

O papel dos agregados naturais na durabilidade das argamassas de cal

Ana Rita Santos⁽¹⁾, M. Rosário Veiga⁽²⁾, António Santos Silva⁽³⁾, Jorge de Brito⁽⁴⁾



(1) LNEC, Portugal, arsantos@lnec.pt

(2) LNEC, Portugal, rveiga@lnec.pt

(3) LNEC, Portugal, ssilva@lnec.pt

(4) IST, Portugal, jb@civil.ist.utl.pt

Resumo

O desempenho dos rebocos depende, antes de mais, das características dos componentes utilizados na preparação das argamassas. Nos últimos anos, a importância da seleção do tipo de agregados e o seu efeito na alteração das propriedades dos betões e das argamassas tornaram-se amplamente reconhecidos. Estes fatores são particularmente importantes no contexto da reabilitação, com revestimentos com base em cal, uma vez que se pretende utilizar argamassas com características específicas e desempenhos compatíveis com as existentes nas alvenarias antigas.

Os agregados, ao serem o constituinte maioritário, assumem um papel fundamental no comportamento físico, químico e mecânico das argamassas, assim como no acabamento e no aspeto final dos rebocos, principalmente no caso das argamassas de cal. A forma e a distribuição granulométrica das areias têm influência, fundamentalmente, na microestrutura das argamassas, que se reflete nas características mecânicas e hígricas, enquanto a natureza mineralógica tem influência sobretudo nas propriedades mecânicas e na durabilidade das argamassas.

Na presente comunicação, é analisada a influência da natureza mineralógica dos agregados na estrutura e no comportamento físico-mecânico a longo prazo das argamassas de cal para revestimentos de paredes.

Palavras-chave: Argamassas; Agregados; Cal; Reabilitação; Revestimento

Introdução

As argamassas são materiais porosos e elementos fundamentais da estrutura edificada, com diversos tipos de aplicação na construção civil. Os rebocos desempenham um importante papel na proteção das alvenarias e encontram-se particularmente expostos a inúmeras ações agressivas que são responsáveis pela sua degradação ao longo do tempo, sendo por isso, muitas vezes, os primeiros elementos a serem intervencionados.

A determinação das formulações para argamassas de substituição, nomeadamente as utilizadas para reabilitação de revestimentos em edifícios antigos, é um processo complexo que tem que ter em conta não só as exigências funcionais do revestimento mas também dos elementos construtivos onde as argamassas serão incorporadas.

Diversos estudos já realizados sobre as características dos constituintes das argamassas de revestimentos de edifícios antigos concluíram que a cal aérea, de natureza quer calcítica quer dolomítica, era o ligante primordial e o agregado maioritariamente utilizado era de natureza siliciosa. Contudo, em alguns casos, foram encontrados outros tipos de agregados, como o calcário e o basáltico, em mistura com o agregado silicioso (Magalhães e Veiga, 2008; Veiga *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2014; Santos Silva *et al.*, 2015). Nestes estudos, é notória uma correlação entre as matérias-primas utilizadas na construção e as existentes na região.

Muitos autores consideram que os principais fatores para a durabilidade e bom desempenho destas argamassas relacionam-se com a boa qualidade da cal e dos agregados usados, a proporção adequada da mistura, a granulometria dos agregados e o cuidado posto na preparação da argamassa.

O agregado é parte integrante das argamassas, sendo em alguns casos definido como o "esqueleto" dos sistemas de revestimento, com influência direta nas suas propriedades, como a retração e a resistência mecânica (Bauer, 2005; Margalha *et al.*, 2007; Arizzi, 2012).

As características dos agregados, como a forma e a textura superficial, a natureza mineralógica, assim como a distribuição granulométrica, têm uma importância significativa no desempenho das argamassas, quer no estado fresco, através da trabalhabilidade e facilidade de aplicação, quer no estado endurecido, através das suas resistências e durabilidade. A forma e a distribuição granulométrica das areias afetam a trabalhabilidade, a massa volúmica, e as características mecânicas e hígricas, enquanto a natureza mineralógica pode promover reações químicas (com a pasta do ligante) que conduzem à alteração das propriedades hígricas e das interfaces pasta/agregado, que induzem aumentos significativos de resistências mecânicas (Baronio *et al.*, 1997; Degryse *et al.*, 2002; Fragata e Veiga, 2010; Borges *et al.*, 2013).

A fim de avaliar o desempenho e viabilidade de utilização de diferentes tipos de agregados naturais em trabalhos de reabilitação, na presente comunicação é analisada a influência da natureza mineralógica de diferentes agregados na estrutura e no comportamento físico-mecânico a longo prazo de argamassas de cal para revestimentos de paredes. O uso de matérias-primas locais e semelhantes às das argamassas existentes poderá não só reduzir os impactes ambientais mas também contribuir para uma melhor compatibilidade e assim promover a durabilidade de toda a estrutura edificada.

Materiais e Métodos






Ligantes e Agregados

Tendo como objetivo principal o estudo do efeito dos agregados no desempenho das argamassas para substituição de revestimentos antigos, foram preparadas diversas

formulações, com base em cal aérea hidratada em pó CL90-S (NP EN 459-1:2015) e usadas cinco areias naturais de quatro naturezas mineralógicas distintas; duas areias siliciosas (AL e Sb), uma areia calcária (C), uma areia basáltica (B) e uma areia granítica (G). De modo a minimizar a variável da distribuição granulométrica, as areias em análise foram calibradas conforme a composição granulométrica da areia de referência CEN, definida na NP EN 196-1:2006 (Figura 1).

O Quadro 1 apresenta a caracterização mineralógica e morfológica realizada aos agregados, determinada por difração de raios X (DRX) e por observação à lupa binocular. Apresenta ainda as massas volúmicas aparentes e as áreas de superfície específica das areias em estudo.

Quadro 1: Caracterização dos agregados em estudo

Agregado (MV e S)*	Mineralogia	Morfologia	
Areia siliciosa (Al) (1500 kg/m ³ e 209 cm ² /g)	Quartzo e feldspatos como minerais principais, e mica e caulinite como minerais acessórios	Grãos sub-rolados, pouco esféricos e com superfície lisa	
Areia siliciosa (Sb) (1480 kg/m ³ e 570 cm ² /g)	Quartzo o mineral preponderante, tendo mica e caulinite como minerais acessórios	Grãos sub-angulares a angulares, pouco esféricos e de textura rugosa	
Areia calcária (C) (1470 kg/m ³ e 1537 cm ² /g)	Calcite e dolomite como minerais principais, e feldspatos, mica e caulinite como acessórios	Grãos angulares e de baixa esfericidade. Superfícies laminares e lisas	
Areia basáltica (B) (1640 kg/m ³ e 577 cm ² /g)	Quartzo, feldspatos, dickite, calcite, piroxena, olivina e talco. São ainda detetados minerais argilosos como a vermiculite e montmorilonite	Grãos muito angulares a sub-angulares, de esfericidade média e de textura rugosa	
Areia granítica (G) (1430 kg/m ³ e 360 cm ² /g)	Quartzo, feldspatos, mica e clorite	Grãos angulares, pouco esféricos e de textura rugosa	

*MV - Massa volúmica aparente e S - área de superfície específica (determinada por difração de luz laser).

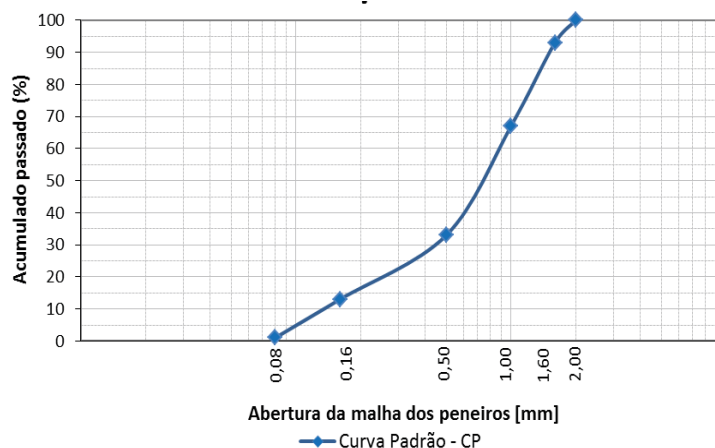


Figura 1: Curva da distribuição granulométrica teórica da areia de referência CEN

Preparação das Argamassas

As argamassas foram preparadas com uma relação volumétrica ligante:agregado de 1:3 (Quadro 2) e com um espalhamento de cerca 150 mm \pm 2 mm.

Todas as argamassas foram preparadas de acordo com a norma europeia EN 1015-2:1998, com as condições de cura de 20 °C \pm 2 °C e 65 % de humidade relativa, desde a moldagem até às datas de ensaio.

Quadro 2: Composição das argamassas e resultados médios dos ensaios de consistência por espalhamento e da massa volúmica (MV) aparente no estado fresco

Notação	Composição	Relação volumétrica (l/a)		Relação massa (l/a)	Razão água/ligante	Espalhamento (mm)	MV aparente (kg/m ³)
		Teórica*	Real				
Ca AL CP	Cal aérea/areia siliciosa [‡]	1:3	1:2,6	1:11,3	2,4	149	1955
Ca Sb CP	Cal aérea/areia siliciosa britada [‡]	1:3	1:2,5	1:10,6	2,3	149	1980
Ca C CP	Cal aérea/areia calcária [‡]	1:3	1:2,6	1:11,0	2,2	149	2020
Ca B CP	Cal aérea/areia basáltica [‡]	1:3	1:2,5	1:11,7	2,3	148	2115
Ca G CP	Cal aérea/areia granítica [‡]	1:3	1:2,5	1:10,4	2,4	149	1945

[‡] - Granulometria da areia de referência CEN; * - A razão volumétrica teórica ligante/agregado (l/a) refere-se à soma das percentagens de cada fração granulométrica da areia, enquanto a razão volumétrica real se refere à composição real da areia total utilizada.

Metodologia

Tendo em conta os objetivos estabelecidos, foi adotada uma metodologia que envolveu diversos ensaios laboratoriais. Os ensaios foram realizados sobre as argamassas no estado fresco e no estado endurecido às idades de 28, 90 e 360 dias (Figura 2).

Foram preparados provetes prismáticos (40x40x160 mm) para ser ensaiados segundo as especificações das normas europeias em vigor, nomeadamente:

- EN 1015-11:1999, no caso dos ensaios de resistência à compressão (R_c) e resistência à tração por flexão (R_t);
- NP EN 14146:2006, para o ensaio de determinação do módulo de elasticidade dinâmico (E);
- EN 1015-18:2002, para o ensaio de absorção de água por capilaridade (CC), neste caso com os provetes prismáticos na sua dimensão original e sem o envolvimento lateral com parafina;
- NP EN 1936:2008, para o ensaio de avaliação da porosidade aberta.



Figura 2: Aspetos da realização dos ensaios no estado fresco e endurecido para a avaliação das características físicas e mecânicas das argamassas

Com o objetivo de avaliar o desempenho das argamassas a longo prazo, foi realizado um ensaio de envelhecimento acelerado simulando as condições ambientais extremas de temperatura e humidade registadas durante um ano na região de Lisboa (IST, 2015). Neste ensaio, já adotado por outros autores (Arizzi *et al.*, 2012; Goudie *et al.*, 2002; Goudie e Parker, 1998), os provetes foram colocados num tabuleiro com areia, estando este isolado em todo o seu contorno, para que não existisse condução de calor pelas superfícies laterais e inferior do tabuleiro, pretendendo-se desta forma simular o terreno (Figura 3).



Figura 3: Aspeto dos provetes prismáticos de argamassa durante o ensaio de envelhecimento acelerado

No ensaio de envelhecimento acelerado, foi realizado um total de cinquenta e dois ciclos, divididos em 4 fases:

1ª - ciclos de variação de temperatura e humidade (TH), num total de 14;

2ª - ciclos de variação de temperatura e humidade + simulação de chuva (TH + C), num total de 14;

3ª - ciclos de variação de temperatura e humidade + resistência aos sais (cloreto de sódio) por deposição na superfície (TH + SC), num total de 14;

4ª - ciclos de variação de temperatura e humidade + resistência aos sais (sulfato de sódio) por absorção capilar (TH + SS), num total de 10 ciclos.

Cada ciclo teve a duração de doze horas e consistiu em quatro etapas de 3 horas de duração cada (Quadro 3).

Quadro 3: Condições de exposição utilizadas nos ciclos do ensaio de envelhecimento artificial acelerado

Etapa	Duração	T (°C)	HR (%)
1ª	3 h	40	30
2ª	3 h	20	70
3ª	3 h	0	80
4ª	3 h	20	70

A chuva, da 2ª fase do ensaio, foi simulada por aspersão de 2,5 ml de água destilada (de 2 em 2 ciclos) e colocação de 2 mm de altura de água na areia (de 4 em 4 ciclos). As condições de chuva foram realizadas imediatamente antes das condições de frio (0 °C e 80% HR), simulando desta forma também as condições de gelo-degelo.

O ataque com cloretos foi realizado por aspersão de 2,5 ml de uma solução de 27 g/l de cloreto de sódio (de 2 em 2 ciclos) na superfície dos provetes e o ataque com sulfatos por colocação de uma solução a 14% (16,3 g/l) de sulfato de sódio de com altura de 1 mm na areia (no início do ensaio) e durante o ensaio com aspersão (de 2 em 2 ciclos) na areia. Ambos os ataques com sais foram realizados imediatamente antes das condições de secagem (40 °C e 30% HR).

Após o ensaio de envelhecimento, os provetes foram sujeitos a ensaios mecânicos de resistência à compressão, à tração por flexão, e determinação do módulo de elasticidade. Foi ainda avaliada a porosidade das argamassas após o envelhecimento.

Resultados e Discussão

Argamassas no Estado Fresco

Os resultados apresentados no Quadro 2 mostram que as argamassas com areias calcárias são as que apresentam uma menor razão água/ligante, enquanto as argamassas com areia granítica e areia siliciosa rolada requerem uma maior quantidade de água, para um mesmo espalhamento. Ao contrário do que seria de esperar, a maior superfície específica do grão calcário não conduz à adição de maior quantidade de água de amassadura para obter a mesma trabalhabilidade. A presença de mica e clorite na areia granítica pode também ter contribuído para a necessidade de uma adição de maior quantidade de água à argamassa. Estes resultados estão em geral de acordo com os de Quiroga e Fowler (2004) que concluíram que a utilização de finos de natureza calcária implica uma quantidade significativamente menor de água de amassadura do que a de finos de natureza basáltica ou granítica.

Ainda no Quadro 2, verifica-se que a argamassa com areia basáltica foi a que apresentou maior valor de massa volúmica aparente no estado fresco, indiciando uma menor porosidade e também possivelmente um alto teor de ferro e magnésio que estas areias têm na sua composição. Por outro lado, as argamassas com areia granítica foram as que apresentaram o menor valor de massa volúmica aparente, possivelmente devido aos minerais filossilicatados da areia, como a mica e a clorite.

Argamassas no Estado Endurecido

Propriedades físicas e mecânicas

Na Figura 4, são apresentados os resultados obtidos até aos 360 dias de massa volúmica aparente e de porosidade aberta. Em termos gerais, verifica-se um aumento da massa volúmica aparente dos 28 para os 90 dias e uma diminuição dos 90 dias para os 360 dias, à exceção da composição com areia basáltica que inverte esta tendência dos 28 para os 90 dias, e a composição com areia siliciosa britada (Ca SB CP) que aumenta este valor dos 90 para os 360 dias. Verifica-se ainda que as argamassas com areia basáltica são as que têm maiores valores de massa volúmica aparente.

No que se refere à porosidade aberta, não foram detetadas ao longo do tempo alterações significativas nas argamassas com areia siliciosa rolada (Ca AL CP) e basáltica (Ca B CP). As restantes composições apresentaram um ligeiro incremento (entre 1% e 3%) na porosidade dos 28 dias para os 90 dias, que permaneceu praticamente constante dos 90 dias para os 360 dias.

Os valores da resistência à compressão (Figura 5a) apresentaram, em geral, um aumento com a idade dos provetes, à exceção das composições com areia calcária e granítica que sofrem uma redução dos 90 para os 360 dias (aproximadamente 28% e 12%, respetivamente). Em termos da resistência à tração por flexão (Figura 5b), verifica-se um aumento dos 28 dias para os 90 dias; contudo, dos 90 para os 360 dias, as resistências de todas as composições diminuem (entre 2% na composição com areia basáltica e 39% na composição com areia siliciosa britada). A explicação deste decréscimo pode estar relacionada com a ocorrência de alguma microfissuração interna nestas argamassas, resultante de tensões internas provocadas pela retração. De facto, verificou-se existir em todas as argamassas um aumento do módulo de elasticidade com o tempo de cura (Figura 6), à exceção das com areia granítica que apresentaram um ligeiro decréscimo dos 90 para os 360 dias (cerca de 5%). Esta tendência é a mesma que se verificou nos valores de resistência à compressão. Verifica-se assim que a composição com areia basáltica (Ca B CP) é a mais deformável e a com areia calcária a menos flexível.

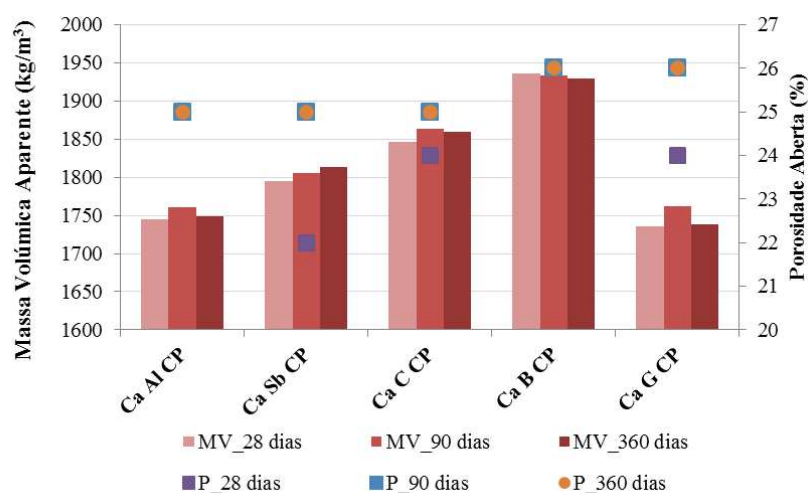


Figura 4: Evolução ao longo do tempo da massa volúmica aparente e de porosidade aberta de argamassas de cal aérea com agregados de diferente natureza mineralógica

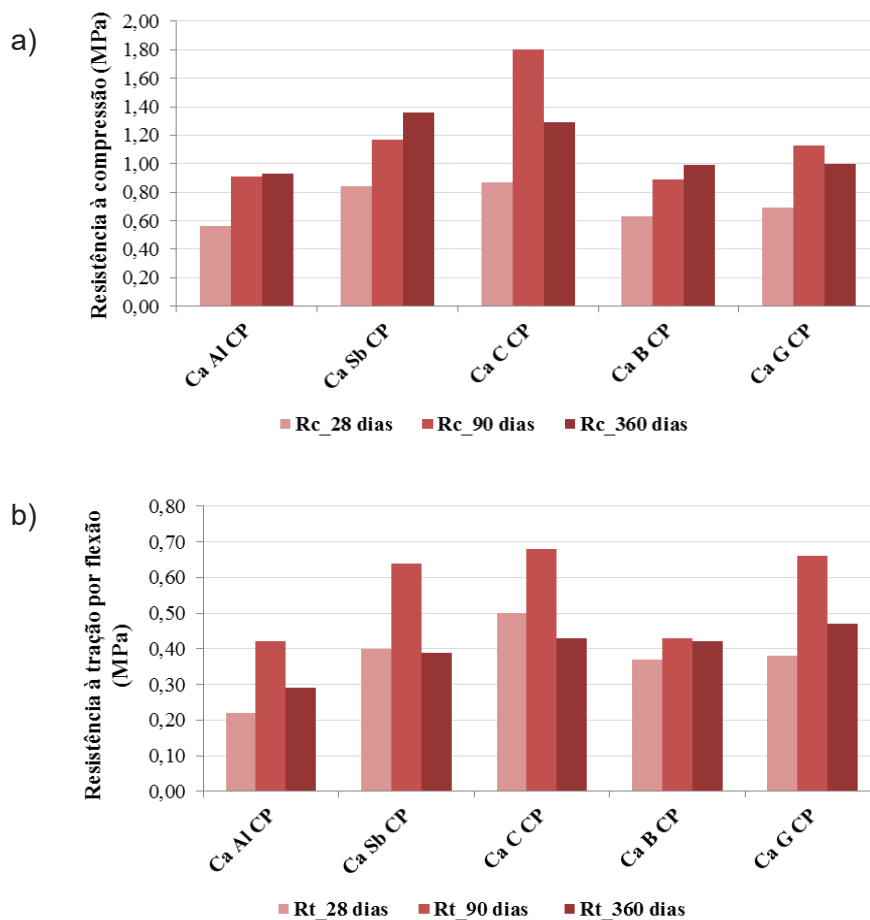


Figura 5: Evolução ao longo do tempo da resistência à compressão (a) e da resistência à tração por flexão (b) de argamassas de cal aérea com agregados de diferente natureza mineralógica

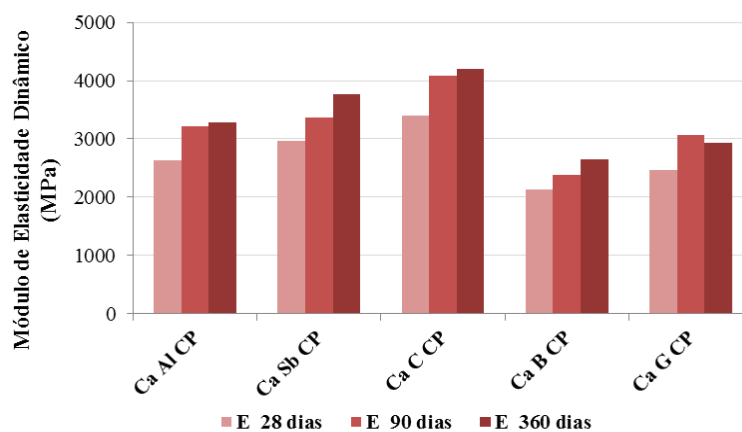


Figura 6: Evolução ao longo do tempo do módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância de argamassas de cal aérea com agregados de diferente natureza mineralógica

Propriedades hídricas

Os resultados apresentados na Figura 7, que representam os valores do coeficiente de capilaridade e os valores máximos de absorção de água, mostram que a composição com areia basáltica (Ca B CP) é a que apresenta, em termos médios, maior velocidade de

absorção e que a argamassa com areia siliciosa britada (Ca Sb CP) é a que apresenta menor velocidade de absorção de água por capilaridade. Esta tendência é também verificada no ensaio de porosidade aberta, que mostra que a argamassa com areia basáltica é a que apresenta maior percentagem de volume de vazios. Os valores de coeficiente de capilaridade, em geral, aumentam dos 28 dias para os 90 dias, mas diminuem dos 90 para os 360 dias, à exceção das composições com areia calcária e areia granítica. Este facto pode estar associado a alterações da estrutura porosa e da microestrutura das argamassas que ocorrem durante o processo de carbonatação.

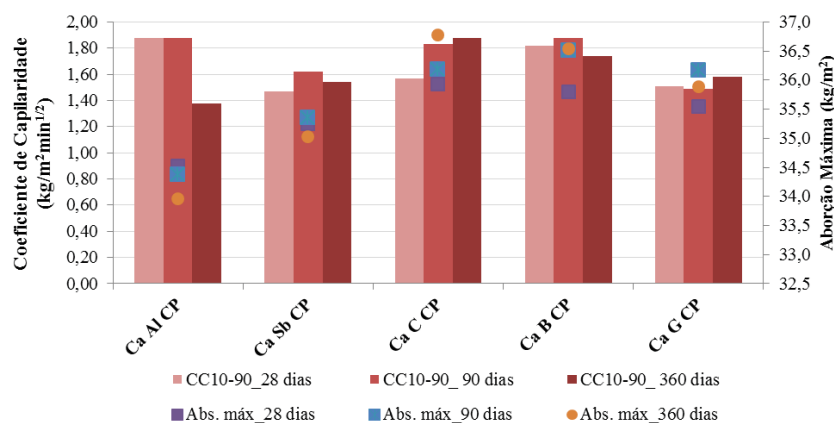


Figura 7: Evolução ao longo do tempo dos valores do coeficiente de absorção capilar e de absorção máxima de argamassas de cal aérea com agregados de diferente natureza mineralógica

Argamassas Sujeitas a Envelhecimento

Em termos gerais, o ensaio de envelhecimento acelerado (Quadro 4) conduz a um aumento da resistência à flexão (R_t) e a uma diminuição da resistência à compressão (R_c), sendo esta menos acentuada nas areias siliciosas. Por outro lado, a variação do módulo de elasticidade dinâmico (E) já depende do tipo de agregado utilizado, sendo que as areias basálticas e graníticas, após o ensaio, incrementam a sua deformabilidade (cerca de 10% no caso das areias basálticas); estas argamassas foram as que apresentaram uma maior percentagem de vazios o que pode ter resultado na “acomodação” dos sais na sua estrutura porosa. Por outro lado, a utilização de areia calcária permitiu um incremento acentuado, da ordem de 40% da resistência à tração por flexão mas uma diminuição, da ordem de 18% da resistência à compressão. Esta mesma composição foi também a que teve um maior incremento de massa após o ensaio.

Quadro 4: Resultados dos ensaios antes e após envelhecimento

Acrónimo	E (MPa)		R _t (MPa)		R _c (MPa)		% ganho de massa após ensaio
	Antes env.	Depois env.	Antes env.	Depois env.	Antes env.	Depois env.	
Ca AL CP	4160	4500	0,50	0,70	1,10	1,10	0,40
Ca Sb CP	4720	4940	0,70	0,90	1,60	1,50	0,43
Ca C CP	5130	5480	0,70	1,00	2,30	1,90	0,45
Ca B CP	3950	3540	0,70	0,90	1,60	1,40	0,16
Ca G CP	3910	3840	0,70	0,80	1,30	1,10	0,42

Conclusões

O uso de matérias-primas locais e compatíveis com as existentes poderá reduzir não só os impactes ambientais mas também promover a durabilidade das argamassas e dos suportes.

Neste trabalho foi estudada a influência das características dos agregados no desempenho mecânico e físico de argamassas de cal. Para tal, foram utilizadas areias com naturezas mineralógicas distintas (siliciosa rolada e britada, calcária, basáltica e granítica).

Dos resultados obtidos, é possível concluir que os valores das características mecânicas são mais elevados nas composições com areia calcária, não alterando significativamente o comportamento à água; contudo, as composições com areia siliciosa britada (Ca Sb CP) também apresentam resultados relativamente elevados, que podem estar associados tanto à forma e textura do seu grão (sub-angular a angular e de textura rugosa) como à presença de uma elevada percentagem de quartzo na sua composição, o que a torna mais resistente.

Como observado noutros estudos (Lanas e Alvarez, 2003; Arizzi *et al.*, 2012), argamassas preparadas com agregados calcários mostram densidades e resistências elevadas. As semelhanças da matriz das argamassas de cal aérea e do agregado calcário conduzem ao aumento das resistências mecânicas. A melhor coesão das argamassas com areia calcária depende da boa continuidade na interface entre os cristais de calcite do agregado e os cristais de calcite recém-formados da matriz (Catinaud *et al.*, 2000; Pavía e Toomey, 2008; Arizzi e Cultrone, 2012), o que conduz ao aumento das resistências mecânicas. Esta continuidade não existe em argamassas com agregados siliciosos, que são, de facto, mais frágeis e apresentam uma elevada tendência para pulverizar, durante e após a rotura.

As composições com areia basáltica também apresentam resultados equilibrados ao longo do tempo da cura. O facto de terem na sua composição minerais de argila expansivos (vermiculite e montmorilonite) conferiu-lhes um elevado poder de retenção de água, facto que pode ter facilitado o processo de carbonatação ao longo do tempo; por outro lado, a forma e a superfície do agregado basáltico também promovem a ligação entre a pasta e o agregado, aumentando as suas resistências, nomeadamente da resistência à flexão (Tasong *et al.*, 1998).

Comprovou-se que as diferenças na porosidade das argamassas também têm um papel importante, uma vez que a difusão do CO₂ torna-se mais eficaz com o aumento da porosidade aberta, aumentando as taxas de carbonatação.

É de referir ainda que as areias calcária, basáltica e siliciosa britada são as que apresentaram maiores valores de superfície específica, o que, além de as tornar mais compactas, poderá torná-las mais reativas a longo prazo no ambiente alcalino do ligante e dar origem a novos compostos, influenciando as resistências mecânicas e a durabilidade das argamassas.

Em termos gerais, verificou-se que as características (mineralógicas e morfológicas) das areias influenciam as propriedades mecânicas e físicas das argamassas, sendo necessário prosseguir este estudo para se confirmar a longo prazo os resultados obtidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a colaboração das empresas Lena Agregados S.A. e Lusical S.A., e do LNEC através do Projeto de Investigação e Inovação “PRESERVE - Preservação de revestimentos do património construído com valor cultural”.

Referências bibliográficas

- Arizzi, A. (2012) *Design of ready-to-use rendering mortars for use in restoration work*. Granada: UGR.
- Arizzi, A.; Viles, H.; Cultrone, G. (2012) *Experimental testing of the durability of lime based mortars used for rendering historic buildings*. Construction and Building Materials, vol. 28, 807-818.
- Arizzi, A; Cultrone, G. (2012) *The difference in behaviour between calcitic and dolomitic lime mortars set under dry conditions: The relationship between textural and physical-mechanical properties*. Cement and Concrete Research, vol. 42 (6), 818-826.

- Baronio, G.; Binda, L.; Lombardi, N. (1997) *The role of brick pebbles and dust in conglomerates based on hydrated lime and crushed bricks*. Construction and Building Materials, vol. 11 (1), 33-40.
- Bauer, E. (2005) *Revestimentos de argamassa: características e peculiaridade*. Brasília: Sinduscon-DF.
- Borges, C.; Santos Silva, A.; Veiga, M.R. (2013) Role of aggregates in durability of air lime mortars: influence of curing conditions. Proc. of the 3rd Historic Mortars Conference (HMC2013). Glasgow.
- Catinaud, S.; Beaudoin, J.J.; Marc Hand, J. (2000) *Influence of limestone addition on calcium leaching mechanisms in cement-based materials*. Cement and Concrete Research, vol. 30 (12), 1961-1968.
- Degryse, P.; Elsen J.; Waelkens, M. (2002) *Study of ancient mortars from Sagalassos (Turkey) in view of their conservation*. Cement and Concrete Research, vol. 32 (9), 1457-1563.
- Fragata, A.; Veiga, M.R. (2010) *Air lime mortars: the influence of calcareous aggregate and filler addition*. Materials Science Forum, vols. 636-637, 1280-1285.
- Goudie, A.S.; Parker, A.G. (1998) *Experimental simulation of rapid rock block disintegration by sodium chloride in a foggy coastal desert*, Journal of Arid Environments, vol. 40, 347-355.
- Goudie, A.S.; Wright, E.; Viles, H.A. (2002) *The role of salt (sodium nitrate) and fog in weathering: a laboratory simulation of conditions in the northern Atacama Desert, Chile*. Catena, vol. 48, 255-266.
- IST (2015) <http://meteo.ist.utl.pt/>
- Lanas, J.; Alvarez, J. I. (2003) *Masonry repair lime-based mortars: Factors affecting the mechanical behaviour*. Cement and Concrete Research, vol. 33 (11), 1867-1876.
- Magalhães, Ana Cristian; Veiga, Maria do Rosário (2008) *Physical and mechanical characterisation of ancient mortars. Application to the evaluation of the state of conservation*. Materiales de Construcción, vol. 59 (295), 61-77.
- Margalha, M.G.; Veiga, M.R.; Brito, J. (2007) *Influência das areias na qualidade de argamassas de cal aérea*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção - Sob a Égide da Reabilitação. Lisboa: FIL.
- Pavía S, Toomey B (2008) *Influence of the aggregate quality on the physical properties of natural feebly-hydraulic lime mortars*. Materials and Structures, vol. 41, 559-569.
- Quiroga, P.N.; Fowler, D.W. (2004) *The effects of aggregates characteristics on the performance of Portland cement concrete*. Austin: University of Texas.
- Santos Silva, A.; Santos, A.R.; Veiga, M.R. (2015) *O Forte de Nossa Senhora da Graça, Elvas: Bases para uma intervenção - A caracterização dos materiais*. In Revista Pedra & Cal, n.º 58, 30-33.
- Santos, A.R.; Tavares, M.; Providência, P.; Santos Silva, A.; Veiga, M.R.; Gil, F.; Catarino, L. (2014) *Os revestimentos do Centro Histórico de Coimbra: a caracterização de argamassas de revestimento de paredes*. In Argamassas 2014: I Simpósio de Argamassas e Soluções Térmicas de Revestimento. Coimbra: ITeCons.
- Stefanidou, M.; Papayianni, I. (2005) *The role of aggregates on the structure and properties of lime mortars*. Cement and Concrete Research, vol. 27 (9-10), 914-919.
- Tasong, W.A.; Cripps, J.C.; Lynsdale, C.J. (1998) *Aggregate-cement chemical interactions*. Cement and Concrete Research, vol. 28 (7), 1037-1048.
- Tasong, W.A.; Lynsdale, C.J.; Cripps, J.C. (1998) *Aggregate-cement paste interface. II: Influence of aggregate physical properties*. Cement and Concrete Research, vol. 28 (10), 1453-1465.
- Veiga, M.R.; Santos Silva, A.; Tavares, Martha; Santos, Ana Rita; Lampreia, Nádía (2013) *Characterization of renders and plasters from a 16th Century Portuguese Military Structure: Chronology and durability*. Restoration of Buildings and Monuments, vol. 19 (4), 223-238.