

## Caracterização de argamassas para assentamento de alvenaria de tijolo

Manuel F Paulo Pereira  
Universidade do Minho  
Portugal  
pp@ppsec.pt

José B. Aguiar  
Universidade do Minho  
Portugal  
aguiar@civil.uminho.pt

Aires Camões  
Universidade do Minho  
Portugal  
aires@civil.uminho.pt

Hélder M Antunes Cruz  
Universidade do Minho  
Portugal  
a40472@alunos.uminho.pt

**Resumo:** Neste trabalho foram analisadas propriedades essenciais para um bom desempenho das argamassas de alvenaria de tijolo como: a trabalhabilidade, a resistência mecânica e a capacidade de absorver deformações em função do tipo de ligante e em função de diferentes areias. Com vários tipos de argamassas tradicionais e fabris foram avaliados parâmetros como: a resistência à compressão e à tracção, a energia de fractura, retracção e teor em ar. Variando o tipo de ligante (cimento, cal hidratada e cal hidráulica) e o tipo de areia (natural ou artificial) foi possível concluir acerca dos parâmetros mencionados, assim como fazer a comparação entre argamassas tradicionais e fabris.

**Palavras-chave:** argamassa, compressão, energia de fractura, retracção, teor de ar.

### 1. INTRODUÇÃO

O estudo de argamassas de assentamento assume uma grande importância de forma a minimizar algumas patologias correntes em alvenarias. As argamassas de assentamento representam cerca de 2 a 16 % do volume total de alvenaria [1], mas têm uma influência no desempenho da mesma muito mais acentuada do que esta percentagem possa indicar.

É importante o estudo de argamassas segundo a óptica de desempenho, sendo daí que advém a escolha da argamassa adequada para os trabalhos de execução de alvenaria. As principais funções que as argamassas de assentamento desempenham na alvenaria são: unir as unidades de alvenaria; resistir a esforços mecânicos; distribuir as cargas uniformemente e absorver as deformações da parede de alvenaria. Para tal devem apresentar um conjunto de características das quais se salientam: capacidade de aderência, capacidade de resistir a esforços mecânicos, capacidade de distribuição de cargas, capacidade de absorver deformações, durabilidade e eficiência do ponto de vista da produção, racionalização e economia.

O objectivo deste trabalho baseia-se na caracterização das argamassas de assentamento de alvenaria, em função das areias ideais e de vários tipos de ligantes. Algumas areias foram analisadas no que respeita à sua granulometria e origem, de forma a verificar quais as que

conduzem às melhores argamassas. Foram também analisados vários tipos de argamassas com diversos ligantes nomeadamente o cimento, a cal hidráulica e a cal hidratada. Além das argamassas tradicionais realizadas em laboratório, foram também analisadas argamassas industriais para posterior comparação com as argamassas tradicionais. Numa primeira fase foram caracterizadas as argamassas em função da sua classe de resistência à compressão, e seguidamente com as que conduziram a melhores resultados serão caracterizadas relativamente a determinadas propriedades tais como teor em ar, retracção e energia de fractura.

## **2. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL**

### **2.1 Introdução**

A parte experimental deste trabalho foi realizada em duas fases distintas, ainda que complementares entre si, sendo que numa primeira fase foi elaborado o estudo da composição ideal em função de vários factores de uma argamassa e numa segunda fase a caracterização dessas mesmas argamassas.

Descrevendo de forma sumária as duas fases iniciais do trabalho, na primeira, foram estudados seis tipos de areias sendo três delas artificiais e três naturais, de forma a poder avaliar:

- A granulometria mais aconselhável para a realização de argamassas de assentamento de alvenaria;
- O tipo de areia (artificial ou natural) mais aconselhável;
- O traço ideal, para vários tipos de ligantes e de classes, fixando o valor de espalhamento e consequentemente dando a todas as argamassas realizadas uma trabalhabilidade idêntica.

Terminado este estudo foram seleccionadas duas areias, sendo uma artificial e outra natural, que conduziram à melhor composição das argamassas, para ser realizada uma caracterização das mesmas relativamente a parâmetros tais como: o teor em ar; a retracção e a energia de fractura. Além de argamassas tradicionais foram também analisadas duas argamassas industriais.

### **2.2 Materiais**

#### **2.2.1 Argamassas tradicionais**

Para a produção das argamassas tradicionais foi estudada uma série de três areias artificiais, (211, 214 e 314) e três areias naturais (LEI, MRE e 505).

As curvas granulométricas das referidas areias, para cada um dos dois tipos (artificiais e naturais), encontram-se situadas respectivamente, à esquerda, dentro e à direita dos limites recomendados pela BS 1200 [2].

Como ligantes foram utilizados o cimento, a cal hidráulica e a cal hidratada apresentando-se as suas características na Tabela 1.

Tabela 1 – Ligantes utilizados na produção de argamassas tradicionais

	<b>Cimento</b>	<b>Cal hidráulica</b>	<b>Cal hidratada</b>
Classe	CEM II B-L 32.5N	NHL 5	CL 90
Resistência à compressão	32.5 MPa (28 dias)	5 MPa (28 dias)	
Massa volúmica real	3.15 kg/dm <sup>3</sup>	2.60 kg/dm <sup>3</sup>	2.00 kg/dm <sup>3</sup>
Massa volúmica aparente	1.20 kg/dm <sup>3</sup>	0.60 kg/dm <sup>3</sup>	0.45 kg/dm <sup>3</sup>

### 2.2.2 Argamassas industriais

Foram estudadas duas argamassas industriais: uma seca e outra estabilizada (pronta). As suas características de acordo com informação do produtor, são apresentadas seguidamente nas Tabelas 2 e 3

Tabela 2 – Características da argamassa seca

<b>Designação</b>	<b>Valor</b>
Consistência (cm)	17 ± 5
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	≥ 5
Tempo aberto (min)	> 60
Densidade fresca (kg/m <sup>3</sup> )	1950 ± 200
Baridade (kg/m <sup>3</sup> )	1500 ± 200

Tabela 3 - Características da argamassa estabilizada

<b>Designação</b>	<b>Valor</b>
Consistência (cm)	16 ± 5
Resistência à compressão aos 28 dias (MPa)	≥ 10
Tempo aberto (min)	> 1140
Densidade fresca (kg/m <sup>3</sup> )	1750 ± 200
Baridade (kg/m <sup>3</sup> )	1300 ± 200

### 2.3 Formulação da composição das argamassas

O estudo da composição das argamassas foi baseado na Fórmula de Bolomey para determinação da água unitária de molhagem de cada tipo de areia. Optou-se por fazer a análise dos 6 tipos de areia apresentados anteriormente mantendo constante a quantidade de ligante (cimento), e a classe de resistência pretendida M5 (traço 1:4).

Se tentássemos fixar a mesma razão A/C seria impossível obtermos uma trabalhabilidade razoável em todas as areias uma vez que estas possuem curvas granulométricas muito distintas, desde areias muito finas até areias grossas.

Não sendo possível manter a mesma razão água/cimento já que as areias eram bastante distintas, manteve-se constante a trabalhabilidade avaliada pelo ensaio da mesa de espalhamento [3] em 160 mm, e com esse valor determinou-se a quantidade de água para cada uma das argamassas. As composições obtidas para as argamassas são apresentadas seguidamente na Tabela 4, sendo as areias designadas por 211, 214, 314, LEI; MRE e 505 e o módulo de finura por MF.

Tabela 4 – Estudo de composição da argamassa de cimento de classe M5

Tipo	Areia		Cimento		Água	A/C
	Designação	MF (kg)	(kg)	(kg)	(dm <sup>3</sup> )	
Artificiais	211	1.00	5.42	1.2	1.62	1.35
	214	2.27	5.98	1.2	1.38	1.15
	314	3.88	6.04	1.2	1.14	0.95
Naturais	LEI	1.25	5.59	1.2	1.51	1.26
	MRE	2.07	6.16	1.2	1.36	1.13
	505	3.50	6.18	1.2	0.98	0.82

Seguidamente com estas composições foram efectuados prismas de 40x40x160mm<sup>3</sup> para serem ensaiados à compressão e à flexão segundo a norma EN 1015-11 [4]. Os resultados obtidos para as argamassas com uma idade de cura de 28 dias apresentam-se nas Figuras 1 e 2.

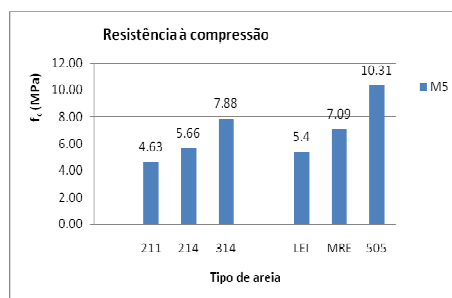


Figura 1 – Resistência à compressão da argamassa de cimento de classe M5

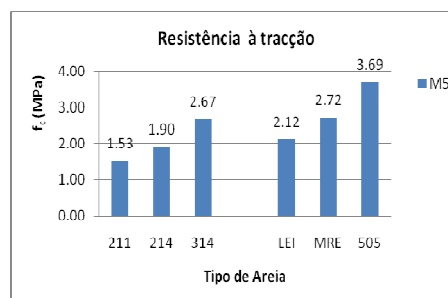


Figura 2 – Resistência à tração da argamassa de cimento de classe M5

Como se pode constatar pela análise dos gráficos das figuras 1 e 2, as argamassas de areias situadas à esquerda (mais finas) do fuso granulométrico imposto pela BS1200 [2] (211 e LEI) apresentam baixos níveis de resistência quando comparadas com as argamassas de areias situadas à direita (mais grossas) do fuso (314 e 505). Na realidade a argamassa de areia artificial à esquerda do fuso, 211, acabou por ficar aquém da classe de resistência pretendida (4,63 MPa), quando o mínimo a esperar seriam 5 MPa. Este facto poderá ficar-se a dever à quantidade de água que foi necessário adicionar às amassaduras com areias mais finas de modo a obter a trabalhabilidade desejada (16 cm de espalhamento), ao contrário das argamassas de areias 314 e 505 que precisaram de muito menos água para atingir o mesmo espalhamento.

Podemos ainda constatar que, as argamassas executadas com areias cuja granulometria se situa dentro dos limites do fuso, são as que apresentam resultados mais próximos da classe de resistência pretendida. A argamassa de areia natural, MRE, obteve valores superiores à de areia artificial, 214, para as mesmas classes de resistência.

Uma outra observação que se pode fazer nesta fase é que, apesar de se ter adoptado o mesmo espalhamento para todas as argamassas, o que implicitamente devia significar uma mesma trabalhabilidade para todas elas, verificamos no decorrer dos ensaios que, todas elas apresentaram trabalhabilidades diferentes. As argamassas mais fáceis de trabalhar

foram as de areias naturais em detrimento da artificial. Dentro das areias naturais sem dúvida que a areia MRE, que se encontra dentro do fuso, foi a que se apresentou como sendo a ideal em termos de facilidade de manuseamento da argamassa.

## 2.4 Ensaios

Após a análise das areias, optou-se por efectuar apenas o estudo das argamassas com as areias cuja granulometria se localiza no interior dos fusos referidos, isto é, com as areias 214 e MRE, pelo facto dos resultados dos ensaios anteriores terem sido os mais satisfatórios para o fim em vista. Deste modo foram obtidas as composições finais, apresentadas na Tabela 5, para os vários tipos de argamassas em função da classe de resistência e do tipo de ligante.

Tabela 5 – Composição das argamassas

Argamassa	Traço	A/C	Cimento	Cal	Cal	Areia	Água		
			(kg)	hidráulica (kg)	hidratada (kg)		Tipo	(kg)	(dm <sup>3</sup> )
M2_C_A	1:6	1.26	1.2			A	8.96	1.51	
M2_C_N	1:6	1.69	1.2			N	9.24	2.03	
M5_C_A	1:4	1.15	1.2			A	5.98	1.38	
M5_C_N	1:4	1.13	1.2			N	6.16	1.36	
M10_C_A	1:3	0.86	1.2			A	4.48	1.03	
M10_C_N	1:3	0.83	1.2			N	4.62	1.00	
M2_C+HL_A	1:1:7	2.10	1.2	0.6		A	10.43	2.52	
M2_C+HL_N	1:1:7	1.71	1.2	0.6		N	10.78	2.05	
M5_C+HL_A	1:1:5	1.44	1.2	0.6		A	7.45	1.73	
M5_C+HL_N	1:1:5	1.28	1.2	0.6		N	7.70	1.54	
M2_C+HT_A	1:1:7	2.00	1.2		0.6	A	10.43	2.40	
M2_C+HT_N	1:1:7	1.87	1.2		0.6	N	10.78	2.25	
M5_C+HT_A	1:1:5	1.54	1.2		0.6	A	7.45	1.85	
M5_C+HT_N	1:1:5	1.22	1.2		0.6	N	7.70	1.46	
CI	Argamassa industrial seca ( $\geq 5$ MPa)								
BE	Argamassa industrial estabilizada ( $\geq 10$ MPa)								

### 2.4.1 Resistência à compressão e à flexão

As resistências à compressão e à flexão aos 28 dias, foram determinadas pela EN1015-11:1999 [4], tendo sido considerados três provetes para os ensaios de compressão e seis para os ensaios de tracção. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 6, onde:  $s$ , é o desvio padrão; e  $f_{t,med}$ ,  $f_{c,med}$ , respectivamente, as resistências médias à tracção e à compressão.

Confirma-se que as argamassas com areias naturais apresentam valores de resistência à compressão mais elevados dentro da mesma classe de resistência e para o mesmo ligante que as areias artificiais. Tal facto prende-se essencialmente com a quantidade de água utilizada nas amassaduras das argamassas de areia artificial para conseguir o espalhamento fixado para todas as argamassas, precisavam de mais água que as argamassas de areia natural. A razão água/cimento é um parâmetro importante para se obterem elevadas resistências mecânicas. Tendo em conta que essa razão é mais elevada

nas argamassas de areia artificial, os valores obtidos para a resistência à compressão foram menores.

As amassaduras de argamassas de cimento para os traços M2, M5 e M10 apresentam resistências razoáveis, verificando-se, mais uma vez, a tendência da areia natural, MRE, para conduzir à obtenção de melhores resultados do que a areia artificial, A, à exceção da classe M2 onde se verificou o contrário. Podemos verificar que as argamassas de cimento e cal hidráulica obtiveram os resultados esperados, verificando-se, uma vez mais, a tendência para valores mais elevados com a utilização da areia natural, MRE.

Tabela 6 – Resistências médias à compressão e à flexão aos 28 dias

Argamassa	Classe pretendida	Flexão (N/mm <sup>2</sup> )		Compressão (N/mm <sup>2</sup> )	
		f <sub>t,med</sub>	s	f <sub>c,med</sub>	s
M2_C_A	M2	1.20	0.07	2.70	0.16
M2_C_N	M2	1.20	0.11	2.80	0.24
M5_C_A	M5	1.90	0.13	5.65	0.46
M5_C_N	M5	2.70	0.23	7.00	0.45
M10_C_A	M10	2.45	0.04	10.80	0.58
M10_C_N	M10	3.10	0.38	11.30	0.78
M2_C+HL_A	M2	1.25	0.09	3.30	0.27
M2_C+HL_N	M2	1.20	0.09	3.30	0.22
M5_C+HL_A	M5	1.60	0.04	5.25	0.22
M5_C+HL_N	M5	1.65	0.07	5.35	0.15
M2_C+HT_A	M2	1.15	0.03	2.55	0.09
M2_C+HT_N	M2	0.90	0.19	2.65	0.19
M5_C+HT_A	M5	1.90	0.02	4.70	0.19
M5_C+HT_N	M5	1.40	0.11	4.70	0.10
CI	M5	1.70	0.33	4.35	1.46
BE	M10	3.20	0.13	9.90	0.13

À exceção da classe M5, as argamassas de cimento e cal hidratada também apresentaram os resultados esperados relativamente à classe de resistência para as quais foram formuladas as composições, mas relativamente à diferença nos valores da compressão quando comparadas as duas areias tal não foi tão evidente, mas também se verificou que a areia natural apresentava melhores resultados. Tal facto deve-se ao endurecimento destas argamassas se processar por carbonatação, enquanto as de cimento e cimento e cal hidráulica o processo de endurecimento é maioritariamente por hidratação, e mais acelerado que o primeiro.

#### 2.4.2 Teor em ar

O teor de ar das argamassas frescas, foi determinado pela EN1015-7:1999 [5]. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 7, onde: s, é o desvio padrão; e T<sub>a</sub>, o teor em ar das argamassas frescas.

As argamassas de cimento em que se utilizaram areias artificiais apresentaram maior valor de teor em ar para as três classes de resistência analisadas. Verificou-se também que o teor em ar diminuía com o aumento da percentagem de ligante, ou seja com o aumento da classe de resistência.

Verificou-se que as argamassas de cimento e cal hidráulica com areias naturais apresentaram maior valor de teor em ar para ambas as classes de resistência.

Tabela 7 – Teor de ar das argamassas frescas

Argamassa	Classe pretendida	Teor de ar (%)	
		T <sub>a</sub>	s
M2 C A	M2	10.9	0.14
M2 C N	M2	10.0	0.28
M5 C A	M5	8.7	0.28
M5 C N	M5	8.1	0.14
M10 C A	M10	6.4	0.28
M10 C N	M10	5.9	0.21
M2 C+HL A	M2	7.1	0.14
M2 C+HL N	M2	10.5	0.00
M5 C+HL A	M5	8.2	0.00
M5 C+HL N	M5	9.3	0.14
M2 C+HT A	M2	7.8	0.00
M2 C+HT N	M2	8.5	0.14
M5 C+HT A	M5	6.6	0.28
M5 C+HT N	M5	8.6	0.00
CI	M5	14.6	0.00
BE	M10	25.0	0.14

Para as argamassas de cimento e cal hidratada verificou-se mais uma vez que as areias naturais apresentavam um valor mais elevado de teor em ar para ambas as classes de resistência, enquanto fazendo a análise entre as classes de resistência verificou-se que quanto maior a classe, e consequentemente a percentagem de ligante, menor era o valor do teor em ar, com excepção das argamassas de areia artificial que originaram sensivelmente valores aproximados.

Nas argamassas pré doseadas verificou-se que a argamassa pronta, BE, apresentava um valor de teor em ar muito elevado comparativamente às argamassas produzidas em laboratório. A explicação para isso pode ter a ver com o facto de em fábrica ser adicionado um introdutor de ar para conferir maior trabalhabilidade à argamassa. A argamassa seca, CI, apresentou um valor de teor em ar também superior à média dos valores das argamassas produzidas em laboratório mas sensivelmente metade da argamassa pronta, BE.

### 2.4.3 Retracção

A retracção das argamassas, foi determinado pela especificação LNEC E398 [6]. Os resultados obtidos encontram-se apresentados nas Figuras 3 a 6.

Na avaliação da retracção das argamassas não foi possível verificar de forma conclusiva a influência do tipo de areia no comportamento da retracção ao longo do tempo. Verificou-se porém, que o tipo de ligante influencia o comportamento da retracção das argamassas, assim como a sua grandeza.

Para todas as argamassas quanto maior era a classe de resistência das argamassas (logo maior quantidade de ligante), também maior era o valor da retracção.

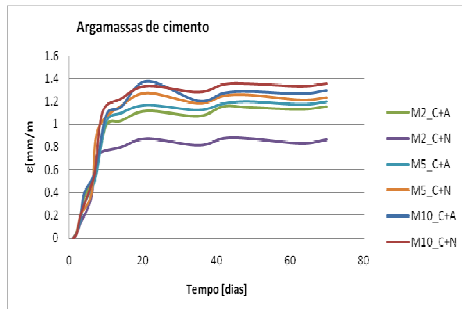


Figura 3 – Evolução da retracção nas argamassas de cimento

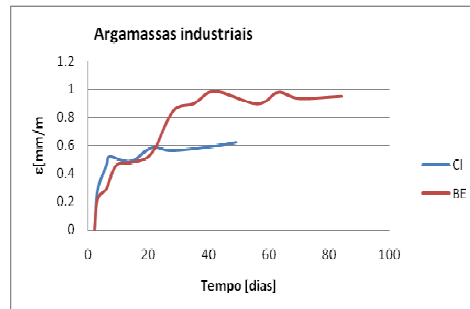


Figura 4 – Evolução da retracção nas argamassas industriais

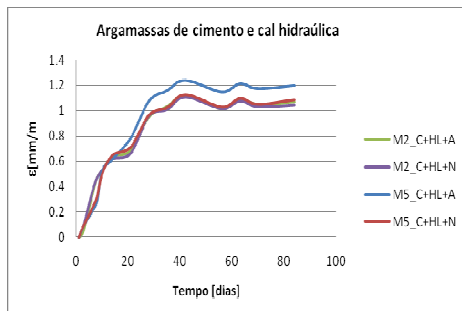


Figura 5 – Evolução da retracção nas argamassas de cimento e cal hidráulica

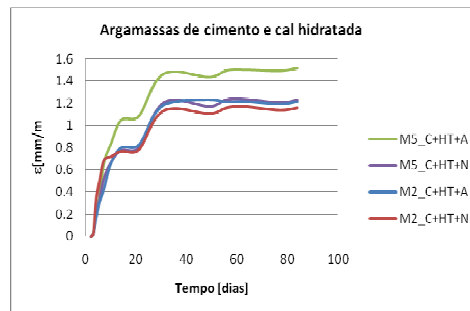


Figura 6 - Evolução da retracção nas argamassas de cimento e cal hidratada

Fazendo a análise de todas as argamassas, quando comparadas dentro da mesma classe verificou-se que as argamassas mistas apresentaram maior valor de retracção quando comparadas com as argamassas de cimento. As argamassas que apresentaram maior valor de retracção foram as de cimento e cal hidratada, seguindo-se as argamassas de cimento e cal hidráulica e por fim as argamassas de cimento. Mesmo na classe M10 de argamassas de cimento verificaram-se valores mais baixos que nas argamassas mistas de cimento e cal hidratada de classe M5.

A retracção é originada maioritariamente pela perda de água ao longo do tempo. Logo argamassas com elevada percentagem de água conduzem a maiores valores de retracção. Tal facto pode explicar o porquê de uma maior retracção nas argamassas de cimento e cal hidratada, já que são estas que necessitaram de maior quantidade de água para ser obtida a mesma trabalhabilidade, como apresentado anteriormente na Tabela 6. No entanto, além destas argamassas exigirem mais água, esta não é consumida na reacção de endurecimento por carbonatação, ao contrário do que acontece com parte da água na hidratação dos ligantes hidráulicos. As argamassas de cimento por sua vez, são as que necessitaram de menos água conduzindo assim a um menor valor de retracção. Além disso com a adição das cais nas argamassas não foi retirado cimento às mesmas, logo a dosagem de ligante nas argamassas mistas era superior à das argamassas de cimento. Uma maior dosagem de



ligante é responsável também por uma maior retracção, daí ter-se observado nas argamassas mistas uma maior retracção.

Verifica-se também que nas argamassas de cimento, quando comparadas com as argamassas de cal, a retracção é muito mais acelerada. Entre o 0 e os 15 dias, a retracção nas argamassas de cimento aumenta significativamente de dia para dia atingindo por volta do 10º a 15º dia o valor que praticamente manteria até ao final das medições. Nas argamassas mistas este comportamento não se verifica. Para estas, a retracção é mais lenta estabilizando só a partir do 30º a 40º dia. A retracção por hidratação do cimento parece assim ser mais significativa que a retracção por carbonatação da cal, neste caso para os primeiros dias de idade.

As argamassas industriais apresentam um valor de retracção significativamente mais baixo que as argamassas tradicionais produzidas em laboratório. Este facto deve-se essencialmente à menor quantidade de água na sua composição, o que poderá ter origem na diminuição da quantidade de ligante, contribuindo assim estes dois factores para valores substancialmente mais baixos de retracção.

Ao longo das medições efectuadas verificou-se que a retracção era quase sempre existente, salvo raras excepções, que se verificaram em tempo chuvoso e húmido.

#### 2.4.4 Energia de fractura

A energia de fractura das argamassas, foi determinado pela especificação RILEM TC50-FMC:1985 [7]. Os resultados obtidos encontram-se apresentados na Tabela 8, onde:  $\delta_0$ , é a deformação final de rotura;  $F_{m\acute{a}x}$ , a força máxima aplicada; RF, a resistência à flexão aos 28 dias; e RC, é a resistência à compressão aos 28 dias. Na referida tabela podemos confrontar os valores da energia de fractura,  $G_f$ , com a razão resistência à flexão/resistência à compressão, ou seja com a ductilidade [8].

Tabela 8 – Energia de fractura

Argamassa	$\delta_0$ (mm)	$F_{m\acute{a}x}$ (kN)	$G_f$ (N/m)	RF (N/mm <sup>2</sup> )	RC (N/mm <sup>2</sup> )	RF/RC
M2_C_A	0.44	0.23	19.24	1.232	2.742	0.449
M2_C_N	0.28	0.30	9.76	1.221	2.831	0.431
M5_C_A	0.70	0.37	28.81	1.900	5.660	0.336
M5_C_N	0.28	0.32	11.44	2.720	7.090	0.384
M10_C_A	0.87	0.77	48.72	2.480	10.813	0.229
M10_C_N	0.59	0.82	32.23	3.140	11.317	0.277
M2_C+HL_A	0.49	0.23	16.63	1.270	3.323	0.382
M2_C+HL_N	0.27	0.26	9.48	1.211	3.322	0.365
M5_C+HL_A	0.73	0.41	29.96	1.614	5.250	0.307
M5_C+HL_N	0.48	0.46	20.49	1.692	5.381	0.314
M2_C+HT_A	0.49	0.16	15.35	1.165	2.566	0.454
M2_C+HT_N	0.18	0.15	6.53	0.895	2.658	0.337
M5_C+HT_A	0.55	0.29	20.97	1.942	4.714	0.412
M5_C+HT_N	0.47	0.34	18.02	1.439	4.730	0.304
CI	0.44	0.39	16.02	3.215	9.926	0.324
BE	0.40	0.60	17.41	1.735	4.346	0.399

Da análise dos resultados é possível constatar que as argamassas de areia artificial para todas as classes e todos os tipos de ligantes apresentam sempre maior valor de energia de fractura. Para argamassas pertencentes à mesma classe de resistência a força máxima é semelhante, verificando-se que como nos ensaios de flexão dos prismas 40x40x160mm<sup>3</sup> também as argamassas de areia natural apresentam valores superiores de força máxima no ensaio de flexão, embora com prismas de dimensões bastante superiores.

O aspecto fundamental que faz a diferença no valor de energia de fractura é neste caso o deslocamento final verificado. Em todas as argamassas de areia artificial é bastante superior comparativamente às argamassas de areia natural o que leva no cálculo da energia de fractura a valores superiores, já que a área do gráfico força/deslocamento é a parte mais importante para obter o valor da energia de fractura. Relativamente ao deslocamento no momento em que é atingida a carga máxima observa-se que, para todas as argamassas estudadas produzidas com a mesma areia, o valor do mesmo é bastante aproximado em todas as argamassas, mas também, neste momento, observam-se valores ligeiramente superiores para as argamassas de areia artificial quando comparadas com as de areia natural.

Quando a carga máxima é atingida, para as argamassas de areia artificial verifica-se sempre um deslocamento ligeiramente superior às argamassas de areia natural. A partir do momento de aplicação da carga máxima observa-se que as argamassas de areia artificial têm uma melhor capacidade de absorção da carga atingindo um deslocamento aquando da rotura bastante superior ao das argamassas de areia natural. Se o deslocamento aquando da aplicação da carga máxima não era tão distanciado fazendo a comparação entre as duas areias, no momento da rotura ele é em algumas das argamassas de areia artificial o dobro das argamassas de areia natural. Tal facto prende-se com a aderência dos grãos de areia artificial à pasta de cimento ser bastante superior comparativamente às areias naturais, que pela sua esferecidade e arredondamento reduzido, ou seja uma relação comprimento/largura do grão de areia alta, leva a um atrito interno maior. Este maior atrito leva a valores relativamente mais elevados de deslocamento até ser atingida a carga máxima, quando comparadas com as argamassas de areia natural, e a valores ainda mais distanciados aquando a rotura do provete.

Para as argamassas industriais verificou-se que a argamassa seca, CI, de classe M5 obteve valores de energia de fractura muito aproximados da argamassa pronta, BE, de classe M10. Mais uma vez o deslocamento final verificado é contributivo para valores superiores de energia de fractura.

Como se pode constatar nos gráficos das Figuras 7 e 8, pode-se dizer, de forma muito simplista, que através de uma regressão linear, encontra-se uma relação clara e directa entre a força máxima aplicada e a energia de fractura calculada, quando analisadas argamassas produzidas com o mesmo tipo de areia.

Como se pode constatar nos gráficos das Figuras 9 e 10, idêntica correlação também pode ser encontrada entre a razão resistência à flexão/resistência à compressão (ductilidade) e a energia de fractura calculada.

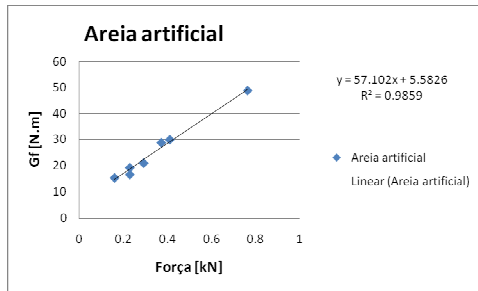


Figura 7 - Relação entre a força máxima aplicada e a energia de fratura para a areia artificial

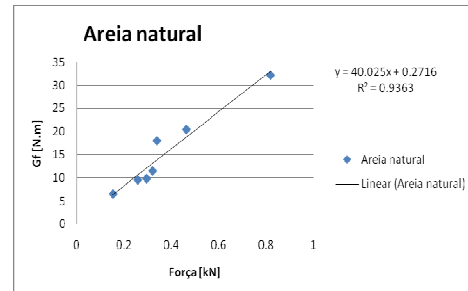


Figura 8 - Relação entre a força máxima aplicada e a energia de fratura para a areia natural

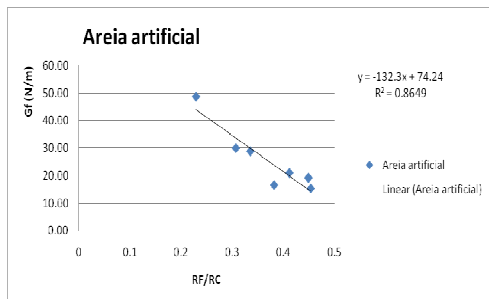


Figura 9 - Relação entre RF/RC e a energia de fratura para a areia artificial

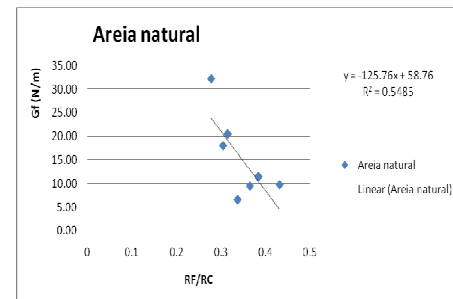


Figura 10 - Relação entre RF/RC e a energia de fratura para a areia natural

### 3. CONCLUSÕES

Do estudo realizado para a composição de argamassas em função do tipo de areia pode concluir-se que as argamassas produzidas com areias naturais conduziram sempre a um melhor comportamento quando sujeitas a ensaios de compressão e flexão. Para as argamassas executadas quer com areias naturais quer com artificiais, quando analisado o fuso granulométrico, as que se encontravam dentro dos limites do mesmo conduziam a valores mais próximos da classe de resistência pretendida. Para as argamassas de areias à esquerda do fuso granulométrico, logo mais finas, verificou-se resultados mais baixos de resistência quando comparados com as argamassas de areias à direita do fuso granulométrico.

Quanto ao teor em ar das argamassas verificou-se que quanto maior é a classe de resistência das argamassas menor o teor em ar das mesmas. Relativamente à influência do tipo de areia utilizado não foi possível tirar uma conclusão geral verificando-se que nas argamassas de cimento, sendo o agregado a areia artificial foram obtidos os maiores valores de teor em ar quando comparadas com as argamassas de cimento da mesma classe. Nas argamassas mistas verificou-se que para o mesmo tipo de argamassa e a mesma classe de resistência as argamassas de areia natural apresentavam maiores valores de teor em ar do que as argamassas com areia artificial. As argamassas industriais

apresentaram ambas um teor em ar bastante superior à média dos valores das argamassas tradicionais, facto que se justifica pela incorporação de introdutores de ar.

Da avaliação da retracção das argamassas, conclui-se que as argamassas de cimento têm uma retracção mais acelerada comparativamente às argamassas mistas, verificando-se que quanto maior é a dosagem de ligante também maior é o valor da retracção para todas as argamassas estudadas. Nas argamassas mistas verificaram-se os valores mais elevados de retracção, facto que é devido à maior quantidade de água utilizadas nestas composições quando comparadas com as argamassas de cimento. As argamassas industriais apresentaram uma retracção menor comparativamente às argamassas tradicionais, o que se relaciona com uma menor perda de peso (por evaporação de água) durante o tempo em que o ensaio decorreu. Tal comportamento parece advir do facto destas argamassas serem obtidos valores de trabalhabilidade estipulados não pela adição de água, mas sim através de outros métodos como os introdutores de ar, levando desta forma a uma diminuição da dosagem de ligante e consequentemente contribuindo para a diminuição da retracção.

O parâmetro energia de fractura calculado para as argamassas estudadas, mostrou ser bastante esclarecedor quando comparadas as argamassas com diferentes areias. Verificou-se uma maior energia de fractura, em todas as argamassas de areia artificial, quando comparadas com as argamassas de areia natural da mesma classe. Tal facto deve-se à maior aderência das partículas das areias artificiais à pasta de cimento o que leva a um deslocamento final maior, e consequentemente, a uma energia de fractura mais elevada. Não foi possível tirar uma conclusão sobre a influência dos diversos tipos de ligante, sendo verificado uma relação bastante directa entre a carga máxima aplicada e o valor de energia de fractura calculada quando analisadas argamassas produzidas com o mesmo tipo de areia. Idêntica correlação também pode ser encontrada entre a razão resistência à flexão/resistência à compressão (ductilidade) e a energia de fractura calculada.

#### 4. REFERÊNCIAS

- [1] <http://www.apfac.pt>. <http://www.apfac.pt/layout.asp?area=3000>. [Online] 20 de Abril de 2009.
- [2] British Standard. *BS 1200 Sand for mortar for plain and reinforced brickwork, blockwalling and masonry*. London, 1976.
- [3] European Committee for Standardization. *EN 1015-3 Methods of test for mortar masonry- Part 3 : Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels, 1999.
- [4] European Committee for Standardization. *EN 1015-11 Methods of test for mortar masonry- Part 11 : Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels, 1999.
- [5] European Committee for Standardization. *EN 1015-7 Methods of test for mortar masonry- Part 7 : Determination of air content of fresh mortar*. Brussels, 1998.
- [6] Laboratório Nacional de Engenharia Civil. *E 398 Betões, Determinação da retracção e da expansão*. Lisboa, 1993.
- [7] RILEM. *TC50-FMC Determination of fracture energy of mortar and concrete by means of three point bend tests on notched beams. Materials and Structures*, 1985.
- [8] Veiga, Maria do Rosário; Carvalho, Fernanda R. “*Argamassas de Revestimento na Reabilitação do Património Urbano*”. 2.º ENCORE. Lisboa: Junho/Julho de 1994.