

Parâmetros para a composição de betões auto-compactáveis



**Miguel
Nepomuceno¹**



Luiz Oliveira²



Sérgio Lopes³

RESUMO

O artigo descreve a segunda etapa de um estudo mais alargado relativo à metodologia da composição de betões auto-compactáveis. Na primeira etapa produziu-se um número significativo de argamassas com propriedades reológicas adequadas à obtenção de BAC e resistências à compressão entre os 25 MPa e os 95 MPa. As argamassas diferiram entre si pelo facto de possuírem diferentes razões entre os volumes absolutos de materiais finos e de agregados finos (V_p/V_s) e por conterem misturas binárias de materiais finos que combinaram os cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L32,5N) com as adições (cinzas volantes, filler calcário e filler granítico) em diferentes percentagens de substituição. Em comum, as argamassas apresentavam aproximadamente o mesmo comportamento no estado fresco, avaliado em termos de área de espalhamento relativa (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm). Na segunda etapa produziram-se 60 betões utilizando diferentes razões entre os volumes absolutos de argamassa e de agregados grossos (V_m/V_g) e foram avaliadas as suas propriedades no estado fresco e no estado endurecido. Os resultados obtidos permitiram avaliar a relação entre os parâmetros de cálculo da mistura, a reologia (avaliada pelos ensaios de espalhamento e de fluidez), a auto-compactabilidade (avaliada pela Caixa-L) e a resistência à compressão dos betões auto-compactáveis.

PALAVRAS-CHAVE

Betão auto-compactável, estudo da composição, reologia, auto-compactabilidade, resistência.

¹ Universidade da Beira Interior, Centre of Materials and Building Technologies, 6200-001 Covilhã, Portugal. mcsn@ubi.pt

² Universidade da Beira Interior, Centre of Materials and Building Technologies, 6200-001 Covilhã, Portugal. luiz.oliveira@ubi.pt

³ Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil, 3030-290 Coimbra, Portugal. sergio@dec.uc.pt

1. INTRODUÇÃO

O método de estudo da composição de betões auto-compactáveis proposto por Hajime Okamura e seus colaboradores [1, 2, 3, 4], que ficou conhecido como “método de Okamura” ou “método geral”, assenta numa grande simplicidade de procedimentos e permite dosear de forma expedita os componentes do betão de modo a obter a necessária auto-compactabilidade. Não obstante, este método tem sido considerado como conservador por conduzir a betões com elevados volumes de pasta em comparação com uma mistura otimizada e, por outro lado, não permite controlar de uma forma tão acessível, como desejável, a resistência à compressão dos betões na fase de estudo da mistura.

Com o objectivo de responder a algumas dificuldades detectadas do método geral, desenvolveu-se o presente trabalho que assenta em procedimentos de cálculo expeditos, cuja primeira abordagem é suportada por ensaios em argamassas, tal como no método geral. Foi definido um intervalo para as propriedades reológicas da fase argamassa adequado à obtenção de betões auto-compactáveis que contemplou várias propostas para além daquela definida no método geral, foi estabelecida uma metodologia experimental para obtenção das propriedades reológicas pretendidas, 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. O parâmetro V_p/V_s permite o controlo da resistência à compressão juntamente com a “família de finos” (mistura de finos). O parâmetro V_m/V_g permite controlar a proporção entre a matriz argamassa e os agregados grossos imersos nessa matriz.

As misturas produzidas incluíram diferentes associações binárias de materiais finos, seleccionadas de entre dois tipos de cimentos (CEM I 42,5R e CEM II/B-L 32,5N), duas adições correntes (fíler calcário e cinzas volantes) e uma adição resultante de desperdícios industriais, constituída por fíler granítico. A metodologia adoptada traduziu-se nas seguintes etapas: 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.

2. DESCRIÇÃO DO PROGRAMA EXPERIMENTAL

2.1 Materiais utilizados

Os ligantes utilizados incluíram um cimento portland (CEM I 42,5R) com massa volúmica de 3140 kg/m^3 e um cimento portland de calcário (CEM II/B-L32,5N), com massa volúmica de 3040 kg/m^3 . As adições incluíram o fíler calcário com massa volúmica de 2720 kg/m^3 , o fíler granítico com massa volúmica de 2650 kg/m^3 e as cinzas volantes com massa volúmica de 2380 kg/m^3 . Foi utilizado um superplastificante à base de carboxilatos modificados com massa volúmica de 1050 kg/m^3 .

Os agregados finos resultaram da mistura de duas areias, na proporção em volume absoluto de 40% de Areia 01 e 60% de Areia 05. A Areia 01 é uma areia muito fina, com massa volúmica de 2590 kg/m^3 , baridade seca compactada de 1490 kg/m^3 e módulo de finura de 1,49. A Areia 05 é uma areia de grão intermédio rolado do rio, com massa volúmica de 2610 kg/m^3 , baridade seca compactada de 1570 kg/m^3 e módulo de finura de 2,705. As proporções em volume absoluto entre a Areia 01 e a Areia 05 mantiveram-se fixas em todo o estudo e foram determinadas experimentalmente pelo método da baridade, com vista à máxima compacidade. A baridade da mistura das areias foi de 1598 kg/m^3 .

Os agregados grossos resultaram da mistura de duas britas, na proporção em volume absoluto de 50% de Brita 3/6 e 50% de Brita 6/15. A Brita 3/6 é um granito britado, com massa volúmica de 2710 kg/m^3 , baridade seca compactada de 1520 kg/m^3 e módulo de finura de 5,084. A Brita 6/15 é um granito britado, com massa volúmica de 2700 kg/m^3 , baridade seca compactada de 1540 kg/m^3 e módulo de finura de 6,471. As proporções em volume absoluto entre a Brita 3/6 e a Brita 6/15 mantiveram-se fixas em todo o estudo e foram determinadas experimentalmente pelo método da baridade, com vista à máxima compacidade. A baridade da mistura das britas foi de 1642 kg/m^3 .

2.2 Proporções das misturas de materiais finos

Foram estabelecidas várias associações de materiais finos contendo os dois cimentos e as três adições minerais seleccionadas, conforme se ilustra no Quadro 1. Cada uma das misturas de materiais finos é identificada por uma sigla que traduz a dosagem dos elementos constituintes. 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 filer calcário. As outras siglas possuem o seguinte significado: C1 - cimento portland CEM I 42,5R, FG - filer granítico; CV - cinzas volantes.

Quadro 1 - Misturas binárias de cimentos e adições para a composição dos finos

Misturas ▼		Materiais ▶	Cimento		Adições		
			CEM I 42,5R (C1)	CEM II/B L32,5N (C2)	Cinza volante (CV)	Filer calcário (FC)	Filer granítico (FG)
Ref.	1	100C2	---	fc2= 1,00	---	---	---
Misturas Binárias	2	80C2+20FC	---	fc2= 0,80	---	ffc= 0,20	---
	3	80C2+20FG	---	fc2= 0,80	---	---	ffg= 0,20
	4	80C2+20CV	---	fc2= 0,80	fcv= 0,20	---	---
	14	60C2+40FC	---	fc2= 0,60	---	ffc= 0,40	---
	15	50C2+50FC	---	fc2= 0,50	---	ffc= 0,50	---
Ref.	5	100C1	fc1= 1,00	---	---	---	---
Misturas Binárias	6	70C1+30FC	fc1= 0,70	---	---	ffc= 0,30	---
	7	70C1+30FG	fc1= 0,70	---	---	---	ffg= 0,30
	8	70C1+30CV	fc1= 0,70	---	fcv= 0,30	---	---
	9	60C1+40FC	fc1= 0,60	---	---	ffc= 0,40	---
	10	60C1+40FG	fc1= 0,60	---	---	---	ffg= 0,40
	11	60C1+40CV	fc1= 0,60	---	fcv= 0,40	---	---
	12	50C1+50FC	fc1= 0,50	---	---	ffc= 0,50	---
	13	40C1+60FC	fc1= 0,40	---	---	ffc= 0,60	---

2.3 Estudos em argamassas

Os parâmetros para o estudo da composição das argamassas incluíram a definição da mistura de materiais finos, Vp/Vs (relação em volume absoluto entre as dosagens de materiais finos e de agregados finos), Vw/Vp (relação em volume absoluto entre as dosagens de água e de materiais finos) e Sp/p% (relação em percentagem entre a dosagem em massa de superplastificante e a dosagem em massa de materiais finos). Desprezou-se o volume de vazios no cálculo da argamassa e a contribuição para o volume de materiais finos proveniente dos agregados finos.

Foi produzido um número significativo de argamassas combinando cada mistura de materiais finos definida no Quadro 1, com diferentes valores de Vp/Vs. O parâmetro Vp/Vs variou entre 0,60 e 0,80, em intervalos de 0,05. Para cada combinação entre a mistura de materiais finos e Vp/Vs, foram produzidas argamassas fazendo variar os parâmetros Vw/Vp e Sp/p% até que fossem obtidas as propriedades reológicas pretendidas. Para as misturas que cumpriram estes requisitos foram moldados 4 provetes cúbicos de 50 mm de aresta para serem ensaiados à compressão aos 28 dias de idade.

O procedimento de amassadura foi similar àquele proposto por Domone et al. [5], excepto uma pequena paragem introduzida para limpeza das pás da misturadora. Todos os componentes secos e a totalidade da água são introduzidos na misturadora e procede-se à amassadura a velocidade normal durante seis minutos, seguida de uma paragem de dois minutos e, novamente, uma amassadura de um minuto a velocidade normal. O superplastificante entra na mistura um minuto após o seu início e sem paragem da misturadora. A paragem para limpeza das pás ocorre a meio da primeira fase de mistura.

As propriedades reológicas foram avaliadas pelo ensaio de espalhamento e de fluidez, expressos, respectivamente, pela área de espalhamento relativa (Gm) e velocidade relativa de escoamento (Rm). O cone de espalhamento e o funil-v possuem as dimensões interiores que se ilustram na Fig. 1. O valor

de (Gm) é obtido pela Eq. (1), enquanto que (Rm) é obtido pela Eq. (2). A sigla (Dm) significa o diâmetro médio de espalhamento, em mm; a sigla (D₀) o diâmetro inicial na base do cone, em mm, enquanto que (t) representa o tempo de escoamento, em segundos. O intervalo de variação admissível para Gm e Rm foi definido pelos valores de Gm entre 5,3 e 5,9 e de Rm entre 1,14 e 1,30 s⁻¹, a que correspondem, respectivamente, valores de Dm entre 251 e 263 mm e de t entre 7,69 e 8,77 s.

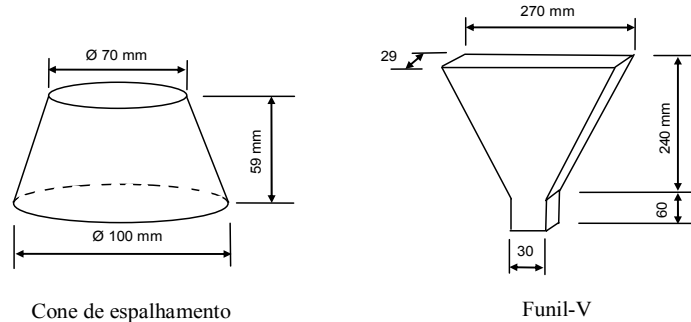


Figura 1 – Dimensões interiores do cone de espalhamento e do funil-v para argamassas

$$Gm = \left(\frac{Dm}{D_0} \right)^2 - 1 \quad (1)$$

$$Rm = \frac{10}{t} \quad (2)$$

2.4 Estudos em betões

Os parâmetros para o estudo da composição dos betões incluíram a definição do volume de vazios, que se admitiu constante ($V_v = 0,03 \text{ m}^3$) para betões sem introdutores de ar, a razão V_m/V_g (relação em volume absoluto entre as dosagens de argamassa e de agregados grossos), as fracções granulométricas dos agregados grossos e os parâmetros já determinados no estudo das argamassas.

Foram produzidos 60 betões utilizando diferentes “famílias de argamassas”, seleccionadas de forma a incluir diferentes materiais finos e uma gama alargada de resistências à compressão, compreendidas aproximadamente entre os 25 MPa e os 95 MPa. Para cada uma das “famílias de argamassas” seleccionadas, produziram-se betões combinando diferentes razões V_p/V_s com diferentes razões V_m/V_g . As combinações estudadas para cada “família de argamassas” apresentam-se no Quadro 2 e são associadas a um número que se designou de MN (**M**ixture **N**umber), que traduz o produto das razões em volume absoluto V_p/V_s e V_m/V_g . Para todos os betões produzidos foram moldados 5 provetes cúbicos de 150 mm de aresta para serem ensaiados à compressão aos 7 e 28 dias de idade.

Quadro 2 – Combinações entre V_p/V_s e V_m/V_g estudadas para cada “família de argamassas”

V_p/V_s	V_m/V_g	MN	V_p/V_s	V_m/V_g	MN	V_p/V_s	V_m/V_g	MN
---	---	---	0,70	2,60	1,82	0,60	2,60	1,56
0,80	2,40	1,92	0,70	2,40	1,68	0,60	2,40	1,44
0,80	2,20	1,76	0,70	2,20	1,54	0,60	2,20	1,32
0,80	2,00	1,60	0,70	2,00	1,40	---	---	---

O procedimento de amassadura dos betões foi similar àquele adoptado para as argamassas, excluindo a paragem para limpeza das pás que já não era necessária. As propriedades reológicas foram avaliadas indirectamente pelo ensaio de espalhamento no cone de espalhamento e de fluidez no funil-v, respectivamente, através da medição do diâmetro médio de espalhamento, em mm e do tempo de escoamento, em segundos. O intervalo de variação admissível para as propriedades reológicas

corresponde, respectivamente, a D_m entre 600 mm e 700 mm e t entre 10 s e 20 s. Todos os betões produzidos neste trabalho cumpriram os intervalos de variação de D_m e t previstos. O cone de espalhamento e o funil-v possuem as dimensões interiores que se apresentam na Fig. 2.

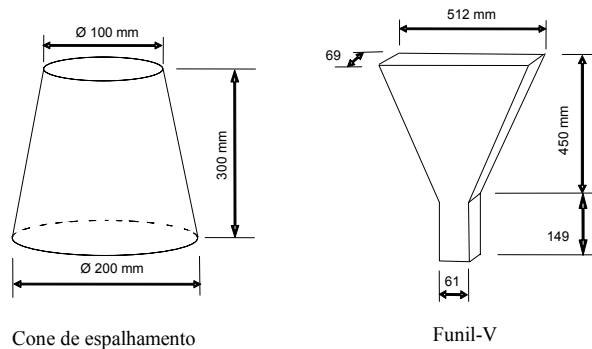


Figura 2 – Dimensões interiores do cone de espalhamento e do funil-V para betões

A auto-compactabilidade foi avaliada através do ensaio da Caixa-L, que possui as dimensões ilustradas na Fig. 3. Um betão foi considerado auto-compactável quando a relação $H2/H1$ medida na Caixa-L foi igual ou superior a 0,80. Apenas uma parte dos 60 betões produzidos cumpriu os requisitos de auto-compactabilidade da Caixa-L, pelo que foi possível avaliar diferentes níveis de auto-compactabilidade, abaixo e acima do valor de referência.

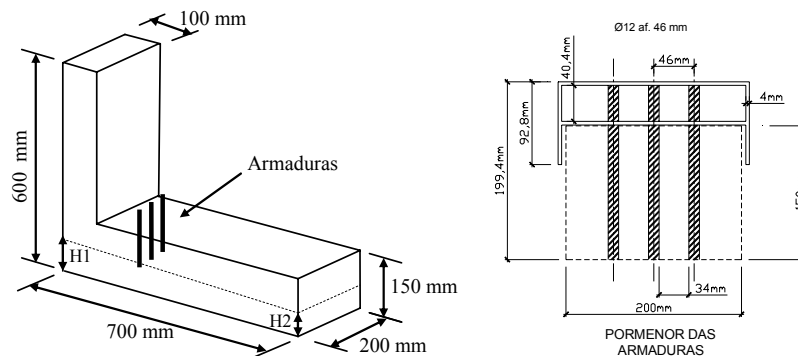


Figura 3 – Dimensões interiores do ensaio de auto-compactabilidade na Caixa-L para betões

3. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

3.1 Estudos em argamassas

3.1.1 Correlação entre os parâmetros da composição das argamassas

Os resultados mais significativos dos estudos em argamassas obtidos na primeira fase são descritos de forma resumida neste artigo. Informações mais detalhadas podem ser obtidas nas referências [6, 7, 8].

Os valores definidos para o intervalo de variação dos parâmetros reológicos das argamassas revelaram-se adequados. A área de espalhamento relativa (G_m) variou entre os 5,3 e os 5,9 e a velocidade relativa de escoamento (R_m) entre $1,14s^{-1}$ e $1,30s^{-1}$.

Em termos gerais observou-se em cada família de argamassas, que o aumento de V_p/V_s conduz a menores razões volumétricas V_w/V_p . Verificou-se ainda, nas misturas com o mesmo valor de V_p/V_s , 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. 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 filer granítico, registaram os maiores consumos de água de amassadura, destacando-se claramente das argamassas em que o mesmo cimento foi parcialmente substituído por filer calcário ou cinzas volantes. Por outro lado, parece evidenciar-se o facto de que os consumos de água das misturas com adições de filer granítico igualam sempre o consumo de água das misturas só com cimento, independentemente da percentagem de substituição desse cimento por filer granítico.

Observou-se ainda que, em cada família de argamassas, a dosagem de superplastificante, expressa em termos de Sp/p% (em percentagem), não sofre alterações significativas com a variação de V_w/V_p , ou indirectamente, com a variação de V_p/V_s . Em misturas com o mesmo tipo de cimento e de adição, verificou-se que a dosagem de superplastificante, expressa por Sp/p%, tende a diminuir quando a percentagem de substituição do cimento pela adição aumenta. 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, filer calcário e filer granítico. O maior consumo de superplastificante foi sempre obtido nas famílias de argamassas de referência constituídas apenas por esse cimento.

3.1.2 Parâmetros correlacionados com a resistência

A gama de resistências à compressão das argamassas produzidas situou-se aproximadamente entre os 25 MPa e os 95 MPa. O intervalo de variação da resistência à compressão em cada família de argamassas situa-se em média nos 10 MPa quando 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 contribui para o controle da resistência à compressão. Não existe uma correlação de âmbito geral entre a resistência à compressão e o parâmetro V_p/V_s . Contudo, essa correlação existe para cada uma das famílias de argamassas.

Ao analisar as correlações entre a resistência à compressão e a razão W/C, em massa, observou-se uma correlação geral para cada tipo de cimento, independentemente do tipo e dosagem das adições.

Um dos parâmetros assumidos inicialmente para o controle da resistência à compressão foi a mistura de finos. O presente estudo mostrou ser possível, para um determinado tipo de cimento e adição previamente definidos, estabelecer uma relação entre a razão W/C e a percentagem de substituição do cimento pela adição. No entanto, o presente estudo também evidenciou que essa relação depende fortemente do parâmetro V_p/V_s definido para a argamassa. Na impossibilidade de se apresentar neste artigo todas as seis correlações obtidas, exemplifica-se na Fig. 4 apenas uma dessas correlações.

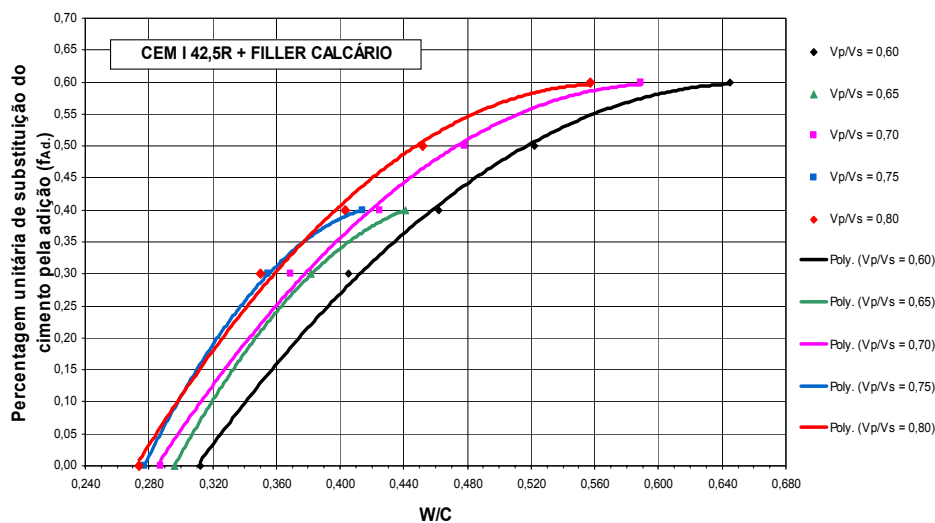


Figura 4 – Relação entre a percentagem de substituição do cimento pela adição f_{Ad} e a razão W/C em massa

O gráfico da Fig. 4 foi obtido a partir das combinações binárias entre o cimento CEM I 42,5R e o filer calcário com as percentagens unitárias de substituição em volume absoluto indicadas no Quadro 1 e

ainda a mistura de referência só com cimento (percentagem de substituição nula). Para cada uma dessas cinco misturas de finos, foram produzidas argamassas com valores de V_p/V_s entre 0,60 e 0,80, em intervalos de 0,05, excepto para as misturas 12 e 13 (Quadro 1) em que o intervalo foi de 0,10. Dessa combinação resultaram 21 argamassas, para as quais se determinou experimentalmente os parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ até que fossem obtidas as propriedades reológicas pretendidas. As argamassas que cumpriram os parâmetros reológicos apresentaram os valores da razão W/C (em massa) que se ilustram neste gráfico. Note-se que a razão W/C da argamassa é a mesma do betão.

3.2 Estudos em betões

3.2.1 Correlação entre os parâmetros da composição dos betões

Na tentativa de relacionar os parâmetros (V_p/V_s), (V_m/V_g), as propriedades reológicas e o grau de auto-compactabilidade, procedeu-se a uma análise extensiva dos resultados obtidos. Para permitir uma análise tridimensional, foi necessário isolar algumas variáveis. Nesse sentido, foi introduzido o parâmetro MN (Mixture Number), sendo que $MN=(V_p/V_s) \times (V_m/V_g)$. O valor de MN mostra uma boa correlação com o volume total de agregados [6]. Dito de outra forma, as misturas com igual valor de MN possuem aproximadamente o mesmo volume de pasta [6].

No presente trabalho verificou-se ainda que para betões com um valor de MN constante o resultado na Caixa-L (H_2/H_1) é afectado sobretudo pela capacidade de deformação medida no ensaio de espalhamento (D_m), ao contrário do que sucede com o tempo medido no funil-v (t), que parece não exercer influência relevante, considerando o intervalo definido e misturas sem segregação dinâmica e sem bloqueio na passagem por aberturas estreitas. Em consequência disso, o parâmetro reológico analisado contempla apenas o diâmetro de espalhamento (D_m), garantindo-se, no entanto, que todas as misturas apresentam valores do tempo de escoamento entre os 10 e os 20 segundos no funil-v. A correlação entre o parâmetro MN, os parâmetros reológicos (D_m) e os parâmetros de auto-compactabilidade (H_2/H_1) foi suportada pelo desenvolvimento de modelos matemáticos que tiveram por base os registos efectuados na análise experimental. A solução matemática desenvolvida apresenta um coeficiente de correlação de aproximadamente 0,90 e é traduzida pela Eq. (3), onde as constantes a , b e c assumem os seguintes valores: $a = 2,189$, $b = -0,0997$ e $c = -673,283$.

$$(H_2/H_1) = a + b \times \frac{MN}{\ln(MN)} + \frac{c}{D_m} \quad (3)$$

Na Fig. 5 são apresentados os valores de H_2/H_1 medidos na Caixa-L em função do parâmetro MN, considerando todos os valores efectivamente registados em laboratório.

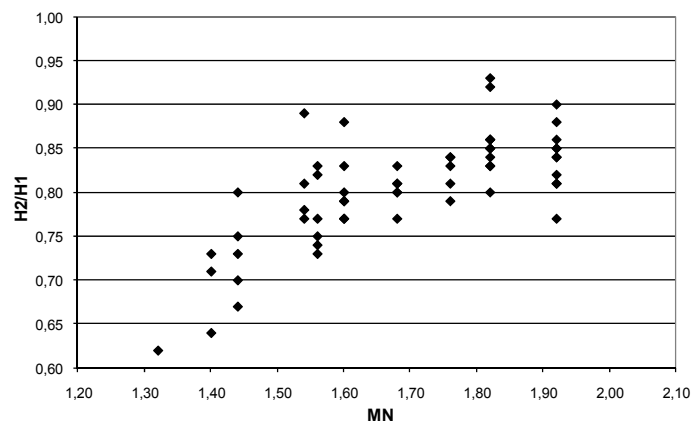


Figura 5 – Relação entre os parâmetros H_2/H_1 e MN a partir dos registos efectuados

Na análise desses resultados (Fig. 5) deve observar-se que o diâmetro de espalhamento (D_m) variou entre 600 mm e 700 mm, enquanto que o tempo de escoamento no funil-v se situou entre os 10 e os 20 segundos. A análise é apenas bidimensional e a dispersão verificada nos valores resulta da influência da variação da capacidade de deformação medida no ensaio de espalhamento e representada pelo diâmetro médio de espalhamento (D_m). Torna-se então evidente que não é possível estabelecer uma correlação directa entre estes parâmetros (H_2/H_1 e MN), sem que se isole o efeito que a variação de D_m provocou nos valores de H_2/H_1 . Como se pode inferir da Eq. (3), o efeito de D_m está contemplado no modelo matemático desenvolvido, que pressupõe uma análise tridimensional.

Na Figura 6 sobrepõem-se os resultados obtidos em laboratório, identificados como “registos”, com aqueles gerados pelo modelo matemático para diferentes diâmetros de espalhamento que correspondem às diferentes curvas apresentadas. Uma análise detalhada dos resultados obtidos em laboratório com aqueles produzidos pelo modelo matemático confirmou a validade desse modelo, permitindo explicar a dispersão de valores representada na Figura 5. Informação mais detalhada sobre a validade do modelo pode ser consultada na referência [6].

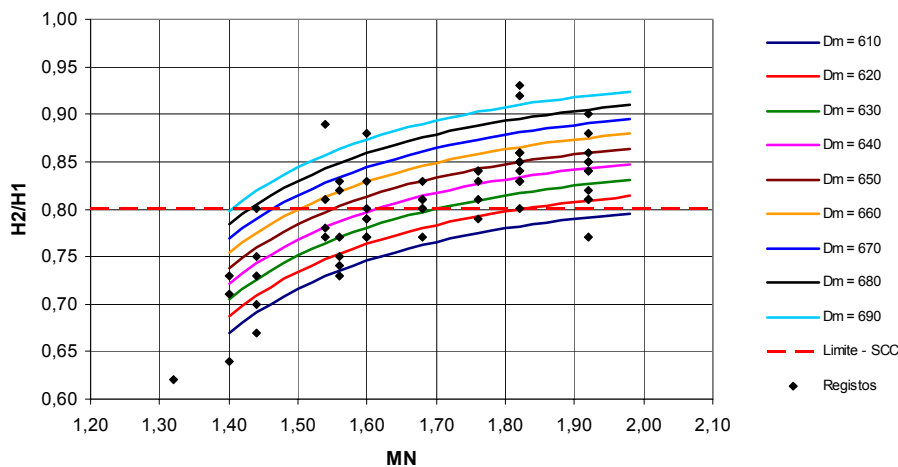


Figura 6 – Relação entre os parâmetros H_2/H_1 , MN e D_m

Os resultados obtidos permitiram concluir que o volume de agregados grossos do betão não pode ser definido independentemente das propriedades da argamassa que este incorpora. Mais concretamente, a razão (V_m/V_g), conducente à obtenção de determinadas propriedades reológicas (D_m , t) e determinada auto-compactabilidade (H_2/H_1), não poderá ser definida independentemente da razão (V_p/V_s) da matriz argamassa. Fixado o valor de MN pretendido e conhecido o valor de (V_p/V_s) da argamassa, determina-se o valor de (V_m/V_g) adequado especificamente a essa argamassa. 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 . 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 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 .

Okamura et al. [1, 2, 3, 4] propõem a adopção de um volume de agregados finos de 40% do volume da argamassa ($V_s/V_m=0,40$) e um volume de agregados grossos de 50% do volume aparente compactado destes agregados no estado seco ($V_{ap}\%=50$), excluindo o volume de vazios. Para se comparar o modelo matemático com os valores propostos por Okamura, os volumes de agregados finos e grossos das misturas produzidas foram expressos em termos de V_s/V_m e $V_{ap}\%$. Para eliminar a influência da variação da capacidade de deformação foi utilizado o modelo proposto para estimar os valores de H_2/H_1 para um valor médio de $D_m=650$ mm. Os resultados obtidos (Fig. 7) apontam para a necessidade de compatibilizar a relação entre os parâmetros V_s/V_m e $V_{ap}\%$. À medida que se aumenta

o volume de agregados grossos na mistura (Vap%) o valor limite de (Vs/Vm) que conduz à auto-compactabilidade vai reduzindo.

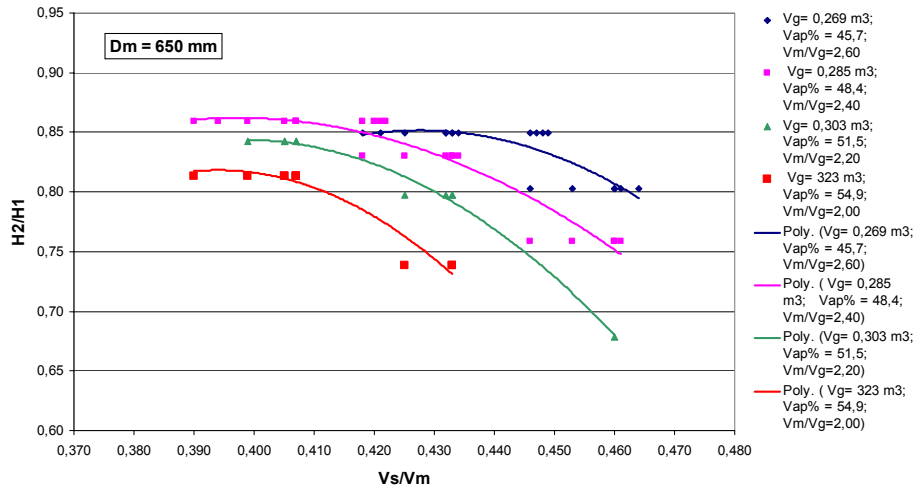


Figura 7 – Relação entre H2/H1 e o volume de agregados para Dm=650 mm

3.2.2 Parâmetros correlacionados com a resistência

A Figura 8 mostra as correlações obtidas entre a razão W/C (água/cimento) em massa e a resistência à compressão dos betões produzidos no âmbito do presente estudo. A gama de resistências à compressão dos betões situou-se aproximadamente entre os 35 MPa e os 90 MPa. Observou-se um padrão de comportamento geral para cada tipo de cimento utilizado, que pode ser considerado, numa primeira abordagem, independente do tipo e dosagem das adições.

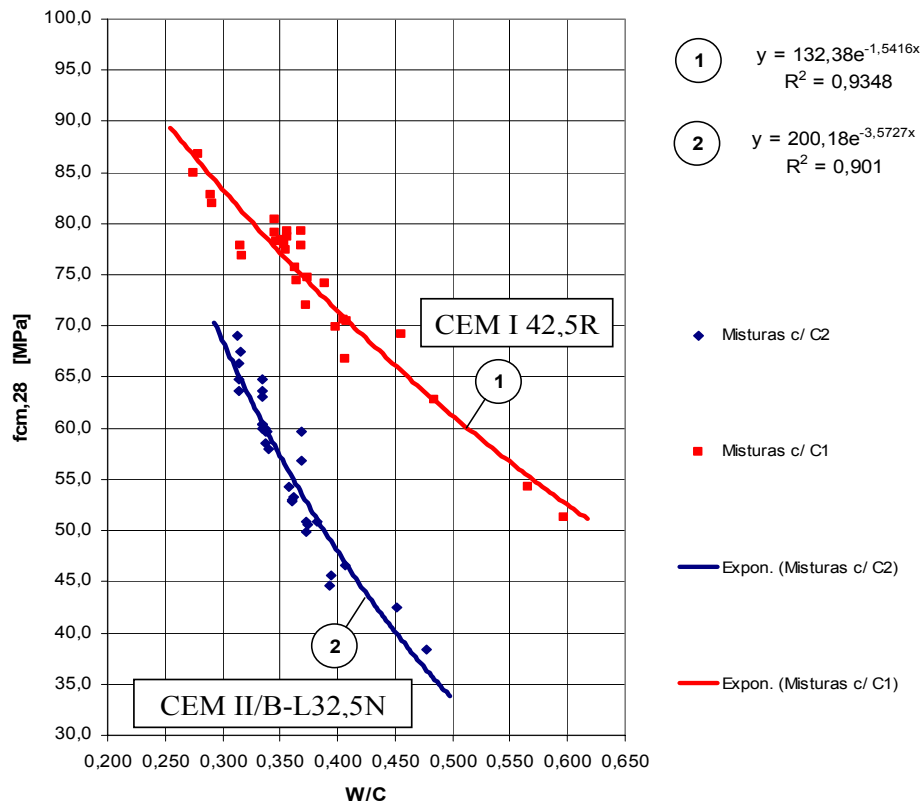


Figura 8 – Relação W/C versus resistência à compressão para os betões auto-compactáveis

4. CONCLUSÕES

Os parâmetros propostos, “família de finos”, V_p/V_s , V_m/V_g e MN, revelaram-se adequados para a compatibilização entre a adequada resistência à compressão e a necessária auto-compactabilidade.

O intervalo definido para as propriedades reológicas das argamassas revelou-se adequado à obtenção das propriedades reológicas pretendidas para os betões e a metodologia adoptada para a determinação laboratorial dos parâmetros V_w/V_p e $Sp/p\%$ revelou-se eficaz.

O volume de agregados grossos do betão (V_m/V_g) não pode ser definido independentemente das propriedades da argamassa que este incorpora. O parâmetro MN relaciona esses parâmetros com a reologia e a auto-compactabilidade. Do mesmo modo, a relação entre os parâmetros da composição e de auto-compactabilidade não pode ser analisada independentemente da capacidade de deformação.

Em associações binárias entre um determinado cimento e uma determinada adição, é possível estabelecer uma correlação entre a razão W/C e a percentagem de substituição do cimento pela adição, quando (V_p/V_s) permanece constante. Poderá também concluir-se que, uma vez seleccionados os materiais finos (cimento e adição) e a gama de resistências pretendida para o betão, é possível estimar a razão W/C e, a partir desta e de (V_p/V_s), estimar a percentagem de substituição adequada.

REFERÊNCIAS

- [1] DOMONE, P. – Mix Design, in «Self-Compacting Concrete: State-of-the-Art Report of RILEM Techn. Committee 174-SCC», RILEM Publications S.A.R.L., ISBN: 2-912143-23-3, 2000, p. 49-65.
- [2] NAWA, T. ; IZUMI, T. ; EDAMATSU, Y. – State-of-the-art Report on Materials and Design of Self-Compacting Concrete, in «Intern. Workshop on SCC», August, 1998, p. 160-190.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] DOMONE, P.L.J.; JIN, J. – Properties of Mortar for Self-compacting Concrete, in «Proc. of the 1st Intern. RILEM Symposium on SCC», Sweden, ISBN: 2-912143-09-8, Sept. 1999, p. 109-120.
- [6] NEPOMUCENO, Miguel – Metodologia para a composição de betões auto-compactáveis, in «Tese de Doutoramento», Covilhã, UBI, Portugal, Março, 2006.
- [7] NEPOMUCENO, Miguel; OLIVEIRA, Luiz– Parameters for Self-compacting Concrete Mortar Phase, in «Fifth ACI/CANMET Intern. Conf. on High-Performance Concrete Structures and Materials, Brasil, Jun 2008», ACI-SP-253-21, USA, May 2008, ISBN:978-0-87031-277-9, p.323-340.
- [8] NEPOMUCENO, Miguel; OLIVEIRA, Luiz– Metodologia de previsão da auto-compactabilidade de betões na fase argamassa, in «Encontro Nacional de Betão Estrutural 2008», Guimarães, Novembro 2008, ISBN 978-989-95961-0-8, p. 281-282.