

## 4º Congresso Português de Argamassas e ETICS

### Avaliação da introdução de resíduo da indústria têxtil em argamassas

Cristiana Gonilho- Pereira ESTBarreiro/IPS Portugal cristiana.pereira@es tbarreiro.ips.pt	Ana Isabel G. Martins ESTBarreiro/IPS Portugal ana.martins@estbar reiro.ips.pt	Paulina Faria FCT/UNL Portugal paulina.faria@fct.u nl.pt	Raul Fanguero UMinho Portugal rfang@det.uminho.p t
--	---	--	--

**Resumo:** O setor têxtil produz uma grande quantidade de resíduos de natureza fibrosa e, embora a sua utilização na construção seja hoje uma realidade, a acumulação destes resíduos em aterros sanitários continua a ser uma preocupação. Tendo em vista o desenvolvimento sustentável, através da diminuição da acumulação destes resíduos e da promoção da sua reutilização, apresenta-se o desenvolvimento da aplicação de resíduos fibrosos com aplicação técnica, na construção. Este artigo apresenta a caracterização de argamassas de cimento reforçadas com fibras resultantes da indústria têxtil e pretende demonstrar a influência da dosagem de fibras no desempenho das argamassas.

**Palavras-chave:** Fibras têxteis, resíduos, cimento, argamassas, propriedades mecânicas/físicas.

## 1. INTRODUÇÃO

A escolha correcta da dosagem de fibras a utilizar no reforço de argamassas de cimento é um factor determinante no seu desempenho. A utilização de materiais fibrosos no reforço de argamassas de cimento tem sido sugerida como um dos métodos mais eficazes para melhorar o seu desempenho do comportamento: mecânico [1,2]; de fenómenos relacionados com variações dimensionais [3,4,5,6]; e no que diz respeito à durabilidade [3].

A escolha correcta da dosagem de fibras a utilizar nas argamassas de cimento é um factor de elevada importância, uma vez que influencia o comportamento e as características destas argamassas.

As fibras utilizadas no reforço de matrizes têm a capacidade de agir como uma “ponte” entre os constituintes que compõe a sua matriz. Se as fibras de reforço se apresentarem uniformemente distribuídas na matriz, a retracção pode ser minimizada e, consequentemente, as microfissuras que derivam deste fenómeno ficam impedidas de se transformar em fissuras. Desta forma, a redução das resistências mecânicas, significativo aumento da entrada de água, e posterior deterioração por ciclos sucessivos de gelo-degelo podem ser minimizados, ou até mesmo evitados.

De forma a avaliar a influência da dosagem de fibras nas argamassas com base cimentícia foi realizada uma campanha experimental que compreendeu um conjunto de ensaios mecânicos e físicos, nomeadamente: determinação do módulo de elasticidade dinâmico, de resistência à tracção por flexão e à compressão, de absorção de água por capilaridade,

de secagem, de determinação da porosidade aberta, da condutibilidade térmica, da resistência aos cloretos e de aderência.

## 2. CAMPANHA EXPERIMENTAL

### 2.1 Preparação das argamassas e provetes

Para a produção das argamassas, foi utilizado um cimento Portland, CEM II / BL 32,5N comercializado pela Secil, e dois tipos de areia: areia fina lavada 0/2 da Herdade da Mesquita em Sesimbra (arF) e uma areia grossa lavada 0/4 do Pinhal Conde Cunha 4 no Seixal (arG). As areias foram utilizadas em mistura de dois volumes de areia fina e quatro de areia grossa, com o objectivo de obter uma areia bem graduada (arF+G) e com reduzido volume de vazios (Figura 1).

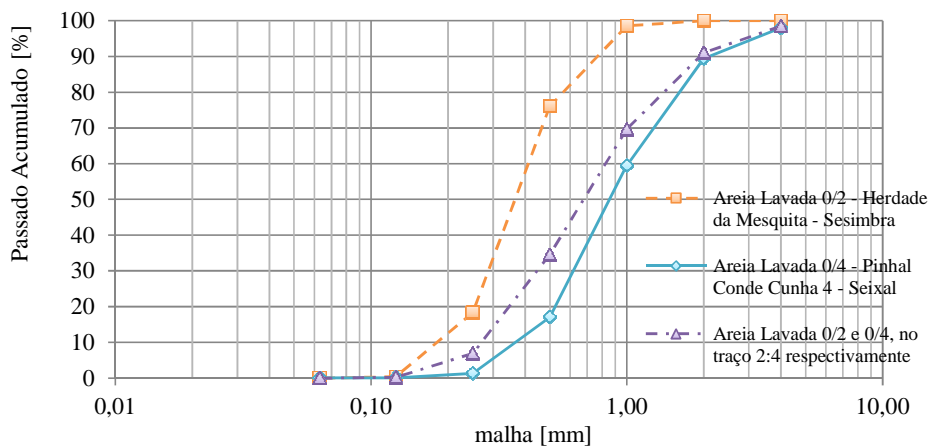


Figura 1 – Curvas granulométricas das areias e mistura de areias

Foram preparadas 7 argamassas com igual constituição em ligante e areia e diferentes dosagens de fibras. As misturas realizadas apresentaram um traço volumétrico 1:6 (cimento: areia) e uma razão água/ligante de 0,7. A dosagem do material fibroso, função da massa de ligante, foi: 0% (argamassa de referência - Ref); 0,25% (F1); 0,5% (F2); 1% (F3); 1,5% (F4); 2% (F5) e 5% (F6).

No que diz respeito ao material fibroso, este é constituído por resíduos da indústria de produção de não-tecidos e apresenta-se na forma de microfibras constituídas por: 85% de fibras de celulose, nomeadamente o algodão; 10% de poliéster; 2% de lã; e pequenas percentagens de poliamida, polipropileno, entre outros (3%).

Na preparação das argamassas procurou-se seguir as indicações das normas NP EN 196-1 [7] e EN 1015-2/A1 [8]; no entanto, optou-se por se fazer algumas alterações quanto à ordem de colocação dos componentes no interior da cuba do misturador e nos tempos de mistura, que a seguir se indica.

Verificou-se que utilizando percentagens elevadas de material de reforço, as fibras aglomeravam-se na pá do misturador e, conseqüentemente, a distribuição homogénea do material de reforço pela matriz não era conseguida. Assim, a argamassa F6, apresenta-se como uma exceção ao procedimento de mistura adoptado, uma vez que a sua homogeneização foi feita manualmente.

Mais, na preparação das fibras, previamente à sua introdução na cuba do misturador, houve o cuidado de, manualmente, proceder à sua separação conforme figura 2.



Figura 2 – Microfibras

De forma a proporcionar uma melhor dispersão das fibras, optou-se pela dispersão em meio húmido, na água da amassadura. Para tal, foram testados três métodos de dispersão: dispersão das fibras na água de amassadura recorrendo a um agitador magnético; dispersão das fibras na água de amassadura recorrendo a ultrassons; e dispersão das fibras na água de amassadura recorrendo a agitação manual durante 60 segundos. De entre as 3 técnicas, optou-se pela terceira, uma vez que com o agitador magnético e com o equipamento de ultra-sons não se obtiveram os resultados esperados.

Já com as fibras dispersas na água de amassadura, esta foi introduzida na cuba do misturador mecânico, adicionando-se, de seguida, os componentes sólidos (previamente homogeneizados a seco). Procedeu-se à mistura durante 30 segundos na velocidade lenta, aos quais se seguiram mais 30 segundos de paragem para se raspar o material acumulado na parte interna da cuba e na pá; por fim, voltou-se a ligar o misturador na velocidade mais rápida durante 120 segundos. Dando cumprimento à norma NP EN 196-1 [7], foram produzidos provetes de argamassa de 40x40x160mm, com recurso a compactação em duas camadas dentro de moldes prismáticos, os quais foram conservados a uma humidade relativa (HR) de 90% e temperatura (T) de 20°C. Aos 3 dias de idade foram desmoldados e mantidos nas mesmas condições de cura até aos 27 dias. Foram produzidos 6 provetes de cada argamassa, com a exceção da F6 (3 provetes). Para simular o revestimento em paredes, na altura da produção das amassaduras foi revestido um tijolo, com uma espessura de 2 cm em camada única.

Antes da realização da campanha experimental, foi estabelecida qual a utilização a dar a cada um dos provetes. Apresenta-se na figura 3, o esquema da utilização, consoante o tipo de ensaios a realizar.

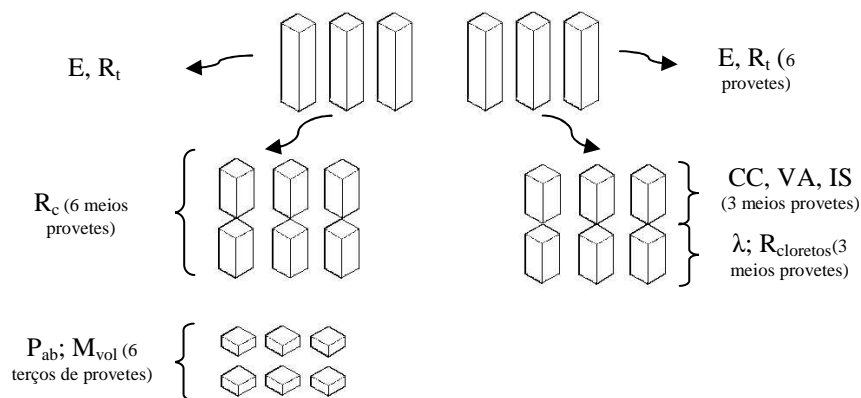


Figura 3 – Utilização dos provetes

## 2.2 Caracterização das argamassas

Para a avaliação da influência da quantidade de água nas argamassas e caracterização no estado fresco, foi realizado o ensaio de consistência por espalhamento através da mesa de espalhamento, seguindo a norma EN 1015-3/A1/A2 [9].

Aos 27 dias de idade, foi realizado o ensaio de módulo de elasticidade dinâmico ( $E$ ), (através de procedimento interno e com recurso a um equipamento de ultra-sons), sem que os provetes tivessem sido previamente submetidos a secagem em estufa, facto que pode instabilizar os resultados, dado o teor em água presente.

As resistências mecânicas são, de todos os factores que influenciam a durabilidade das argamassas, uns dos mais importantes. Contudo, se demasiadamente elevadas, também podem influenciar negativamente a capacidade das argamassas protegerem os suportes onde estão a ser aplicadas. Os ensaios de resistência à tracção por flexão ( $R_t$ ) e à compressão ( $R_c$ ), foram realizados os 28 dias de idade, após realização do ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico, de acordo com a norma EN 1015 – 11/A1 [10].

De forma a avaliar a capacidade de aderência das argamassas produzidas ao suporte, aos 31 dias de idade, os tijolos revestidos foram sujeitos ao ensaio Pull-Off, seguindo a norma EN 1015-12 [11].

A determinação da porosidade aberta ( $P_{ab}$ ) e da massa volúmica aparente ( $M_{vol}$ ), realizou-se com base na norma NP EN 1936 [12], aos 31 dias de idade, com os topos íntegros dos provetes provenientes dos ensaios de resistência à compressão. Uma vez que a presente norma está direccionada para provetes de pedra natural, foram efectuadas algumas adaptações para o ensaio das argamassas de cimento. Antes da realização deste ensaio, os provetes foram secos em estufa durante 48 horas a uma temperatura de 60 °C, tempo que se revelou suficiente para os provetes atingirem massa constante.

Relativamente à absorção de água por capilaridade, os ensaios foram realizados com base na norma EN 1015-18 [13] e EN 15801 [14], aos 31 dias de idade, com excepção da argamassa F6 que se realizou aos 52 de idade, utilizando 3 metades de provetes, de cada argamassa, provenientes do ensaio de resistência à compressão. Antes da realização deste

ensaio, as metades dos provetes foram colocadas em estufa, a temperatura de 60 °C, durante 48 horas. É de salientar que as faces laterais dos provetes não foram seladas, considerando minorar a evaporação bidireccional pelo facto do ensaio ser executado em ambiente saturado.

Para a realização do ensaio de secagem, foi tomado como referência o estudo efectuado por Brito, V. [15]. O ensaio foi realizado aos 39 dias de idade, com as metades dos provetes provenientes do ensaio de absorção de água por capilaridade (3 metades de provetes). Novamente, excepção para a argamassa F6 cujo ensaio teve início aos 59 dias de idade. Tal como aconteceu nos ensaios de absorção de água por capilaridade, também na secagem optou-se por não fazer a selagem das laterais dos provetes. Durante a fase de secagem, os provetes foram mantidos dentro de uma câmara climática com temperatura de 20 °C e humidade relativa de 50%.

O ensaio de condutibilidade térmica foi efectuado aos 46, 47 e 48 dias de idade. Desde que os provetes saíram da câmara de cura, aos 27 dias de idade, até à data da realização do ensaio, foram acondicionados numa sala com humidade relativa e temperatura na ordem dos  $50\pm 5\%$  e  $26\pm 3^{\circ}\text{C}$ , respectivamente. Como todos os provetes a ensaiar se encontravam em iguais condições ambientais, não houve a necessidade de os levar à estufa antes da realização do ensaio. Para o ensaio de condutibilidade térmica, foram utilizadas as metades dos provetes provenientes do ensaio de resistência à flexão (6 provetes).

O ensaio para a determinação da resistência face à acção dos cloretos foi realizado aos 3 meses de idade, utilizando os meios provetes provenientes do ensaio de resistência à tracção. Depois de secos em estufa, os provetes foram mergulhados numa solução saturada de cloreto de sódio durante 24h - 1000g NaCl em 3,4 l de água – e secos novamente até atingirem massa constante. Através da diferença das massas secas de cada provete antes e após a imersão, foi possível determinar a quantidade de cloretos retidos em cada provete. Seguidamente as metades dos provetes foram colocadas numa câmara climática, onde ficaram expostos a ciclos repetidos de 12h a 90% de HR e 12h a 40% de HR, com uma temperatura de 20°C. Durante estes ciclos as metades dos provetes foram pesadas semanalmente de forma a determinar a variação da massa e o tipo de degradação que apresentavam.

### **3. ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Os resultados da consistência por espalhamento são apresentados na tabela 1, as características mecânicas e da estrutura interna das argamassas são apresentadas na tabela 2. Porosidade aberta e massa volúmica aparente, absorção capilar, coeficiente de capilaridade e índice de secagem, na tabela 3; percentagem de coretos retidos e condutibilidade térmica apresentam-se na tabela 4.

#### **3.1 Argamassas no estado fresco**

##### **3.1.1 Consistência por espalhamento**

Como referido anteriormente, a quantidade de água utilizada nas diversas argamassas foi a mesma, de forma a poder ser comparada a influência das diversas dosagens de fibras no valor do espalhamento e tendo em atenção a obtenção de um valor de espalhamento semelhante entre as diferentes argamassas. Na tabela 1 são apresentados os resultados do

ensaio de espalhamento, bem como o aumento, ou diminuição, do espalhamento das diversas argamassas em relação à argamassa de referência.

Verifica-se assim que, entre as argamassas amassadas mecanicamente, não existe uma linearidade dos valores de espalhamento com o acréscimo da dosagem de fibras. A argamassa F6 sobressai-se em relação às restantes, uma vez que tem um espalhamento 10% inferior à argamassa de referência, contudo esta é uma argamassa com uma maior dosagem de fibras e com características de amassadura distintas. Verifica-se também que a variação entre os valores de espalhamento das diversas argamassas, com a excepção da argamassa F6, não é significativa. Não se deteta, assim, uma relação direta entre a consistência e a quantidade de fibras de reforço.

Tabela 1 – Resultados do ensaio de espalhamento (valores médios)

ID	Fibras [%]	Espalhamento [mm]	Variação do esp. [%]	
Ref	0	134	Ref	-
F1	0,25	136	Ref - F1	1,19
F2	0,5	134	Ref - F2	-0,28
F3	1	131	Ref - F3	-2,62
F4	1,5	138	Ref - F4	2,93
F5	2	139	Ref - F5	3,31
F6 - manual	5	121	Ref - F6	-10,02

## 3.2 Argamassas no estado endurecido

### 3.2.1 Características mecânicas e de estrutura interna

O módulo de elasticidade dinâmico, E, dá uma indicação da deformabilidade das argamassas. Argamassas com E muito elevados apresentam baixa deformabilidade. Os resultados do E e respectivo desvio padrão são apresentados na tabela 2 (ensaio de 6 provetes).

Com base nos resultados, verifica-se que com o aumento da dosagem de fibras entre as argamassas F2 e F5 existe uma diminuição do E, ou seja, as argamassas são mais deformáveis, quando comparadas com a de referência. No entanto, na argamassa F6, que incorpora uma elevada dosagem de fibras (5%), o E volta a aumentar, apesar para um valor inferior ao da argamassa de referência. Sendo assim, a incorporação de fibras, revela-se uma mais-valia no que diz respeito à garantia de mais elevada deformabilidade das argamassas.

Igualmente, na tabela 2 e Figura 4, apresentam-se os valores das resistências mecânicas,  $R_t$  e  $R_c$  (valores médios do ensaio de 6 provetes). A resistência à tracção é, geralmente, directamente proporcional ao módulo de elasticidade dinâmico. No entanto, no caso da argamassa F5, tal não se verifica, uma vez que entre as argamassa F4 e F5 o E diminuiu e a  $R_t$  aumentou. Esse facto traduz-se como muito positivo para essa argamassa, potencialmente com maior resistência à fendilhação. No entanto, em termos genéricos, fazendo a comparação das diversas argamassas com a argamassa de referência, verifica-se que a adição de diferentes percentagens de fibras diminui a resistência à tração.

Relativamente à resistência à compressão, foram feitos ensaios para as duas metades de três provetes de cada argamassa, provenientes do ensaio de  $R_t$ , obtendo-se assim dois resultados de resistência à compressão para um mesmo provete. Verifica-se que com o aumento da dosagem de fibras até aos 1,5% o valor da  $R_c$  diminui. Com o aumento da dosagem de fibras de reforço para 2% e 5% (argamassa F5 e F6), verifica-se um aumento da  $R_c$ . Assim, as argamassas com menor dosagem de fibras (F1 e F2) e a argamassa com maior dosagem de fibras, são aquelas que apresentam menor variação de resistência à compressão, quando comparadas com a argamassa de referência, sendo aproximadamente 9%, 14% e 15%, respectivamente, mais “fracas” que a argamassa Ref. Já a argamassa F4 é cerca de 28% menos resistente que a argamassa Ref.

Tabela 2 – Caracterização mecânica (d-dias)

ID	Fibras [%]	E (27d) [MPa]	$R_t$ (28d) [MPa]	$R_c$ (28d) [MPa]	Tensão aderência (31d) [MPa]
Ref	0	5581 ± 135	1,158 ± 0,034	3,734 ± 0,114	0,05 ± 0,017
F1	0,25	4770 ± 146	0,993 ± 0,147	3,406 ± 0,124	0,19 ± 0,070
F2	0,5	5008 ± 203	1,083 ± 0,095	3,203 ± 0,117	0,04 ± 0,007
F3	1	4661 ± 165	1,013 ± 0,125	2,848 ± 0,333	0,04 ± 0,016
F4	1,5	4421 ± 45	0,854 ± 0,183	2,702 ± 0,137	0,09 ± 0,048
F5	2	4398 ± 136	0,943 ± 0,032	2,832 ± 0,032	0,20 ± 0,170
F6 manual	5	4717 ± 149	1,093 ± 0,082	3,164 ± 0,368	0,31 ± 0,000

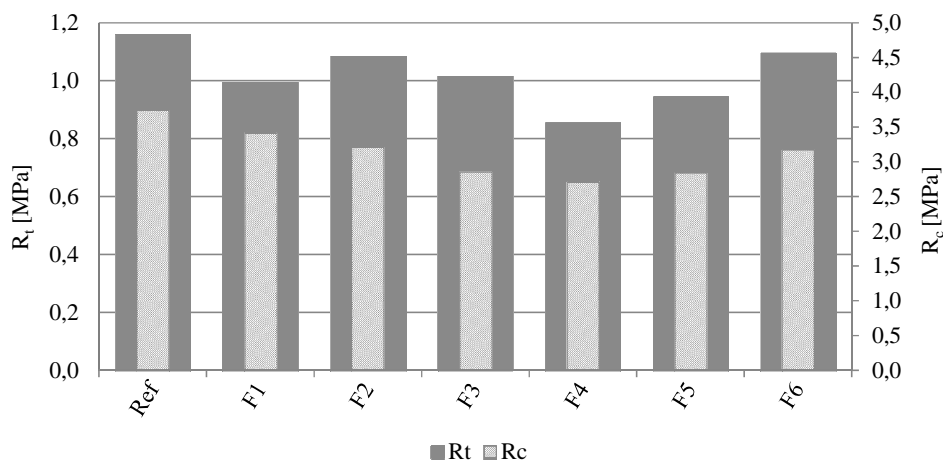


Figura 4 – Resistência à tração ( $R_t$ ) e à compressão ( $R_c$ )

Relativamente à tensão de aderência, verifica-se a existência de uma linearidade entre as argamassas F2, F3, F4, F5 e F6 (valores médios de 5 ensaios); à medida que a dosagem de fibras aumenta, há uma tendência, também, para aumentar a tensão de aderência ao suporte. A adição de percentagens mais elevadas de fibras na constituição das argamassas contribui de uma forma muito significativa para o aumento da tensão de aderência, chegando a valores 557% superiores ao da argamassa de referência.

### 3.2.2 Características físicas

O ensaio de porosidade aberta permite caracterizar a estrutura porosa das argamassas, avaliando-se, assim, o volume de poros presentes no seu interior com ligação a outros poros e ao exterior. Na tabela 3 apresentam-se os valores médios de 6 provetes e respectivo desvio padrão da porosidade aberta,  $P_{ab}$ , e da massa volúmica aparente,  $M_{vol}$ . Constata-se que, à medida que a percentagem de fibras adicionada aumenta, as argamassas são menos compactas dado que a massa volúmica aparente diminui, com a excepção da argamassa F1.

Relativamente aos valores da  $P_{ab}$ , estes são muito semelhantes entre as argamassas F1, F2, F3, F4 e F5. No entanto, no caso da argamassa F6, verifica-se que a porosidade é 19% superior à da argamassa Ref, sendo também esta a que apresenta massa volúmica aparente mais baixa, como era esperado, uma vez que a  $P_{ab}$  é inversamente proporcional à  $M_{vol}$ .

Da análise efectuada em 3 provetes, verifica-se que todas as argamassas, com excepção da F6, apresentam uma velocidade de absorção inicial de água, avaliado através do coeficiente de capilaridade, CC, e capacidade de absorção máxima de água muito idênticas (Figura 5). No caso da argamassa F6, a velocidade de absorção de água inicial é mais baixa e a capacidade de absorção máxima é mais elevada, quando comparada com as restantes argamassas. Na realidade a argamassa F6, tem uma rapidez de absorção inicial cerca de 43,6 % inferior à da argamassa de referência. Tal revela-se positivo, no entanto, em termos de absorção máxima de água, a argamassa F6 absorve cerca de 8% mais água do que a argamassa Ref.

Relativamente à secagem (Figura 6), verifica-se que todas as argamassas apresentam um comportamento muito semelhante. O decréscimo do teor em água foi semelhante em todas as argamassas, com excepção da argamassa F6. Na tabela 3, apresentam-se os valores de índice de secagem (IS). É de salientar que a secagem é tanto mais rápida e fácil de ocorrer quanto mais baixo for o índice de secagem. Com base nos IS, verifica-se, novamente, que todas as argamassas têm um comportamento muito semelhante, com excepção da argamassa F6.

Tabela 3 – Resultados dos ensaios de caracterização física

ID	Fibras [%]	$P_{ab}$ [%]	$M_{vol}$ [kg/m <sup>2</sup> ]	CC [kg/m <sup>2</sup> .min <sup>0,5</sup> ]	Abs. Cap. [kg/m <sup>2</sup> ]	IS
Ref	0	23	1853	1,67	14,55	0,199 ± 0,001
F1	0,25	25	1794	1,81	14,79	0,202 ± 0,007
F2	0,5	25	1806	1,81	15,15	0,201 ± 0,005
F3	1	26	1779	1,75	14,64	0,201 ± 0,005
F4	1,5	25	1744	1,73	14,51	0,200 ± 0,007
F5	2	26	1725	1,73	14,81	0,200 ± 0,006
F6 - manual	5	28	1718	0,94	15,73	0,241 ± 0,010



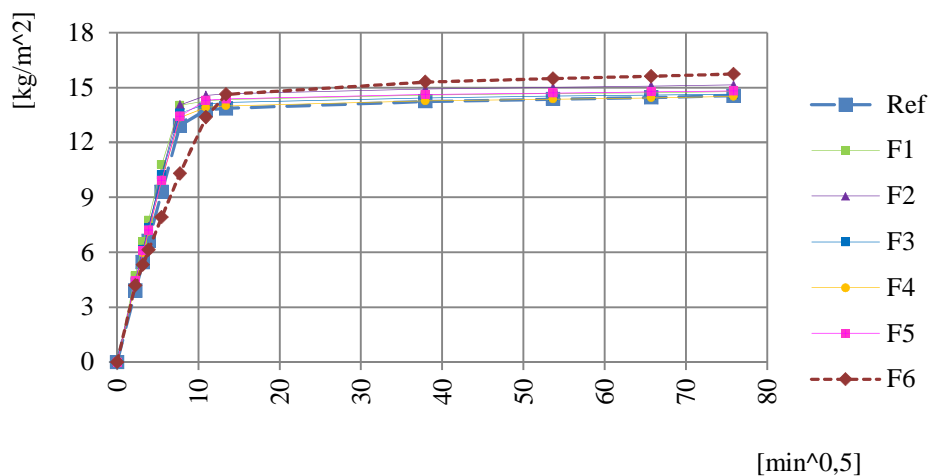


Figura 5 – Curvas de absorção capilar das diversas argamassas

A condutibilidade térmica revela a capacidade que os materiais possuem em conduzir calor. Materiais com elevada condutibilidade térmica,  $\lambda$ , conduzem o calor de uma forma mais rápida quando comparados com materiais com uma baixa condutibilidade térmica.

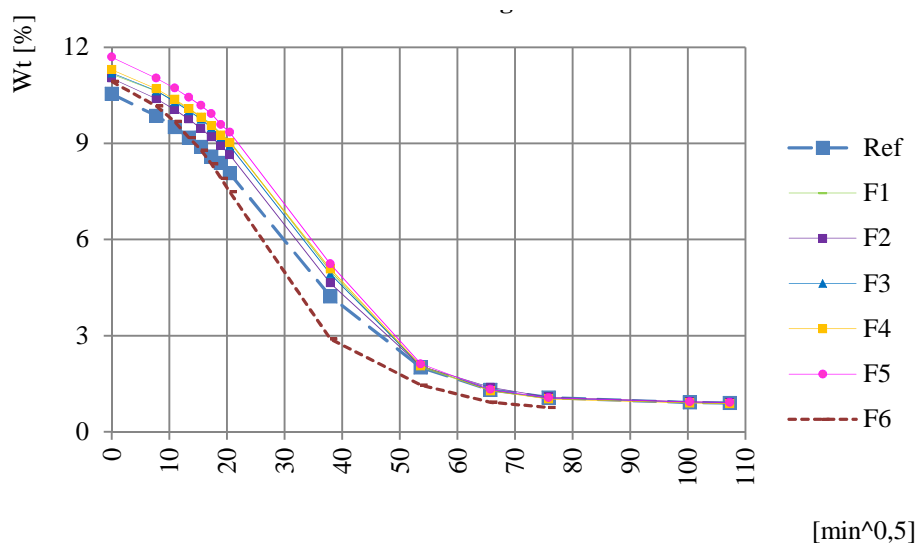


Figura 6 – Curvas de evaporação das diversas argamassas

No presente caso de estudo, interessam argamassas com baixos valores de  $\lambda$ , uma vez que se pretende argamassas para revestimentos ou enchimentos com boas características de isolamento térmico. Na tabela 4, apresentam-se os valores médios de condutibilidade térmica obtidos em 3 provetes. Todas as argamassas, quando comparadas com a de referência, apresentam um valor de condutibilidade térmica inferior, principalmente a argamassa F5, em que  $\lambda$  é 26% mais baixo que o da argamassa Ref, o que se torna muito interessante do ponto de vista de comportamento térmico.

Na tabela 4 e na figura 7 é possível verificar a percentagem de cloretos retida nas diferentes argamassas, bem como a variação percentual da massa em função do número de ciclos a que as argamassas foram sujeitas, após a imersão na solução saturada em cloreto de sódio.

Tabela 4 – Caracterização física

ID	Fibras [%]	$\lambda$ [w/m.k]	Retenção de cloretos [%]
Ref	0	1,06	2,21
F1	0,25	0,86	2,37
F2	0,5	0,95	2,30
F3	1	0,87	2,39
F4	1,5	0,85	2,48
F5	2	0,79	2,52
F6	5	0,81	2,19

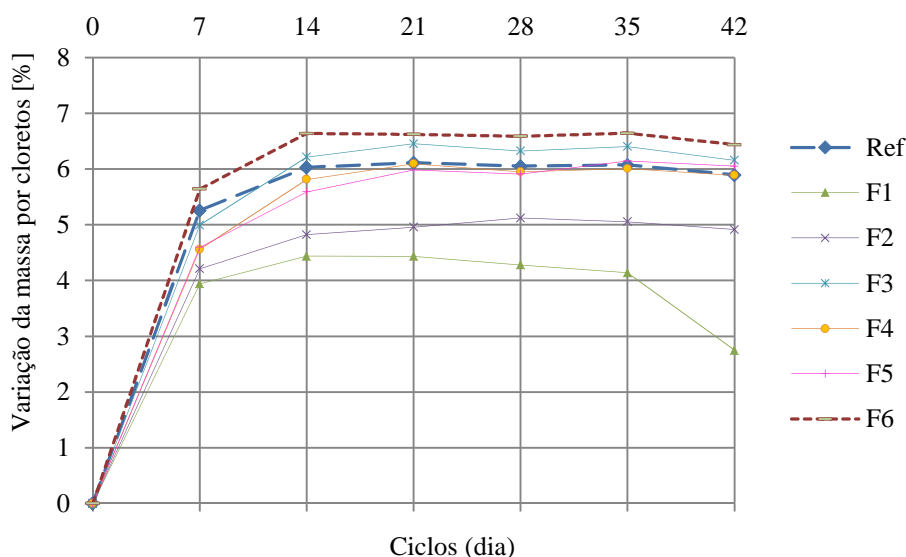


Figura 7 – Variação percentual da massa em função do número de ciclos

Com base na tabela 4, verifica-se que a percentagem de cloretos tem tendência para aumentar com o aumento da dosagem de fibras, da argamassa F2 até à argamassa F5, o que não pode ser justificado pela porosidade aberta, uma vez que a argamassa F6 é a que apresenta  $P_{ab}$  mais elevada quando comparada com as restantes argamassas. Relativamente à variação da massa em função do número de ciclos, pode-se observar, na figura 7, que todas as argamassas apresentam comportamento que demonstra resistência à ação dos cloretos (iminentemente mecânica) até ao fim do ensaio, sem qualquer perda de massa e degradação dos provetes; no entanto, a partir do 21º ciclo a argamassa F1 (com a menor % de fibras) começa a apresentar uma perda de massa gradual até ao 35º ciclo e uma perda mais acentuada a partir deste ciclo.

## 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

A campanha experimental destaca diversos aspetos:

- relativamente ao método de dispersão das fibras em água, apesar de terem sido testados três procedimentos, nenhum deles se revelou completamente eficaz, particularmente no caso da utilização de percentagem de fibras elevada. Considera-se ser necessário analisar outras técnicas para atingir a adequada dispersão das fibras na matriz das argamassas.
- relativamente à trabalhabilidade, a argamassa F5, apesar de já possuir uma dosagem de fibras considerada elevada, apresenta uma boa trabalhabilidade quando comparada com argamassas com menores dosagens de fibras, chegando mesmo a apresentar o valor de consistência mais elevado. Facto curioso são as resistências mecânicas, nomeadamente a  $R_t$  e a  $R_c$ , que apresentam tendência para diminuir da argamassa F2 até à F4 e voltar a aumentar entre F4 a F6. Em termos de  $E$ , uma vez que se pretendem baixos valores reveladores de argamassas não muito rígidas, a argamassa F5 mais uma vez revela-se a mais apropriada para aplicações em revestimentos. No que diz respeito à tensão de aderência, verifica-se o seu aumento com o aumento da percentagem de fibras. Contudo, e por não existir uma tendência clara no comportamento, são necessários estudos complementares focados neste parâmetro.
- a partir de 1,5% de fibras, verifica-se a tendência para a porosidade aberta aumentar, apesar da velocidade de absorção inicial das argamassas diminuir. Já a quantidade máxima de água, que as argamassas podem absorver, aumenta. No que se refere à  $M_{vol}$ , com o aumento da dosagem de fibras, verifica-se a sua diminuição, como esperado, uma vez que as fibras são menos densas do que a argamassa; apenas a argamassa com uma percentagem de fibras de 0,5% não respeitou esta tendência. Relativamente à secagem, este parâmetro não apresenta variação linear, dado que a argamassa com dosagem de fibras de 2% secou mais facilmente do que a argamassa com 1,5% ou 5%. No entanto, importa considerar o facto da argamassa com 5% de fibras ter tido características de amassadura diferentes das restantes e que conduziram a características substancialmente distintas. A percentagem de cloretos retidos aumenta com o aumento da dosagem de fibras (exceto na argamassa F6). Nenhuma argamassa se degradou quando sujeita a ciclos húmidos e secos após contaminação por cloretos, indiciando que as fibras não fragilizam este tipo de argamassas face ao ataque por cloretos, durante o período em análise.

Da análise feita a todas as argamassas, julga-se que a argamassa F5, com uma dosagem de fibras de 2%, é a mais adequada para os fins pretendidos, otimizando as características das argamassas e incorporando um resíduo que não necessitará de sofrer grande preparação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Escola Superior de Tecnologia do Barreiro do Instituto Politécnico de Setúbal, onde todo o trabalho experimental foi desenvolvido. À Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, pela disponibilização do equipamento para avaliar condutibilidade térmica.

## REFERÊNCIAS

- [1] García Santos, A., Rincón, J.M., Romero, M. and Talero, R., Characterization of a polypropylene fibered cement composite using ESEM, FESEM and mechanical testing, *Cement and Concrete Research* 19 (2005), pp. 396–403.
- [2] Segre, N., Tonella E. ,and Joekes, I. ,Evaluation of the stability of polypropylene fibers in environments aggressive to cement-based materials, *Cement and Concrete Research* 28 (1998), pp. 75–81.
- [3] Puertas, F., Amat, T., Fernandez-Jimenez A., and Vazquez, T., Mechanical and durable behaviour of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres, *Cement and Concrete Research* 33 (2003), pp. 2031–2036.
- [4] Mesbah H.A., and Buyle-Bodin, F., Efficiency of polypropylene and metallic fibres on control of shrinkage and cracking of recycled aggregate mortars, *Cement and Concrete Research* 13 (1999), pp. 439–447.
- [5] Veiga, M.R., Behavior of rendering mortars. Contribution to evaluate the cracking susceptibility (in Portuguese), PhD thesis, Oporto University (1997).
- [6] Toledo, R.D., and Sanjuan, M.A., Effect of low modulus sisal and polypropylene fibre on the free and restrained shrinkage of mortars at early age, *Cem Concr Res* 29 (1999), pp. 1597–1604.
- [7] IPQ, NP EN 196-1:2006. Métodos de ensaio de cimentos – Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Monte de Caparica, 2006.
- [8] CEN , EN 1015-2:1998/A1:2006. Methods of test for mortar for masonry – Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars. Brussels, 1998/2006.
- [9] CEN, EN 1015-3:1999/A1:2004/A2:2006. Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels, 1999/2004/2006.
- [10] CEN, EN 1015-11:1999/A1:2006. Methods of test for mortar for masonry – Part 11: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels, 1999/2006.
- [11] CEN, EN 1015-12:2000. Methods of test mortar for masonry – Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. Brussels, 2000.
- [12] IPQ, NP EN 1936:2008. Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação das massas volúmicas real e aparente e das porosidades total e aberta. Monte de Caparica, 2008.
- [13] CEN, EN 1015-18:2002 Methods of test for mortar for masonry – Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels, 2002.
- [14] CEN, EN 15801:2009. Conservation of cultural property. Test ,methods. Determination of water absorption by capillarity. Brussels, 2009.
- [15] Brito, V. Influência dos revestimentos por pintura na secagem do suporte. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil. Caparica, FCT/UNL, 2009.