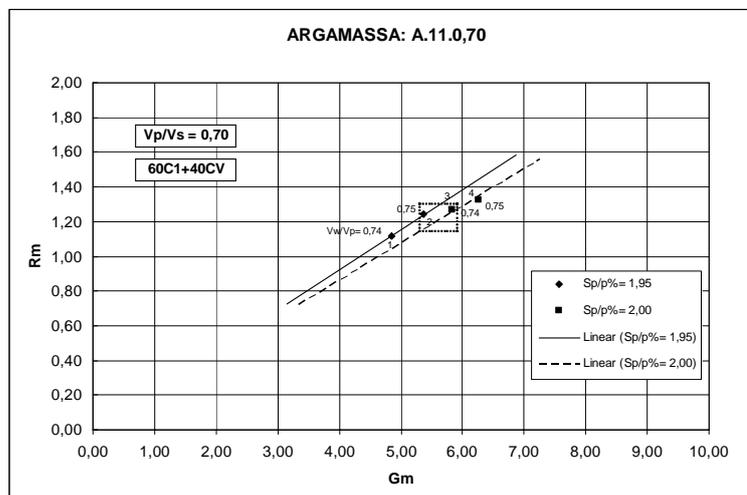


Figura A.53 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,70

Quadro A.128 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,75

ARGAMASSA: A.11.0,75								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.11.0,75.1	0,75	0,72	1,95	240	238	9,60	4,71	1,04
A.11.0,75.2	0,75	0,73	1,95	256	254	8,05	5,50	1,24
A.11.0,75.3	0,75	0,74	1,95	267	267	7,28	6,13	1,37

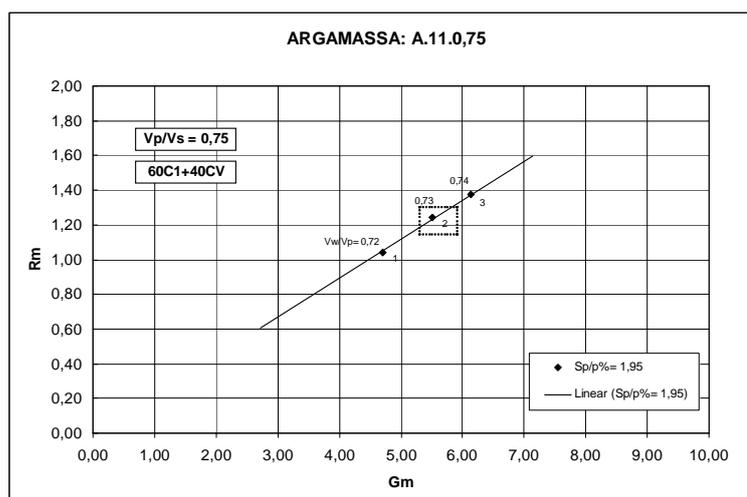


Figura A.54 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,75

Quadro A.129 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,80

ARGAMASSA: A.11.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.11.0,80.1	0,80	0,74	1,80	252	249	7,52	5,28	1,33
A.11.0,80.2	0,80	0,72	1,95	260	259	7,92	5,73	1,26
A.11.0,80.3	0,80	0,70	2,00	247	251	9,23	5,20	1,08
A.11.0,80.4	0,80	0,71	2,00	268	270	7,64	6,24	1,31
A.11.0,80.5	0,80	0,73	2,00	285	282	6,71	7,04	1,49

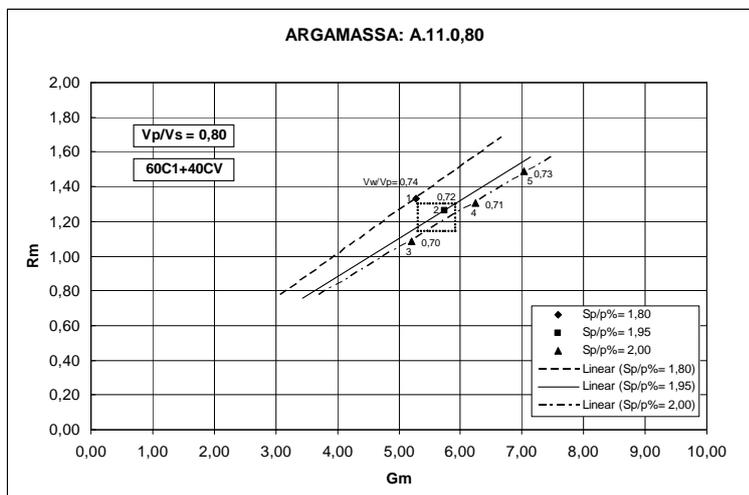


Figura A.55 – Estudos reológicos da argamassa A.11.0,80

Quadro A.130 – Estudos reológicos da argamassa A.12.0,60

ARGAMASSA: A.12.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.12.0,60.1	0,60	0,81	1,00	238	239	9,34	4,69	1,07
A.12.0,60.2	0,60	0,82	1,00	253	252	8,37	5,38	1,19

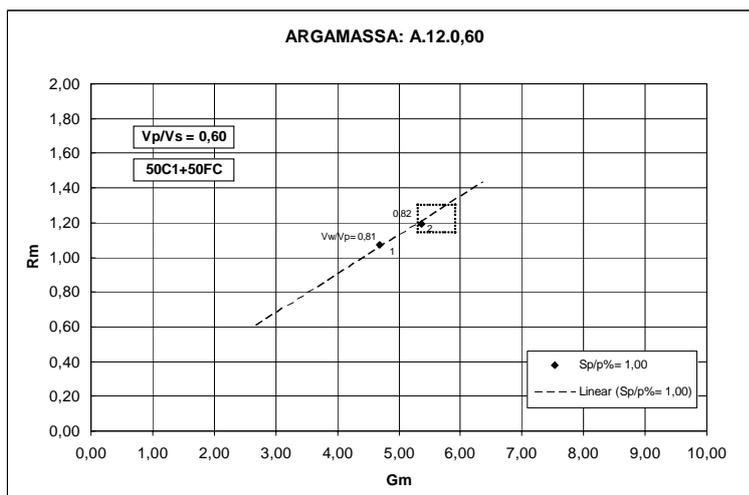


Figura A.56 – Estudos reológicos da argamassa A.12.0,60

Quadro A.133 – Estudos reológicos da argamassa A.13.0,60

ARGAMASSA: A.13.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.13.0,60.1	0,60	0,81	0,80	226	224	8,76	4,06	1,14
A.13.0,60.2	0,60	0,81	0,85	238	239	8,13	4,69	1,23
A.13.0,60.3	0,60	0,81	0,90	254	252	7,84	5,40	1,28

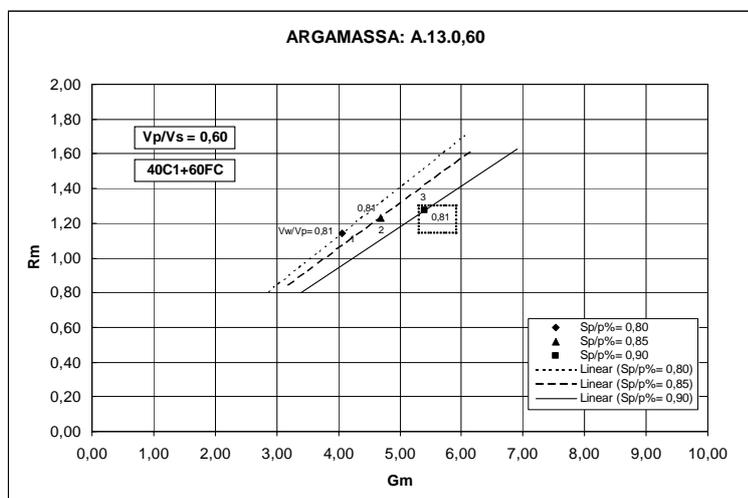


Figura A.59 – Estudos reológicos da argamassa A.13.0,60

Quadro A.134 – Estudos reológicos da argamassa A.13.0,70

ARGAMASSA: A.13.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.13.0,70.1	0,70	0,74	0,80	254	256	8,20	5,50	1,22

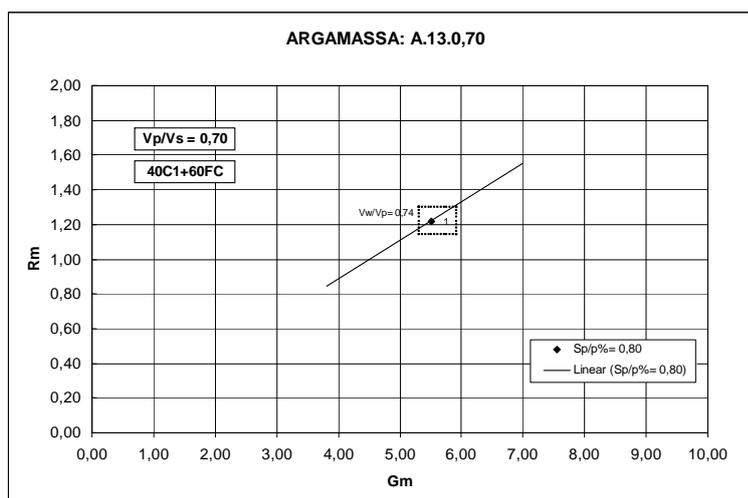


Figura A.60 – Estudos reológicos da argamassa A.13.0,70

Quadro A.135 – Estudos reológicos da argamassa A.13.0,80

ARGAMASSA: A.13.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.13.0,80.1	0,80	0,70	0,70	228	228	9,14	4,20	1,09
A.13.0,80.2	0,80	0,70	0,80	261	262	7,91	5,84	1,26

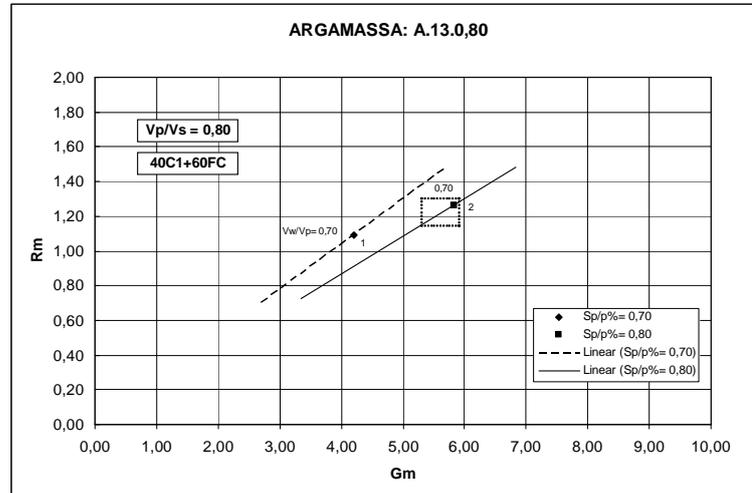


Figura A.61 – Estudos reológicos da argamassa A.13.0,80

Quadro A.136 – Estudos reológicos da argamassa A.14.0,60

ARGAMASSA: A.14.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.14.0,60.1	0,60	0,79	1,50	227	227	8,60	4,15	1,16
A.14.0,60.2	0,60	0,80	1,55	253	253	7,81	5,40	1,28

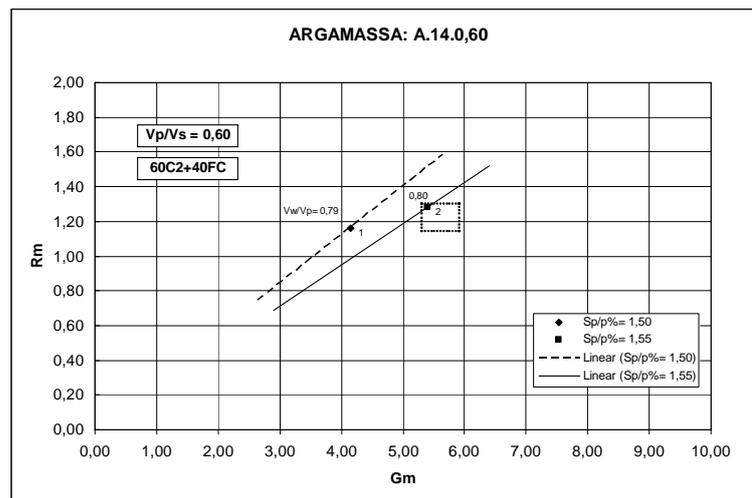


Figura A.62 – Estudos reológicos da argamassa A.14.0,60

Quadro A.137 – Estudos reológicos da argamassa A.14.0,70

ARGAMASSA: A.14.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.14.0,70.1	0,70	0,73	1,30	244	245	8,68	4,98	1,15
A.14.0,70.2	0,70	0,73	1,35	260	259	8,06	5,73	1,24

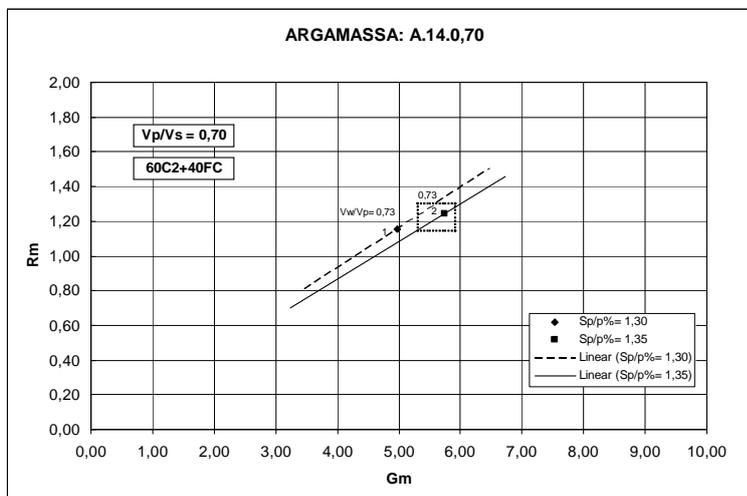


Figura A.63 – Estudos reológicos da argamassa A.14.0,70

Quadro A.138 – Estudos reológicos da argamassa A.14.0,80

ARGAMASSA: A.14.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.14.0,80.1	0,80	0,69	1,30	256	256	8,31	5,55	1,20
A.14.0,80.2	0,80	0,69	1,40	268	273	7,81	6,32	1,28
A.14.0,80.3	0,80	0,69	1,45	277	277	7,52	6,67	1,33

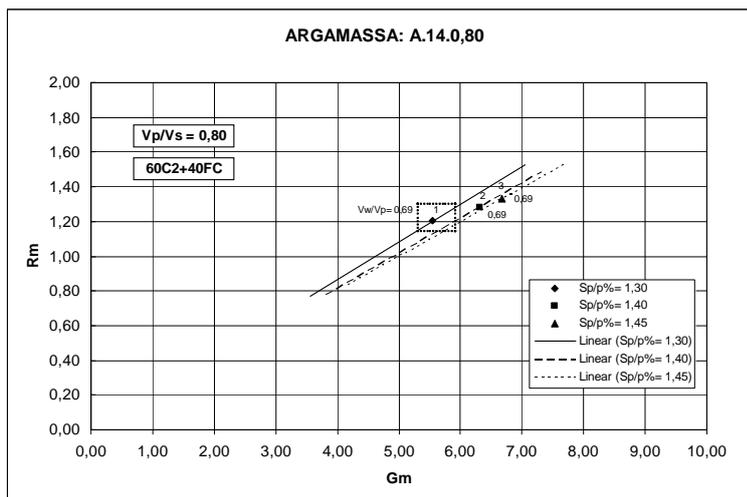


Figura A.64 – Estudos reológicos da argamassa A.14.0,80

Quadro A.139 – Estudos reológicos da argamassa A.15.0,60

ARGAMASSA: A.15.0,60								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.15.0,60.1	0,60	0,79	1,20	236	236	8,69	4,57	1,15
A.15.0,60.2	0,60	0,79	1,25	253	252	8,21	5,38	1,22

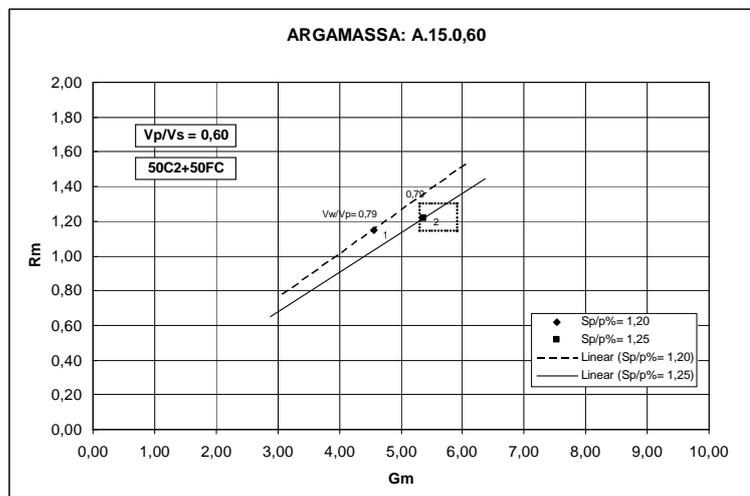


Figura A.65 – Estudos reológicos da argamassa A.15.0,60

Quadro A.140 – Estudos reológicos da argamassa A.15.0,70

ARGAMASSA: A.15.0,70								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.15.0,70.1	0,70	0,72	1,10	245	243	8,57	4,95	1,17
A.15.0,70.2	0,70	0,72	1,15	260	262	7,87	5,81	1,27

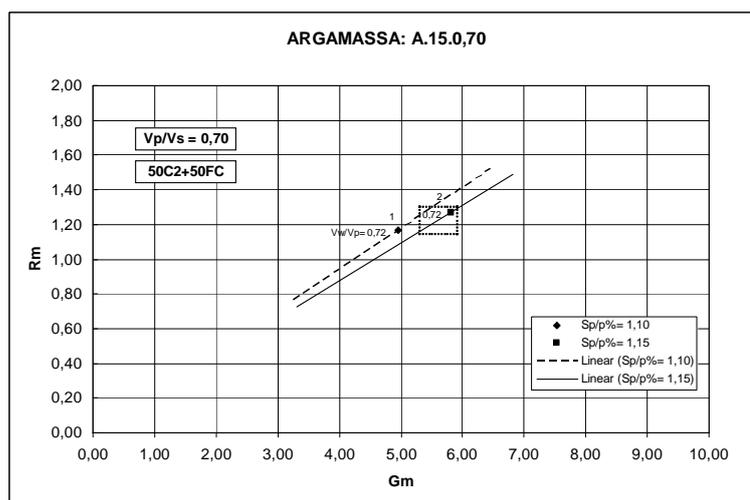


Figura A.66 – Estudos reológicos da argamassa A.15.0,70

Quadro A.141 – Estudos reológicos da argamassa A.15.0,80

ARGAMASSA: A.15.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.15.0,80.1	0,80	0,70	1,15	280	281	6,48	6,87	1,54
A.15.0,80.2	0,80	0,68	1,15	261	262	7,96	5,84	1,26

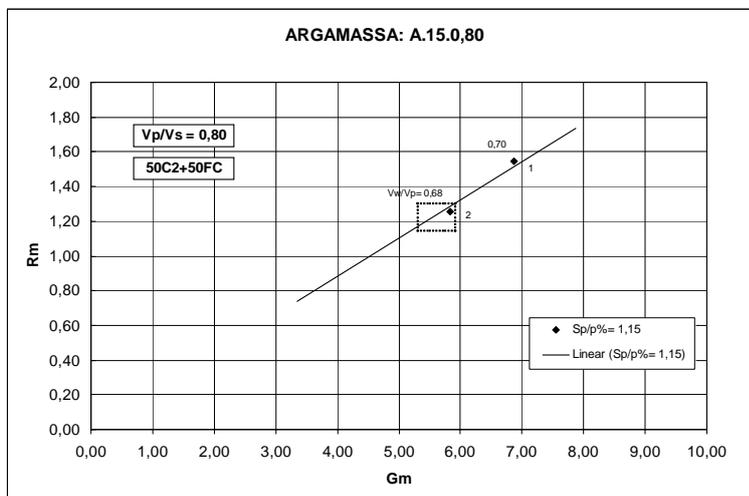


Figura A.67 – Estudos reológicos da argamassa A.15.0,80

Quadro A.142 – Estudos reológicos da argamassa A.I.0,80

ARGAMASSA: A.I.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.I.0,80.1	0,80	0,87	5,50	194	192	8,31	2,72	1,20
A.I.0,80.2	0,80	0,82	6,80	205	206	9,01	3,22	1,11
A.I.0,80.3	0,80	0,78	7,50	206	206	10,08	3,24	0,99
A.I.0,80.4	0,80	0,75	8,50	224	220	9,19	3,93	1,09
A.I.0,80.5	0,80	0,73	9,50	234	237	10,33	4,55	0,97
A.I.0,80.6	0,80	0,75	9,50	246	247	9,57	5,08	1,04
A.I.0,80.7	0,80	0,77	9,50	257	258	7,91	5,63	1,26

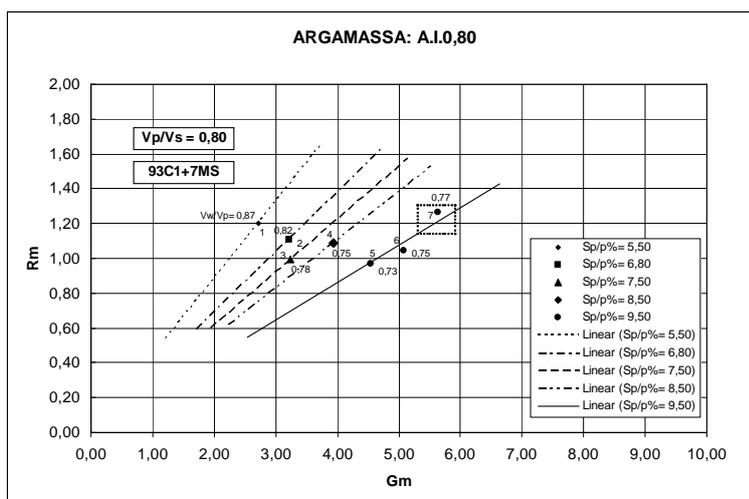


Figura A.68 – Estudos reológicos da argamassa A.I.0,80

Quadro A.143 – Estudos reológicos da argamassa A.II.0,80

ARGAMASSA: A.II.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.II.0,80.1	0,80	0,72	4,80	258	255	8,04	5,58	1,24
A.II.0,80.2	0,80	0,73	5,10	272	270	7,63	6,34	1,31
A.II.0,80.3	0,80	0,74	5,40	303	300	6,48	8,09	1,54

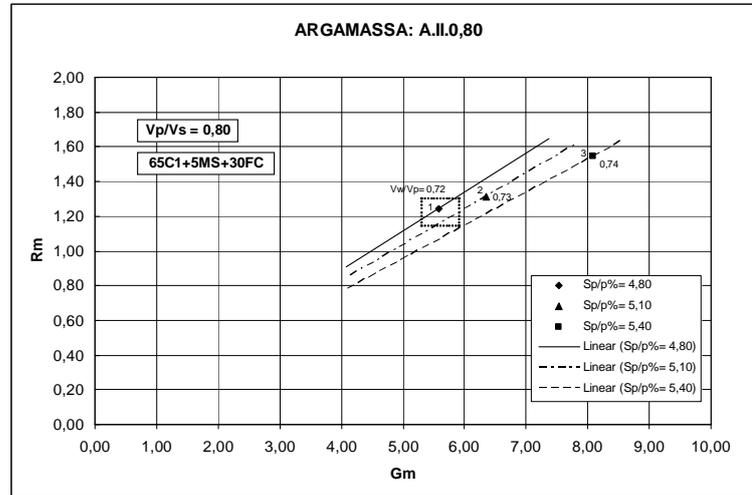


Figura A.69 – Estudos reológicos da argamassa A.II.0,80

Quadro A.144 – Estudos reológicos da argamassa A.III.0,80

ARGAMASSA: A.III.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.III.0,80.1	0,80	0,77	5,20	214	215	11,87	3,60	0,84
A.III.0,80.2	0,80	0,80	5,20	226	224	9,27	4,06	1,08
A.III.0,80.3	0,80	0,84	5,30	258	257	7,33	5,63	1,36
A.III.0,80.4	0,80	0,81	5,70	256	254	7,86	5,50	1,27

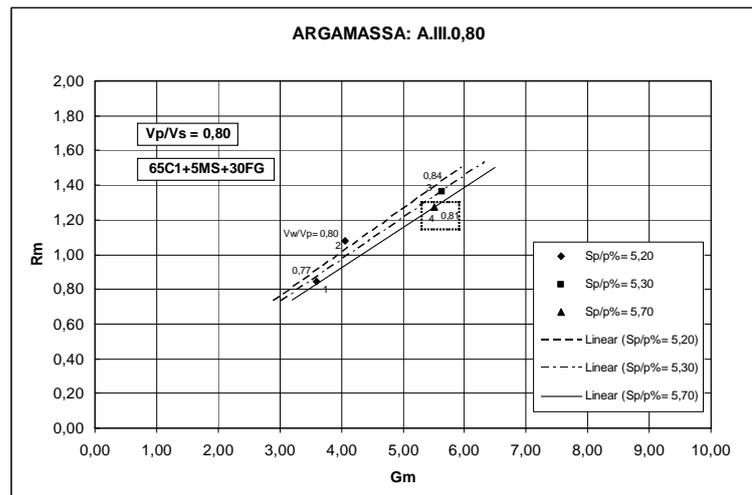


Figura A.70 – Estudos reológicos da argamassa A.III.0,80

Quadro A.145 – Estudos reológicos da argamassa A.IV.0,80

ARGAMASSA: A.IV.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.IV.0,80.1	0,80	0,71	4,60	214	213	10,35	3,56	0,97
A.IV.0,80.2	0,80	0,72	5,20	232	232	9,12	4,38	1,10
A.IV.0,80.3	0,80	0,72	5,60	245	242	8,59	4,93	1,16
A.IV.0,80.4	0,80	0,72	5,70	256	253	7,91	5,48	1,26

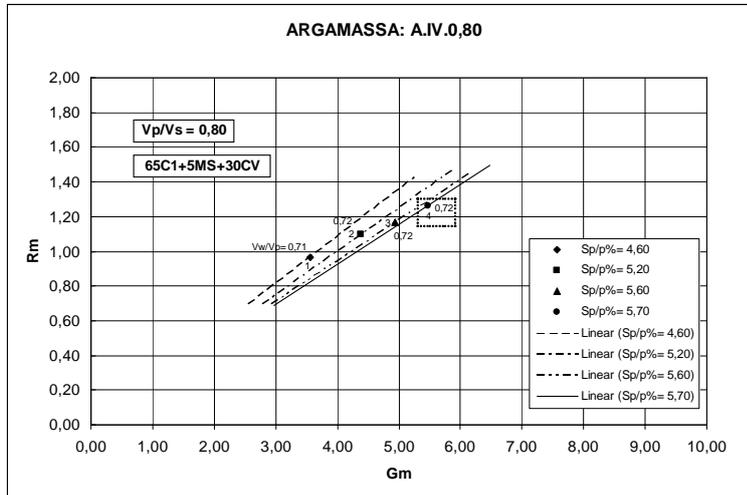


Figura A.71 – Estudos reológicos da argamassa A.IV.0,80

Quadro A.146 – Estudos reológicos da argamassa A.V.0,80

ARGAMASSA: A.V.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.V.0,80.1	0,80	0,68	3,40	239	236	9,91	4,64	1,01
A.V.0,80.2	0,80	0,70	3,40	255	254	8,50	5,48	1,18

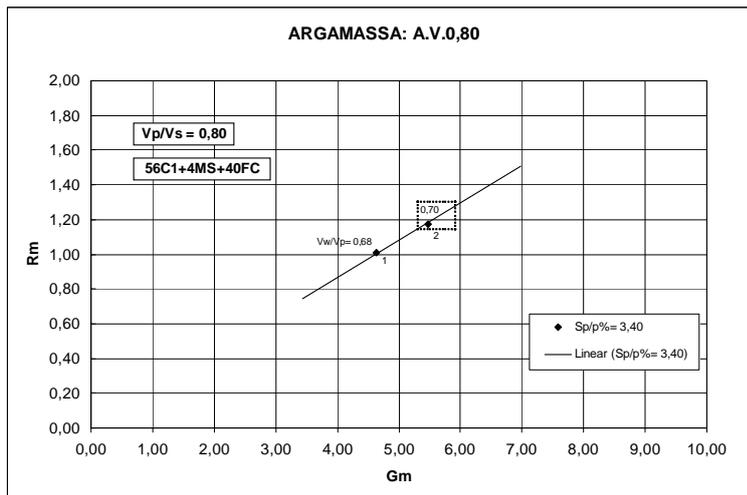


Figura A.72 – Estudos reológicos da argamassa A.V.0,80

Quadro A.147 – Estudos reológicos da argamassa A.VI.0,80

ARGAMASSA: A.VI.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.VI.0,80.1	0,80	0,81	4,00	221	218	9,27	3,82	1,08
A.VI.0,80.2	0,80	0,79	4,20	249	248	9,16	5,18	1,09
A.VI.0,80.3	0,80	0,80	4,20	262	260	8,50	5,81	1,18
A.VI.0,80.4	0,80	0,81	4,20	258	260	7,76	5,71	1,29

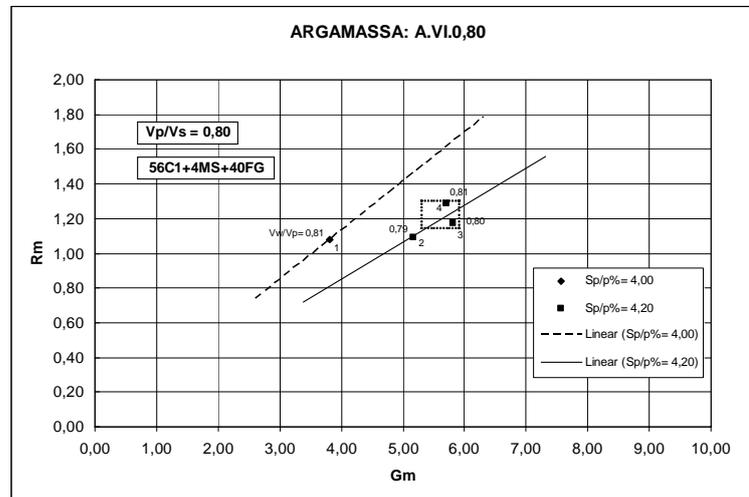


Figura A.73 – Estudos reológicos da argamassa A.VI.0,80

Quadro A.148 – Estudos reológicos da argamassa A.VII.0,80

ARGAMASSA: A.VII.0,80								
Mistura	Parâmetros da mistura			Leituras			Reologia	
	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/p%	d1 [mm]	d2 [mm]	t [seg.]	Gm	Rm
A.VII.0,80.1	0,80	0,71	4,00	258	264	7,13	5,81	1,40
A.VII.0,80.2	0,80	0,68	4,20	251	252	8,13	5,33	1,23
A.VII.0,80.3	0,80	0,70	4,20	258	259	7,81	5,68	1,28

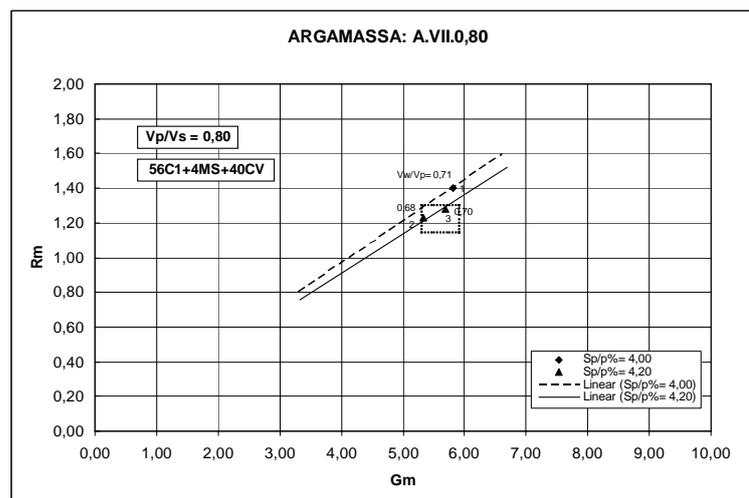


Figura A.74 – Estudos reológicos da argamassa A.VII.0,80

ANEXO A.1.3

**RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DAS ARGAMASSAS
QUE CUMPRIRAM OS PARÂMETROS REOLÓGICOS**

Quadro A.149 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.1

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS															
Identificação		Registos efectuados							Resultados						
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão				
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]	
A.1.0,60	I	09-03-2004 06-04-2004	28	50,0	49,9	50,0	279,4	140,5	2240	2243	56,31	55,3	1,39	2,5	
	II			50,0	50,1	50,0	280,9	139,7	2243		55,77				
	III			50,0	50,0	50,0	280,7	139,7	2246		55,88				
	IV			50,0	50,0	49,9	279,8	133,1	2243		53,24				
A.1.0,65	I	10-03-2004 07-04-2004	28	50,2	50,2	50,2	283,2	150,2	2239	2243	59,60	57,3	1,98	3,5	
	II			50,2	50,3	50,0	283,1	142,1	2242		56,28				
	III			50,2	50,3	50,2	285,7	141,6	2254		56,08				
	IV			50,2	50,5	50,4	285,8	---	2237		---				
A.1.0,70	I	05-03-2004 02-04-2004	28	49,6	49,3	49,6	276,5	150,1	2280	2276	61,38	61,9	2,53	4,1	
	II			49,5	49,3	49,7	276,1	143,0	2276		58,60				
	III			49,6	49,5	49,6	277,6	157,5	2280		64,15				
	IV			49,7	49,6	49,6	277,4	156,9	2269		63,65				
A.1.0,75	I	11-03-2004 08-04-2004	28	50,2	49,8	50,3	281,0	153,3	2235	2238	61,32	59,9	1,44	2,4	
	II			50,3	50,0	49,5	279,6	147,0	2246		58,45				
	III			50,2	50,0	50,3	281,9	150,1	2233		59,80				
	IV			50,0	50,0	50,4	282,2	---	2240		---				
A.1.0,80	I	08-03-2004 05-04-2004	28	49,5	49,1	49,6	273,3	165,9	2267	2259	68,26	66,5	2,54	3,8	
	II			49,7	49,6	49,5	275,6	156,7	2259		63,57				
	III			49,6	49,6	49,6	273,7	---	2243		---				
	IV			49,4	49,3	49,6	273,8	164,6	2267		67,59				

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.150 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.2

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS															
Identificação		Registos efectuados							Resultados						
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão				
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]	
A.2.0,60	I	15-03-2004 12-04-2004	28	50,4	50,5	50,5	288,5	122,0	2245	2254	47,93	48,4	0,90	1,9	
	II			50,3	50,4	50,3	288,1	123,8	2259		48,83				
	III			50,6	50,4	50,3	289,2	125,9	2254		49,37				
	IV			50,3	50,5	50,5	289,5	120,3	2257		47,36				
A.2.0,65	I	18-03-2004 15-04-2004	28	50,3	50,4	50,4	287,5	132,0	2250	2250	52,07	50,8	1,25	2,5	
	II			50,7	50,8	50,4	293,2	132,9	2259		51,60				
	III			50,4	50,4	50,3	288,2	126,3	2256		49,72				
	IV			50,7	50,7	50,5	290,2	127,7	2236		49,68				
A.2.0,70	I	16-03-2004 13-04-2004	28	50,3	50,3	50,3	285,9	136,2	2247	2242	53,83	52,8	1,39	2,6	
	II			50,3	50,3	50,3	285,5	135,4	2243		53,52				
	III			50,3	50,4	50,5	285,6	134,9	2231		53,21				
	IV			50,3	50,3	50,5	287,2	128,5	2248		50,79				
A.2.0,75	I	17-03-2004 14-04-2004	28	50,4	50,3	50,5	292,5	150,2	2285	2280	59,25	58,2	1,12	1,9	
	II			50,3	50,5	50,3	289,8	146,4	2268		57,63				
	III			50,4	50,3	50,2	290,3	144,1	2281		56,84				
	IV			50,3	50,4	50,5	292,5	149,4	2285		58,93				
A.2.0,80	I	16-03-2004 13-04-2004	28	50,5	50,5	50,8	291,5	152,0	2250	2251	59,60	57,5	2,71	4,7	
	II			50,4	50,4	50,3	287,8	140,1	2252		55,15				
	III			50,4	50,7	50,5	289,2	153,4	2241		60,03				
	IV			50,4	50,5	50,3	289,4	140,3	2261		55,12				

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.151 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.3

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.3.0,60	I	23-03-2004	28	50,4	50,7	50,3	281,5	116,3	2190	2223	45,51	45,8	0,75	1,6
	II			50,2	50,0	50,4	282,2	114,0	2231		45,42			
	III	50,3		50,3	50,4	284,8	115,1	2233	45,49					
	IV	50,3		50,2	50,3	284,4	118,6	2239	46,97					
A.3.0,65	I	25-03-2004	28	50,4	50,2	50,2	283,0	126,5	2228	2232	50,00	49,9	0,81	1,6
	II			50,4	50,5	50,4	285,6	127,9	2226		50,25			
	III	48,5		50,3	50,3	275,8	123,7	2248	50,71					
	IV	48,6		50,5	50,3	274,9	119,8	2227	48,81					
A.3.0,70	I	24-03-2004	28	50,5	50,2	50,3	287,9	140,0	2258	2257	55,22	55,3	0,55	1,0
	II			50,3	50,0	50,4	286,0	139,3	2256		55,39			
	III	50,6		50,5	50,3	289,1	139,6	2249	54,63					
	IV	50,2		50,3	50,4	288,3	141,3	2265	55,96					
A.3.0,75	I	25-03-2004	28	49,7	50,4	50,2	282,0	140,5	2243	2243	56,09	56,2	0,79	1,4
	II			49,9	50,4	50,3	284,0	139,2	2245		55,35			
	III	49,8		50,3	50,4	282,8	140,8	2240	56,21					
	IV	49,8		50,5	50,3	283,7	144,0	2243	57,26					
A.3.0,80	I	23-03-2004	28	50,3	50,3	50,3	286,3	149,5	2250	2251	59,09	57,7	1,11	1,9
	II			50,4	50,5	50,3	287,7	144,6	2247		56,81			
	III	50,2		50,5	50,4	287,6	144,1	2251	56,84					
	IV	50,1		50,5	50,2	286,7	147,3	2257	58,22					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.152 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.4

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.4.0,60	I	29-03-2004	28	50,7	50,8	50,4	284,7	132,3	2193	2212	51,37	51,3	1,18	2,3
	II			50,4	50,5	50,5	284,0	129,0	2210		50,68			
	III	50,4		50,1	50,5	284,5	133,8	2231	52,99					
	IV	50,3		50,4	50,5	283,6	127,6	2215	50,33					
A.4.0,65	I	31-03-2004	28	50,5	50,8	50,8	290,4	142,1	2228	2220	55,39	54,2	1,04	1,9
	II			50,8	50,9	50,6	288,9	---	2208		---			
	III	50,5		50,5	50,5	287,2	136,9	2230	53,68					
	IV	50,6		50,6	50,5	286,2	137,0	2213	53,51					
A.4.0,70	I	30-03-2004	28	50,5	50,8	50,9	291,5	152,0	2232	2215	59,25	58,9	0,51	0,9
	II			51,0	51,0	51,0	293,3	151,6	2211		58,29			
	III	50,9		50,7	50,7	286,8	151,5	2192	58,71					
	IV	50,6		50,6	50,5	287,4	152,1	2223	59,41					
A.4.0,75	I	30-03-2004	28	50,5	50,8	50,7	292,1	165,0	2246	2236	64,32	60,2	3,69	6,1
	II			50,7	50,7	50,6	290,2	147,1	2231		57,23			
	III	50,5		50,6	50,6	288,9	---	2234	---					
	IV	50,5		50,6	50,5	288,2	150,7	2233	58,98					
A.4.0,80	I	29-03-2004	28	50,4	50,3	50,5	284,2	154,5	2220	2228	60,94	61,7	0,70	1,1
	II			50,6	50,3	50,3	285,6	158,5	2231		62,27			
	III	50,4		50,3	50,5	285,7	157,2	2232	62,01					
	IV	50,3		50,3	50,5	284,7	---	2228	---					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.153 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.5

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.5.0,60	I	05-04-2004 03-05-2004	28	50,0	50,0	50,0	284,3	205,6	2274	2276	82,24	83,3	1,83	2,2
	II			50,3	50,2	50,2	286,3	205,9	2259		81,54			
	III			50,0	49,9	49,9	284,0	213,7	2281		85,65			
	IV			50,0	50,0	50,0	286,1	209,7	2289		83,88			
A.5.0,65	I	06-04-2004 04-05-2004	28	50,1	50,1	50,2	287,5	210,6	2282	2271	83,90	88,2	3,24	3,7
	II			50,2	50,2	50,4	289,2	225,6	2277		89,52			
	III			50,3	50,2	50,3	287,9	231,1	2267		91,52			
	IV			50,5	50,5	50,3	289,7	223,9	2258		87,80			
A.5.0,70	I	06-04-2004 04-05-2004	28	50,5	50,5	50,2	290,2	235,7	2267	2265	92,42	90,8	1,57	1,7
	II			50,3	50,3	50,3	287,7	230,2	2261		90,98			
	III			50,3	50,2	50,4	287,9	223,8	2262		88,63			
	IV			50,3	50,4	50,3	289,6	230,8	2271		91,04			
A.5.0,75	I	15-04-2004 13-05-2004	28	49,9	50,2	50,1	285,6	225,2	2276	2289	89,90	91,0	2,01	2,2
	II			50,1	50,1	50,1	288,3	235,6	2293		93,86			
	III			50,2	49,8	50,1	286,5	223,4	2287		89,36			
	IV			50,3	50,0	50,2	290,4	228,6	2300		90,89			
A.5.0,80	I	14-04-2004 12-05-2004	28	50,1	50,2	50,0	288,7	227,7	2296	2286	90,54	91,8	1,70	1,9
	II			50,1	50,0	50,2	286,3	230,2	2277		91,90			
	III			50,0	50,2	50,0	287,0	236,4	2287		94,18			
	IV			50,1	50,0	50,2	287,4	227,0	2285		90,62			

Notas:

- Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C durante 28 dias
- Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
- A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
- Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.154 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.6

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.6.0,60	I	15-04-2004 13-05-2004	28	50,1	50,0	50,2	285,4	178,0	2270	2269	71,06	69,8	1,52	2,2
	II			50,2	50,0	50,5	289,2	170,4	2282		67,89			
	III			50,2	50,4	50,4	288,9	179,7	2266		71,03			
	IV			50,4	50,4	50,3	288,9	176,1	2261		69,33			
A.6.0,65	I	21-04-2004 19-05-2004	28	50,3	50,3	50,3	290,7	186,2	2284	2284	73,59	71,9	4,07	5,7
	II			50,4	50,5	50,4	292,6	171,9	2281		67,54			
	III			50,2	50,4	50,3	290,2	188,4	2280		74,46			
	IV			50,2	50,5	50,3	292,1	168,7	2291		66,55			
A.6.0,70	I	20-04-2004 18-05-2004	28	50,4	50,4	50,5	291,7	188,3	2274	2276	74,13	74,0	1,83	2,5
	II			50,3	50,4	50,5	292,3	189,8	2283		74,87			
	III			50,4	50,6	50,3	291,6	193,0	2273		75,68			
	IV			50,5	50,6	50,4	293,0	182,6	2275		71,46			
A.6.0,75	I	21-04-2004 19-05-2004	28	50,4	50,3	50,3	291,2	195,8	2284	2287	77,24	76,7	4,30	5,6
	II			50,4	50,5	50,5	294,4	190,9	2290		75,00			
	III			50,4	50,0	50,4	290,6	172,5	2288		68,45			
	IV			50,3	50,3	50,4	291,6	197,0	2287		77,86			
A.6.0,80	I	20-04-2004 18-05-2004	28	50,6	50,4	50,4	293,2	187,2	2281	2282	73,40	76,8	3,34	4,4
	II			50,4	50,6	50,3	292,7	190,9	2282		74,86			
	III			50,3	50,3	50,3	290,5	204,6	2283		80,87			
	IV			50,4	50,6	50,5	293,8	199,2	2281		78,11			

Notas:

- Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C durante 28 dias
- Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
- A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
- Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.155 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.7

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.7.0,60	I	23-04-2004	28	50,1	50,1	50,1	281,7	153,5	2240	2236	61,16	58,7	1,88	3,2
	II			50,0	50,0	50,0	279,8	142,5	2238		57,00			
	III	21-05-2004		50,0	50,0	50,0	279,2	147,9	2234		59,16			
	IV	50,0		50,2	50,0	280,1	144,3	2232	57,49					
A.7.0,65	I	23-04-2004	28	50,2	50,2	50,1	282,0	160,6	2234	2239	63,73	62,4	2,53	4,1
	II			50,2	50,2	50,3	284,3	162,6	2243		64,52			
	III	21-05-2004		50,2	49,7	50,2	280,1	146,7	2236		58,80			
	IV	50,3		50,1	50,1	283,0	157,4	2242	62,46					
A.7.0,70	I	27-04-2004	28	50,4	50,7	50,3	287,7	173,0	2238	2237	67,70	64,8	3,28	5,1
	II			50,6	50,7	50,3	287,4	155,4	2227		60,57			
	III	25-05-2004		50,3	50,3	50,4	286,7	169,8	2248		67,11			
	IV	50,3		50,5	50,4	285,8	162,5	2232	63,97					
A.7.0,75	I	28-04-2004	28	50,6	50,7	50,4	290,1	169,4	2244	2247	66,03	65,3	2,07	3,2
	II			50,6	50,6	50,3	290,0	163,4	2252		63,82			
	III	26-05-2004		50,6	50,6	50,1	287,3	173,8	2240		67,88			
	IV	50,6		50,4	50,3	288,9	161,8	2252	63,45					
A.7.0,80	I	26-04-2004	28	50,3	50,3	50,6	288,1	178,9	2250	2251	70,71	70,7	3,21	4,5
	II			50,4	50,3	50,3	287,6	187,5	2255		73,96			
	III	24-05-2004		50,3	50,6	50,4	288,2	171,9	2247		67,54			
	IV	50,4		50,4	50,4	288,1	---	2250	---					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.156 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.8

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.8.0,60	I	13-05-2004	28	50,0	49,5	50,0	275,4	181,6	2225	2224	73,37	72,2	1,83	2,5
	II			50,0	50,0	50,0	278,1	185,2	2225		74,08			
	III	10-06-2004		50,1	49,6	50,0	276,2	177,5	2223		71,43			
	IV	50,1		50,0	49,9	277,6	175,5	2221	70,06					
A.8.0,65	I	10-05-2004	28	49,8	49,9	49,8	277,5	179,0	2242	2237	72,03	74,3	2,37	3,2
	II			49,7	50,0	49,8	277,5	181,6	2242		73,08			
	III	07-06-2004		50,0	50,0	49,8	277,7	186,8	2231		74,72			
	IV	49,8		50,0	49,8	277,1	192,9	2235	77,47					
A.8.0,70	I	11-05-2004	28	50,0	50,2	50,3	283,1	188,0	2242	2235	74,90	74,4	0,67	0,9
	II			50,5	50,3	50,0	283,7	189,4	2234		74,56			
	III	08-06-2004		50,4	50,0	50,2	282,1	---	2230		---			
	IV	50,0		50,4	50,4	283,5	185,5	2232	73,61					
A.8.0,75	I	11-05-2004	28	50,0	50,0	50,3	283,2	206,4	2252	2248	82,56	78,3	4,80	6,1
	II			50,0	50,0	50,0	281,8	205,5	2254		82,20			
	III	08-06-2004		50,2	50,2	50,0	284,5	190,5	2258		75,59			
	IV	49,9		50,1	50,8	283,0	182,4	2228	72,96					
A.8.0,80	I	12-05-2004	28	50,2	50,1	50,0	281,7	204,7	2240	2244	81,39	80,6	4,63	5,7
	II			49,9	49,7	50,2	280,0	188,1	2249		75,85			
	III	09-06-2004		50,0	50,0	50,0	280,9	196,6	2247		78,64			
	IV	50,0		49,6	50,0	277,8	215,0	2240	86,69					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.157 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.9

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.9.0,60	I	21-05-2004	28	50,1	50,2	50,2	284,0	133,1	2249	2235	52,92	53,6	1,78	3,3
	II			50,2	50,0	50,0	280,5	137,3	2235		54,70			
	III	50,4		50,0	50,2	281,6	129,6	2226	51,43					
	IV	50,3		50,2	50,2	282,6	139,8	2229	55,37					
A.9.0,65	I	20-05-2004	28	49,8	50,0	49,9	276,9	161,0	2229	2238	64,66	60,0	3,34	5,6
	II			49,9	49,6	49,6	275,4	148,4	2243		59,96			
	III	49,8		49,9	49,8	277,8	144,2	2245	58,03					
	IV	49,6		50,0	49,9	276,5	141,8	2234	57,18					
A.9.0,70	I	18-05-2004	28	50,1	49,6	49,4	275,9	164,8	2248	2247	66,32	64,7	1,97	3,0
	II			49,8	50,0	49,7	278,6	163,4	2251		65,62			
	III	50,0		49,5	49,7	275,0	153,1	2236	61,86					
	IV	49,9		50,0	50,0	281,0	162,1	2253	64,97					
A.9.0,75	I	19-05-2004	28	50,0	49,6	49,7	276,6	164,4	2244	2254	66,29	65,5	0,66	1,0
	II			50,0	49,6	49,8	278,8	---	2257		---			
	III	49,6		50,0	49,7	278,6	161,5	2260	65,12					
	IV	49,7		50,0	49,8	279,0	162,0	2254	65,19					
A.9.0,80	I	19-05-2004	28	50,0	49,4	49,9	276,2	156,8	2241	2246	63,48	65,1	1,45	2,2
	II			50,0	49,6	49,8	278,7	164,1	2257		66,17			
	III	50,0		49,4	50,0	275,2	---	2228	---					
	IV	50,0		49,6	50,0	280,1	163,1	2259	65,77					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.158 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.10

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.10.0,60	I	21-06-2004	28	50,0	50,0	50,0	276,0	133,0	2208	2204	53,20	52,0	1,03	2,0
	II			49,9	50,0	50,1	275,6	129,8	2205		52,02			
	III	50,1		50,1	50,1	276,6	131,0	2200	52,19					
	IV	50,2		49,6	50,2	275,2	126,2	2202	50,68					
A.10.0,65	I	22-06-2004	28	50,3	50,2	49,7	276,2	141,1	2201	2204	55,88	55,3	0,64	1,2
	II			50,1	50,0	49,9	275,2	138,6	2202		55,33			
	III	50,1		50,3	49,9	277,4	139,9	2206	55,52					
	IV	50,2		50,0	49,9	276,7	136,5	2209	54,38					
A.10.0,70	I	21-06-2004	28	49,7	50,1	49,6	273,0	143,0	2210	2206	57,43	57,2	1,58	2,8
	II			49,6	49,6	49,8	271,2	145,0	2214		58,94			
	III	50,2		50,1	50,2	278,3	138,6	2204	55,11					
	IV	50,2		50,0	49,3	271,9	143,6	2197	57,21					
A.10.0,75	I	22-06-2004	28	50,4	50,2	50,0	281,3	157,9	2224	2217	62,41	60,3	1,64	2,7
	II			50,1	49,9	50,2	277,7	150,8	2213		60,32			
	III	50,2		50,2	50,0	279,4	147,2	2217	58,41					
	IV	50,4		50,2	50,0	280,0	152,0	2213	60,08					
A.10.0,80	I	18-06-2004	28	50,2	50,0	49,8	274,4	153,9	2195	2200	61,31	62,6	1,10	1,8
	II			49,8	50,3	50,0	276,0	155,2	2204		61,96			
	III	50,1		50,0	50,0	275,4	158,7	2199	63,35					
	IV	50,1		50,2	50,1	277,5	160,0	2202	63,62					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.159 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.11

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.11.0,60	I	08-06-2004	28	50,2	50,3	50,1	270,4	158,3	2137	2140	62,69	63,6	0,66	1,0
	II			50,2	50,2	50,3	272,0	160,4	2146		63,65			
	III	06-07-2004		50,2	50,3	50,3	271,8	162,0	2140		64,16			
	IV	50,2		50,4	50,0	270,2	161,9	2136	63,99					
A.11.0,65	I	14-06-2004	28	50,1	50,2	49,8	274,2	181,9	2189	2188	72,33	71,1	1,67	2,4
	II			50,1	50,2	49,9	274,4	183,0	2186		72,76			
	III	12-07-2004		50,2	50,2	50,0	276,1	176,2	2191		69,92			
	IV	50,1		50,1	50,1	274,9	174,3	2186	69,44					
A.11.0,70	I	09-06-2004	28	50,1	50,3	50,2	279,1	191,0	2206	2198	75,79	74,4	1,37	1,8
	II			50,2	50,3	49,9	276,2	184,5	2192		73,07			
	III	07-07-2004		50,1	50,3	50,4	279,1	189,7	2197		75,28			
	IV	50,3		50,3	50,0	277,7	185,5	2195	73,32					
A.11.0,75	I	14-06-2004	28	50,1	50,3	49,8	274,1	191,0	2184	2179	75,79	75,3	1,02	1,3
	II			50,2	50,3	49,9	274,8	186,4	2181		73,82			
	III	12-07-2004		50,1	50,3	50,3	276,6	191,0	2182		75,79			
	IV	50,2		50,3	50,0	273,6	191,8	2167	75,96					
A.11.0,80	I	07-06-2004	28	50,5	50,5	50,1	278,6	189,9	2181	2190	74,46	76,0	1,01	1,3
	II			50,2	50,2	50,2	277,6	193,3	2194		76,71			
	III	05-07-2004		50,2	50,2	50,1	277,4	192,3	2197		76,31			
	IV	50,4		50,3	50,1	277,8	193,5	2187	76,33					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.160 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.12

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.12.0,60	I	25-10-2004	28	49,3	50,2	50,3	270,9	127,5	2176	2180	51,52	50,9	0,64	1,3
	II			50,5	50,2	50,5	278,7	129,4	2177		51,04			
	III	22-11-2004		50,3	50,4	49,3	272,9	129,1	2184		50,92			
	IV	50,6		50,4	50,0	278,6	127,5	2185	50,00					
A.12.0,70	I	25-10-2004	28	50,4	50,4	49,8	279,1	148,3	2206	2201	58,38	56,9	1,28	2,3
	II			50,1	50,5	50,3	280,0	143,6	2200		56,76			
	III	22-11-2004		50,5	50,5	50,0	281,3	145,7	2206		57,13			
	IV	50,2		50,5	50,3	279,4	140,1	2191	55,26					
A.12.0,80	I	25-10-2004	28	50,3	50,4	50,3	281,8	164,2	2210	2224	64,77	65,4	1,22	1,9
	II			50,3	50,2	50,3	283,3	164,7	2231		65,23			
	III	22-11-2004		50,5	50,5	50,0	283,7	164,4	2225		64,46			
	IV	50,3		50,4	50,3	284,5	170,3	2231	67,18					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.161 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.13

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.13.0,60	I	26-10-2004	28	50,2	50,4	50,4	273,1	94,1	2142	2145	37,19	38,0	0,78	2,1
	II			50,1	50,3	50,3	271,8	95,1	2144		37,74			
	III	23-11-2004		50,1	50,5	50,3	272,5	96,3	2141		38,06			
	IV	50,2		50,3	50,3	273,3	98,6	2152	39,05					
A.13.0,70	I	26-10-2004	28	50,3	50,1	50,4	276,3	112,7	2175	2177	44,72	45,0	0,27	0,6
	II			50,2	50,5	50,1	278,5	114,8	2193		45,28			
	III	23-11-2004		50,2	50,5	50,2	276,3	114,7	2171		45,24			
	IV	50,3		50,3	50,3	276,0	113,7	2169	44,94					
A.13.0,80	I	26-10-2004	28	50,2	50,2	50,3	279,3	125,6	2203	2204	49,84	50,2	0,41	0,8
	II			50,2	50,2	49,9	276,4	128,0	2198		50,79			
	III	23-11-2004		50,1	50,4	50,2	280,2	126,4	2211		50,06			
	IV	50,2		50,4	50,4	281,0	127,1	2204	50,24					

Notas:

- Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C durante 28 dias
- Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
- A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
- Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.162 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.14

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.14.0,60	I	28-10-2004	28	50,2	50,1	50,3	262,9	84,7	2078	2082	33,68	34,0	0,34	1,0
	II			50,4	50,1	50,1	263,2	85,2	2081		33,74			
	III	25-11-2004		50,2	50,1	50,1	262,4	86,4	2082		34,35			
	IV	50,2		50,2	50,2	264,1	86,3	2088	34,25					
A.14.0,70	I	28-10-2004	28	50,2	50,3	50,2	259,6	92,4	2048	2054	36,59	37,3	0,57	1,5
	II			50,1	50,3	50,2	259,4	93,4	2051		37,06			
	III	25-11-2004		50,3	50,1	50,1	259,8	94,3	2058		37,42			
	IV	50,1		50,3	50,1	260,1	95,6	2060	37,94					
A.14.0,80	I	28-10-2004	28	50,3	50,4	50,4	270,7	110,8	2119	2124	43,71	44,6	0,67	1,5
	II			50,2	50,3	50,1	269,6	112,3	2131		44,47			
	III	25-11-2004		50,2	50,2	50,2	268,5	113,7	2122		45,12			
	IV	50,4		50,3	50,0	269,2	114,4	2124	45,13					

Notas:

- Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C durante 28 dias
- Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
- A taxa de aplicação da carga foi de 1,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
- Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.163 – Resistência à compressão aos 28 dias das argamassas da série A.15

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.15.0,60	I	27-10-2004	28	50,2	50,1	50,2	260,6	63,6	2064	2066	25,29	25,9	0,57	2,2
	II			50,1	50,1	50,0	259,1	65,1	2065		25,94			
	III	50,2		50,1	50,1	260,4	64,9	2067	25,80					
	IV	50,4		50,5	50,0	263,5	67,9	2071	26,68					
A.15.0,70	I	27-10-2004	28	50,2	50,5	50,2	259,9	75,2	2042	2047	29,66	30,1	0,31	1,0
	II			50,1	50,3	50,2	259,8	75,6	2054		30,00			
	III	50,3		50,3	50,0	259,1	76,3	2048	30,16					
	IV	50,2		50,3	50,2	259,2	76,8	2045	30,42					
A.15.0,80	I	27-10-2004	28	50,3	50,3	50,0	266,8	93,3	2109	2115	36,88	35,6	0,97	2,7
	II			50,2	50,1	50,2	267,5	90,4	2119		35,94			
	III	50,1		50,2	50,1	266,6	87,9	2116	34,95					
	IV	50,3		50,0	49,9	265,7	87,5	2117	34,79					

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.164 – Resist. à compressão aos 28 dias das argamassas das séries A.I a A.IV

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.I.0,80	I	27-05-2004	28	50,5	50,0	50,2	284,3	192,0	2243	2247	76,04	77,4	1,83	2,4
	II			50,5	50,6	50,4	288,7	201,3	2242		78,78			
	III			50,3	50,5	50,2	287,4	192,1	2254		75,63			
	IV			50,3	49,6	50,4	282,8	197,5	2249		79,16			
A.II.0,80	I	01-06-2004	28	50,2	50,1	50,3	285,6	195,4	2258	2257	77,69	75,1	4,18	5,6
	II			50,0	50,2	50,1	283,1	181,4	2251		72,27			
	III	29-06-2004		50,3	50,1	50,0	284,9	178,5	2261		70,83			
	IV			50,3	50,2	49,9	284,7	200,8	2260		79,52			
A.III.0,80	I	29-05-2004	28	50,1	50,0	50,0	276,6	161,3	2208	2213	64,39	65,2	2,65	4,1
	II			50,0	50,1	50,0	278,9	155,5	2227		62,08			
	III	26-06-2004		50,5	50,0	50,0	277,6	166,8	2199		66,06			
	IV			50,0	50,3	50,0	278,9	171,9	2218		68,35			
A.IV.0,80	I	31-05-2004	28	50,0	49,5	49,5	272,0	174,3	2220	2221	70,42	71,6	2,44	3,4
	II			49,7	50,0	49,8	274,8	185,9	2221		74,81			
	III	28-06-2004		49,7	50,0	49,7	274,1	171,9	2219		69,18			
	IV			49,7	49,5	49,7	271,9	177,6	2224		72,19			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.165 – Resist. à compressão aos 28 dias das argamassas das séries A.V a A.VII

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE ARGAMASSAS														
Identificação		Registos efectuados							Resultados					
Argamassa n.º	Provete n.º	Data Amassad./ Ensaio	Idade [dias]	Largura [mm]	Comprim. [mm]	Altura [mm]	Massa [g]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
									Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
A.V.0,80	I	01-06-2004	28	50,2	50,2	49,9	284,4	175,2	2262	2255	69,52	68,6	3,10	4,5
	II			50,1	50,3	50,1	284,5	161,2	2253		63,97			
	III	29-06-2004		50,3	50,2	49,9	283,6	177,5	2251		70,30			
	IV			50,3	50,3	49,9	284,8	178,4	2256		70,51			
A.VI.0,80	I	02-06-2004	28	50,1	49,6	49,8	277,5	149,1	2242	2231	60,00	60,0	1,15	1,9
	II			50,1	50,1	50,0	280,3	154,5	2233		61,55			
	III	30-06-2004		50,1	49,4	49,8	275,8	145,5	2238		58,79			
	IV			50,0	50,1	49,8	275,9	149,6	2212		59,72			
A.VII.0,80	I	31-05-2004	28	50,0	49,7	49,6	271,2	182,6	2200	2197	73,48	70,3	2,92	4,2
	II			50,0	50,0	49,8	274,0	167,2	2201		66,88			
	III	28-06-2004		50,0	49,9	49,7	273,1	179,1	2202		71,78			
	IV			50,0	49,9	49,7	270,8	172,3	2184		69,06			

Notas:

1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ durante 28 dias
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de $1,5 \text{ kN/s}$ ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

ANEXO A.2

ESTUDOS EM BETÕES

ANEXO A.2.1

COMPOSIÇÃO DOS BETÕES

Quadro A.166 – Composição do betão B.2.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.2.1	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 06-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,760	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2976,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,05952
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,223066 m ³ /m ³
Vw=	0,16953 m ³ /m ³
Vsp=	0,013277 m ³ /m ³
Vs=	0,278833 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,40723

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 542,50 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 121,35 kg FG= 0,00 kg W= 169,53 litros Sp= 13,28 litros S1= 288,87 kg S2= 436,65 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2344,6</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,313</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 13,562 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 3,034 kg FG= 0,000 kg W= 4,238 litros Sp= 0,332 litros S1= 7,222 kg S2= 10,916 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,61</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,313</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>
--	---

Quadro A.167 – Composição do betão B.2.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS																																																																			
Identificação do betão			Identificação da mistura de finos			Data																																																													
B.2.2			80C2+20FC			08-09-2004																																																													
Parâmetros da composição					<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Abertura da malha (mm)</th> <th>Areia01</th> <th>Areia05</th> <th rowspan="2">Mistura (Curva Real)</th> </tr> <tr> <th>a1</th> <th>a2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>0,40</td> <td>0,60</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Percentagem de passados</td> </tr> <tr> <td>9,520</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> <td>100,00</td> </tr> <tr> <td>4,760</td> <td>100,00</td> <td>99,94</td> <td>99,96</td> </tr> <tr> <td>2,380</td> <td>99,97</td> <td>98,56</td> <td>99,12</td> </tr> <tr> <td>1,190</td> <td>99,89</td> <td>84,75</td> <td>90,81</td> </tr> <tr> <td>0,590</td> <td>91,06</td> <td>43,13</td> <td>62,30</td> </tr> <tr> <td>0,297</td> <td>48,16</td> <td>2,97</td> <td>21,05</td> </tr> <tr> <td>0,149</td> <td>11,49</td> <td>0,21</td> <td>4,72</td> </tr> <tr> <td>0,074</td> <td>2,04</td> <td>0,05</td> <td>0,85</td> </tr> <tr> <td>Resíduo</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> <td>0,00</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;">Módulos de finura</td> </tr> <tr> <td></td> <td>1,494</td> <td>2,704</td> <td>2,220</td> </tr> </tbody> </table>					Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)	a1	a2		0,40	0,60		Percentagem de passados				9,520	100,00	100,00	100,00	4,760	100,00	99,94	99,96	2,380	99,97	98,56	99,12	1,190	99,89	84,75	90,81	0,590	91,06	43,13	62,30	0,297	48,16	2,97	21,05	0,149	11,49	0,21	4,72	0,074	2,04	0,05	0,85	Resíduo	0,00	0,00	0,00	Módulos de finura					1,494	2,704	2,220
Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)																																																																
	a1	a2																																																																	
	0,40	0,60																																																																	
Percentagem de passados																																																																			
9,520	100,00	100,00	100,00																																																																
4,760	100,00	99,94	99,96																																																																
2,380	99,97	98,56	99,12																																																																
1,190	99,89	84,75	90,81																																																																
0,590	91,06	43,13	62,30																																																																
0,297	48,16	2,97	21,05																																																																
0,149	11,49	0,21	4,72																																																																
0,074	2,04	0,05	0,85																																																																
Resíduo	0,00	0,00	0,00																																																																
Módulos de finura																																																																			
	1,494	2,704	2,220																																																																
Vm/Vg	Vv (m³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%																																																															
2,200	0,030	0,800	0,760	2,100																																																															
Composição da mistura de finos																																																																			
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg																																																														
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000																																																														
Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m³																																																																			
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg																																																														
3140	3040	2380	2170	2720	2650																																																														
Massas volúmicas dos agregados, em kg/m³																																																																			
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3																																																															
2590	2610	2710	2700	2700																																																															
Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m³																																																																			
δsp1	---	---	---	---																																																															
1050	---	---	---	---																																																															
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>δp= 2976,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,05952</p> <p>Vg= 0,303125 m³/m³ Vm= 0,666875 m³/m³ Vp= 0,217257 m³/m³ Vw= 0,165115 m³/m³ Vsp= 0,012931 m³/m³ Vs= 0,271571 m³/m³ Vs/Vm= 0,40723</p> </div>																																																																			
Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros					Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros																																																														
C1=	0,00 kg				C1=	0,000 kg																																																													
C2=	528,37 kg				C2=	13,209 kg																																																													
CV=	0,00 kg	<u>Massa total, em kg</u>			CV=	0,000 kg	<u>Massa total, em kg</u>																																																												
MS=	0,00 kg				MS=	0,000 kg																																																													
FC=	118,19 kg	2351,8			FC=	2,955 kg	58,80																																																												
FG=	0,00 kg				FG=	0,000 kg																																																													
W=	165,12 litros	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>			W=	4,128 litros	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>																																																												
Sp=	12,93 litros				Sp=	0,323 litros																																																													
S1=	281,35 kg	0,313			S1=	7,034 kg	0,313																																																												
S2=	425,28 kg				S2=	10,632 kg																																																													
G1=	410,73 kg	<u>Razão água/finos</u>			G1=	10,268 kg	<u>Razão água/finos</u>																																																												
G2=	409,22 kg				G2=	10,230 kg																																																													
G3=	0,00 kg	0,255			G3=	0,000 kg	0,255																																																												

Quadro A.168 – Composição do betão B.2.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.2.3	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 09-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,800	0,760	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2976,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,05952
Vg=	0,323333 m ³ /m ³
Vm=	0,646667 m ³ /m ³
Vp=	0,210674 m ³ /m ³
Vw=	0,160112 m ³ /m ³
Vsp=	0,012539 m ³ /m ³
Vs=	0,263342 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,40723

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 512,36 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 114,61 kg FG= 0,00 kg W= 160,11 litros Sp= 12,54 litros S1= 272,82 kg S2= 412,39 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2360,1</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,313</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,809 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,865 kg FG= 0,000 kg W= 4,003 litros Sp= 0,313 litros S1= 6,821 kg S2= 10,310 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 59,00</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,313</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>
--	---

Quadro A.169 – Composição do betão B.2.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.2.4	80C2+20FC	13-09-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,700	0,810	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp=	2976,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,05952
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,207607 m ³ /m ³
Vw=	0,168161 m ³ /m ³
Vsp=	0,012357 m ³ /m ³
Vs=	0,296581 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,433151

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 504,90 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 112,94 kg FG= 0,00 kg W= 168,16 litros Sp= 12,36 litros S1= 307,26 kg S2= 464,45 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2342,4</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,333</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,272</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,622 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,823 kg FG= 0,000 kg W= 4,204 litros Sp= 0,309 litros S1= 7,681 kg S2= 11,611 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,56</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,333</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,272</p>
--	---

Quadro A.170 – Composição do betão B.2.5

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.2.5	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 14-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,700	0,810	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2976,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,05952 Vg= 0,303125 m ³ /m ³ Vm= 0,666875 m ³ /m ³ Vp= 0,2022 m ³ /m ³ Vw= 0,163782 m ³ /m ³ Vsp= 0,012035 m ³ /m ³ Vs= 0,288858 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,433151
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
		0,40	0,60
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
		0,50	0,50	0,00
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 491,75 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 110,00 kg FG= 0,00 kg W= 163,78 litros Sp= 12,03 litros S1= 299,26 kg S2= 452,35 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2349,7 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,333 <u>Razão água/finos</u> 0,272 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 12,294 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,750 kg FG= 0,000 kg W= 4,095 litros Sp= 0,301 litros S1= 7,481 kg S2= 11,309 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,74 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,333 <u>Razão água/finos</u> 0,272 </div>
--	---

Quadro A.171 – Composição do betão B.2.6

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.2.6	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 15-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,700	0,810	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2976,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,05952 Vg= 0,323333 m ³ /m ³ Vm= 0,646667 m ³ /m ³ Vp= 0,196073 m ³ /m ³ Vw= 0,158819 m ³ /m ³ Vsp= 0,01167 m ³ /m ³ Vs= 0,280104 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,433151

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 476,85 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 106,66 kg FG= 0,00 kg W= 158,82 litros Sp= 11,67 litros S1= 290,19 kg S2= 438,64 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2358,0 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,333 <u>Razão água/finos</u> 0,272 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 11,921 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,667 kg FG= 0,000 kg W= 3,970 litros Sp= 0,292 litros S1= 7,255 kg S2= 10,966 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,95 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,333 <u>Razão água/finos</u> 0,272 </div>
---	--

Quadro A.172 – Composição do betão B.2.7

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.2.7	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 23-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,600	0,900	2,050

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2976,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,058103 Vg= 0,285294 m ³ /m ³ Vm= 0,684706 m ³ /m ³ Vp= 0,188896 m ³ /m ³ Vw= 0,170007 m ³ /m ³ Vsp= 0,010975 m ³ /m ³ Vs= 0,314827 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,459799

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 459,40 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 102,76 kg FG= 0,00 kg W= 170,01 litros Sp= 10,98 litros S1= 326,16 kg S2= 493,02 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2334,6 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 11,485 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,569 kg FG= 0,000 kg W= 4,250 litros Sp= 0,274 litros S1= 8,154 kg S2= 12,325 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,36 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>
--	---

Quadro A.173 – Composição do betão B.2.8

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.2.8	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 24-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,600	0,900	2,050

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2976,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,058103 Vg= 0,303125 m ³ /m ³ Vm= 0,666875 m ³ /m ³ Vp= 0,183977 m ³ /m ³ Vw= 0,165579 m ³ /m ³ Vsp= 0,01069 m ³ /m ³ Vs= 0,306629 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,459799
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 447,43 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 100,08 kg FG= 0,00 kg W= 165,58 litros Sp= 10,69 litros S1= 317,67 kg S2= 480,18 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2342,1 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 11,186 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,502 kg FG= 0,000 kg W= 4,139 litros Sp= 0,267 litros S1= 7,942 kg S2= 12,005 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,55 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,370 <u>Razão água/finos</u> 0,302 </div>
--	---

Quadro A.174 – Composição do betão B.2.9

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.2.9	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 27-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,600	0,900	2,050

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2976,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,058103
Vg= 0,269444 m ³ /m ³
Vm= 0,700556 m ³ /m ³
Vp= 0,193269 m ³ /m ³
Vw= 0,173942 m ³ /m ³
Vsp= 0,011229 m ³ /m ³
Vs= 0,322115 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,459799

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 470,03 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 105,14 kg FG= 0,00 kg W= 173,94 litros Sp= 11,23 litros S1= 333,71 kg S2= 504,43 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2327,9</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,370</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,302</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 11,751 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 2,628 kg FG= 0,000 kg W= 4,349 litros Sp= 0,281 litros S1= 8,343 kg S2= 12,611 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,20</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,370</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,302</p>
--	---

Quadro A.175 – Composição do betão B.2.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.2.10	Identificação da mistura de finos 80C2+20FC	Data 28-09-2004
---	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,810	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,200	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2976,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,05952
Vg=	0,269444 m ³ /m ³
Vm=	0,700556 m ³ /m ³
Vp=	0,212412 m ³ /m ³
Vw=	0,172054 m ³ /m ³
Vsp=	0,012643 m ³ /m ³
Vs=	0,303446 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,433151

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de:	1000,00 litros
C1=	0,00 kg
C2=	516,59 kg
CV=	0,00 kg
MS=	0,00 kg
FC=	115,55 kg
FG=	0,00 kg
W=	172,05 litros
Sp=	12,64 litros
S1=	314,37 kg
S2=	475,20 kg
G1=	365,10 kg
G2=	363,75 kg
G3=	0,00 kg
Massa total, em kg	
	2335,9
Razão água/(mat. cimentíceos)	
	0,333
Razão água/finos	
	0,272

Quantidades para uma amassadura de:	25,00 litros
C1=	0,000 kg
C2=	12,915 kg
CV=	0,000 kg
MS=	0,000 kg
FC=	2,889 kg
FG=	0,000 kg
W=	4,301 litros
Sp=	0,316 litros
S1=	7,859 kg
S2=	11,880 kg
G1=	9,127 kg
G2=	9,094 kg
G3=	0,000 kg
Massa total, em kg	
	58,40
Razão água/(mat. cimentíceos)	
	0,333
Razão água/finos	
	0,272

Quadro A.176 – Composição do betão B.3.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.3.1	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 29-09-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,820	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2962,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06065
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,21871 m ³ /m ³
Vw=	0,179343 m ³ /m ³
Vsp=	0,013265 m ³ /m ³
Vs=	0,273388 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,399278

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 531,90 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 115,92 kg W= 179,34 litros Sp= 13,26 litros S1= 283,23 kg S2= 428,13 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2324,2</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,337</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,277</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 13,298 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,898 kg W= 4,484 litros Sp= 0,332 litros S1= 7,081 kg S2= 10,703 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,10</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,337</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,277</p>
--	---

Quadro A.177 – Composição do betão B.3.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.3.2	80C2+20FG	07-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,800	0,820	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2962,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,06065 Vg= 0,303125 m ³ /m ³ Vm= 0,666875 m ³ /m ³ Vp= 0,213015 m ³ /m ³ Vw= 0,174672 m ³ /m ³ Vsp= 0,012919 m ³ /m ³ Vs= 0,266269 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,399278
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 518,05 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 112,90 kg W= 174,67 litros Sp= 12,92 litros S1= 275,85 kg S2= 416,98 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2332,0</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,337</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,277</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,951 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,822 kg W= 4,367 litros Sp= 0,323 litros S1= 6,896 kg S2= 10,424 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,30</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,337</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,277</p>
--	---

Quadro A.178 – Composição do betão B.3.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.3.3	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 07-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,800	0,820	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2962,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06065
Vg=	0,323333 m ³ /m ³
Vm=	0,646667 m ³ /m ³
Vp=	0,20656 m ³ /m ³
Vw=	0,169379 m ³ /m ³
Vsp=	0,012528 m ³ /m ³
Vs=	0,2582 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,399278

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 502,35 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 109,48 kg W= 169,38 litros Sp= 12,53 litros S1= 267,49 kg S2= 404,34 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2340,8</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,337</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,277</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,559 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,737 kg W= 4,234 litros Sp= 0,313 litros S1= 6,687 kg S2= 10,109 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,52</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,337</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,277</p>
--	---

Quadro A.179 – Composição do betão B.3.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.3.4	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 07-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,700	0,870	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2962,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06065
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,203829 m ³ /m ³
Vw=	0,177331 m ³ /m ³
Vsp=	0,012362 m ³ /m ³
Vs=	0,291184 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,425269

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 495,71 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 108,03 kg W= 177,33 litros Sp= 12,36 litros S1= 301,67 kg S2= 455,99 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2323,4</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,393 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,701 kg W= 4,433 litros Sp= 0,309 litros S1= 7,542 kg S2= 11,400 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,09</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>
--	---

Quadro A.180 – Composição do betão B.3.5

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.3.5	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 08-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,700	0,870	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2962,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06065
Vg=	0,303125 m ³ /m ³
Vm=	0,666875 m ³ /m ³
Vp=	0,198521 m ³ /m ³
Vw=	0,172713 m ³ /m ³
Vsp=	0,01204 m ³ /m ³
Vs=	0,283601 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,425269

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 482,80 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 105,22 kg W= 172,71 litros Sp= 12,04 litros S1= 293,81 kg S2= 444,12 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2331,3</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,070 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,630 kg W= 4,318 litros Sp= 0,301 litros S1= 7,345 kg S2= 11,103 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,28</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>
--	---

Quadro A.181 – Composição do betão B.3.6

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.3.6	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 08-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,700	0,870	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2962,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,06065	Vg= 0,323333 m ³ /m ³ Vm= 0,646667 m ³ /m ³ Vp= 0,192505 m ³ /m ³ Vw= 0,167479 m ³ /m ³ Vsp= 0,011676 m ³ /m ³ Vs= 0,275007 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,425269
--	--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 468,17 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 102,03 kg W= 167,48 litros Sp= 11,68 litros S1= 284,91 kg S2= 430,66 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2340,1</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 11,704 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,551 kg W= 4,187 litros Sp= 0,292 litros S1= 7,123 kg S2= 10,767 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,50</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>
--	---

Quadro A.182 – Composição do betão B.3.7

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.3.7	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 08-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,600	0,950	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2962,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,05924
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,186269 m ³ /m ³
Vw=	0,176955 m ³ /m ³
Vsp=	0,011035 m ³ /m ³
Vs=	0,310448 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,453403

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 453,01 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 98,72 kg W= 176,96 litros Sp= 11,03 litros S1= 321,62 kg S2= 486,16 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2319,8</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,391</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,321</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 11,325 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,468 kg W= 4,424 litros Sp= 0,276 litros S1= 8,041 kg S2= 12,154 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 57,99</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,391</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,321</p>
---	---

Quadro A.183 – Composição do betão B.3.9

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.3.9	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 08-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,600	0,950	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2962,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,05924	Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,19058 m ³ /m ³ Vw= 0,181051 m ³ /m ³ Vsp= 0,01129 m ³ /m ³ Vs= 0,317634 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,453403
--	--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 463,49 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 101,01 kg W= 181,05 litros Sp= 11,29 litros S1= 329,07 kg S2= 497,41 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2312,7</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,391</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,321</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 11,587 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,525 kg W= 4,526 litros Sp= 0,282 litros S1= 8,227 kg S2= 12,435 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 57,82</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,391</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,321</p>
--	---

Quadro A.184 – Composição do betão B.3.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.3.10	Identificação da mistura de finos 80C2+20FG	Data 11-10-2004
---	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,870	2,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,000	0,000	0,000	0,200

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2962,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06065
Vg=	0,269444 m ³ /m ³
Vm=	0,700556 m ³ /m ³
Vp=	0,208547 m ³ /m ³
Vw=	0,181436 m ³ /m ³
Vsp=	0,012648 m ³ /m ³
Vs=	0,297924 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,425269

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 507,19 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 110,53 kg W= 181,44 litros Sp= 12,65 litros S1= 308,65 kg S2= 466,55 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2316,5</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,680 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 2,763 kg W= 4,536 litros Sp= 0,316 litros S1= 7,716 kg S2= 11,664 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 57,91</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,358</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,294</p>
--	---

Quadro A.185 – Composição do betão B.4.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.4.1	Identificação da mistura de finos 80C2+20CV	Data 11-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,760	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,200	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2908,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,05816
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,223165 m ³ /m ³
Vw= 0,169605 m ³ /m ³
Vsp= 0,012979 m ³ /m ³
Vs= 0,278956 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,40741

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 542,74 kg CV= 106,23 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 169,61 litros Sp= 12,98 litros S1= 289,00 kg S2= 436,85 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2329,8</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,261</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,261</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 13,568 kg CV= 2,656 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,240 litros Sp= 0,324 litros S1= 7,225 kg S2= 10,921 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,24</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,261</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,261</p>
--	---

Quadro A.186 – Composição do betão B.4.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.4.3	Identificação da mistura de finos 80C2+20CV	Data 11-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,800	0,760	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,200	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

<p>δp= 2908,00 kg/m³ Vsp/vp= 0,05816</p> <p>Vg= 0,323333 m³/m³ Vm= 0,646667 m³/m³ Vp= 0,210767 m³/m³ Vw= 0,160183 m³/m³ Vsp= 0,012258 m³/m³ Vs= 0,263459 m³/m³ Vs/Vm= 0,40741</p>

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 512,59 kg CV= 100,33 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 160,18 litros Sp= 12,26 litros S1= 272,94 kg S2= 412,58 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2346,1</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,261</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,261</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,815 kg CV= 2,508 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,005 litros Sp= 0,306 litros S1= 6,824 kg S2= 10,314 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,65</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,261</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,261</p>
--	---

Quadro A.187 – Composição do betão B.4.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.4.4	Identificação da mistura de finos 80C2+20CV	Data 11-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,700	0,810	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,200	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2908,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,05816
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,207692 m ³ /m ³
Vw=	0,168231 m ³ /m ³
Vsp=	0,012079 m ³ /m ³
Vs=	0,296703 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,43333

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 505,11 kg CV= 98,86 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 168,23 litros Sp= 12,08 litros S1= 307,38 kg S2= 464,64 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2328,6</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,279</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,279</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 12,628 kg CV= 2,472 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,206 litros Sp= 0,302 litros S1= 7,685 kg S2= 11,616 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,22</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,279</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,279</p>
---	---

Quadro A.189 – Composição do betão B.4.7

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.4.7	80C2+20CV	12-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,600	0,890	2,050

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,200	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2908,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,056775
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,189489 m ³ /m ³
Vw= 0,168645 m ³ /m ³
Vsp= 0,010758 m ³ /m ³
Vs= 0,315814 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,461241

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 460,84 kg CV= 90,20 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 168,64 litros Sp= 10,76 litros S1= 327,18 kg S2= 494,57 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2324,4</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,306</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,306</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 11,521 kg CV= 2,255 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,216 litros Sp= 0,269 litros S1= 8,180 kg S2= 12,364 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,11</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,306</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,306</p>
---	---

Quadro A.190 – Composição do betão B.4.9

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.4.9	Identificação da mistura de finos 80C2+20CV	Data 12-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,600	0,890	2,050

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,200	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2908,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,056775
Vg=	0,269444 m ³ /m ³
Vm=	0,700556 m ³ /m ³
Vp=	0,193875 m ³ /m ³
Vw=	0,172549 m ³ /m ³
Vsp=	0,011007 m ³ /m ³
Vs=	0,323125 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,461241

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 471,50 kg CV= 92,28 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 172,55 litros Sp= 11,01 litros S1= 334,76 kg S2= 506,01 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2317,5</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,306</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,306</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 11,788 kg CV= 2,307 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,314 litros Sp= 0,275 litros S1= 8,369 kg S2= 12,650 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 57,94</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,306</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,306</p>
--	--

Quadro A.191 – Composição do betão B.4.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.4.10	Identificação da mistura de finos 80C2+20CV	Data 12-10-2004
---	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,810	2,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,800	0,200	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2908,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,05816 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,2125 m ³ /m ³ Vw= 0,172125 m ³ /m ³ Vsp= 0,012359 m ³ /m ³ Vs= 0,303571 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,43333

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 516,80 kg CV= 101,15 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 172,13 litros Sp= 12,36 litros S1= 314,50 kg S2= 475,39 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2321,8 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 12,920 kg CV= 2,529 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,303 litros Sp= 0,309 litros S1= 7,863 kg S2= 11,885 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,04 <u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,279 <u>Razão água/finos</u> 0,279 </div>
---	--

Quadro A.192 – Composição do betão B.5.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.5.1	Identificação da mistura de finos 100C1	Data 12-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,860	3,250

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3140,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,09719
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,213491 m ³ /m ³
Vw=	0,183602 m ³ /m ³
Vsp=	0,020749 m ³ /m ³
Vs=	0,266864 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,389749

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 670,36 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 183,60 litros Sp= 20,75 litros S1= 276,47 kg S2= 417,91 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2341,8</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,274</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,274</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 16,759 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,590 litros Sp= 0,519 litros S1= 6,912 kg S2= 10,448 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,55</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,274</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,274</p>
--	---

Quadro A.193 – Composição do betão B.5.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.5.3	Identificação da mistura de finos 100C1	Data 12-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,800	0,860	3,250

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3140,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,09719
Vg=	0,323333 m ³ /m ³
Vm=	0,646667 m ³ /m ³
Vp=	0,20163 m ³ /m ³
Vw=	0,173402 m ³ /m ³
Vsp=	0,019597 m ³ /m ³
Vs=	0,252038 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,389749

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 633,12 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 173,40 litros Sp= 19,60 litros S1= 261,11 kg S2= 394,69 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2357,5</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,274</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,274</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 15,828 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,335 litros Sp= 0,490 litros S1= 6,528 kg S2= 9,867 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,94</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,274</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,274</p>
--	--

Quadro A.194 – Composição do betão B.5.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.5.4	Identificação da mistura de finos 100C1	Data 13-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,700	0,900	3,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 3140,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,092705
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,200132 m ³ /m ³
Vw= 0,180119 m ³ /m ³
Vsp= 0,018553 m ³ /m ³
Vs= 0,285902 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,417555

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 628,41 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 180,12 litros Sp= 18,55 litros S1= 296,19 kg S2= 447,72 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2343,7</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,287</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,287</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 15,710 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,503 litros Sp= 0,464 litros S1= 7,405 kg S2= 11,193 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,59</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,287</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,287</p>
--	---

Quadro A.195 – Composição do betão B.5.7

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.5.7	100C1	13-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,600	0,980	3,000

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 3140,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,089714
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,183254 m ³ /m ³
Vw= 0,179589 m ³ /m ³
Vsp= 0,01644 m ³ /m ³
Vs= 0,305423 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,446064

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 575,42 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 179,59 litros Sp= 16,44 litros S1= 316,42 kg S2= 478,29 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2338,7</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,312</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,312</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 14,385 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,490 litros Sp= 0,411 litros S1= 7,910 kg S2= 11,957 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,47</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,312</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,312</p>
--	---

Quadro A.196 – Composição do betão B.5.9

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.5.9	Identificação da mistura de finos 100C1	Data 13-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,600	0,980	3,000

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3140,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,089714
Vg=	0,269444 m ³ /m ³
Vm=	0,700556 m ³ /m ³
Vp=	0,187496 m ³ /m ³
Vw=	0,183746 m ³ /m ³
Vsp=	0,016821 m ³ /m ³
Vs=	0,312493 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,446064

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 588,74 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 183,75 litros Sp= 16,82 litros S1= 323,74 kg S2= 489,36 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2332,1</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,312</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,312</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 14,718 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,594 litros Sp= 0,421 litros S1= 8,094 kg S2= 12,234 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,30</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,312</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,312</p>
--	---

Quadro A.197 – Composição do betão B.5.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.5.10	100C1	13-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,900	3,100

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 3140,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,092705 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,204764 m ³ /m ³ Vw= 0,184288 m ³ /m ³ Vsp= 0,018983 m ³ /m ³ Vs= 0,292521 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,417555

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 642,96 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 184,29 litros Sp= 18,98 litros S1= 303,05 kg S2= 458,09 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg Massa total, em kg 2337,2 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,287 Razão água/finos 0,287	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 16,074 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,607 litros Sp= 0,475 litros S1= 7,576 kg S2= 11,452 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg Massa total, em kg 58,43 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,287 Razão água/finos 0,287
--	---

Quadro A.198 – Composição do betão B.6.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.6.1	Identificação da mistura de finos 70C1+30FC	Data 14-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,770	2,350

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3014,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,067456
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,22177 m ³ /m ³
Vw=	0,170763 m ³ /m ³
Vsp=	0,01496 m ³ /m ³
Vs=	0,277213 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,404864

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 487,45 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 180,96 kg FG= 0,00 kg W= 170,76 litros Sp= 14,96 litros S1= 287,19 kg S2= 434,12 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2347,9</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,350</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 12,186 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 4,524 kg FG= 0,000 kg W= 4,269 litros Sp= 0,374 litros S1= 7,180 kg S2= 10,853 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,70</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,350</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>
--	---

Quadro A.199 – Composição do betão B.6.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.6.2	70C1+30FC	14-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,800	0,770	2,350

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 3014,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,067456 Vg= 0,303125 m ³ /m ³ Vm= 0,666875 m ³ /m ³ Vp= 0,215995 m ³ /m ³ Vw= 0,166316 m ³ /m ³ Vsp= 0,01457 m ³ /m ³ Vs= 0,269994 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,404864
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 474,76 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 176,25 kg FG= 0,00 kg W= 166,32 litros Sp= 14,57 litros S1= 279,71 kg S2= 422,81 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2355,1</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,350</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,869 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 4,406 kg FG= 0,000 kg W= 4,158 litros Sp= 0,364 litros S1= 6,993 kg S2= 10,570 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,88</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,350</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>
--	---

Quadro A.200 – Composição do betão B.6.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.6.3	Identificação da mistura de finos 70C1+30FC	Data 14-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,800	0,770	2,350

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3014,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,067456
Vg=	0,323333 m ³ /m ³
Vm=	0,646667 m ³ /m ³
Vp=	0,20945 m ³ /m ³
Vw=	0,161276 m ³ /m ³
Vsp=	0,014129 m ³ /m ³
Vs=	0,261812 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,404864

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 460,37 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 170,91 kg FG= 0,00 kg W= 161,28 litros Sp= 14,13 litros S1= 271,24 kg S2= 410,00 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2363,2</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,350</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,509 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 4,273 kg FG= 0,000 kg W= 4,032 litros Sp= 0,353 litros S1= 6,781 kg S2= 10,250 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 59,08</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,350</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,255</p>
--	---

Quadro A.201 – Composição do betão B.6.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.6.4	Identificação da mistura de finos 70C1+30FC	Data 14-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,700	0,810	2,300

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 3014,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,066021 Vg= 0,285294 m ³ /m ³ Vm= 0,684706 m ³ /m ³ Vp= 0,207198 m ³ /m ³ Vw= 0,167831 m ³ /m ³ Vsp= 0,013679 m ³ /m ³ Vs= 0,295998 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,432299

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 455,42 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 169,07 kg FG= 0,00 kg W= 167,83 litros Sp= 13,68 litros S1= 306,65 kg S2= 463,53 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> Massa total. em kg 2348,6 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,369 Razão água/finos 0,269 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 11,386 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 4,227 kg FG= 0,000 kg W= 4,196 litros Sp= 0,342 litros S1= 7,666 kg S2= 11,588 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> Massa total. em kg 58,71 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,369 Razão água/finos 0,269 </div>
--	---

Quadro A.202 – Composição do betão B.6.5

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.6.5	Identificação da mistura de finos 70C1+30FC	Data 15-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,700	0,810	2,300

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3014,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,066021
Vg=	0,303125 m ³ /m ³
Vm=	0,666875 m ³ /m ³
Vp=	0,201802 m ³ /m ³
Vw=	0,16346 m ³ /m ³
Vsp=	0,013323 m ³ /m ³
Vs=	0,288289 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,432299

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 443,56 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 164,67 kg FG= 0,00 kg W= 163,46 litros Sp= 13,32 litros S1= 298,67 kg S2= 451,46 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2355,8</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,369</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,269</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,089 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 4,117 kg FG= 0,000 kg W= 4,087 litros Sp= 0,333 litros S1= 7,467 kg S2= 11,287 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,89</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,369</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,269</p>
--	---

Quadro A.203 – Composição do betão B.6.7

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.6.7	70C1+30FC	15-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,600	0,890	2,200

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp=	3014,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06315
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,189155 m ³ /m ³
Vw=	0,168348 m ³ /m ³
Vsp=	0,011945 m ³ /m ³
Vs=	0,315258 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,460428

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 415,76 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 154,35 kg FG= 0,00 kg W= 168,35 litros Sp= 11,95 litros S1= 326,61 kg S2= 493,69 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2343,0</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,405</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,295</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 10,394 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 3,859 kg FG= 0,000 kg W= 4,209 litros Sp= 0,299 litros S1= 8,165 kg S2= 12,342 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,58</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,405</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,295</p>
--	---

Quadro A.204 – Composição do betão B.6.9

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.6.9	Identificação da mistura de finos 70C1+30FC	Data 21-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,600	0,890	2,200

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	3014,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,06315
Vg=	0,269444 m ³ /m ³
Vm=	0,700556 m ³ /m ³
Vp=	0,193533 m ³ /m ³
Vw=	0,172245 m ³ /m ³
Vsp=	0,012222 m ³ /m ³
Vs=	0,322556 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,460428

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 425,39 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 157,92 kg FG= 0,00 kg W= 172,24 litros Sp= 12,22 litros S1= 334,17 kg S2= 505,12 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2336,5</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,405</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,295</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 10,635 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 3,948 kg FG= 0,000 kg W= 4,306 litros Sp= 0,306 litros S1= 8,354 kg S2= 12,628 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,41</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,405</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,295</p>
--	---

Quadro A.205 – Composição do betão B.6.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.6.10	70C1+30FC	15-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,810	2,300

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,300	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 3014,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,066021 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,211995 m ³ /m ³ Vw= 0,171716 m ³ /m ³ Vsp= 0,013996 m ³ /m ³ Vs= 0,302849 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,432299

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita 15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 465,96 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 172,99 kg FG= 0,00 kg W= 171,72 litros Sp= 14,00 litros S1= 313,75 kg S2= 474,26 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> Massa total. em kg 2342,2 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,369 Razão água/finos 0,269 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 11,649 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 4,325 kg FG= 0,000 kg W= 4,293 litros Sp= 0,350 litros S1= 7,844 kg S2= 11,857 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> Massa total. em kg 58,56 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,369 Razão água/finos 0,269 </div>
--	---

Quadro A.206 – Composição do betão B.7.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.7.1	Identificação da mistura de finos 70C1+30FG	Data 18-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,850	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2993,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,071262
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,21591 m ³ /m ³
Vw=	0,183523 m ³ /m ³
Vsp=	0,015386 m ³ /m ³
Vs=	0,269887 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,394165

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 474,57 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 171,65 kg W= 183,52 litros Sp= 15,39 litros S1= 279,60 kg S2= 422,64 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2319,9</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,387</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,284</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,864 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 4,291 kg W= 4,588 litros Sp= 0,385 litros S1= 6,990 kg S2= 10,566 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,00</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,387</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,284</p>
--	---

Quadro A.207 – Composição do betão B.7.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.7.10	70C1+30FG	18-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,890	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,000	0,000	0,000	0,300

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2993,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,071262 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,206664 m ³ /m ³ Vw= 0,183931 m ³ /m ³ Vsp= 0,014727 m ³ /m ³ Vs= 0,295234 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,421428

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 454,25 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 164,30 kg W= 183,93 litros Sp= 14,73 litros S1= 305,86 kg S2= 462,34 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 11,356 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 4,107 kg W= 4,598 litros Sp= 0,368 litros S1= 7,647 kg S2= 11,558 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg
<u>Massa total, em kg</u>	<u>Massa total, em kg</u>
2315,0	57,87
<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>	<u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u>
0,405	0,405
<u>Razão água/finos</u>	<u>Razão água/finos</u>
0,297	0,297

Quadro A.208 – Composição do betão B.8.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.8.1	Identificação da mistura de finos 70C1+30CV	Data 18-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,750	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2912,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,069333
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,22308 m ³ /m ³
Vw=	0,16731 m ³ /m ³
Vsp=	0,015467 m ³ /m ³
Vs=	0,27885 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,407255

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 490,33 kg C2= 0,00 kg CV= 159,28 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 167,31 litros Sp= 15,47 litros S1= 288,89 kg S2= 436,68 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2330,4</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,258</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,258</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 12,258 kg C2= 0,000 kg CV= 3,982 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,183 litros Sp= 0,387 litros S1= 7,222 kg S2= 10,917 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,26</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,258</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,258</p>
--	---

Quadro A.209 – Composição do betão B.8.2

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.8.2	70C1+30CV	18-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,200	0,030	0,800	0,750	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2912,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,069333 Vg= 0,303125 m ³ /m ³ Vm= 0,666875 m ³ /m ³ Vp= 0,21727 m ³ /m ³ Vw= 0,162953 m ³ /m ³ Vsp= 0,015064 m ³ /m ³ Vs= 0,271588 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,407255
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 477,56 kg C2= 0,00 kg CV= 155,13 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 162,95 litros Sp= 15,06 litros S1= 281,37 kg S2= 425,31 kg G1= 410,73 kg G2= 409,22 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2338,1 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,258 <u>Razão água/finos</u> 0,258 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 11,939 kg C2= 0,000 kg CV= 3,878 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,074 litros Sp= 0,377 litros S1= 7,034 kg S2= 10,633 kg G1= 10,268 kg G2= 10,230 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,45 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,258 <u>Razão água/finos</u> 0,258 </div>
---	--

Quadro A.210 – Composição do betão B.8.3

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.8.3	Identificação da mistura de finos 70C1+30CV	Data 18-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,000	0,030	0,800	0,750	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2912,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,069333
Vg=	0,323333 m ³ /m ³
Vm=	0,646667 m ³ /m ³
Vp=	0,210686 m ³ /m ³
Vw=	0,158015 m ³ /m ³
Vsp=	0,014608 m ³ /m ³
Vs=	0,263358 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,407255

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 463,09 kg C2= 0,00 kg CV= 150,43 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 158,01 litros Sp= 14,61 litros S1= 272,84 kg S2= 412,42 kg G1= 438,12 kg G2= 436,50 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2346,7</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,258</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,258</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,577 kg C2= 0,000 kg CV= 3,761 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 3,950 litros Sp= 0,365 litros S1= 6,821 kg S2= 10,310 kg G1= 10,953 kg G2= 10,913 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,67</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,258</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,258</p>
--	---

Quadro A.211 – Composição do betão B.8.4

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.8.4	70C1+30CV	19-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,700	0,790	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2912,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,069333 Vg= 0,285294 m ³ /m ³ Vm= 0,684706 m ³ /m ³ Vp= 0,20825 m ³ /m ³ Vw= 0,164517 m ³ /m ³ Vsp= 0,014439 m ³ /m ³ Vs= 0,2975 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,434493
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 457,73 kg C2= 0,00 kg CV= 148,69 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 164,52 litros Sp= 14,44 litros S1= 308,21 kg S2= 465,88 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2331,9</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,271</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,271</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,443 kg C2= 0,000 kg CV= 3,717 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,113 litros Sp= 0,361 litros S1= 7,705 kg S2= 11,647 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,30</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,271</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,271</p>
--	---

Quadro A.212 – Composição do betão B.8.9

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.8.9	Identificação da mistura de finos 70C1+30CV	Data 19-10-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,600	0,860	2,450

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2912,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,067947
Vg=	0,269444 m ³ /m ³
Vm=	0,700556 m ³ /m ³
Vp=	0,19489 m ³ /m ³
Vw=	0,167606 m ³ /m ³
Vsp=	0,013242 m ³ /m ³
Vs=	0,324817 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,463657

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	Percentagem de passados		
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
	Módulos de finura		
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	Percentagem de passados			
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
	Módulos de finura			
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 428,37 kg C2= 0,00 kg CV= 139,15 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 167,61 litros Sp= 13,24 litros S1= 336,51 kg S2= 508,66 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2323,1</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,295</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,295</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 10,709 kg C2= 0,000 kg CV= 3,479 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,190 litros Sp= 0,331 litros S1= 8,413 kg S2= 12,717 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,08</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,295</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,295</p>
--	---

Quadro A.213 – Composição do betão B.8.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.8.10	70C1+30CV	19-10-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,790	2,500

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,700	0,000	0,300	0,000	0,000	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2912,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,069333 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,213071 m ³ /m ³ Vw= 0,168326 m ³ /m ³ Vsp= 0,014773 m ³ /m ³ Vs= 0,304386 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,434493

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 468,33 kg C2= 0,00 kg CV= 152,13 kg MS= 0,00 kg FC= 0,00 kg FG= 0,00 kg W= 168,33 litros Sp= 14,77 litros S1= 315,34 kg S2= 476,67 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2325,2</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,271</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,271</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 11,708 kg C2= 0,000 kg CV= 3,803 kg MS= 0,000 kg FC= 0,000 kg FG= 0,000 kg W= 4,208 litros Sp= 0,369 litros S1= 7,884 kg S2= 11,917 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,13</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,271</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,271</p>
--	---

Quadro A.214 – Composição do betão B.12.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.12.1	Identificação da mistura de finos 50C1+50FC	Data 02-11-2004
---	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,710	1,000

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2930,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,027905
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,229159 m ³ /m ³
Vw= 0,162703 m ³ /m ³
Vsp= 0,006395 m ³ /m ³
Vs= 0,286449 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,418353

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 359,78 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 311,66 kg FG= 0,00 kg W= 162,70 litros Sp= 6,39 litros S1= 296,76 kg S2= 448,58 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2357,9</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,452</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,242</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 8,994 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 7,791 kg FG= 0,000 kg W= 4,068 litros Sp= 0,160 litros S1= 7,419 kg S2= 11,214 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,95</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,452</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,242</p>
---	--

Quadro A.215 – Composição do betão B.12.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.12.10	Identificação da mistura de finos 50C1+50FC	Data 02-11-2004
--	---	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,750	1,000

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,500	0,000	0,000	0,000	0,500	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2930,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,027905 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,218481 m ³ /m ³ Vw= 0,163861 m ³ /m ³ Vsp= 0,006097 m ³ /m ³ Vs= 0,312116 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,445527

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 343,02 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 297,13 kg FG= 0,00 kg W= 163,86 litros Sp= 6,10 litros S1= 323,35 kg S2= 488,77 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2351,4 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,478 <u>Razão água/finos</u> 0,256 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 8,575 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 7,428 kg FG= 0,000 kg W= 4,097 litros Sp= 0,152 litros S1= 8,084 kg S2= 12,219 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,78 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,478 <u>Razão água/finos</u> 0,256 </div>
---	--

Quadro A.216 – Composição do betão B.13.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão B.13.1	Identificação da mistura de finos 40C1+ 60FC	Data 02-11-2004
---	--	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,700	0,800

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2888,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,022004
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,230385 m ³ /m ³
Vw= 0,16127 m ³ /m ³
Vsp= 0,005069 m ³ /m ³
Vs= 0,287982 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,420592

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 289,36 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 375,99 kg FG= 0,00 kg W= 161,27 litros Sp= 5,07 litros S1= 298,35 kg S2= 450,98 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 2353,0</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,557</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,242</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 7,234 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 9,400 kg FG= 0,000 kg W= 4,032 litros Sp= 0,127 litros S1= 7,459 kg S2= 11,274 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total. em kg</u> 58,82</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,557</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,242</p>
---	--

Quadro A.217 – Composição do betão B.13.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.13.10	40C1+ 60FC	02-11-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,740	0,800

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,400	0,000	0,000	0,000	0,600	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2888,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,022004 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,21957 m ³ /m ³ Vw= 0,162482 m ³ /m ³ Vsp= 0,004831 m ³ /m ³ Vs= 0,313672 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,447747
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 275,78 kg C2= 0,00 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 358,34 kg FG= 0,00 kg W= 162,48 litros Sp= 4,83 litros S1= 324,96 kg S2= 491,21 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 6,895 kg C2= 0,000 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 8,958 kg FG= 0,000 kg W= 4,062 litros Sp= 0,121 litros S1= 8,124 kg S2= 12,280 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg
Massa total. em kg 2346,7	Massa total. em kg 58,67
Razão água/(mat. cimentíceos) 0,589	Razão água/(mat. cimentíceos) 0,589
Razão água/finos 0,256	Razão água/finos 0,256

Quadro A.218 – Composição do betão B.14.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.14.1	Identificação da mistura de finos 60C2+ 40FC	Data 03-11-2004
---	--	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,690	1,300

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,600	0,000	0,000	0,400	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp=	2912,00 kg/m ³
Vsp/vp=	0,036053
Vg=	0,285294 m ³ /m ³
Vm=	0,684706 m ³ /m ³
Vp=	0,230072 m ³ /m ³
Vw=	0,15875 m ³ /m ³
Vsp=	0,008295 m ³ /m ³
Vs=	0,28759 m ³ /m ³
Vs/Vm=	0,420019

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 419,65 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 250,32 kg FG= 0,00 kg W= 158,75 litros Sp= 8,29 litros S1= 297,94 kg S2= 450,37 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2357,5</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,378</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,237</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 10,491 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 6,258 kg FG= 0,000 kg W= 3,969 litros Sp= 0,207 litros S1= 7,449 kg S2= 11,259 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,94</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,378</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,237</p>
---	---

Quadro A.219 – Composição do betão B.14.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETOES AUTO-COMPACTAVEIS

Identificação do betão	Identificação da mistura de finos	Data
B.14.10	60C2+ 40FC	03-11-2004

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,730	1,350

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,600	0,000	0,000	0,400	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1				
1050	---	---	---	---

δp= 2912,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,03744 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,219197 m ³ /m ³ Vw= 0,160014 m ³ /m ³ Vsp= 0,008207 m ³ /m ³ Vs= 0,313138 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,446986
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Residuo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Residuo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 399,82 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 238,49 kg FG= 0,00 kg W= 160,01 litros Sp= 8,21 litros S1= 324,41 kg S2= 490,37 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right;"> Massa total. em kg 2350,6 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,400 Razão água/finos 0,251 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 9,995 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 5,962 kg FG= 0,000 kg W= 4,000 litros Sp= 0,205 litros S1= 8,110 kg S2= 12,259 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right;"> Massa total. em kg 58,76 Razão água/(mat. cimentíceos) 0,400 Razão água/finos 0,251 </div>
---	--

Quadro A.220 – Composição do betão B.15.1

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.15.1	Identificação da mistura de finos 50C2+ 50FC	Data 03-11-2004
---	--	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,400	0,030	0,800	0,680	1,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,500	0,000	0,000	0,500	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2880,00 kg/m ³
Vsp/vp= 0,031543
Vg= 0,285294 m ³ /m ³
Vm= 0,684706 m ³ /m ³
Vp= 0,231199 m ³ /m ³
Vw= 0,157215 m ³ /m ³
Vsp= 0,007293 m ³ /m ³
Vs= 0,288999 m ³ /m ³
Vs/Vm= 0,422077

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

<p>Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros</p> <p>C1= 0,00 kg C2= 351,42 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 314,43 kg FG= 0,00 kg W= 157,22 litros Sp= 7,29 litros S1= 299,40 kg S2= 452,57 kg G1= 386,57 kg G2= 385,15 kg G3= 0,00 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 2354,4</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,447</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,236</p>	<p>Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros</p> <p>C1= 0,000 kg C2= 8,786 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 7,861 kg FG= 0,000 kg W= 3,930 litros Sp= 0,182 litros S1= 7,485 kg S2= 11,314 kg G1= 9,664 kg G2= 9,629 kg G3= 0,000 kg</p> <p style="text-align: right;"><u>Massa total, em kg</u> 58,86</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/(mat. cimentícios)</u> 0,447</p> <p style="text-align: right;"><u>Razão água/finos</u> 0,236</p>
---	--

Quadro A.221 – Composição do betão B.15.10

ESTUDO DA COMPOSIÇÃO DE BETÕES AUTO-COMPACTÁVEIS

Identificação do betão B.15.10	Identificação da mistura de finos 50C2+ 50FC	Data 03-11-2004
--	--	---------------------------

Parâmetros da composição				
Vm/Vg	Vv (m ³)	Vp/Vs	Vw/Vp	Sp/P%
2,600	0,030	0,700	0,720	1,150

Composição da mistura de finos					
fc1	fc2	fcv	fms	ffc	ffg
0,000	0,500	0,000	0,000	0,500	0,000

Massas volúmicas dos materiais finos, em kg/m ³					
δc1	δc2	δcv	δms	δfc	δfg
3140	3040	2380	2170	2720	2650

Massas volúmicas dos agregados, em kg/m ³				
δs1	δs2	δg1	δg2	δg3
2590	2610	2710	2700	2700

Massas volúmicas dos adjuvantes, em kg/m ³				
δsp1	---	---	---	---
1050	---	---	---	---

δp= 2880,00 kg/m ³ Vsp/vp= 0,031543 Vg= 0,269444 m ³ /m ³ Vm= 0,700556 m ³ /m ³ Vp= 0,220293 m ³ /m ³ Vw= 0,158611 m ³ /m ³ Vsp= 0,006949 m ³ /m ³ Vs= 0,314704 m ³ /m ³ Vs/Vm= 0,44922
--

Abertura da malha (mm)	Areia01	Areia05	Mistura (Curva Real)
	a1	a2	
	0,40	0,60	
Percentagem de passados			
9,520	100,00	100,00	100,00
4,760	100,00	99,94	99,96
2,380	99,97	98,56	99,12
1,190	99,89	84,75	90,81
0,590	91,06	43,13	62,30
0,297	48,16	2,97	21,05
0,149	11,49	0,21	4,72
0,074	2,04	0,05	0,85
Resíduo	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura			
	1,494	2,704	2,220

Abertura da malha (mm)	Brita 3/6	Brita 6/15	Brita15/25	Mistura (Curva Real)
	g1	g2	g3	
	0,50	0,50	0,00	
Percentagem de passados				
38,100	100,00	100,00	100,00	100,00
25,400	100,00	100,00	99,79	100,00
19,100	100,00	100,00	68,38	100,00
12,700	100,00	89,14	3,02	94,57
9,520	100,00	49,79	0,22	74,90
4,760	70,84	2,24	0,08	36,54
2,380	11,68	0,29	0,07	5,99
1,190	4,28	0,20	0,07	2,24
0,590	2,46	0,16	0,05	1,31
0,297	1,46	0,12	0,04	0,79
0,149	0,90	0,09	0,03	0,50
0,074	0,50	0,05	0,02	0,28
Resíduo	0,00	0,00	0,00	0,00
Módulos de finura				
	5,084	6,471	7,311	5,777

Quantidades para uma amassadura de: 1000,00 litros C1= 0,00 kg C2= 334,84 kg CV= 0,00 kg MS= 0,00 kg FC= 299,60 kg FG= 0,00 kg W= 158,61 litros Sp= 6,95 litros S1= 326,03 kg S2= 492,83 kg G1= 365,10 kg G2= 363,75 kg G3= 0,00 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 2348,1 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,474 <u>Razão água/finos</u> 0,250 </div>	Quantidades para uma amassadura de: 25,00 litros C1= 0,000 kg C2= 8,371 kg CV= 0,000 kg MS= 0,000 kg FC= 7,490 kg FG= 0,000 kg W= 3,965 litros Sp= 0,174 litros S1= 8,151 kg S2= 12,321 kg G1= 9,127 kg G2= 9,094 kg G3= 0,000 kg <div style="text-align: right; margin-right: 50px;"> <u>Massa total, em kg</u> 58,70 <u>Razão água/(mat. cimentíceos)</u> 0,474 <u>Razão água/finos</u> 0,250 </div>
---	--

ANEXO A.2.2

ESTUDOS REOLÓGICOS DOS BETÕES

Quadro A.222 – Estudos reológicos dos betões

Ident. do Betão	Correcções da mistura (para 25 litros de betão)		Ensaio do betão fresco							
	ΔW [g]	ΔSp [g]	Espalhamento			Fluidez		Caixa-L		Caixa
			T50 [s]	Dm [mm]	Gc	t [s]	Rc [s ⁻¹]	T40 [s]	H2/H1	H [mm]
B.2.1	20	10	1,35	695	11,08	11,27	0,89	3,22	0,90	327
B.2.2	20	20	2,01	670	10,22	11,14	0,90	4,96	0,84	325
B.2.3	25	30	2,36	625	8,77	10,39	0,96	5,16	0,79	323
B.2.4	20	20	2,63	620	8,61	11,84	0,84	5,69	0,81	323
B.2.5	30	30	2,71	630	8,92	13,15	0,76	6,90	0,78	323
B.2.6-A	45	35	4,31	600	8,00	18,53	0,54	8,50	0,64	316
B.2.6-B	80	45	3,60	630	8,92	14,95	0,67	8,56	0,71	320
B.2.7	45	35	2,81	645	9,40	10,25	0,98	5,29	0,73	318
B.2.8	35	55	3,61	625	8,77	13,03	0,77	8,08	0,62	315
B.2.9	20	30	2,71	610	8,30	9,91	1,01	4,56	0,74	318
B.2.10	10	25	3,17	645	9,40	9,15	1,09	4,52	0,86	325
B.3.1	10	25	2,72	660	9,89	10,96	0,91	4,59	0,85	329
B.3.2	0	30	3,64	635	9,08	14,03	0,71	5,05	0,81	323
B.3.3	0	35	3,41	630	8,92	15,49	0,65	7,63	0,77	320
B.3.4	45	30	2,55	630	8,92	11,45	0,87	5,18	0,81	325
B.3.5	45	40	3,56	655	9,73	12,47	0,80	5,27	0,81	322
B.3.6	50	40	2,95	635	9,08	16,13	0,62	5,85	0,73	320
B.3.7	50	40	2,76	615	8,46	11,27	0,89	6,49	0,67	317
B.3.9	30	20	2,86	605	8,15	10,06	0,99	5,16	0,73	319
B.3.10	0	25	2,76	640	9,24	10,12	0,99	4,03	0,85	323
B.4.1	10	20	2,25	650	9,56	9,98	1,00	3,93	0,84	323
B.4.3	50	35	3,12	615	8,46	12,65	0,79	5,52	0,77	320
B.4.4	20	25	2,31	625	8,77	9,73	1,03	4,06	0,80	319
B.4.5	15	40	3,06	635	9,08	10,97	0,91	4,97	0,77	319
B.4.7	35	30	2,43	625	8,77	11,59	0,86	5,52	0,70	315
B.4.9	30	35	2,55	630	8,92	10,29	0,97	4,09	0,77	322
B.4.10	15	30	3,28	640	9,24	11,62	0,86	4,23	0,83	324
B.5.1	20	25	3,13	620	8,61	10,38	0,96	4,74	0,81	320
B.5.3	80	50	3,40	635	9,08	13,24	0,76	5,26	0,79	324
B.5.4	50	40	3,54	615	8,46	11,57	0,86	5,27	0,77	321
B.5.7	45	45	2,97	645	9,40	13,25	0,75	5,24	0,75	317
B.5.9	70	45	3,25	640	9,24	10,63	0,94	4,39	0,75	317
B.5.10	75	30	3,82	630	8,92	9,94	1,01	4,89	0,86	325
B.6.1	10	25	3,08	620	8,61	12,51	0,80	4,91	0,81	322
B.6.2-A	50	55	3,24	635	9,08	12,96	0,77	4,99	0,83	325
B.6.2-B	80	50	3,34	645	9,40	11,67	0,86	4,36	0,84	325
B.6.3-A	80	35	3,70	675	10,39	11,04	0,91	5,24	0,88	328
B.6.3-B	45	35	4,05	645	9,40	14,05	0,71	5,51	0,83	325
B.6.4	65	35	3,29	630	8,92	14,93	0,67	6,71	0,80	323
B.6.5-SPN	0	-10	4,02	685	10,73	16,52	0,61	6,91	0,89	328
B.6.7-SPN	0	-30	4,06	680	10,56	14,76	0,68	6,10	0,80	324
B.6.9	25	35	3,45	650	9,56	12,70	0,79	5,31	0,83	325
B.6.10	50	30	3,43	640	9,24	11,25	0,89	3,69	0,84	324
B.6.10-SPN	0	-40	3,80	700	11,25	10,06	0,99	4,32	0,93	329
B.7.1	25	30	3,22	630	8,92	12,52	0,80	5,03	0,82	324
B.7.10	30	25	3,27	670	10,22	11,38	0,88	4,23	0,92	327
B.8.1	45	25	4,07	655	9,73	10,51	0,95	4,42	0,84	327
B.8.2	45	35	3,77	630	8,92	12,35	0,81	5,30	0,79	322
B.8.3	65	55	3,80	645	9,40	13,30	0,75	6,17	0,80	325
B.8.4	60	50	3,28	640	9,24	10,82	0,92	5,23	0,83	326
B.8.9	70	40	3,34	655	9,73	11,33	0,88	3,98	0,82	326
B.8.10	40	25	3,20	635	9,08	10,09	0,99	5,65	0,83	327
B.12.1	30	30	4,20	620	8,61	14,93	0,67	5,82	0,77	319
B.12.10	50	25	4,31	650	9,56	12,61	0,79	5,40	0,80	322
B.13.1	60	35	3,40	660	9,89	10,99	0,91	4,20	0,85	324
B.13.10	55	30	3,21	655	9,73	11,99	0,83	4,94	0,85	326
B.14.1	40	25	3,30	640	9,24	12,18	0,82	6,40	0,86	322
B.14.10	60	25	3,36	655	9,73	11,79	0,85	5,07	0,85	324
B.15.1	40	20	3,46	670	10,22	10,41	0,96	5,38	0,88	327
B.15.10	40	20	3,76	650	9,56	11,27	0,89	4,79	0,86	323

ANEXO A.2.3

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DOS BETÕES

Quadro A.223 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.2

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.2.1	1	06-09-2004	13-09-2004	7	8,06	1125,0	2388,1	2367	50,00	49,51	0,69	1,4
	2				7,92	1103,0	2346,7		49,02			
B.2.2	1	08-09-2004	15-09-2004	7	8,12	1106,0	2405,9	2418	49,16	49,78	0,88	1,8
	2				8,20	1134,0	2429,6		50,40			
B.2.3	1	09-09-2004	16-09-2004	7	8,14	1132,0	2411,9	2421	50,31	50,62	0,44	0,9
	2				8,20	1146,0	2429,6		50,93			
B.2.4	1	13-09-2004	20-09-2004	7	8,02	1015,0	2376,3	2367	45,11	45,69	0,82	1,8
	2				7,96	1041,0	2358,5		46,27			
B.2.5	1	14-09-2004	21-09-2004	7	8,00	1045,0	2370,4	2391	46,44	46,16	0,41	0,9
	2				8,14	1032,0	2411,9		45,87			
B.2.6-A	1	15-09-2004	22-09-2004	7	7,96	1054,0	2358,5	2376	46,84	47,18	0,47	1,0
	2				8,08	1069,0	2394,1		47,51			
B.2.6-B	1	22-09-2004	29-09-2004	7	8,10	1057,0	2400,0	2400	46,98	46,62	0,50	1,1
	2				8,10	1041,0	2400,0		46,27			
B.2.7	1	23-09-2004	30-09-2004	7	7,96	917,9	2358,5	2361	40,80	40,14	0,93	2,3
	2				7,98	888,4	2364,4		39,48			
B.2.8	1	24-09-2004	01-10-2004	7	8,02	855,7	2376,3	2379	38,03	38,73	0,99	2,6
	2				8,04	887,2	2382,2		39,43			
B.2.9	1	27-09-2004	04-10-2004	7	8,00	891,4	2370,4	2364	39,62	38,16	2,06	5,4
	2				7,96	825,9	2358,5		36,71			
B.2.10	1	28-09-2004	05-10-2004	7	7,96	1035,0	2358,5	2356	46,00	46,09	0,13	0,3
	2				7,94	1039,0	2352,6		46,18			

Notas:
1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.224 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.2

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.2.1	3	06-09-2004	04-10-2004	28	8,02	1442,0	2376,3	2384	64,09	63,67	0,42	0,7
	4				8,04	1423,0	2382,2		63,24			
	5				8,08	1433,0	2394,1		63,69			
B.2.2	3	08-09-2004	06-10-2004	28	8,24	1494,0	2441,5	2430	66,40	66,34	0,07	0,1
	4				8,16	1491,0	2417,8		66,27			
	5				8,20	1493,0	2429,6		66,36			
B.2.3	3	09-09-2004	07-10-2004	28	8,02	1451,0	2376,3	2406	64,49	64,83	0,30	0,5
	4				8,20	1464,0	2429,6		65,07			
	5				8,14	1461,0	2411,9		64,93			
B.2.4	3	13-09-2004	11-10-2004	28	8,00	1367,0	2370,4	2374	60,76	60,43	0,45	0,8
	4				8,00	1348,0	2370,4		59,91			
	5				8,04	1364,0	2382,2		60,62			
B.2.5	3	14-09-2004	12-10-2004	28	8,22	1360,0	2435,6	2418	60,44	59,97	1,44	2,4
	4				8,10	1313,0	2400,0		58,36			
	5				8,16	1375,0	2417,8		61,11			
B.2.6-A	3	15-09-2004	13-10-2004	28	8,22	1375,0	2435,6	2416	61,11	59,90	1,18	2,0
	4				8,14	1322,0	2411,9		58,76			
	5				8,10	1346,0	2400,0		59,82			
B.2.6-B	3	22-09-2004	20-10-2004	28	8,18	1317,0	2423,7	2418	58,53	57,99	0,56	1,0
	4				8,20	1305,0	2429,6		58,00			
	5				8,10	1292,0	2400,0		57,42			
B.2.7	3	23-09-2004	21-10-2004	28	7,96	1144,0	2358,5	2360	50,84	50,52	0,68	1,4
	4				7,94	1119,0	2352,6		49,73			
	5				8,00	1147,0	2370,4		50,98			
B.2.8	3	24-09-2004	22-10-2004	28	8,08	1109,0	2394,1	2402	49,29	49,90	0,56	1,1
	4				8,10	1125,0	2400,0		50,00			
	5				8,14	1134,0	2411,9		50,40			
B.2.9	3	27-09-2004	25-10-2004	28	8,12	1187,0	2405,9	2384	52,76	50,89	1,65	3,2
	4				8,00	1131,0	2370,4		50,27			
	5				8,02	1117,0	2376,3		49,64			
B.2.10	3	28-09-2004	26-10-2004	28	8,08	1353,0	2394,1	2402	60,13	60,34	0,73	1,2
	4				8,14	1344,0	2411,9		59,73			
	5				8,10	1376,0	2400,0		61,16			

Notas:
1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.225 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.3

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.3.1	1	29-09-2004	06-10-2004	7	7,98	1039,0	2364,4		46,18	47,58	1,98	4,2
	2				8,00	1102,0	2370,4	2367	48,98			
B.3.2	1	07-10-2004	13-10-2004	7	8,14	1094,0	2411,9		48,62	47,84	1,10	2,3
	2				8,18	1059,0	2423,7	2418	47,07			
B.3.3	1	07-10-2004	13-10-2004	7	8,12	1099,0	2405,9		48,84	47,82	1,45	3,0
	2				8,04	1053,0	2382,2	2394	46,80			
B.3.4	1	07-10-2004	13-10-2004	7	8,02	960,1	2376,3		42,67	41,65	1,44	3,5
	2				7,90	914,3	2340,7	2359	40,64			
B.3.5	1	08-10-2004	15-10-2004	7	8,12	998,3	2405,9		44,37	43,67	0,99	2,3
	2				8,14	966,8	2411,9	2409	42,97			
B.3.6	1	08-10-2004	15-10-2004	7	8,10	973,8	2400,0		43,28	43,83	0,78	1,8
	2				8,06	998,7	2388,1	2394	44,39			
B.3.7	1	08-10-2004	15-10-2004	7	7,96	856,3	2358,5		38,06	36,54	2,14	5,9
	2				7,96	788,1	2358,5	2359	35,03			
B.3.9	1	08-10-2004	15-10-2004	7	7,96	821,7	2358,5		36,52	35,76	1,08	3,0
	2				7,90	787,4	2340,7	2350	35,00			
B.3.10	1	11-10-2004	18-10-2004	7	7,92	963,7	2346,7		42,83	42,71	0,18	0,4
	2				7,98	958,1	2364,4	2356	42,58			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.226 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.3

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.3.1	3	29-09-2004	27-10-2004	28	8,10	1331,0	2400,0		59,16	59,69	1,12	1,9
	4				8,10	1372,0	2400,0	2394	60,98			
	5				8,04	1326,0	2382,2		58,93			
B.3.2	3	07-10-2004	04-11-2004	28	8,10	1317,0	2400,0		58,53	59,72	1,04	1,7
	4				8,16	1360,0	2417,8	2414	60,44			
	5				8,18	1354,0	2423,7		60,18			
B.3.3	3	07-10-2004	04-11-2004	28	8,20	1334,0	2429,6		59,29	58,49	1,13	1,9
	4				8,14	1327,0	2411,9	2420	58,98			
	5				8,16	1287,0	2417,8		57,20			
B.3.4	3	07-10-2004	04-11-2004	28	8,04	1199,0	2382,2		53,29	53,01	0,25	0,5
	4				8,04	1188,0	2382,2	2386	52,80			
	5				8,08	1191,0	2394,1		52,93			
B.3.5	3	08-10-2004	05-11-2004	28	8,12	1179,0	2405,9		52,40	52,86	0,49	0,9
	4				8,02	1188,0	2376,3	2388	52,80			
	5				8,04	1201,0	2382,2		53,38			
B.3.6	3	08-10-2004	05-11-2004	28	8,10	1211,0	2400,0		53,82	53,33	0,54	1,0
	4				8,04	1187,0	2382,2	2398	52,76			
	5				8,14	1202,0	2411,9		53,42			
B.3.7	3	08-10-2004	05-11-2004	28	8,06	997,4	2388,1		44,33	45,67	1,20	2,6
	4				8,08	1035,0	2394,1	2394	46,00			
	5				8,10	1050,0	2400,0		46,67			
B.3.9	3	08-10-2004	05-11-2004	28	7,98	1019,0	2364,4		45,29	44,63	1,03	2,3
	4				7,96	977,5	2358,5	2357	43,44			
	5				7,92	1016,0	2346,7		45,16			
B.3.10	3	11-10-2004	08-11-2004	28	8,04	1238,0	2382,2		55,02	54,25	0,98	1,8
	4				8,04	1228,0	2382,2	2382	54,58			
	5				8,04	1196,0	2382,2		53,16			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.227 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.4

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)													
Identificação		Registos efectuados					Resultados						
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão				
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]	
B.4.1	1	11-10-2004	18-10-2004	7	8,10	1197,0	2400,0	2406	53,20	54,98	54,09	1,26	2,3
	2				8,14	1237,0	2411,9		55,60				
B.4.3	1	11-10-2004	18-10-2004	7	8,08	1251,0	2394,1	2391	56,13	55,87	0,38	0,7	
	2				8,06	1263,0	2388,1		49,78				
B.4.4	1	11-10-2004	18-10-2004	7	7,98	1120,0	2364,4	2364	49,38	49,58	0,28	0,6	
	2				7,98	1111,0	2364,4		49,96				
B.4.5	1	11-10-2004	18-10-2004	7	8,10	1124,0	2400,0	2391	50,89	50,42	0,66	1,3	
	2				8,04	1145,0	2382,2		43,94				
B.4.7	1	12-10-2004	19-10-2004	7	8,02	988,7	2376,3	2364	44,18	44,06	0,17	0,4	
	2				7,94	994,1	2352,6		42,36				
B.4.9	1	12-10-2004	19-10-2004	7	7,94	953,2	2352,6	2359	43,61	42,99	0,88	2,1	
	2				7,98	981,3	2364,4		50,09				
B.4.10	1	12-10-2004	19-10-2004	7	8,02	1127,0	2376,3	2376	50,62	50,36	0,38	0,7	
	2				8,02	1139,0	2376,3						

Notas:
1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.228 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.4

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)													
Identificação		Registos efectuados					Resultados						
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão				
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]	
B.4.1	3	11-10-2004	08-11-2004	28	8,12	1555,0	2405,9	2394	69,11	69,11	0,71	1,0	
	4				8,04	1539,0	2382,2		68,40				
	5				8,08	1571,0	2394,1		69,82				
B.4.3	3	11-10-2004	08-11-2004	28	8,16	1551,0	2417,8	2406	68,93	67,45	1,28	1,9	
	4				8,08	1502,0	2394,1		66,76				
	5				8,12	1500,0	2405,9		66,67				
B.4.4	3	11-10-2004	08-11-2004	28	8,08	1396,0	2394,1	2382	62,04	63,38	1,00	1,6	
	4				8,04	1426,0	2382,2		64,00				
	5				8,00	1440,0	2370,4		63,73				
B.4.5	3	11-10-2004	08-11-2004	28	8,14	1434,0	2411,9	2400	65,02	64,79	0,96	1,5	
	4				8,10	1463,0	2400,0		65,60				
	5				8,06	1476,0	2388,1		60,80				
B.4.7	3	12-10-2004	09-11-2004	28	8,04	1368,0	2382,2	2382	57,96	59,61	1,48	2,5	
	4				8,04	1304,0	2382,2		60,09				
	5				8,04	1352,0	2382,2		57,11				
B.4.9	3	12-10-2004	09-11-2004	28	8,02	1285,0	2376,3	2376	56,53	56,83	0,29	0,5	
	4				8,04	1272,0	2382,2		56,84				
	5				8,00	1279,0	2370,4		63,82				
B.4.10	3	12-10-2004	09-11-2004	28	8,10	1436,0	2400,0	2396	64,62	63,63	1,10	1,7	
	4				8,10	1454,0	2400,0		62,44				
	5				8,06	1405,0	2388,1						

Notas:
1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.229 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.5

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.5.1	1	12-10-2004	19-10-2004	7	8,08	1642,0	2394,1		72,98	74,53	2,20	3,0
	2				8,10	1712,0	2400,0	2397	76,09			
B.5.3	1	12-10-2004	19-10-2004	7	8,14	1715,0	2411,9		76,22	76,18	0,06	0,1
	2				8,18	1713,0	2423,7	2418	76,13			
B.5.4	1	13-10-2004	20-10-2004	7	8,14	1552,0	2411,9		68,98	70,84	2,64	3,7
	2				8,14	1636,0	2411,9	2412	72,71			
B.5.7	1	13-10-2004	20-10-2004	7	8,10	1515,0	2400,0		67,33	67,67	0,47	0,7
	2				8,06	1530,0	2388,1	2394	68,00			
B.5.9	1	13-10-2004	20-10-2004	7	8,06	1484,0	2388,1		65,96	65,29	0,94	1,4
	2				8,04	1454,0	2382,2	2385	64,62			
B.5.10	1	13-10-2004	20-10-2004	7	8,10	1587,0	2400,0		70,53	72,31	2,51	3,5
	2				8,10	1667,0	2400,0	2400	74,09			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.230 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.5

RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.5.1	3	12-10-2004	09-11-2004	28	8,14	1870,0	2411,9		83,11	84,98	2,40	2,8
	4				8,12	1973,0	2405,9	2404	87,69			
	5				8,08	1893,0	2394,1		84,13			
B.5.3	3	12-10-2004	09-11-2004	28	8,18	1927,0	2423,7		85,64	86,77	1,76	2,0
	4				8,16	1998,0	2417,8	2416	88,80			
	5				8,12	1932,0	2405,9		85,87			
B.5.4	3	13-10-2004	10-11-2004	28	8,12	1887,0	2405,9		83,87	82,86	0,96	1,2
	4				8,10	1844,0	2400,0	2400	81,96			
	5				8,08	1862,0	2394,1		82,76			
B.5.7	3	13-10-2004	10-11-2004	28	8,14	1764,0	2411,9		78,40	77,78	0,96	1,2
	4				8,10	1761,0	2400,0	2406	78,27			
	5				8,12	1725,0	2405,9		76,67			
B.5.9	3	13-10-2004	10-11-2004	28	8,08	1727,0	2394,1		76,76	76,80	0,08	0,1
	4				8,02	1730,0	2376,3	2384	76,89			
	5				8,04	1727,0	2382,2		76,76			
B.5.10	3	13-10-2004	10-11-2004	28	8,10	1865,0	2400,0		82,89	81,91	0,96	1,2
	4				8,06	1822,0	2388,1	2390	80,98			
	5				8,04	1842,0	2382,2		81,87			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s ($6 \text{ kgf.cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.231 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.6

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volumica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.6.1	1	14-10-2004	21-10-2004	7	8,16	1507,0	2417,8	2412	66,98	66,76	0,31	0,5
	2				8,12	1497,0	2405,9		66,53			
B.6.2-A	1	14-10-2004	21-10-2004	7	8,18	1558,0	2423,7	2418	69,24	69,93	0,97	1,4
	2				8,14	1589,0	2411,9		70,62			
B.6.2-B	1	14-10-2004	21-10-2004	7	8,14	1539,0	2411,9	2412	68,40	68,11	0,41	0,6
	2				8,14	1526,0	2411,9		67,82			
B.6.3-A	1	14-10-2004	21-10-2004	7	8,26	1567,0	2447,4	2444	69,64	69,18	0,66	1,0
	2				8,24	1546,0	2441,5		68,71			
B.6.3-B	1	21-10-2004	28-10-2004	7	8,20	1526,0	2429,6	2427	67,82	67,00	1,16	1,7
	2				8,18	1489,0	2423,7		66,18			
B.6.4	1	14-10-2004	21-10-2004	7	8,10	1378,0	2400,0	2415	61,24	63,58	3,30	5,2
	2				8,20	1483,0	2429,6		65,91			
B.6.5-SPN	1	15-10-2004	22-10-2004	7	8,20	1537,0	2429,6	2433	68,31	68,87	0,79	1,1
	2				8,22	1562,0	2435,6		69,42			
B.6.7-SPN	1	15-10-2004	22-10-2004	7	8,14	1336,0	2411,9	2418	59,38	59,69	0,44	0,7
	2				8,18	1350,0	2423,7		60,00			
B.6.9	1	21-10-2004	28-10-2004	7	8,08	1291,0	2394,1	2394	57,38	57,20	0,25	0,4
	2				8,08	1283,0	2394,1		57,02			
B.6.10	1	19-10-2004	26-10-2004	7	8,04	1472,0	2382,2	2394	65,42	63,91	2,14	3,3
	2				8,12	1404,0	2405,9		62,40			
B.6.10-SPN	1	15-10-2004	22-10-2004	7	8,22	1510,0	2435,6	2433	67,11	67,78	0,94	1,4
	2				8,20	1540,0	2429,6		68,44			

Notas:
1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.232 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.6

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volumica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.6.1	3	14-10-2004	11-11-2004	28	8,12	1768,0	2405,9	2416	78,58	78,43	0,51	0,6
	4				8,20	1774,0	2429,6		78,84			
	5				8,14	1752,0	2411,9		77,87			
B.6.2-A	3	14-10-2004	11-11-2004	28	8,12	1730,0	2405,9	2414	76,89	77,36	1,61	2,1
	4				8,16	1781,0	2417,8		79,16			
	5				8,16	1711,0	2417,8		76,04			
B.6.2-B	3	14-10-2004	11-11-2004	28	8,16	1783,0	2417,8	2416	79,24	79,20	0,56	0,7
	4				8,18	1794,0	2423,7		79,73			
	5				8,12	1769,0	2405,9		78,62			
B.6.3-A	3	14-10-2004	11-11-2004	28	8,20	1754,0	2429,6	2436	77,96	78,65	1,36	1,7
	4				8,18	1750,0	2423,7		77,78			
	5				8,28	1805,0	2453,3		80,22			
B.6.3-B	3	21-10-2004	18-11-2004	28	8,20	1718,0	2429,6	2430	76,36	77,94	1,38	1,8
	4				8,20	1769,0	2429,6		78,62			
	5				8,20	1774,0	2429,6		78,84			
B.6.4	3	14-10-2004	11-11-2004	28	8,16	1677,0	2417,8	2402	74,53	74,71	2,09	2,8
	4				8,08	1730,0	2394,1		76,89			
	5				8,08	1636,0	2394,1		72,71			
B.6.5-SPN	3	15-10-2004	12-11-2004	28	8,24	1759,0	2441,5	2445	78,18	79,32	1,07	1,4
	4				8,28	1807,0	2453,3		80,31			
	5				8,24	1788,0	2441,5		79,47			
B.6.7-SPN	3	15-10-2004	12-11-2004	28	8,20	1615,0	2429,6	2428	71,78	70,65	1,69	2,4
	4				8,20	1608,0	2429,6		71,47			
	5				8,18	1546,0	2423,7		68,71			
B.6.9	3	21-10-2004	18-11-2004	28	8,08	1471,0	2394,1	2396	65,38	66,84	1,28	1,9
	4				8,08	1518,0	2394,1		67,47			
	5				8,10	1523,0	2400,0		67,69			
B.6.10	3	19-10-2004	16-11-2004	28	8,08	1598,0	2394,1	2392	71,02	72,09	0,95	1,3
	4				8,04	1639,0	2382,2		72,84			
	5				8,10	1629,0	2400,0		72,40			
B.6.10-SPN	3	15-10-2004	12-11-2004	28	8,26	1732,0	2447,4	2430	76,98	77,84	0,75	1,0
	4				8,20	1760,0	2429,6		78,22			
	5				8,14	1762,0	2411,9		78,31			

Notas:
1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.233 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.7

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.7.1	1	18-10-2004	25-10-2004	7	8,08	1405,0	2394,1	2397	62,44	63,11	0,94	1,5
	2				8,10	1435,0	2400,0		63,78			
B.7.10	1	18-10-2004	25-10-2004	7	8,04	1335,0	2382,2	2388	59,33	59,42	0,13	0,2
	2				8,08	1339,0	2394,1		59,51			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.234 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.7

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.7.1	3	18-10-2004	15-11-2004	28	8,06	1668,0	2388,1	2390	74,13	74,09	0,34	0,5
	4				8,02	1659,0	2376,3		73,73			
	5				8,12	1674,0	2405,9		74,40			
B.7.10	3	18-10-2004	15-11-2004	28	8,02	1603,0	2376,3	2374	71,24	70,53	0,88	1,2
	4				8,02	1593,0	2376,3		70,80			
	5				8,00	1565,0	2370,4		69,56			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.235 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.8

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Proвете n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.8.1	1	18-10-2004	25-10-2004	7	8,04	1469,0	2382,2	2388	65,29	65,36	0,09	0,1
	2				8,08	1472,0	2394,1		65,42			
B.8.2	1	18-10-2004	25-10-2004	7	8,06	1419,0	2388,1	2394	63,07	62,82	0,35	0,6
	2				8,10	1408,0	2400,0		62,58			
B.8.3	1	18-10-2004	25-10-2004	7	8,20	1478,0	2429,6	2415	65,69	63,93	2,48	3,9
	2				8,10	1399,0	2400,0		62,18			
B.8.4	1	19-10-2004	26-10-2004	7	7,98	1372,0	2364,4	2379	60,98	62,16	1,67	2,7
	2				8,08	1425,0	2394,1		63,33			
B.8.9	1	19-10-2004	26-10-2004	7	8,04	1275,0	2382,2	2385	56,67	57,29	0,88	1,5
	2				8,06	1303,0	2388,1		57,91			
B.8.10	1	19-10-2004	26-10-2004	7	7,98	1390,0	2364,4	2373	61,78	62,47	0,97	1,6
	2				8,04	1421,0	2382,2		63,16			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.236 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.8

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volumica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.8.1	3	18-10-2004	15-11-2004	28	8,02	1778,0	2376,3	2388	79,02	80,34	1,16	1,4
	4				8,10	1827,0	2400,0		81,20			
	5				8,06	1818,0	2388,1		80,80			
B.8.2	3	18-10-2004	15-11-2004	28	8,02	1758,0	2376,3	2378	78,13	79,16	0,98	1,2
	4				8,04	1783,0	2382,2		79,24			
	5				8,02	1802,0	2376,3		80,09			
B.8.3	3	18-10-2004	15-11-2004	28	8,12	1692,0	2405,9	2408	75,20	78,24	2,77	3,5
	4				8,12	1775,0	2405,9		78,89			
	5				8,14	1814,0	2411,9		80,62			
B.8.4	3	19-10-2004	16-11-2004	28	8,04	1682,0	2382,2	2384	74,76	74,46	0,34	0,5
	4				8,04	1677,0	2382,2		74,53			
	5				8,06	1667,0	2388,1		74,09			
B.8.9	3	19-10-2004	16-11-2004	28	8,02	1609,0	2376,3	2374	71,51	69,91	1,62	2,3
	4				8,04	1574,0	2382,2		69,96			
	5				7,98	1536,0	2364,4		68,27			
B.8.10	3	19-10-2004	16-11-2004	28	8,08	1710,0	2394,1	2388	76,00	75,66	0,38	0,5
	4				7,96	1704,0	2358,5		75,73			
	5				8,14	1693,0	2411,9		75,24			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.237 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.12

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volumica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.12.1	1	02-11-2004	09-11-2004	7	8,16	1370,0	2417,8	2409	60,89	60,51	0,53	0,9
	2				8,10	1353,0	2400,0		60,13			
B.12.10	1	02-11-2004	09-11-2004	7	8,04	1210,0	2382,2	2385	53,78	54,07	0,41	0,8
	2				8,06	1223,0	2388,1		54,36			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.238 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.12

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volumica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.12.1	3	02-11-2004	30-11-2004	28	8,18	1567,0	2423,7	2416	69,64	69,13	0,65	0,9
	4				8,16	1560,0	2417,8		69,33			
	5				8,12	1539,0	2405,9		68,40			
B.12.10	3	02-11-2004	30-11-2004	28	8,06	1415,0	2388,1	2398	62,89	62,83	0,05	0,1
	4				8,10	1413,0	2400,0		62,80			
	5				8,12	1413,0	2405,9		62,80			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.239 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.13

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.13.1	1	02-11-2004	09-11-2004	7	8,12	1043,0	2405,9	2409	46,36	47,42	1,51	3,2
	2				8,14	1091,0	2411,9		48,49			
B.13.10	1	02-11-2004	09-11-2004	7	8,08	954,5	2394,1	2385	42,42	42,74	0,46	1,1
	2				8,02	969,0	2376,3		43,07			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.240 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.13

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.13.1	3	02-11-2004	30-11-2004	28	8,08	1198,0	2394,1	2394	53,24	54,31	1,14	2,1
	4				8,08	1219,0	2394,1		54,18			
	5				8,08	1249,0	2394,1		55,51			
B.13.10	3	02-11-2004	30-11-2004	28	8,06	1157,0	2388,1	2394	51,42	51,32	0,35	0,7
	4				8,10	1146,0	2400,0		50,93			
	5				8,08	1161,0	2394,1		51,60			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.241 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.14

RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO DE BETÕES (PROVETES CÚBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m ³]	Valor médio [kg/m ³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.14.1	1	03-11-2004	10-11-2004	7	8,06	929,2	2388,1	2388	41,30	40,87	0,61	1,5
	2				8,06	909,9	2388,1		40,44			
B.14.10	1	03-11-2004	10-11-2004	7	8,02	844,0	2376,3	2370	37,51	37,56	0,07	0,2
	2				7,98	846,3	2364,4		37,61			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.242 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.14

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.14.1	3	03-11-2004	01-12-2004	28	8,12	1167,0	2405,9	2392	51,87	50,93	1,12	2,2
	4				8,04	1118,0	2382,2		49,69			
	5				8,06	1153,0	2388,1		51,24			
B.14.10	3	03-11-2004	01-12-2004	28	8,00	1070,0	2370,4	2376	47,56	46,67	0,80	1,7
	4				8,04	1045,0	2382,2		46,44			
	5				8,02	1035,0	2376,3		46,00			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.243 – Resistência à compressão aos 7 dias da série de betões B.15

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.15.1	1	03-11-2004	10-11-2004	7	8,02	749,4	2376,3	2382	33,31	33,48	0,24	0,7
	2				8,06	757,1	2388,1		33,65			
B.15.10	1	03-11-2004	10-11-2004	7	7,94	660,0	2352,6	2356	29,33	29,58	0,35	1,2
	2				7,96	671,1	2358,5		29,83			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

Quadro A.244 – Resistência à compressão aos 28 dias da série de betões B.15

RESISTENCIA A COMPRESSAO DE BETOES (PROVETES CUBICOS DE 150 MM DE ARESTA)												
Identificação		Registos efectuados					Resultados					
Betão n.º	Provete n.º	Data fabrico	Data ensaio	Idade [dias]	Massa [kg]	Carga de rotura [kN]	Massa volúmica		Tensão de rotura à compressão			
							Valor indiv. [kg/m³]	Valor médio [kg/m³]	Valor indiv. [MPa]	Valor médio [MPa]	Desvio padrão [MPa]	Coef. variação [%]
B.15.1	3	03-11-2004	01-12-2004	28	8,00	964,2	2370,4	2370	42,85	42,47	0,48	1,1
	4				8,00	943,5	2370,4		41,93			
	5				8,00	959,1	2370,4		42,63			
B.15.10	3	03-11-2004	01-12-2004	28	8,04	879,1	2382,2	2357	39,07	38,32	0,80	2,1
	4				7,88	843,2	2334,8		37,48			
	5				7,94	864,0	2352,6		38,40			

Notas:
 1. Todos os provetes foram sujeitos a cura em água à temperatura de 20 ± 2°C
 2. Todos os provetes foram ensaiados saturados de água mas com a superfície seca
 3. A taxa de aplicação da carga foi de 13,5 kN/s (6 kgf.cm⁻². s⁻¹)
 4. Todos os provetes apresentaram uma rotura do tipo normal

