

## **Incorporação de resíduos de vidro em argamassas de revestimento – avaliação da sua influência nas características da argamassa**

Ana Fragata

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal  
[afragata@lneec.pt](mailto:afragata@lneec.pt)

Maria do Rosário Veiga

Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal  
*Lisboa, Portugal*  
[mrveiga@lneec.pt](mailto:mrveiga@lneec.pt)

Ana Luísa Velosa

Universidade de Aveiro/MIA, Aveiro, Portugal  
[avelosa@civil.ua.pt](mailto:avelosa@civil.ua.pt)

V.M. Ferreira

Universidade de Aveiro/CICECO, Aveiro, Portugal  
[victorf@civil.ua.pt](mailto:victorf@civil.ua.pt)

**Resumo:** A indústria vidreira é responsável por uma enorme quantidade de resíduos de vidro. Constituído essencialmente por sílica amorfa e em menores percentagens sódio e cálcio, o vidro contém uma composição favorável ao desenvolvimento da reacção pozolânica. Pretende-se, com o presente trabalho, verificar a viabilidade da incorporação destes resíduos em argamassas com ligante de cal aérea, em substituição de parte do ligante. Caracterizado o resíduo, avaliada a sua reactividade pozolânica e determinada a proporção adequada de ligante e adição pozolânica, formularam-se argamassas dos ligantes mencionados com incorporação de pozolana (resíduos do vidro) e argamassas de referência, sem adição de pozolana, para comparação. Procedeu-se à determinação das características físicas e mecânicas destas argamassas, com o objectivo de avaliar a influência deste material pozolânico nas propriedades das argamassas. O conhecimento das características das argamassas com incorporação de resíduo de vidro e, em particular, da evolução ao longo do tempo da resistência mecânica e do comportamento em relação à água, permitirá prever o seu desempenho quando aplicadas em revestimentos de paredes. O objectivo final do estudo é a promoção da reutilização de resíduos industriais e a obtenção de produtos sustentáveis e adequados ao campo de aplicação previsto.

**Palavras – chave:** argamassas, revestimentos, materiais pozolânicos, resíduos industriais, caracterização física, caracterização mecânica.

### **1. INTRODUÇÃO**

No presente estudo visa-se desenvolver argamassas de substituição para rebocos de edifícios antigos com incorporação de resíduos de vidro resultantes da indústria vidreira

retirando proveito da sua composição, contribuindo deste modo para a obtenção de argamassas compatíveis com alvenarias antigas, isto é, argamassas dotadas de características químicas, mecânicas e físicas adequadas à sua aplicação em alvenarias antigas. Se por um lado se verifica o desuso das argamassas de cal aérea, por falta de conhecimento do material e das suas técnicas de aplicação, por outro exige-se, actualmente, a promoção de produtos sustentáveis. São estes os dois vectores principais em que se baseia este estudo. As argamassas de cal têm caído em desuso devido às suas baixas resistências, devido ao seu prolongado tempo de cura que não dá resposta à redução dos prazos actualmente impostos para a conclusão das obras e ainda devido à utilização massiva do cimento Portland. Por outro lado, este último pode provocar a degradação dos elementos com os quais está em contacto em vez de os proteger, devido à introdução de tensões excessivas no suporte, à tendência para a água ficar retida no suporte e ainda, à introdução de sais solúveis que não existiam antes nas alvenarias e nas outras argamassas [1].

Vários estudos têm vindo a ser desenvolvidos no LNEC, com recurso à incorporação de materiais com reactividade pozolânica em argamassas de cal, por forma a promover a utilização destas argamassas, que apresentam compatibilidade física e química com as argamassas antigas devido à sua composição similar e comportamento mecânico muito diferente das argamassas de cimento, conseguindo-se assim uma melhoria das suas características e ainda redução dos custos devido ao baixo preço da cal como ligante [2,3]. Para o fabrico de argamassas para conservação, similares às históricas, são utilizadas para além das pozolanas naturais de origem sedimentar (terra diatomácea, moler, gaize, etc.) ou de origem vulcânica (trass, pozolanas dos açores, pozolanas de Santo Antão, pozolanas Italianas, etc.) algumas pozolanas artificiais, tais como: cinzas volantes, sílica de fumo e metacaulino [4,5]. Segundo alguns autores [6], a utilização de cinzas volantes no betão é benéfica em termos de trabalhabilidade e durabilidade, mas tem algumas desvantagens devido às baixas resistências iniciais obtidas. Nas argamassas de cal, as pozolanas naturais como as de Cabo Verde, e alguns dos sub-produtos industriais já referidos (cinzas volantes e sílica de fumo) quando utilizados em substituição parcial do ligante, contribuem para um aumento substancial da resistência e durabilidade destas argamassas, devido à sua elevada reactividade pozolânica [5]. Este conceito é geralmente definido como a capacidade de formação de compostos hidráulicos a partir da reacção com o hidróxido de cálcio, em presença de água.

A utilização bem sucedida destes sub-produtos industriais nas argamassas de cal aérea, leva a pensar que o vidro também poderá ser utilizado com este objectivo, devido à sua composição favorável, exigindo-se que satisfaça os requisitos básicos para pozolana – de granulometria inferior a 300 µm – activando assim o comportamento pozolânico [7].

Para tal será necessário que a resistência mecânica destas argamassas seja superior à das argamassas de cal aérea, mas não excessiva e que a permeabilidade ao vapor de água seja elevada, mantendo-se moderada a absorção de água por capilaridade [8]. Espera-se que o comportamento destas argamassas se enquadre no campo de aplicação pretendido e que com a melhoria das suas características revelem um acréscimo de durabilidade relativamente às argamassas de cal sem adições, dando deste modo um contributo para a melhoria das técnicas e materiais de restauro arquitectónico e, simultaneamente, para a minimização dos problemas ambientais, promovendo a reutilização de resíduos industriais e o desenvolvimento de produtos sustentáveis.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DO VIDRO

Um material pozolânico típico deve apresentar características essenciais: conter elevado conteúdo em sílica no estado amorfo, e ter uma elevada superfície específica. Constituído essencialmente por sílica ( $\text{SiO}_2$  - 72.5%) no estado amorfo e uma menor percentagem de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$  - 13.2%) e cálcio ( $\text{CaO}$  - 9.18%), o vidro apresenta uma composição favorável ao desenvolvimento da reacção pozolânica [9]. Comparativamente com as cinzas volantes, o vidro tem mais  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , mas menor quantidade de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  [5]. De acordo com ASTM C618, o vidro satisfaz os requisitos químicos para pozolana e exhibe uma cor branca favorável à utilização em argamassas de restauro. No entanto não satisfaz o requisito adicional para o teor em alcalis devido à elevada percentagem de  $\text{Na}_2\text{O}$ .

O vidro foi moído de forma a obter a finura desejada, resultando uma superfície específica de  $3060 \text{ cm}^2/\text{g}$ . Esta superfície específica é inferior à das pozolanas de Cabo Verde ( $3250 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) à do pó de tijolo ( $3160 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) mas superior à das cinzas volantes ( $2500 \text{ cm}^2/\text{g}$ ) [5]. Este valor elevado pode ser atribuído à forma alongada das suas partículas mais do que à sua finura [9].

## 3. EXIGÊNCIAS A CUMPRIR PELAS ARGAMASSAS DE SUBSTITUIÇÃO

Em Portugal, verificou-se nos últimos anos a manutenção do traço arquitectónico sem o adequado cuidado pela manutenção da autenticidade dos materiais. Assim, argamassas testadas visam a sua aplicação como rebocos em edifícios antigos, tendo por base a verificação de um conjunto de requisitos: não contribuir para a degradação dos materiais pré-existentes, proteger as alvenarias das acções externas, serem reversíveis, serem duráveis e ainda não contribuírem para a descaracterização estética e visual do edifício no seu todo.

Neste trabalho, as exigências pretendidas foram no sentido de: obter uma argamassa com um comportamento à água adequado – resistência à penetração da água até ao suporte e facilidade de secagem; não introduzir tensões excessivas no suporte – resistência mecânica ligeiramente inferior à do suporte sobre o qual a argamassa será aplicada; módulo de elasticidade semelhante ao do suporte mas ligeiramente inferior.

Os requisitos mínimos propostos para argamassas de revestimento para edifícios antigos são apresentados na tabela 1 [1].

Tabela 1 – Requisitos mínimos de argamassas de revestimento para edifícios antigos

Uso da argamassa	Características mecânicas aos 90 dias (MPa)			Comportamento à água
	Rt	Rc	E	C ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )
Reboco exterior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000-5000	< 1,5; > 1,0
Reboco interior	0,2 – 0,7	0,4 – 2,5	2000-5000	-
Juntas	0,4 – 0,8	0,6 – 3	3000-6000	< 1,5; > 1,0

## 4. TRABALHO EXPERIMENTAL

### 4.1 Preparação da argamassa

Dada a existência de uma grande variedade de traços em argamassas antigas e a existência de estudos anteriormente desenvolvidos pelo LNEC com a proporção volumétrica 1:1:4 (cal : pozolana : agregado), optou-se por este traço, para a argamassa com vidro moído como parte dos constituintes, admitindo que o vidro iria comportar-se parcialmente como ligante, e pelo traço 1:3 (cal : agregado) para a argamassa de referência [8]. As proporções em volume e as composições das argamassas são indicadas na tabela 2. De forma a eliminar a imprecisão no processo de mistura, as proporções em volume foram convertidas em proporções em peso.

Tabela 2. Traços volumétricos

Argamassa	Dosagem volumétrica	Constituintes
CA	1:3	Cal aérea em pó, areia do rio Tejo
CVAS	1:1:4	Cal aérea em pó, vidro moído, areia do rio Tejo
CVAH7	1:1:4	Cal aérea em pó, vidro moído, areia do rio Tejo
CVAH12	1:1:4	Cal aérea em pó, vidro moído, areia do rio Tejo

### 4.2 Condições de cura dos provetes

Os provetes de cal devem ter cura ao ar, para que possam reagir com o CO<sub>2</sub>. Os provetes de cimento como ligante devem ter cura húmida durante os primeiros dias para se darem as reacções hidráulicas. As dúvidas surgem relativamente aos provetes de cal e materiais com características pozolânicas. Os resultados destes provetes, quando submetidos a diferentes condições de cura (temperatura/humidade relativa) não são bem conhecidos.

Por este motivo adoptaram-se, neste estudo, várias condições de cura (Tipos A, B e C) para os referidos provetes, apresentadas na tabela 3. Os tempos de cura em saco plástico com humidade relativa de 95 ± 5% duraram 7 dias no mínimo devido à dificuldade de desmoldagem com tempos de cura inferiores.

Tabela 3. Condições de cura dos provetes

CA e CVAS	<b>Tipo A</b> – Colocação do molde numa sala à temperatura de 23 ± 2°C e humidade relativa de 50 ± 5% durante 2 dias, seguindo-se desmoldagem e colocação nas mesmas condições até à data de realização dos ensaios.
CVAH7	<b>Tipo B</b> – Colocação do molde à temperatura de 20 ± 2°C e humidade relativa de 95 ± 5% durante 7 dias, por envolvimento num saco plástico, seguindo-se a desmoldagem e manutenção dos provetes à mesma temperatura mas a uma humidade relativa de 65% ± 5% até à data de realização dos ensaios.
CVAH12	<b>Tipo C</b> – Colocação do molde à temperatura de 20 ± 2°C e humidade relativa de 95 ± 5% durante 12 dias, por envolvimento num saco plástico, seguindo-se a desmoldagem e manutenção dos provetes à mesma temperatura mas a uma humidade relativa de 65% ± 5% até à data de realização dos ensaios.

Foram executados no total 78 provetes, dos quais 20 para as formulações com proporção volumétrica 1:3 e 60 para as de proporção volumétrica 1:1:4. Destes testaram-se 20 provetes, para cada condição de cura. Os ensaios sobre os provetes realizados e as técnicas adoptadas aos 28 e aos 90 dias são descritos seguidamente.

### **4.3. Campanha de ensaios**

A campanha de ensaios foi executada de forma a testar as principais características das argamassas para que possam ser utilizadas em revestimentos de paredes de edifícios antigos. Para determinar o seu comportamento foram avaliadas relativamente à argamassa em pasta, a retenção de água (prEN 1015-8) e relativamente à argamassa endurecida, a resistência mecânica – obtida através dos resultados dos ensaios de flexão e de compressão (NP EN 1015-11) – o módulo de elasticidade (Norma Francesa NF B10-511F) – e o comportamento à acção da água – avaliado através dos resultados dos ensaios de absorção capilar (EN 1015-18). A preparação dos provetes foi realizada de acordo com o preconizado pela norma NP EN 1015-11 para argamassas de cal aérea, sem utilização de gaze absorvente no fundo do molde e com as condições de cura referidas na Tabela 3. Todos os ensaios foram realizados após 28 e 90 dias de cura sobre 3 provetes.

## **5. RESULTADOS DOS ENSAIOS**

### **5.1. Argamassa em pasta**

#### **5.1.1. Retenção de água**

Na Figura 1 apresenta-se o material laboratorial utilizado para o ensaio de determinação da retenção de água. Na tabela 4 apresentam-se os valores médios, em 3 provetes de cada uma das argamassas em pasta ensaiadas, CA e CVA.



Figura 1 – Material utilizado para o ensaio de determinação da retenção de água.

Através da análise da Tabela 4, verifica-se que a retenção de água para a argamassa em pasta de referência (CA) é superior à da argamassa em pasta com incorporação de resíduos de vidro (CVA).

Este ensaio serve para a análise da capacidade da argamassa em reter água de amassadura, contrariando deste modo a tendência de evaporação da mesma e de absorção por parte do suporte.

Tabela 4. Valores médios e desvio-padrão (DP) da Retenção de água (%)

Argamassa	Retenção de água (%)	
	Média	D.P.
CA	<b>88.02</b>	0.47
CVA	<b>81.04</b>	0.37

## 5.2. Argamassa endurecida

### 5.2.1. Resistência à flexão e à compressão

Como se pode verificar pela Figura 2, as condições de cura tipo A, são as que originam maiores resistências à compressão, enquanto as condições de cura tipo B são as que originam resistências à compressão mais baixas. Aos 90 dias, os provetes submetidos a condições de cura tipo C já apresentam resistência próxima da verificada para as condições de cura tipo A, notando-se um grande acréscimo de resistência à compressão dos 28 para os 90 dias. Verifica-se que, relativamente à resistência à compressão, as condições de cura tipos A e C proporcionam resultados semelhantes aos 90 dias e superiores aos obtidos para a argamassa de referência.

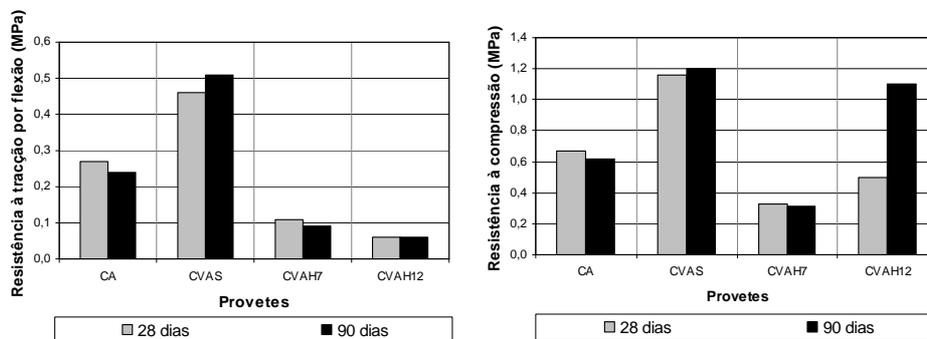


Figura 2 – Resultados dos ensaios de resistência: a) à flexão e b) à compressão

Como se verifica na Figura 2, as condições de cura tipo A são as que propiciam maior resistência à flexão, tal como se verifica para a resistência à compressão. As condições de cura tipo C são as que propiciam menores resistências à flexão, mantendo-se constante no intervalo de tempo dos 28 aos 90 dias. Verifica-se que relativamente aos provetes de referência CA, as condições de cura tipo A induzem maiores resistências à compressão e as condições de cura tipos B e C induzem resistências à compressão bastante inferiores. Na tabela 5 apresentam-se os resultados dos ensaios de resistência à compressão e à flexão para as várias argamassas ensaiadas.

Tabela 5. Resistência à flexão e à compressão (MPa) (DP-desvio padrão)

Argamassa	Flexão				Compressão			
	<b>28 dias</b>	D.P.	<b>90 dias</b>	D.P.	<b>28 dias</b>	D.P.	<b>90 dias</b>	D.P.
CA	<b>0.27</b>	0.02	<b>0.24</b>	0.04	<b>0.67</b>	0.02	<b>0.62</b>	0.04
CVAS	<b>0.46</b>	0.01	<b>0.51</b>	0.04	<b>1.16</b>	0.14	<b>1.20</b>	0.16
CVAH7	<b>0.11</b>	0.03	<b>0.09</b>	0.01	<b>0.33</b>	0.03	<b>0.31</b>	0.03
CVAH12	<b>0.06</b>	0.02	<b>0.06</b>	0.02	<b>0.50</b>	0.17	<b>1.10</b>	0.26

### 5.2.2. Módulo de elasticidade

Em relação ao ensaio de determinação do módulo de elasticidade (Figura 3), comparativamente aos provetes de referência, os provetes curados de acordo com as condições de cura tipo A apresentam valores superiores, enquanto que, aqueles com as condições de cura tipo B possuem os valores mais reduzidos. Aos 90 dias, os provetes com as condições de cura tipo C apresentam um valor ligeiramente superior aos da argamassa de referência.



Figura 3 – Equipamento para ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico

Na Tabela 6 e na Figura 4 apresentam-se os valores do módulo de elasticidade dinâmico das argamassas ensaiadas.

Tabela 6. Módulo de elasticidade (MPa) (DP-desvio padrão)

Argamassa	Módulo de elasticidade (MPa)			
	<b>28 dias</b>	D.P.	<b>90 dias</b>	D.P.
CA	<b>2697</b>	32.3	<b>2715</b>	9.82
CVAS	<b>4809</b>	70.4	<b>5126</b>	385.7
CVAH7	<b>1151</b>	40.5	<b>1157</b>	98.7
CVAH12	<b>2257</b>	165.3	<b>3045</b>	175.9

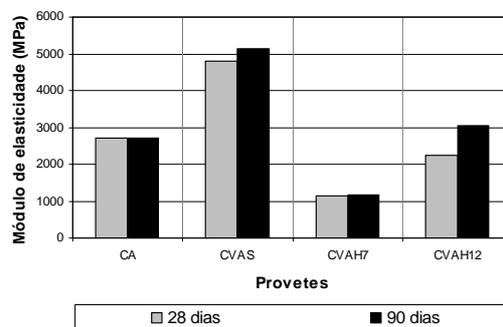


Figura 4 – Módulo de elasticidade

### 5.2.3. Absorção Capilar

O ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade é apresentado na Figura 5. Verifica-se um coeficiente de capilaridade muito elevado para condições de cura tipos B e C, em comparação com as condições de cura tipo A. Em comparação com a argamassa de referência, as condições de cura tipo A para os provetes com incorporação do vidro são as que asseguram valores mais próximos, enquanto que nas restantes condições de cura os coeficientes de capilaridade são bastante superiores.



Figura 5 – Ensaio para determinação do coeficiente de capilaridade

Na Tabela 7 e na Figura 6 apresentam-se os valores dos coeficientes de capilaridade para as várias argamassas ensaiadas. A determinação dos coeficientes de capilaridade dos 0 aos 10 minutos, avaliam a absorção inicial devida aos poros maiores, determinante no comportamento das argamassas de cal aérea, quando sujeitas à acção da água e do gelo. Na Figura 7 representam-se as curvas de absorção de água por capilaridade.

Tabela 7. Coeficientes de capilaridade ( $\text{kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ ) (D.P.-desvio padrão)

Argamassa	Coeficiente de capilaridade dos 0 aos 10 min ( $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )				Coeficiente de capilaridade dos 10 aos 90 min ( $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{min}^{1/2}$ )			
	28 dias	D.P.	90 dias	D.P.	28 dias	D.P.	90 dias	D.P.
CA	<b>2.06</b>	0.14	<b>1.79</b>	0.10	<b>1.11</b>	0.07	<b>1.11</b>	0.03
CVAS	<b>2.02</b>	0.21	<b>1.88</b>	0.10	<b>1.25</b>	0.11	<b>1.24</b>	0.09
CVAH7	<b>3.27</b>	0.49	<b>3.34</b>	0.24	<b>2.43</b>	0.26	<b>2.35</b>	0.21
CVAH12	<b>3.83</b>	0.33	<b>3.70</b>	0.11	<b>3.70</b>	0.15	<b>3.01</b>	0.02

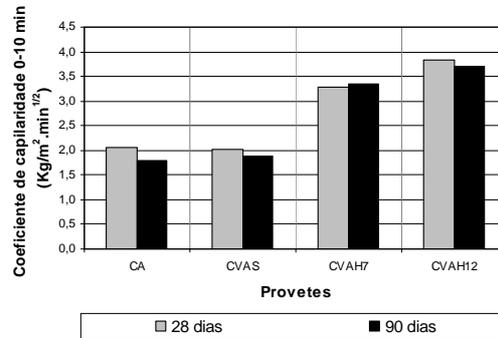


Figura 6 – Coeficientes de capilaridade dos 0 aos 10 minutos

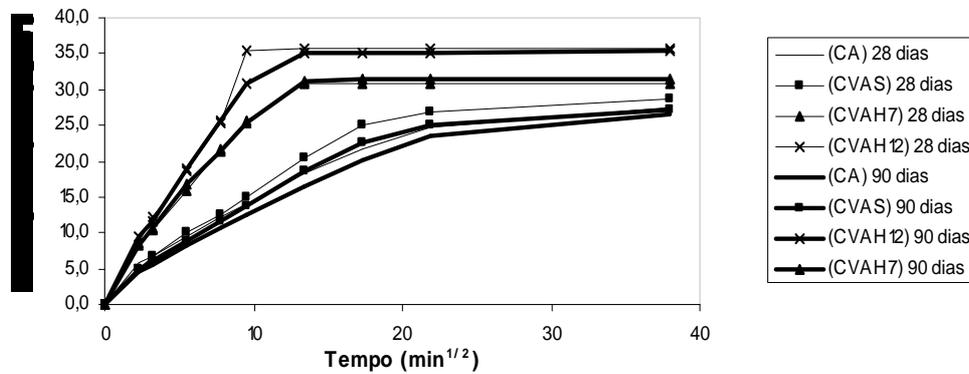


Figura 7 – Curvas de absorção capilar

## 6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 6.1. Relação entre as propriedades da argamassa e as suas condições de cura

O trabalho experimental realizado demonstra que as propriedades mecânicas e físicas das argamassas com a mesma composição variam significativamente com as condições de cura adoptadas.

Com base em trabalhos anteriores [6,10], espera-se que as condições de cura húmida sejam as mais aconselháveis para argamassas com incorporação de pozolanas, obtendo-se uma melhoria das suas características físicas e mecânicas. Admite-se que os resíduos de vidro sejam um material com comportamento pozolânico, bastante reactivo, quer pela sua composição, quer pela sua elevada superfície específica. Assim, previa-se que as condições de cura mais adequadas à obtenção de uma melhoria nas suas características fossem condições de cura húmida, ou seja, dos tipos B e C. No entanto, obteve-se, pelo contrário, um melhor desempenho a nível de resistência mecânica e de comportamento relativamente à água em condições de cura tipo A. Este resultado pode reflectir outros

contributos para além da reacção pozolânica no desenvolvimento das características das argamassas, que merecem estudos posteriores.

## **6.2. Análise com base nos requisitos mínimos estabelecidos**

Comparam-se os valores obtidos com os requisitos mínimos propostos para revestimentos de edifícios antigos (Tabela 1) [1].

### **6.2.1. Resistência mecânica**

Verifica-se que, para a mesma composição, os provetes com cura tipo A são os que melhor se enquadram nos limites propostos. No entanto, para as condições de cura tipo C, os valores da resistência à compressão estão próximos dos valores obtidos para as condições de cura tipo A, embora relativamente à flexão tal não se verifique, mantendo-se estes valores bastante baixos.

### **6.2.2. Módulo de elasticidade**

Verifica-se, mais uma vez, que para a mesma composição os provetes com condições de cura tipo A são os que atingem maiores valores de módulo de elasticidade (maior resistência à deformação), atingindo o limite superior estabelecido [1,2] aos 90 dias. As condições de cura tipo C também induzem um ligeiro acréscimo no módulo de elasticidade, quando comparado com os provetes de referência. Todos os valores obtidos satisfazem os requisitos mínimos.

### **6.2.3. Absorção capilar**

Verifica-se que as condições de cura tipo A são as que induzem menor coeficiente de absorção capilar, estando próximo do obtido com as amostras de referência. Para as restantes condições de cura os coeficientes de absorção capilar determinados são bastante superiores, ultrapassando os limites propostos. Nas condições de cura tipo A os valores aos 90 dias encontram-se próximos do limite superior admissível.

## **7. CONCLUSÕES**

Através da adição de resíduos de vidro nas argamassas de cal aérea, esperava-se obter uma melhoria no seu desempenho, de forma a poderem ser aplicadas em revestimentos de alvenarias de edifícios antigos. O objectivo era promover o aumento da sua resistência, mantendo a compatibilidade com as alvenarias de edifícios antigos a nível das suas características físicas, mecânicas e químicas.

Este objectivo foi conseguido através do aumento das resistências à flexão e à compressão com condições de cura em ambiente seco (tipo A). O coeficiente de absorção capilar, para as argamassas com resíduos de vidro com condições de cura seca, foi o mais baixo e próximo da argamassa de referência, o que vai de encontro ao pretendido, ou seja, mantém-se a característica favorável de comportamento à água das argamassas de cal, conseguindo-se assim obter a compatibilidade física.

Por outro lado, seria de esperar que as condições de cura húmida (tipo B ou C) promovessem um melhor desempenho das argamassas com incorporação de resíduos de vidro, o que não se verificou. Embora se tenha conseguido um comportamento à compressão, aos 90 dias, para as condições de cura tipo C, bastante próximo do obtido

para as condições de cura tipo A, o seu desempenho relativamente à acção da água demonstrou ser bastante inferior, obtendo-se coeficientes de capilaridade significativamente superiores.

No estado actual de desenvolvimento do trabalho não existem ainda explicações para justificar algum comportamento observado nas diferentes condições de cura, a explorar em trabalho futuro.

## REFERÊNCIAS:

- [1] Veiga, M.R.; Carvalho, F. - *Argamassas de reboco para paredes de edifícios antigos: requisitos e características a respeitar*. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002. Caderno de Edifícios, nº2.
- [2] Veiga, R. - *Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos: Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes*. Lisboa: LNEC, 2003. 3º ENCORE, Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios.
- [3] J. Lanas, J.I. Alvarez. - *Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behaviour*. Cement and Concrete Research, 33, 2003, p. 1867-1876.
- [4] Moropoulou, A., Bakolas, A. Aggelakopoulou, E. - *Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis*. Thermochimica. Acta, 2004, 420: 135-140.
- [5] Velosa, A.L. - *Argamassas de cal com pozolanas para revestimento de paredes antigas*. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Aveiro, 2006.
- [6] A. Camões; B. Aguiar; S. Jalali. - *Durability of Low Cost High Performance Fly Ash Concrete*. International Ash Utilization Symposium, 2003.
- [7] Shao, Y.; Lefort, T.; Moras, S. Rodríguez, D - *Studies in concrete containing ground waste glass*. Cement and Concrete Research, 30, 2000, p. 91-100.
- [8] Velosa, A.L. *Influência das adições pozolânicas em argamassas de cal para conservação de edifícios antigos*. Lisboa: LNEC, Outubro de 2002. Caderno de Edifícios, nº2.
- [9] Caijun Shi; Yanzhong Wu; Chris Riefler; Hugh Wang. - *Characteristics and pozzolanic reactivity of glass powders*. Cement and concrete Research, 35, 2002, p. 987-993.
- [10] Velosa, A.L.; Veiga, M. R., - *Use of additivated lime mortars for old building rehabilitation. Adapted test methods*. In 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, Proceedings. Brisbane, Austrália, Março de 2002.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a contribuição dos técnicos experimentadores do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Ana Francisco, Dora Santos e Bento Sabala, do NRI, pelo apoio prestado na execução de alguns ensaios. Agradece-se ainda o apoio da FCT (Fundação Portuguesa para a Ciência e Tecnologia) pelo financiamento do Projecto POCI/HEC/57723/2004 denominado "Conservação de rebocos de cal: Melhoria das técnicas e materiais de restauro arquitectónico" (<http://conservarcal.lnec.pt/>).