

## 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea



Maria Goreti Margalha  
Câmara Municipal de Beja  
Portugal  
[m.goreti@netvisao.pt](mailto:m.goreti@netvisao.pt)



Maria do Rosário Veiga  
LNEC  
Portugal  
[rveiga@lneec.pt](mailto:rveiga@lneec.pt)



Jorge de Brito  
ICIST/IST  
Portugal  
[jb@civil.ist.utl.pt](mailto:jb@civil.ist.utl.pt)

### Resumo:

Ao longo dos últimos anos, tem-se verificado que a intervenção em revestimentos exteriores, com a alteração de materiais e de processos construtivos, nem sempre tem contribuído para melhorar o estado de conservação dos edifícios antigos. Pelo contrário, muitas vezes acelera o mecanismo de degradação.

No presente trabalho, pretende-se avaliar a influência de algumas características de agregados existentes no mercado, com proveniências distintas e mistura em diversas proporções, no comportamento de argamassas de cal aérea para revestimentos de paredes de edifícios antigos.

**Palavras-chave:** Conservação, revestimentos, argamassas, cal aérea, areia.

## 1. INTRODUÇÃO

Para conhecer melhor a influência das areias no comportamento mecânico e à água de argamassas preparadas com agregados provenientes da zona de Lisboa, foram realizados ensaios em laboratório, utilizando um ligante e um traço comum para obter resultados comparáveis.

Foi analisado o efeito do volume de vazios e da matéria fina no comportamento mecânico e à água de argamassas preparadas com os agregados e misturas seleccionadas.

## 2. MATERIAIS

### 2.1 Caracterização dos agregados

A areia funciona como o esqueleto da argamassa que ganha coesão pela ligação dos seus grãos ao ligante, pelo que a qualidade do agregado é fundamental no comportamento global da pasta. A mistura da areia separa as partículas de cal, o que facilita a reacção

química da carbonatação e, por outro lado, permite distribuir as retracções que eventualmente ocorram por toda a massa.

Há vários factores, como a dureza, a forma dos grãos, a granulometria e a porosidade, que afectam as características das argamassas. Naturalmente, também a sua origem e o estado de limpeza da areia são factores que podem alterar as características da argamassa. Uma areia bem graduada com menor volume de vazios é adequada. As areias com maior volume de vazios afectam a estrutura porosa da argamassa e exigem, naturalmente, traços mais ricos em ligante. O aumento da quantidade de cal pode ter consequências negativas ao nível da retracção.

No entanto, em geral, nas obras de construção civil, o que se verifica é a utilização de areias de uma determinada região que, por uma questão de proximidade, torna o material mais económico. No Reino Unido, por exemplo, após um estudo sobre um grande número de areias, verificou-se que apenas 4,5% das areias ensaiadas se encontravam inseridas na Norma BS 1199 sobre argamassas de revestimento (Geological Society Engineering, 2001). Isto prova que, embora os agregados tenham influência na qualidade das argamassas, normalmente não se adequa a areia às normas existentes, mas a sua utilização em obra é determinada pela proximidade da extracção dos agregados.

Neste trabalho foram seleccionados os seguintes agregados que habitualmente são utilizados e extraídos na zona de Lisboa: A1 - areia do rio Tejo; A2 - areia de areiro de Corroios.

Com base em alguns factores de influência das areias na qualidade das argamassas, foi seleccionado o seguinte grupo de ensaios de caracterização dos agregados, analisando as duas areias de forma individual e procedendo à sua mistura em diversas proporções:

- massa volúmica aparente (baridade);
- percentagem do volume de vazios - adaptação de uma disposição prática constante no documento “Preparation and use of lime mortars” (Historic Scotland, 1995);
- curva granulométrica - Norma EN 1015.

Não se procedeu a nenhuma lavagem prévia dos agregados utilizados nos ensaios dado que, em obra, estes são aplicados conforme são fornecidos e se pretende estudar o seu comportamento desta forma. Contudo, alguns dos agregados já são fornecidos pelos areiros com uma lavagem prévia.

A análise granulométrica das areias e a sua observação à lupa permitiu ver que a areia de Corroios tem matéria fina em quantidades apreciáveis (passado no peneiro de 75  $\mu\text{m}$ - 0,37%, passado no peneiro de 32  $\mu\text{m}$ - 0,10%), sendo reduzida na areia do rio Tejo (passado no peneiro de 75  $\mu\text{m}$ - 0,10%, passado no peneiro de 32  $\mu\text{m}$ - 0,05%). O tipo de grão é angular na areia do rio Tejo e sub-angular e arredondado na areia de Corroios (Figuras 1 e 2) (Geological Society Engineering, 2001).

Para a avaliação da percentagem de volume de vazios nas areias, foi utilizada uma metodologia semelhante à proposta na publicação “Preparation and use of lime mortars”, (Historic Scotland, 1995). O ensaio foi realizado utilizando dois recipientes graduados, um dos quais foi cheio até 500 ml com água e outro na mesma medida com a areia previamente seca. Posteriormente, procurou-se saturar a areia com a água e, depois de se verificar o gasto de água, calculou-se a percentagem de volume de vazios de cada uma das areias e das misturas preparadas, que corresponde ao gasto de água para preencher o volume de vazios (Figuras 3 e 4).

Teoricamente, para um traço de 1:3 (ligante:areia), a percentagem de volume de vazios devia aproximar-se de 30%, já que um traço conveniente de uma argamassa deve procurar que todos os vazios da areia sejam preenchidos pelo ligante. Compatibilizando este facto e os resultados apresentados no documento “Preparation and use of lime mortars” (Historic

Scotland, 1995), considerou-se adequada a areia ou mistura de areias com uma percentagem de volume de vazios entre 30 e 35%.



Figura 1 - Observação da areia do rio Tejo. Grãos angulares de dimensões variáveis e aparentemente limpa.



Figura 2 - Observação da areia de Corroios. Grãos entre as formas sub-angular e arredondada, de dimensões variáveis e com muitas partículas finas.



Figura 3 - Início do ensaio com iguais volumes de areia e de água.



Figura 4 - Areia saturada e volume de água dispendido.

Na tabela 1, são apresentados os resultados de alguns ensaios realizados. A areia do rio Tejo, A1, tem uma baridade ligeiramente inferior à areia de Corroios, A2, e apresentou um maior volume de vazios. Ambas as areias têm um volume de vazios eleva-

do, tendo a mistura de ambas, em proporções iguais, diminuído esse valor. A mistura de areias com 1/3 de uma areia e 2/3 de outra e vice-versa não diminuiu o volume de vazios para um valor adequado.

Tabela 1 - Determinação do volume de vazios e da baridade das areias do rio Tejo (A1) e de Corroios (A2).

Mistura de areias	A1	A2	A1+A2 1/2.1/2	A1+A2 1/3.2/3	A1+A2 2/3.1/3
Baridade (kg/m <sup>3</sup> )	1446	1493	1491	1504	1485
Volume de vazios (%)	40	37	34	36	36
Traço ligante: agregado	1: 2,5	1: 2,7	1: 2,94	1: 2,78	1: 2,78
Comentário	Volume de vazios elevado	Volume de vazios elevado	Mistura com volume de vazios adequado	Mistura com volume de vazios elevado	Mistura com volume de vazios elevado

### 3.2 Caracterização do ligante

A cal seleccionada é de fabrico industrial, cal branca hidratada da Lusical em pó, da zona de Alcanede. A baridade da cal em pó determinada de acordo com o “Cahier” 1779, CSTB, foi de 667,7 kg/m<sup>3</sup>. As suas características químicas e mineralógicas já são conhecidas (Margalha, 1997), tratando-se de uma cal proveniente de um calcário com uma elevada percentagem de carbonato de cálcio, conforme pode ser observado nas tabelas 2 a 4.

Tabela 2 - Composição química do calcário (em % ponderal e normalizada para 100%).

Amostra	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO	CuO	PR
Alcanede	0,4	52,3	1,5	0,7	0,2	0,1	0,8	0,06	0,06	44

Tabela 3 - Composição mineralógica do calcário (em % ponderal).

Amostra	CaCO <sub>3</sub> (%)
Alcanede	99,5

Tabela 4 - Composição química da cal (em % ponderal e normalizada para 100%).

Amostra	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	PR
Alcanede	0,2	71,9	0,1	0,2	0,03	27,6

### 3.3 Campanha de ensaios das argamassas - 1ª fase

As argamassas foram estudadas num traço único de: 1:3 (ligante:areia).

Com base nos ensaios prévios para a escolha dos agregados, cujos resultados se encontram descritos na tabela 1, foram definidas as seguintes composições de argamassas a ensaiar:

- 1A - 1:3 (cal hidratada: areia A1 - rio Tejo);
- 2A - 1:3 (cal hidratada: areia A2 - Corroios);
- 3A - 1:½:½ (cal hidratada : areia A1 - rio Tejo: areia A2 - Corroios).

Manteve-se o estudo das areias do rio Tejo e de Corroios, sem mistura, muito embora o volume de vazios se tenha considerado elevado para o traço a ensaiar de acordo com a tabela 1 porque se pretendeu ter argamassas de comparação.

Em laboratório, essencialmente para evitar danos no equipamento, as areias foram passadas por um peneiro de 5 mm.

A preparação das argamassas foi efectuada por amassadura mecânica numa misturadora normalizada, com as características definidas na norma francesa NF P15-411. Procurou-se obter pastas trabalháveis com uma consistência que permitisse a sua utilização como rebocos em alvenarias. Daí que não tenham sido fixados nem a quantidade de água adicionada nem o espalhamento obtido.

As argamassas em pasta foram caracterizadas pela sua consistência por espalhamento e pela sua massa volúmica aparente (baridade). Para a determinação destas características foram utilizadas as normas EN 1015-3 e EN 1015- 2, adaptada, respectivamente.

Os resultados das argamassas em pasta estão expressos na tabela 5.

Tabela 5 - Resultados dos ensaios das argamassas em pasta. A1 – rio Tejo, A2 – Corroios.

Tipo de argamassa	1A	2A	3A
Areias	A1	A2	½A1+ ½A2
Volume de vazios das areias (%)	40	37	34
Espalhamento (mm)	147	163	150
Massa volúmica em pasta (g/cm <sup>3</sup> )	1,96	1,98	1,98
Relação ponderal água / ligante	1,57	1,52	1,50
Relação volumétrica água / ligante	1,05	1,02	1,00

As massas volúmicas das argamassas com as areias e misturas de areias têm valores muito próximos. Muito embora a relação água / ligante tenha sido inferior nas pastas com a areia de Corroios, 2A e 3A, o espalhamento em ambas as argamassas foi superior, o que é mais evidente na argamassa preparada somente com areia de Corroios, 2A. Justificam-se estes resultados pela existência de matéria fina na pasta que as torna mais fluidas (mais finos → maior espalhamento). Esta característica teve que ser confrontada com as características mecânicas e de comportamento à água das argamassas endurecidas.

Para os ensaios mecânicos, as argamassas foram preparadas efectuando uma amassadura mecânica numa misturadora normalizada e introduzindo as argamassas em moldes prismáticos de 40 x 40 x 160 (mm).

O ambiente de 95% de humidade relativa previsto na EN 1015-2, que se obtém com a

introdução dos provetes em sacos de polietileno, dificulta a carbonatação das argamassas de cal, pelo que os provetes foram acondicionados num ambiente com  $50 \pm 5\%$  de humidade relativa e temperatura de  $23 \pm 2$  °C, até serem desmoldados, mantendo-se no mesmo ambiente durante as várias fases dos ensaios. Este ambiente condicionado é, desde há muito, utilizado no Laboratório de Revestimentos de Paredes do Laboratório Nacional de Engenharia Civil para ensaios de argamassas de cal e foi usado também em trabalhos anteriores (Margalha, 1997).

Com as argamassas endurecidas, pretendeu-se essencialmente avaliar quatro parâmetros:

- resistências à compressão e à flexão - norma EN 1015- 11;
- permeabilidade ao vapor de água - norma EN 1015- 19;
- absorção de água por capilaridade - norma NFB 10- 502.

Os ensaios seleccionados pretendem avaliar: a capacidade das argamassas suportar alguns agentes exteriores aos quais estão submetidas, tais como as chuvas, a temperatura e os próprios movimentos do suporte; a capacidade que têm de permitir as trocas de vapor de água entre o exterior do edifício e o seu interior e a resistência que oferecem à absorção de água líquida.

Os resultados das argamassas endurecidas disponíveis são apresentados na tabela 6.

Tabela 6 - Resultados dos ensaios das argamassas endurecidas - comportamento mecânico. A1 - rio Tejo, A2 – Corroios.

<b>Designação das argamassas</b>	<b>1A</b>	<b>2A</b>	<b>3A</b>
Areias	A1	A2	$\frac{1}{2}A1+$ $\frac{1}{2}A2$
Elementos finos	Passado no peneiro de 75 $\mu\text{m}$ - 0.10% Passado no peneiro de 32 $\mu\text{m}$ - 0.05%	Passado no peneiro de 75 $\mu\text{m}$ - 0.37% Passado no peneiro de 32 $\mu\text{m}$ - 0.10%	
Resistência à flexão (MPa) aos 28 dias	0,37	0,40	0,43
Resistência à flexão (MPa) aos 90 dias	0,60	---	0,47
<b>Resistência à flexão (MPa) aos 360 dias</b>	<b>0,83</b>	<b>0,63</b>	<b>1,03</b>
Resistência à compressão (MPa) aos 28 dias	0,68	0,80	0,82
Resistência à compressão (MPa) aos 90 dias	1,30	0,77	1,20
<b>Resistência à compressão (MPa) aos 360 dias</b>	<b>1,73</b>	<b>1,23</b>	<b>2,13</b>
Relação flexão / compressão aos 28 dias	0,54	0,50	0,52
Relação flexão / compressão aos 90 dias	0,46	0,39	0,39
<b>Relação flexão / compressão aos 360 dias</b>	<b>0,50</b>	<b>0,51</b>	<b>0,48</b>

Tratando-se de argamassas com potencial aplicação em alvenarias de edifícios antigos e sendo o ligante uma cal hidratada, era previsível que os valores das resistências não fossem elevados. De qualquer forma, devem atingir-se valores mínimos adequados para a sua utilização e durabilidade.

Avaliando o comportamento mecânico de todas as argamassas, verifica-se que aos 90 dias desenvolveram resistências que as tornam aconselháveis para revestimento de edifícios antigos, com valores compreendidos entre 0,47 e 0,60 MPa em flexão e entre 0,77 e 1,30 MPa em compressão (Veiga, et. al., 2004).

Tabela 7 - Resultados dos ensaios das argamassas endurecidas - comportamento à água.

<b>Designação das argamassas</b>	<b>1A</b>	<b>2A</b>	<b>3A</b>
Areias	A1	A2	½A1+ ½A2
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa) aos 90 dias	16,49	26,71	25,03
<b>Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m) aos 90 dias</b>	<b>0,11</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>
Coefficiente de absorção de água por capilaridade (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) aos 28 dias	1,31	1,58	1,00
Coefficiente de absorção de água por capilaridade (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) aos 90 dias	1,26	1,53	0,97
<b>Coefficiente de absorção de água por capilaridade (kg/m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) aos 360 dias</b>	<b>1,19</b>	<b>1,19</b>	<b>1,02</b>

A1 - rio Tejo, A2 - Corroios

Relativamente à permeabilidade ao vapor de água e à espessura da camada de ar de difusão equivalente, todas as argamassas estudadas apresentaram valores adequados.

A argamassa 2A, preparada com areia de Corroios foi aquela que mostrou pior desempenho ao nível mecânico (tabela 6). Se se analisar o seu comportamento à água (tabela 7), verifica-se que, das argamassas estudadas, também foi aquela que apresentou coeficientes de capilaridade mais elevados, muito embora, aos 360 dias, esse valor tenha baixado substancialmente. Os resultados obtidos atribuem-se à percentagem de matéria fina que esta areia contém.

A mistura da areia de Corroios com a areia do rio Tejo é favorável. Esta mistura de areias, praticada na argamassa 3A, mostrou melhor comportamento nos parâmetros avaliados, conforme se pode verificar pela análise das tabelas 6 e 7. Atribui-se esta melhoria de comportamento à diminuição do volume de vazios.

### 3.4 Campanha de ensaios das argamassas - 2ª fase

Em face dos resultados obtidos para a argamassa preparada com a areia de Corroios, valores baixos de resistência à compressão e à flexão e valores elevados nos coeficientes de capilaridade (Tabelas 6 e 7), foi estudada a variação de finos na areia de Corroios utilizando a mesma metodologia dos ensaios da 1ª fase.

Esta areia tem 0,37% de partículas passadas no peneiro 0,075 mm e 0,10% de partículas passadas no peneiro de 0,032 mm. Sendo assim, nesta 2ª fase de ensaios, este material foi retirado da areia passando-a pelo peneiro de 0,075 mm (75 µm), tendo a areia sido poste-

riormente utilizada para preparar os provetes de argamassa para ensaio, com o mesmo traço e nas mesmas condições utilizadas na primeira fase de ensaios: 1:3 (ligante: areia). Foi definida a seguinte composição de argamassa a ensaiar tendo como base de comparação a argamassa 2A cujos resultados dos ensaios estão presentes nas tabelas 5 a 7: 2A1 - 1:3 (cal hidratada:areia A2 - areia de Corroios passada pelo peneiro de 0,075 mm). A tabela 8 indica os resultados obtidos na campanha experimental com a argamassa 2A1 em pasta, sendo apresentados os resultados da argamassa 2A para comparação.

Tabela 8 - Resultados dos ensaios das argamassas em pasta preparadas para o estudo da matéria fina na areia de Corroios.

<b>Designação da argamassa</b>	<b>2A</b>	<b>2A1</b>
Espalhamento (mm)	163	161
Massa volúmica em pasta (g/cm <sup>3</sup> )	2,0	2,0
Relação ponderal água / ligante	1,52	1,22
Relação volumétrica água / ligante	1,02	0,81

2A - 1:3 (cal: areia A4 - com 0,39% de finos retidos no peneiro 0,075 mm);

2A1 - 1:3 (cal : areia A4 - eliminando os finos retidos no peneiro 0,075 mm).

Verificou-se que, retirando os finos da areia, foi necessário adicionar uma menor quantidade de água na argamassa 2A1. Há duas condições que trabalham em paralelo: por um lado, a existência de finos confere maior trabalhabilidade à argamassa; por outro lado, também exige a adição de maior quantidade de água. A argamassa 2A1, preparada com uma relação ponderal água / ligante de 1,22, apresentou um espalhamento de 161 mm, enquanto que na argamassa 2A tinham sido obtidos os valores de 1,52 e 163 mm, respectivamente.

Na tabela 9 confrontam-se algumas propriedades das argamassas endurecidas.

Tabela 9 - Resultados dos ensaios das argamassas endurecidas preparadas para o estudo da matéria fina na areia de Corroios.

<b>Designação das argamassas</b>	<b>2A</b>	<b>2A1</b>
Resistência à flexão (MPa) aos 28 dias	0,40	0,40
<b>Resistência à flexão (MPa) aos 90 dias</b>	---	<b>0,43</b>
Resistência à compressão (MPa) aos 28 dias	0,80	0,72
<b>Resistência à compressão (MPa) aos 90 dias</b>	<b>0,77</b>	<b>0,88</b>
Relação flexão / compressão aos 28 dias	0,50	0,56
<b>Relação flexão / compressão aos 90 dias</b>	<b>0,39</b>	<b>0,49</b>
Capilaridade (kg/m <sup>2</sup> .min <sup>1/2</sup> ) aos 28 dias	1,58	1,10
<b>Capilaridade (kg/m<sup>2</sup>.min<sup>1/2</sup>) 90 dias</b>	<b>1,53</b>	<b>1,20</b>
Permeabilidade ao vapor de água (ng/m.s.Pa) aos 90 dias	26,71	21,26
<b>Espessura da camada de ar de difusão equivalente (m) aos 90 dias</b>	<b>0,07</b>	<b>0,09</b>

2A - 1:3 (cal: areia A4 - com 0,39% de finos retidos no peneiro 0,075 mm);

2A1 - 1:3 (cal : areia A4 - eliminando os finos retidos no peneiro 0,075 mm).

Os resultados obtidos aos 90 dias revelam uma tendência de melhoria das resistências mecânicas e uma diminuição da capilaridade das argamassas preparadas com a areia com

menor teor de finos. Por outro lado, a permeabilidade ao vapor de água diminuiu mas a espessura da camada de ar de difusão equivalente ainda apresenta um valor aconselhável para a utilização em rebocos exteriores. Defende Thorborg que as partículas finas das areias, mesmo as mais pequenas, com diâmetros inferiores a 20  $\mu\text{m}$ , são necessárias para melhorar a estrutura resistente das argamassas, contribuindo para limitar a penetração de água e o risco de danos provocados pelo gelo (Konow, 2005). De qualquer forma, no estudo efectuado, não se verificou melhor desempenho à penetração da água pela presença de finos. Antes pelo contrário, a capilaridade aumentou, tendo a permeabilidade diminuído. É necessário, portanto, avaliar a natureza da matéria fina porque, sendo de natureza argilosa, pode influenciar as características das argamassas de forma muito distinta da de agregados finos de natureza calcária, siliciosa ou outra.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se que a mistura das areias mais finas com as mais grossas torna a percentagem de volume de vazios mais adequada, o que melhora algumas características importantes das argamassas endurecidas, nomeadamente tendo em consideração os resultados de alguns ensaios realizados, nos quais se verifica um acréscimo nas resistências à flexão, à compressão e, em algumas misturas, a diminuição da capilaridade. Estas conclusões estão de acordo com estudos anteriores que apontam para um melhor desempenho de areias com granulometria variada [Rato, 2006].

Os finos podem transmitir uma melhor coesão e uma maior trabalhabilidade às argamassas.

Por outro lado, a presença de argila, que geralmente acompanha as areias provenientes de areeiros é inconveniente nas argamassas, por dificultar o contacto dos grãos da areia com o ligante, impedindo uma boa aderência que se pode traduzir por uma quebra sensível de resistência.

No entanto, nem todos os finos são argilosos e há estudos que parecem indicar que finos de outra natureza, como os siliciosos e os calcários [Veiga et al., 2007], podem originar resultados mais favoráveis.

Assim, quando se seleccionam os agregados, é importante conhecer a granulometria, o teor de vazios e também a natureza da matéria fina.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

Geological Society Engineering - *Aggregates*, M.R. Smith and L. Collis, 1986.

Historic Scotland - *Preparation and use of lime mortars* - Technical Advice Note 1, Edinburgh, Historic Scotland, 1995.

MARGALHA, Maria Goreti *O uso da cal em argamassas no Alentejo*, Tese de mestrado, Universidade de Évora, 1997.

VEIGA, Rosário, et al. - *Conservação e renovação de revestimentos de edifícios antigos*, CED 9, Lisboa, LNEC, 2004.

KONOW, Thorborg Von - *Theory transformed into practice and the results from practice distorting theories. Experiences from masonry restoration at the fortress of Suomenlinna in Finland*, International RILEM Workshop - Repair Mortars for Historic Masonry, Delft,

Faculty of Civil Engineering Geosciences - Delft University of Technology, RILEM, 2005.

RATO, Vasco - *Influência da microestrutura morfológica no comportamento de argamassas*. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil pela Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, 2006.

VEIGA, M. R.; TAVARES, M. T.; MAGALHÃES, A. C. - *Restauro da fachada em mármore de cal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, em Lisboa. Materiais, métodos e resultados*. VII Seminário Brasileiro de Tecnologia de Argamassas (II Seminário Internacional), Recife, Brasil, Maio de 2007 (Conferência convidada).