

Argamassas de terra e cal - características e campos de aplicaçãoPaulina Faria⁽¹⁾

*(1) Dep. de Engenharia Civil da Universidade NOVA de Lisboa e CERIS, IST, Portugal,
paulina.faria@fct.unl.pt*

Resumo

As argamassas mistas de cal e terra devem ter resultado da prática profissional quando as condições económicas foram possibilitando a adição de cal aérea às argamassas vernaculares só de terra.

Baixas adições de cal aérea a argamassas de terra têm conduzido a drásticas alterações da cor e das resistências mecânicas das argamassas de terra. No entanto, a substituição parcial de massa de cal por terra em argamassas de cal ao traço volumétrico 1:2 (correspondendo a argamassas com traço em massa de 1:8, com substituições de 10% a 50%) resulta em argamassas mais ecológicas e que tecnicamente indiciam ser adequadas para aplicação em rebocos de edifícios antigos e mesmo em construção nova com características compatíveis.

Os resultados obtidos foram particularmente interessantes para uma substituição de 10% mas muito há ainda a fazer para um conhecimento aprofundado deste tipo de argamassas mistas de cal e terra, muito utilizadas no passado, com vista à otimização de formulações que possam vir a ser aplicadas correntemente.

Palavras-chave: Cal; Terra argilosa; Argamassa; Alvenaria; Revestimento

Introdução

Uma argamassa é efetuada a partir de uma mistura de agregados relativamente finos com um ligante e água. No entanto, podem ser incluídos outros materiais na sua formulação, para otimização face ao tipo de aplicação em causa. Para utilização no assentamento de alvenarias, para o tratamento de juntas e em rebocos interiores e exteriores devem utilizar-se argamassas que possuam características que sejam compatíveis com as dos materiais sobre os quais vão ser aplicadas, com as solicitações a que vão estar sujeitas (Veiga et al. 2010) e com os requisitos que são função do tipo de aplicação.

Em paredes realizadas usando a terra como material de construção, nas técnicas construtivas da taipa, em alvenarias de adobe ou em paredes de tabique, e mesmo em alvenarias de pedra aparelhada era corrente utilizarem-se antigamente argamassas só de terra (em rebocos interiores, no enchimento de paredes de tabique e no assentamento de alvenarias), argamassas mistas de terra e cal aérea ou argamassas só de cal aérea (em rebocos principalmente exteriores e no assentamento e tratamento de juntas de alvenarias).

Na atualidade as argamassas de terra são muito utilizadas em alguns países desenvolvidos, como é o caso de vários países da Europa, tais como a Alemanha, a Itália ou a França, em rebocos interiores de construções novas ou na reabilitação de construções existentes. O incremento da sua utilização deve-se particularmente a aspetos de eco-eficiência e qualidade do ar ambiente (Darling et al. 2012; Mèlia et al. 2014; Faria et al. 2015; Lima e Faria 2016). As argamassas de terra têm voltado também a ser usadas para o refechamento de juntas de assentamento de alvenarias históricas (Morton 2004, Morton & Little 2013), para a reparação das superfícies das paredes de terra (Gomes et al. 2016a) e para o seu reboco (Hamard et al. 2013).

Nas argamassas só de terra, são as partículas argilosas da terra que funcionam como aglutinante, tendo o papel de ligante natural. Em função das características observadas, verifica-se que a sua utilização não tem de restringir-se à aplicação em paredes realizadas com base em terra, mas pode estender-se a outros suportes. São disso exemplo paredes de alvenaria com materiais correntes, como o tijolo furado, blocos de betão, adobes, blocos de terra comprimidos ou extrudidos, fardos de palha, e a paredes de alvenaria de pedra argamassada antigas, tão frequentes também no património arquitetónico e, na maioria dos casos, com necessidades de intervenção com vista à sua conservação e manutenção prementes (Faria et al. 2014).

Mas estas argamassas só de terra têm como principal desvantagem a sua suscetibilidade à água, que pode conduzir à “lavagem” do ligante (Gomes et al. 2016b), e suscetibilidade biológica, principalmente se contêm fibras naturais (Santos et al. s.d.). Para a sua estabilização podem ser aplicados tratamentos de superfície ou adicionados à formulação produtos distintos, tal como um ligante corrente. O ligante que era tradicionalmente adicionado era a cal aérea.

As argamassas mistas, de terra e cal aérea, podiam resultar de formulação específica em que a cal era misturada com uma terra (mais ou menos arenosa) em vez de areia. É muito provável que, partindo de argamassas vernaculares de terra, e quando as condições económicas o permitiam, adições sucessivamente mais elevadas de cal a estas argamassas tenham resultado nas argamassas de cal aérea vernaculares que existem em muitos edifícios antigos, que se identificam como tendo agregado muito argiloso, mesmo após “lavagem” parcial destas partículas.

Atualmente, as argamassas mistas de terra e cal aérea, comparativamente a argamassas só de cal aérea, podem apresentar vantagens económicas, ambientais e técnicas. São vantagens ambientais e económicas poderem utilizar-se na formulação das argamassas menores teores de ligante produzido especificamente, substituindo-o parcialmente por terra argilosa (idealmente de escavações para trabalhos de construção, classificada como

resíduo de construção e demolição (RCD) inerte, reduzindo dessa forma o volume de RCD a gerir), ou menores teores de areia explorada e transportada, substituindo-a parcialmente pela terra argilosa. São vantagens técnicas a obtenção de uma boa trabalhabilidade, uma retração controlada, resistências mecânicas relativamente baixas, que lhes propiciam compatibilidade com uma grande gama de suportes. Mas estas argamassas apresentam ainda a vantagem de se apresentarem naturalmente pigmentadas, o que pode ser muito interessante para determinados tipos de aplicações, nomeadamente em rebocos e no tratamento de juntas.

Embora argamassas mistas de terra e cal aérea sejam diversas vezes referidas em bibliografia genérica, não têm sido objeto frequente de caracterização sistemática. Para além disso, cada terra apresenta as suas particularidades específicas, o que multiplica a diversidade das características obtidas (Cardoso et al. 2013). Para contribuir para um maior conhecimento das características destas argamassas têm-se vindo a desenvolver duas linhas de investigação, nas quais se partiu de dois extremos: argamassas só de terra e argamassas só de cal aérea. Nas argamassas só de terra tem-se vindo a avaliar a influência da adição de baixas percentagens de cal aérea a uma terra caulinítica (Gomes et al. 2016a) e a uma terra íltica (Santos e Faria 2016). Nas argamassas só de cal aérea tem-se vindo a avaliar a influência de substituições parciais de cal pela mesma terra caulinítica utilizada na linha de investigação anteriormente referida (Faria et al. 2013). Foi já apresentada a caracterização efetuada de forma não destrutiva em rebocos efetuados sobre um murete de taipa (Faria et al. 2015^a). Vão apresentar-se agora os resultados da caracterização destas últimas argamassas, de cal com substituições por terra no estado endurecido, a partir de provetes em laboratório.

Materiais utilizados, argamassas e provetes

A cal aérea (CL) foi disponibilizada pela empresa Lusical (Grupo Lhoist) e foi caracterizada quimicamente por difração de raios X (DRX) e análise térmica diferencial (DTG) por Pimenta et al. (2014). A areia utilizada nestas argamassas (Ar) é siliciosa lavada, foi utilizada correntemente no âmbito dos projetos LIMECONTECH e METACAL, e a sua curva granulométrica foi apresentada em Pimenta et al. (2014). A terra utilizada (t) foi selecionada por Gomes (2013) de entre várias disponibilizadas pela empresa Sorgila - Sociedade de Argilas, por apresentar baixa retração. É proveniente de Rendinha, Pombal, Portugal e foi desterrada após remoção das partículas grossas. A sua caracterização por DRX e DTG foi apresentada por Gomes et al. (2012) e Pimenta et al. (2014), sendo uma terra com argila caulinítica. A curva granulométrica resultante de peneiração a húmido e a seco foi apresentada por Pimenta et al. (2014).

A baridade de todos os constituintes secos das argamassas, determinada com base na EN 1015-1, é apresentada no Quadro 1.

Quadro 1: Baridades da cal aérea, terra desterrada e areia das argamassas

Baridade	Cal aérea	Terra	Areia
kg/dm ³	0,362	1,084	1,463

Realizaram-se como referência duas argamassas só de cal aérea, com traços volumétricos 1:2 de cal:areia (argamassa CL2) e 1:3 (argamassa CL3). Com base na formulação da argamassa ao traço 1:2, realizaram-se substituições parciais da massa de cal por terra: 5%, 10%, 25% e 50% (argamassas CL2_5t a CL2_50t) – Quadro 2.

Para a amassadura das argamassas, e através da baridade, determinaram-se as massas dos constituintes secos de cada formulação, que foram homogeneizados manualmente. A amassadura mecânica iniciou-se em simultâneo com a adição da água de amassadura, durante os 20 segundos iniciais. A água de amassadura foi adicionada de forma a obter-se

uma consistência por espalhamento, determinada com base na EN 1015-3 mas com mesa de espalhamento de acordo com a versão anterior desta norma, de 150 ± 5 mm (Quadro 2). A amassadura mecânica foi interrompida ao fim de 150 segundos, foi integrado manualmente na argamassa o material junto aos bordos e realizada amassadura mecânica por mais 30 segundos.

Quadro 2: Traços em massa e em volume, razões água/(cal e terra) e água/terra e consistência por espalhamento das argamassas

Argamassa	CL:terra:Areia		Água/(CL+t) [-]	Água/t [-]	Consist. espalh. [mm]
	Traço em massa	Traço em volume			
CL2	1:0:7,7	1:0:2	0,17	-	147
CL2_5t	1:0,05:8,1	1:0,02:2,1	0,18	35,4	150
CL2_10t	1:0,1:8,6	1:0,04:2,2	0,18	17,7	155
CL2_25t	1:0,3:10,3	1:0,1:2,7	0,18	7,1	150
CL2_50t	1:1:15,5	1:0,3:4	0,18	3,5	149
CL3	1:0:11,6	1:0:3	0,25	-	151

Os resultados da caracterização complementar das argamassas frescas foram anteriormente apresentados (Faria et al. 2015a).

Com cada argamassa foram produzidos provetes prismáticos com dimensões de 40 mm x 40 mm x 160 mm, com compactação mecânica em duas camadas, e provetes constituídos por uma camada de argamassa com cerca de 2 cm de espessura aplicada, após aspersão prévia com água, sobre uma superfície de tijolo furado com área de cerca de 20 cm x 30 cm. Para a execução destes provetes de argamassa sobre tijolo, esta foi deixada cair por ação da gravidade de uma altura constante de 70 cm, e depois talochada para aperto e regularização.

Todos provetes foram colocados numa sala condicionada, a temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e humidade relativa (HR) de $65 \pm 5\%$, sendo aspergidos com água diariamente durante os primeiros 4 dias. Os provetes prismáticos foram desmoldados e permaneceram na sala de cura até aos 90 dias, juntamente com os provetes sobre tijolo. Foram ensaiados aos 90 dias de idade.

Procedimentos de ensaio utilizados

Características mecânicas

O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) foi determinado, de forma não destrutiva, com base na NP EN 14146, utilizando o equipamento Zeus Resonance Meter. Cada provete prismático é colocado com um topo em contacto com o recetor e outro com o emissor e atravessado por onda ultrassónica. Com base na massa e na dimensão do provete, o equipamento calcula diretamente o valor de E_d a partir da frequência de ressonância determinada. Com cada provete, alterando a sua posição no equipamento, realizam-se 4 ensaios. Os mesmos provetes foram utilizados para a determinação da resistência à tração por flexão por 3 pontos, com base na EN 1015-11, num equipamento Zwick Rowell Z050. Uma metade resultante de cada provete foi ensaiada de acordo com a mesma norma à compressão.

Características microestruturais

Um topo íntegro de cada provete submetido ao ensaio de compressão foi utilizado para a determinação da porosidade aberta e da massa volúmica, com base na NP EN 1936. É aferida a massa seca dos provetes e estes são inseridos num excicador sob vácuo. Ao fim de 24 h é introduzida água lentamente, sob vácuo, até imersão completa dos provetes. Após 24h a pressão é libertada e, após novas 24 h, a massa dos provetes é aferida em imersão (pesagem hidrostática) e saturada em água.

Apenas uma amostra de cada argamassa foi preparada de forma a preencher o mais possível o recipiente do penetrómetro de vidro a ensaiar por porosimetria de mercúrio. Foi utilizado um equipamento Micromeritics Autopore II, com pressões baixas de 0,014-0,207 MPa e altas de 0,276-206,843 MPa. O resultado apresenta-se na forma de curvas de intrusão incremental de mercúrio, função do diâmetro dos poros.

Características físicas

A condutibilidade térmica (λ) foi determinada aos 90 dias de idade das argamassas, através do equipamento ISOMET 2104 Heat Transfer Analyzer, com uma sonda de contacto API 210412 com área circular com 60mm de diâmetro, aplicada nos provetes de argamassa sobre tijolo furado, colocados sobre uma placa de isolamento térmico.

A metade dos provetes prismáticos resultante do ensaio de resistência à flexão, não utilizada para a compressão, foi utilizada para determinação da capilaridade e secagem.

O ensaio de capilaridade foi realizado com base na EN 1015-18 e na EN 15801. As faces laterais de cada provete foram envoltas em filme de polietileno, de forma a bloquear a evaporação de água por essas superfícies e garantir ascensão capilar unidirecional. Foi aplicado uma gaze, mantida por um elástico, na base do provete, sobre o polietileno. A massa constante seca dos provetes foi aferida e a sua base foi colocada em contacto com uma lâmina de água de 5 mm, no instante de tempo 0 segundos. Foram aferidas as massas dos provetes a intervalos de tempo definidos após contacto com a água. O ensaio foi considerado concluído quando a variação de massa estabilizou. A variação de massa por unidade de área em contacto com a água possibilita a elaboração da curva de capilaridade de cada provete e a curva média de cada argamassa. O coeficiente de capilaridade resulta do declive do troço inicial mais representativo dessa curva e traduz a velocidade com que ocorre a absorção capilar, enquanto o valor assintótico traduz a absorção total de água por capilaridade (massa saturada).

O ensaio de secagem iniciou-se com a aferição da massa saturada de cada provete, com a remoção do respetivo provete do contacto com a água e remoção da gaze da base dos provetes, com base na EN 16322. A massa dos provetes continuou a ser aferida a intervalos definidos a partir do instante 0 s, com o topo dos provetes colocado em contacto com uma superfície metálica e impermeável, na sala condicionada. Determinou-se a curva de secagem de cada provete e de cada argamassa, com base no tempo (em abcissa) e variação de massa em ordenada. O declive com a horizontal do troço inicial de cada curva define a taxa de secagem da fase de inicial de secagem. Essa curva possibilita também a determinação do índice de secagem, que diminui com a facilidade de secagem global.

Resistência ao ataque por sulfatos

Foram dissolvidos 329 g de sulfato de sódio anidro em 10 litros de água potável, correspondendo a 3,09% - metade da dosagem indicada na EN 12370. Foi seguido o procedimento descrito por Faria (2009) e utilizados os provetes resultantes dos ensaios de capilaridade e secagem. Foi removido o filme de polietileno dos provetes previamente submetidos aos ensaios de capilaridade e secagem e os provetes foram secos em estufa a 105°C até massa constante. Após pesagem, os provetes foram imersos na solução durante 2h, escorridos e secos de novo em estufa, durante um mínimo de 21h e a massa avaliada

de novo. Após cerca de 35-40 minutos de arrefecimento, o ciclo foi repetido. Realizaram-se 25 ciclos. Os resultados são expressos graficamente pela curva que apresenta a variação de massa em função do número de ciclos.

Resultados e discussão

Exceto quando indicado em contrário, todos os ensaios foram realizados num mínimo de 3 provetes e os resultados são a média (e desvio-padrão) dos valores obtidos.

Características mecânicas

Apresentam-se no Quadro 3 as características mecânicas das argamassas. O módulo de elasticidade dinâmico (E_d) e a resistência à compressão são directamente proporcionais, apresentando as mesmas tendências entre as argamassas. A tendência é de uma estabilidade dos valores de E_d e R_c com percentagens de substituição de cal por terra até 10% e com traço 1:3, e uma diminuição de cerca de 20% com as substituições de 25% e 50%. Embora apenas ensaiadas aos 90 dias, e não aos 28, de acordo com a norma NP EN 998-1 para rebocos, todas as argamassas aparentam poder classificar-se como CS I relativamente à resistência compressão. No entanto, de acordo com a EN 998-2 as argamassas não são classificáveis como argamassas de assentamento do ponto de vista da resistência à compressão.

Quadro 3: Módulo de elasticidade dinâmico, resistências à flexão e à compressão, massa volúmica aparente, porosidade aberta e condutibilidade térmica das argamassas

Arg.	E_d [N/mm ²]		R_t [N/mm ²]		R_c [N/mm ²]		MV [kg/m ³]		Pab [%]		λ [W/(m.K)]	
	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp
CL2	2902	48	0,33	0,02	0,70	0,14	1594	9	29,4	0,4	0,74	0,01
CL2_5t	2880	53	0,31	0,02	0,64	0,06	1552	7	31,0	0,3	0,73	0,03
CL2_10t	2914	42	0,35	0,02	0,72	0,02	1560	4	30,9	0,2	0,77	0,10
CL2_25t	2662	34	0,31	0,02	0,57	0,03	1576	11	30,3	0,3	0,73	0,01
CL2_50t	2229	90	0,24	0,01	0,51	0,04	1579	3	29,7	0,1	0,69	0,04
CL3	3243	56	0,30	0,03	0,66	0,04	1596	6	28,6	0,2	0,77	0,03

Quanto à resistência à flexão, ocorre um acréscimo positivo com a substituição de cal por 10% de terra. A razão R_t/E_d é assim bastante elevada para esta argamassa, indiciando um bom comportamento. A argamassa com substituição de 25% de cal por terra ainda apresenta uma resistência ligeiramente superior à argamassa de referência ao traço 1:3.

Comparando os resultados de caracterização mecânica obtidos com os de argamassas caracterizadas por Gomes et al. (2016) realizadas com a mesma terra, com outra areia e aos traços em volume de 1:3 e em massa de 1:3,8 (terra: areia), sem ou com adições em massa de 5%, 10% e 15% da mesma cal aérea, verifica-se que enquanto as argamassas de cal não são prejudicadas com a substituição por até 25% de cal por terra, já nas argamassas de terra a adição de 5% de cal baixa drasticamente todas as características mecânicas, sendo essa redução um pouco menor para adições de 10% e 15% de cal.

Pimenta et al. (2014) verificou, por análise de DRX e DTG, que não houve qualquer formação de compostos por reacção entre os minerais de argila da terra e a cal aérea, pelo que o efeito da substituição de cal por terra será apenas físico.

Características microestruturais

Apresentam-se no Quadro 3 a massa volúmica e a porosidade aberta das argamassas. Verifica-se, tal como expectável, que a porosidade aberta é inversamente proporcional à massa volúmica. No entanto, entre as argamassas de referência aos traços 1:2 e 1:3 esperava-se maior variação, com base na argamassa CL3, com menor teor de ligante, ser potencialmente menos compacta (mais porosa), o que não é demonstrado pelo resultado destes ensaios. Aparentemente, e admitindo que o processo de ensaio impediu a lavagem de finos da terra, há uma redução drástica de massa volúmica com a substituição de 5% de cal por terra, redução essa que se vai diluindo gradualmente com o aumento da substituição de cal por terra.

A Figura 1 apresenta os resultados da porosimetria de mercúrio, em termos de intrusão incremental função do diâmetro dos poros. Verifica-se que a microestrutura das argamassas de referência também aqui surge muito semelhante, validando os resultados antes apresentados da massa volúmica e porosidade aberta. O comportamento mais diferenciado é apresentado pelas argamassas com 50% e 5% de terra em substituição da cal, cuja intrusão principal não ocorre na gama dos 0,8 μm , tal como nas restantes argamassas, apresentando-se numa gama um pouco inferior. De entre as argamassas com intrusão incremental maioritaria na gama dos 0,8 μm salienta-se ligeiramente a argamassa com 10% de terra com um maior pico nessa gama. Ressalva-se, no entanto, o facto destes resultados terem sido obtidos apenas com análise de uma amostra por argamassa e não traduzirem, assim, um valor médio.

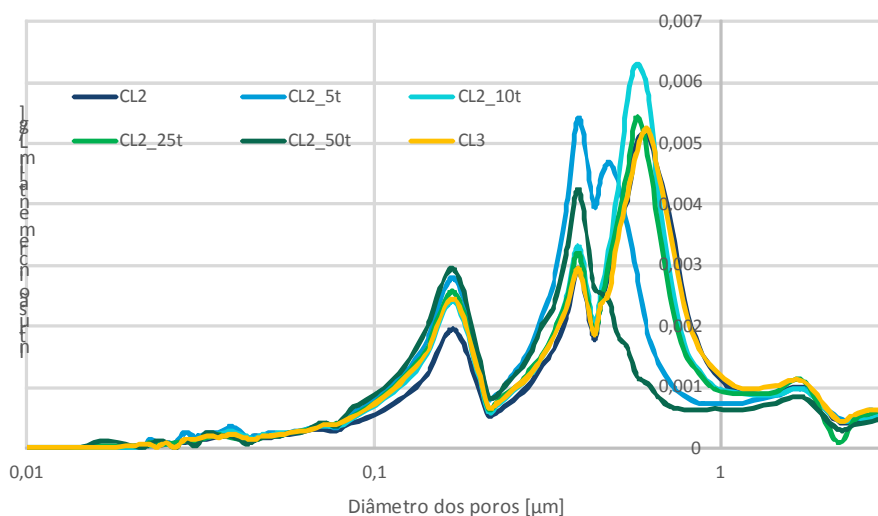


Figura 1: Curvas de intrusão incremental de mercúrio função do diâmetro dos poros das argamassas

Condutibilidade térmica, capilaridade e secagem

A condutibilidade térmica das argamassas é apresentada no Quadro 3. Como seria expectável, verifica-se uma muito reduzida variação entre as argamassas, todas elas com valores de $0,73 \pm 0,04 \text{ W/(m.K)}$.

Apresentam-se na Figura 2 as curvas de capilaridade das argamassas e no Quadro 4 os correspondentes coeficientes de capilaridade e valores assintóticos. Verifica-se que a substituição de cal por percentagens de terra até 10% diminui o coeficiente de capilaridade e que mesmo 25% de terra apresenta um CC ligeiramente inferior ao da argamassa de referência CL2. Já a substituição por 50% de terra produz um aumento do CC. O valor assintótico de absorção capilar quase não sofre alteração entre as várias argamassas com traço base 1:2. No entanto, a argamassa de referência CL3 apresenta um CC e um VA inferior a todas as CL2, devido a muito provável redução de capilares.

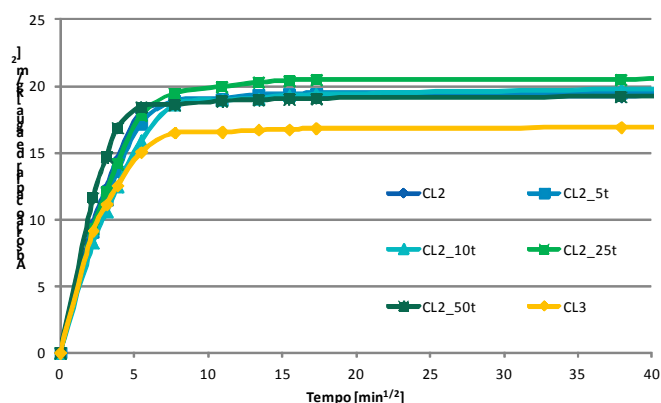


Figura 2: Curvas de capilaridade das argamassas

Quadro 4: Coeficiente de capilaridade, valor assintótico de absorção capilar, taxa de secagem na 1ª fase, índice de secagem e perda de massa após 25 ciclos de ataque por sulfatos das argamassas

Arg.	CC [kg/(m ² .min ^{1/2})]		VA [kg/m ²]		TS [kg/(m ² .h)]		IS [-]		ΔMassa Sulf. [%]	
	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp	Med	Dp
CL2	3,78	0,18	19,7	0,6	0,26	0,01	0,19	0,02	48,4	2,7
CL2_5t	3,53	0,18	20,0	0,3	0,26	0,01	0,17	0,01	50,0	1,8
CL2_10t	3,24	0,17	20,2	0,6	0,24	0,01	0,16	0,00	43,6	4,5
CL2_25t	3,70	0,17	20,9	0,3	0,23	0,04	0,18	0,03	59,1	0,4
CL2_50t	4,42	0,01	19,5	0,3	0,28	0,02	0,15	0,01	64,9	0,9
CL3	2,76	0,23	17,4	0,5	0,30	0,02	0,10	0,01	42,3	2,5

Apresentam-se na Figura 3 as curvas de secagem das argamassas e no Quadro 4 os correspondentes taxas da 1ª fase de secagem e índice de secagem. Verifica-se que a taxa de secagem da 1ª fase de secagem reduz com a substituição de cal até 25% de terra, aumentando para percentagem de substituição de 50% e para a argamassa de referência ao traço 1:3. Já o índice de secagem, que traduz a dificuldade de secagem total, é particularmente positivo para esta argamassa CL3, o que supostamente encontraria justificação na menor compacidade desta argamassa, com uma estrutura mais porosa comparativamente à argamassa CL2. Tal é sugerido pela análise microestrutural uma vez que a gama principal de poros da argamassa CL3 encontra-se nos 0,8 μm enquanto a da CL2 é um pouco menor. Entre as argamassas com base ao traço 1:2, o comportamento traduzido pelo índice de secagem é mais negativo para as argamassas CL2 comparativamente às argamassas com terra.

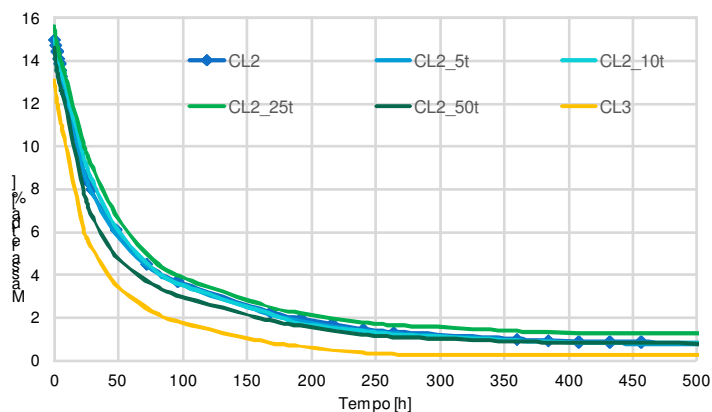


Figura 3: Curvas de secagem das argamassas

Resistência ao ataque por sulfatos

Apresentam-se na Figura 4 as variações de massa por ação de sulfatos ao longo dos ciclos e no Quadro 4 a perda de massa ao fim de 25 ciclos. Verificou ainda que, ao longo do ensaio, a degradação ocorreu sempre superficialmente, por falência mecânica; daí haver uma correspondência inversa entre a resistência à compressão das argamassas e a correspondente perda de massa por ação dos sulfatos. Como seria expectável, não se desenvolveu nenhum composto químico expansivo, que provocasse rotura no seio das argamassas, do tipo que ocorre por vezes em argamassas cimentícias (Faria 2009).

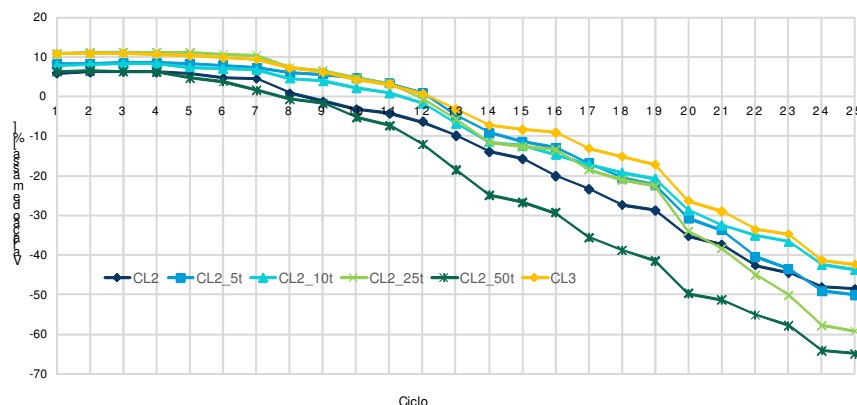


Figura 4: Variação de massa das argamassas ao longo dos ciclos de ataque por sulfatos

Conclusões

Uma vez que os valores mínimos de resistências à flexão e à compressão de todas as argamassas com terra analisadas são superiores aos mínimos definidos por Veiga et al. (2010) para aplicação em rebocos de alvenarias antigas ou com características similares, considera-se que, do ponto de vista mecânico, constituem argamassas adequadas para essas aplicações. De entre as argamassas com terra analisadas, a com 10% de substituição de cal por terra demonstra ser bastante eco-eficiente, não só em termos mecânicos mas também em termos de comportamento face à água, e também para refechamento de juntas. O seu comportamento tem demonstrado ser eficiente, sem ocorrência de fendilhação e boa durabilidade, mesmo quando aplicada em sistema de reboco de murete experimental (Faria et al. 2013), avaliado até à data. Para além dos aspectos técnicos analisados, estas argmassas apresentam ainda uma pigmentação natural interessante.

Corroborando a prática tradicional, o uso da terra como constituinte parcial de argamassas de cal aérea mostra ser uma medida que tecnicamente pode ser eficiente, o que justifica a continuidade do seu estudo, com vista a uma mais aprofundada caracterização e otimização de potenciais formulações.

Nas argamassas com terra analisadas efetuou-se uma substituição em massa de cal aérea por terra. A terra apresenta uma baridade muito superior à da cal. Isto significa que, na substituição, um determinado volume de cal foi substituído por um volume muito inferior de terra. Assim, interessa aferir se argamassas em cujas formulações se mantenham os volumes (em vez de as massas) nas substituições de cal por terra, os resultados poderão vir a ser ainda otimizados.

Agradecimentos

Agradece-se aos Mestres Naila Jamú, Inês Dias e Vitor Silva pela caracterização destas argamassas, à Lusical-Lhoist pela disponibilização da cal aérea, à Doutora M^ª. Idália Gomes e à Sorgila pela disponibilização da terra caulinítica e aos projectos DB-Heritage

(PTDC/EPH-PAT/4684/2014) e PRESERVE - Preservação de revestimentos do Património construído com valor cultural.

Referências bibliográficas

- Cardoso, C. et al. (2013). Natural fibre reinforced earth and lime based mortars. Portugal SB13, Guimarães, 183-190.
- Darling, E. et al. (2012). Impacts of clay plaster on indoor air quality assessed using chemical and sensory measurements. *Building and Environment*, 57, 370-376.
- Faria, P. et al. (2015a). Air lime-earth blended mortars - Assessment on fresh state and workability. *Earthen Architecture – Past, Present and Future*, London: Taylor & Francis Group, 133-138.
- Faria, P. et al. (2015b). Experimental characterization of an earth eco-efficient plastering mortar. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 28 (1), 04015085.
- Faria, P. et al. (2014). Earth-based mortars for masonry plastering. 9th International Masonry Conference, Guimarães.
- Faria, P. et al. (2013). Evaluation of air lime and clayish earth mortars for earthen wall renders. *Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*, CRC Press / Taylor & Francis Group, 407-413.
- Faria, P. (2009). Resistance to salts of lime and pozzolan mortars. *RILEM Proceedings pro 067 – International RILEM Workshop on Repair Mortars for Historic Masonry*, C.Groot, Ed., RILEM Publications, 99-110.
- Gomes, M.I. et al. (2016a). Characterization of earth-based mortars for rammed earth repair. *Earth Construction and Tradition*. Vol. 1, Vienna, Institute of History of Art, Building Archaeology and Restoration at the Vienna University of Technology and IVA–ICRA, 259-276.
- Gomes, M.I. et al. (2016b). Hydric behavior of earth materials and the effects of their stabilization with cement or lime: study on repair mortars for historical rammed earth structures. *J. Mater. Civ. Eng.*, 04016041.
- Gomes, M.I. et al. (2012). Argamassas de terra na conservação de paredes de taipa. 4º Congresso de Argamassas e ETICS, Coimbra.
- Gomes, M.I. (2013). Conservação de paredes de taipa: argamassas de reparação. Tese de Doutoramento, Universidade NOVA de Lisboa.
- Hamard, E. et al. (2013). A procedure to assess the suitability of plaster to protect vernacular earthen architecture. *Journal of Cultural Heritage*, 14, 109-115.
- Lima, J.; Faria, P. (2016). Eco-efficient earthen plasters. The influence of the addition of natural fibers. *Natural Fibres: Advances in Science and Technology Towards Industrial Applications*. Springer, RILEM Book Series 12, 315-327.
- Lima, J.; Faria, P.; Santos Silva, A. (2016). Earthen plasters based on illitic soils from Barrocal region of Algarve: contributions for building performance and sustainability. *Key Engineering Materials* 678, 64-77.
- Melià, P. et al. (2014). Environmental impacts of natural and conventional building materials: a case study on earth plasters. *Journal of Cleaner Production*, 80, 179-186.
- Morton, T.; Little, R. (2013). Conserving earth mortared monuments in a damp climate. HMC2013, Glasgow.
- Morton, T. (2004). Earth structures, renders and plasters: experiments in historical techniques and weathering. *LEHM 2004*, Weimar, 273-275.
- Pimenta, P. et al. (2014). Caracterização de argamassas de cal aérea e terra. *Argamassas 2014*, Coimbra.
- Santos, T.; Faria, P. (2016). Evaluating earthen mortars for rendering. *Terra2016*, Lyon.
- Veiga, R. et al. (2010). Lime-based mortars: viability for use as substitution renders in historical buildings. *Intern. Journal of Architectural Heritage*, 4, 177-195.