

Argamassas de terra e cal reforçadas com fibras naturais

EIRES Rute^{1, a}, CARDOSO César^{1, b} e CAMÕES Aires^{1, c}

¹Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, Campus de Azurém, Guimarães, Portugal

^arute@civil.uminho.pt, ^bd4661@civil.uminho.pt, ^caires@civil.uminho.pt

Palavras-chave: Argamassas de reboco, argamassas de terra e cal, fibras naturais

Resumo. As principais vantagens do uso da terra e cal em argamassas de reboco podem ser resumidas a: promoção de um melhor controlo da humidade relativa do ar, resultando num ambiente interior mais saudável; vantagens económicas e ambientais, pelo reduzido consumo de cal que conduz a uma menor energia incorporada, sendo o custo também menor; e a estética, que por si só permite a obtenção de cores e texturas bastante interessantes. O presente trabalho de investigação foi desenvolvido com o principal objetivo de melhorar as características básicas das argamassas de reboco de terra e cal, em especial para contrariar o efeito de retração de argilas no sentido de evitar a sua fissuração. Para o efeito estudou-se uma argamassa padrão feita de terra e cal, sem a adição de fibras e a incorporação de vários tipos de fibras na argamassa padrão. Foi testada a adição de fibras naturais (banana, coco, sisal) e, a fim de comparar os resultados, foi também testada a incorporação de fibras sintéticas (polipropileno). Devido à grande variedade de tipos e quantidades de argila presentes na terra, com comportamentos distintos, foram realizados testes expeditos de modo a quantificar e caracterizar a argila presente no solo utilizado. Para avaliar o desempenho das fibras incorporadas nas argamassas foram realizados testes laboratoriais para obter as propriedades mais relevantes: trabalhabilidade; comportamento mecânico; comportamento à água; e suscetibilidade à fissuração.

Introdução

Em consequência da crescente procura de uma arquitetura sustentável, o interesse pela construção em terra, bem como pelas argamassas à base de terra e cal têm crescido. Por isso, estas argamassas têm vindo a ser estudadas tendo em vista à sua utilização na reabilitação de edifícios antigos e na construção de edifícios novos, como por exemplo em paredes em terra crua [1,2] ou em paredes construídas com fardos de palha [3].

As principais vantagens da utilização deste tipo de argamassas são: i) maior compatibilidade com materiais antigos do que as argamassas à base de cimento [1]; ii) menor consumo energético durante o fabrico dos constituintes da argamassa [3]; iii) e maior salubridade no interior dos edifícios à semelhança do verificado na construção em terra [4].

Uma argamassa de terra consiste numa mistura de terra crua com granulação fina e água. A coesão deste tipo de argamassas deve-se essencialmente à fração de argila presente na argamassa, mas também aos aditivos, fibras e material de enchimento, adicionados à argamassa para melhorar ou reforçar as suas características. Recomenda-se que as argamassas de terra sejam produzidas com adições adequadas, como por exemplo areia, palha triturada ou outras plantas à base de materiais fibrosos, podendo ainda ser adicionados outros materiais para melhorar as suas características, como a cal, gesso, pozolanas naturais, cimento, resinas, biopolímeros, etc [5]. Os materiais adicionados devem ser selecionados de modo que as características da argamassa final cumpram determinados requisitos específicos como, por exemplo, os estabelecidos pelo documento *Lehmbau Regeln*, documento da Associação Alemã para a Construção em Terra, que estabelece regras para a construção em terra [5].

As características da argamassa de terra dependem essencialmente da força de ligação do solo utilizado, adesão proporcionada sobretudo pela quantidade e tipo de argila existente no solo. A variedade de minerais argilosos presentes no solo influencia diretamente as propriedades do solo e, conseqüentemente, das argamassas obtidas. Estes minerais levam a diferentes níveis de retenção de água, plasticidade, dispersão e expansibilidade do solo. É recomendado o uso de uma terra de construção que não seja muito pobre em argila, livre de pedras e com dimensões de grãos inferiores a 5 mm [5].

A cal pode ser adicionada aos solos ricos em argila uma vez que possibilita um aumento da resistência e conseqüentemente da durabilidade [6]. Contudo, como a quantidade de argila reativa nos solos pode variar consideravelmente, não é possível prescrever uma mistura universal apropriada. Holmes e Wingate sugerem um conteúdo ótimo de 10% de argila, e uma proporção de cal entre 3% e 10%. Advertem, no entanto, que para proporções inferiores a 5% a resistência à compressão pode ser reduzida em vez de aumentar [2].

Relativamente à utilização de cal em pasta ou em pó, num estudo sobre as aplicações em obra de argamassas de cal, em pasta e em pó, os respetivos ensaios laboratoriais não apresentaram diferenças significativas nas resistências à compressão e na capilaridade das argamassas [7]. Contudo, a cal em pasta apresenta algumas vantagens: i) é um ligante que não perde qualidade com o armazenamento, comparativamente com a cal aérea em pó, porque a presença da água reduz o processo de carbonatação; ii) melhora a trabalhabilidade das argamassas; iii) e reduz o aparecimento de fissuras das mesmas [7].

A utilização das fibras está sobretudo associada à possibilidade de mitigação da fissuração. Contudo, existem muitos tipos de fibras, com diferentes propriedades, o que afeta o modo como estas interagem com a argila e a cal [2].

O objetivo deste estudo é propor uma solução possível para reboco de paredes em terra ou mesmo para uma construção tradicional de alvenaria de tijolo furado, recorrendo a argamassas à base de terra e cal com adição de fibras naturais (de sisal, banana e coco), e avaliar as suas principais características comparativamente à não utilização de fibras ou à utilização de fibras sintéticas de polipropileno. Para tal, foram realizados diversos ensaios laboratoriais, apresentando-se neste artigo: os requisitos que este tipo de argamassas deverá cumprir; os materiais selecionados; as misturas testadas; a metodologia adotada; e os resultados obtidos com a respetiva análise.

Requisitos para argamassas à base de terra e cal

No sentido de se obterem valores típicos para as propriedades essenciais das argamassas de revestimento realizou-se uma pesquisa, tendo-se encontrado as seguintes recomendações.

No documento *Lehmbau Regeln* é mencionado que o valor mínimo de resistência à compressão deveria ser $\geq 1,5$ MPa, correspondendo à categoria CSII (resistência à compressão entre 1,5 a 5,0 N/mm² de acordo com a norma europeia EN 998-1) [5].

Minke & Ziegert citam outros documentos para argamassas de revestimento, cujos requisitos se apresentam na Tabela 1 [8].

Tabela 1: Requisitos mínimos para resistência à compressão de argamassas de argila segundo a sua [8]

Tipo de uso	Resistência à compressão [MPa]	Tensão de aderência [MPa]
Espaços secundários	$\geq 0,50$	-
Revestimento de superfícies em espaços uteis de uso geral	$\geq 1,00$	$\geq 0,03$
Como base para reboco final, pintura ou papel de parede	$\geq 1,50$	$\geq 0,03$

Para argamassas de substituição ou de renovação, Veiga refere alguns valores para características mecânicas e não-mecânicas, para a maioria das paredes de alvenaria irregular, com base em experiência adquirida (ver Tabela 2) [9]. Neste caso o requisito para a resistência à compressão enquadra-se na classe CSI definida na norma europeia EN 998-1 [9].

Tabela 2: Requisitos mínimos para diferentes propriedades [9]

	Resistência à flexão [MPa]	Resistência à compressão [MPa]	Tensão de aderência [MPa]	Coefficiente de capilaridade, C [kg/m ² .min ^{0.5}]
Reboco para exteriores ou interiores	0,2–0,7	0,4–2,5	0,1–0,3 ou rotura coesiva pelo reboco	1 ≤ C ≤ 1,5

Materiais selecionados e misturas testadas

Materiais selecionados. O solo utilizado foi recolhido na região centro de Portugal (perto da Figueira da Foz) e antes da sua utilização foi moído manualmente, sendo retirados por peneiração os grãos de maior dimensão. Para caracterização do solo foram efetuadas análises granulométricas, sedimentares, e a verificação do tipo de argila presente no solo.

Foi utilizada uma areia comercial, natural rolada, de tamanho médio de granulometria (0,063 mm - 4 mm de acordo com a norma portuguesa NP EN 933-1 [10]). A adição da areia teve como principal objetivo diminuir a retração elevada, uma vez que o solo tem uma grande quantidade de finos (argila e silte), cerca de 39% em massa, conforme se pode constatar por observação da Figura 1.

Através do teste de sedimentação simples da amostra fina, verificou-se que cerca de 47% é argila e 53% é silte. No sentido de confirmar o tipo de argilas presentes no solo recolhido foi realizado o teste de "Emerson", descrito por Houben & Guillaud [6]. O tipo de argila provável contida no solo argiloso será a ilite e/ou montemorilonite.

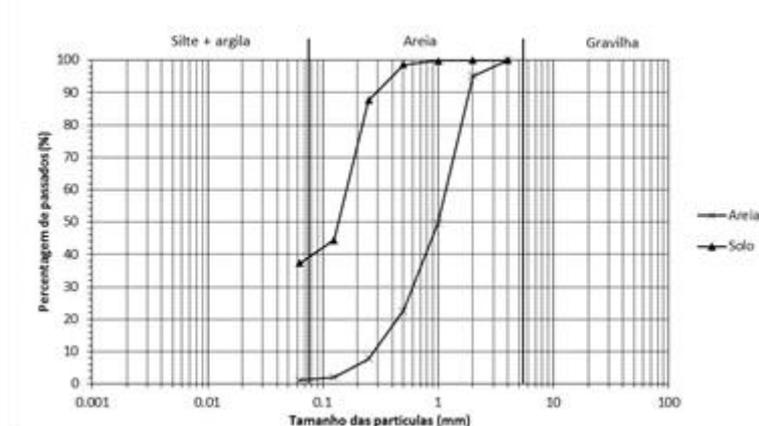


Figura 1: Granulometria da areia e solo usados

O ligante utilizado foi cal aérea em pasta de uma empresa portuguesa (Fradical), classificada como ligante natural, CL90 de acordo com a norma europeia EN 459-1, classificada como cálcica de cor branca e uma massa volúmica de 1300 kg/m³ [11].

As fibras naturais utilizadas (sisal, banana e de coco) são oriundas do Brasil, sendo classificadas como fibras naturais, orgânicas, de origem vegetal. As fibras de sisal são provenientes da folha do sisal, as fibras de coco são provenientes do fruto de uma planta designada por coqueiro e as fibras de banana têm proveniência do caule da bananeira. Estas fibras foram cortadas num comprimento de aproximadamente 20 mm. Todavia, devido ao modo como as fibras de coco se apresentam, emaranhadas, foi mais difícil de garantir o comprimento desejado. As fibras de polipropileno utilizadas em estudo provêm de uma empresa portuguesa (Vimaplás) [13].

As propriedades físicas e mecânicas são apresentadas nas Tabelas 3 e 4 respetivamente.

Misturas testadas. As argamassas foram preparadas utilizando-se o traço em volume 1:1,5:3 (cal: solo: areia) com adição de 0,24% de fibras (em relação à massa da mistura seca). A quantidade de água utilizada foi determinada com a preparação de misturas prévias até se obter uma consistência de aproximadamente 150 mm (teste de espalhamento, ver Tabela 5).

As misturas foram desenvolvidas com o objetivo de manter a relação água/ligante o mais baixa possível, no sentido de melhorar o desempenho do reboco, e considerando que a cal em pasta

utilizada contém uma percentagem de água próxima dos 57% (percentagem obtida por secagem da pasta a 100°C).

Tabela 3: Propriedades físicas [12,13,14]

Fibra	Diâmetro [μm]	Massa específica [kg/m^3]	Massa linear (Tex) [g/km]	Absorção de água após 5 min [%]	Absorção de água após saturação [%]
Sisal	100–300	1260	26–45	67–92	190–250
Banana	150	1500	10–30	-	407
Coco	40–400	1390–	16–35	22–38	85–135
Polipropileno	38	-	-	-	-

Tabela 4: Propriedades mecânicas das fibras [12,14]

Fibra	Tensão de rotura [MPa]	Módulo de elasticidade [GPa]	Força máxima (N)	Alongamento na máxima força [mm]
Sisal	324–329	19	12,4–18,1	3,0–3,5
Banana	700–800	-	2,2–4,7	2,3–2,5
Coco	95–134	2,5–4,5	2,6–5,1	11,4–14,0
Polipropileno	340–400	3,5–4	-	-

O processo de mistura adotado foi manual, utilizando-se a seguinte metodologia: i) homogeneização manual da terra com a areia; ii) introdução da cal; iii) mistura manual com consecutivos acrescentos de água até homogeneização da mistura e obtenção da consistência desejada (de acordo com o resultado obtido no teste de espalhamento); iv) e por fim a introdução e dispersão das fibras na mistura.

As diferentes misturas realizadas são designadas por EM (*earthen mortar*) nas tabelas e gráficos deste artigo. Cada mistura está ainda associada a um número (e.g. EM0-Sem fibras).

Metodologia

A análise experimental das argamassas envolveu a caracterização das mesmas no estado fresco, através da determinação da consistência por espalhamento, e no estado endurecido, através da determinação de: i) suscetibilidade à fendilhação/fissuração; ii) absorção de água por capilaridade; iii) secagem; iv) resistência mecânica (à tração por flexão e à compressão); v) e aderência ao suporte por testes de arrancamento. Note-se que alguns destes ensaios não são facilmente aplicáveis a argamassas de terra, devido ao endurecimento lento, à baixa resistência mecânica e sensibilidade à ação da água, o que obrigou à adaptação dos procedimentos de ensaio.

O ensaio de espalhamento foi realizado de acordo com a norma europeia EN 1015-3 (1999) [15]. A consistência considerada como adequada para a preparação das argamassas foi de 150 ± 10 mm.

Os ensaios de resistência à compressão e flexão foram realizados de acordo com a norma europeia EN 1015-11 (1999) [16].

Relativamente ao fabrico dos provetes, verificou-se que a utilização das fibras dificultou a compactação por intermédio do pilão previsto pela norma NP EN 1015-11 [16], optando-se por usar um equipamento mecânico de compactação, previsto na norma NP EN 196-1 [17], com 25 pancadas por camada.

Relativamente ao processo de cura foi necessário fazer algumas adaptações. A norma NP EN 1015-11 [16] estabelece as condições de cura de diversos tipos de argamassa (de cimento, cal, entre outros), mas não de argamassas cujo ligante é a argila (argamassas de terra). Neste caso procurou-se seguir o método recomendado para argamassas de cal. A norma indica para todos os casos uma cura húmida de 7 dias, com o provete 2 ou 5 dias dentro do molde, dependendo do tipo de argamassa. No presente caso, contudo, verificou-se que os provetes não endureciam o suficiente para poderem ser desmoldados ao fim de 5 dias. Assim, optou-se por manter os provetes no molde durante os 7 dias da cura húmida (dentro de um saco fechado de polietileno). Depois, os provetes foram retirados do saco, mantendo-se dentro do molde na sala condicionada (a $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e $65 \pm 5\%$ HR) durante mais 7

dias. Após este período foram desmoldados, mantendo-se na mesma sala até completarem os 21 dias.

A verificação da suscetibilidade à fendilhação/fissuração consistiu na aplicação de uma amostra de argamassa numa face de um tijolo cerâmico, verificando-se ao longo do tempo o aparecimento, ou não, de fissuras. A argamassa foi aplicada numa só camada com uma espessura máxima de 1,5 cm sobre tijolos cerâmicos de alvenaria furados, com face 300×200×150 mm³, previamente imersos em água. Os provetes foram curados em laboratório à temperatura média de 16,6 °C e uma humidade relativa média de 62,3 % durante de 28 dias.

O ensaio de absorção de água por capilaridade foi realizado de acordo com a norma europeia EN 1015-18 (CEN,2002) [18]. Para o mesmo, utilizou-se uma amostra de dois provetes (semi-prismas), para cada tipo de argamassa, submetidos a um processo de cura de 28 dias, tendo sido impermeabilizados lateralmente e ensaiados no final deste período. Os provetes foram colocados com a face fraturada em imersão parcial, ficando a altura da lâmina líquida a cerca de 10 mm acima da base dos provetes. Através de pesagens periódicas, determinou-se o aumento de massa ao longo do tempo.

Para a realização do ensaio de secagem foram utilizados os mesmos provetes do ensaio de absorção de água por capilaridade. A face inferior dos provetes ainda saturados foi selada com folha de polietileno, colocando-se depois estes provetes a secar numa sala condicionada a 20 ± 2°C e 60 ± 5% HR.

O teste de arrancamento foi realizado segundo a norma europeia EN 1015-12 (2000) [19], tendo-se utilizado cinco provetes, cada um deles obtido por aplicação de uma argamassa diferente na face de um tijolo.

Resultados obtidos e análise

Determinação da consistência por ensaio de espalhamento. Na Tabela 5 apresentam-se a quantidade de água adicionada às misturas realizadas, o rácio da água/material seco e os resultados da consistência pelo teste da mesa de espalhamento. Como tal, observa-se que a mistura com sisal apresenta um valor de água mais elevado. Este valor pode ser explicado pela maior capacidade de absorção das fibras de sisal, mas, também, pela sua maior rigidez que torna o espalhamento mais difícil, sendo necessário adicionar mais água para a mesma dispersão. No entanto, a incorporação de fibras de banana, coco ou polipropileno não apresenta diferenças significativas relativamente à água adicionada face à mistura sem fibras.

Tabela 5: Rácio da água/material seco e resultados da consistência pela mesa de espalhamento

Misturas	Água adicionada [ml]	Rácio água*/material seco [%]	Espalhamento [mm]
EM0 – Sem fibras	350	19,91	160
EM1 - Sisal	465	23,04	150
EM2 - Banana	350	19,91	150
EM3 - Coco	360	20,18	150
EM4 - Polipropileno	350	19,91	150

* Inclui a água presente na cal em pasta.

Resistências mecânicas. Os resultados da resistência à flexão e à compressão são apresentados na Figura 2. Pode-se observar que a adição de fibras naturais e sintéticas levaram a um aumento das resistências comparando com os resultados obtidos na mistura sem fibras, sobretudo na resistência à compressão. Este aumento foi maior na mistura com fibras de coco, aproximadamente mais 70% na resistência à compressão e 44% na resistência à flexão.

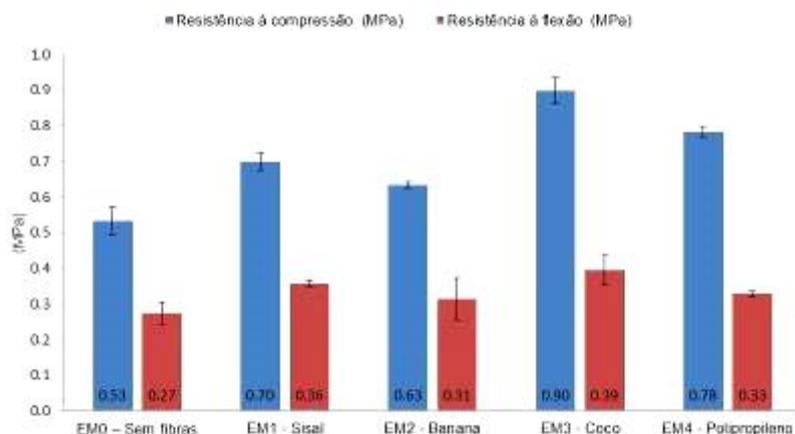


Figura 2: Resistência à flexão e compressão com indicação do desvio padrão

Suscetibilidade à fendilhação/fissuração. Para avaliar a suscetibilidade à fendilhação/fissuração, aplicaram-se as misturas testadas em tijolos cerâmicos com o propósito de se poder fazer uma análise visual ao longo do tempo. Detetou-se o aparecimento de fissuras na argamassa sem fibras (EM0) e na argamassa com fibras de polipropileno (EM4). Na Figura 3 é visível a presença de algumas fissuras largas na argamassa EM0, sendo, no entanto, a argamassa EM4 a que apresentou um maior número de fissuras, embora estas fossem de menor espessura e comprimento.

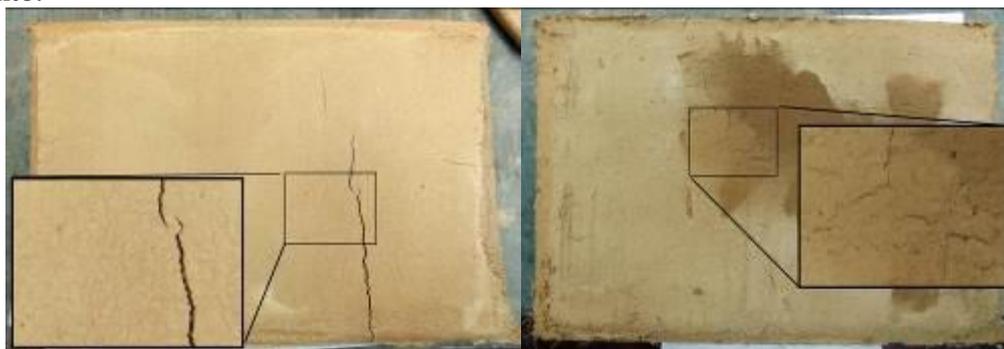


Figura 3: Argamassa sem fibras (EM0) (esquerda) e argamassa com polipropileno (EM4) (direita)

Absorção de água por capilaridade. Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos no ensaio de absorção de água por capilaridade, os coeficientes de absorção por capilaridade e as respetivas curvas de absorção de água. A inclinação do primeiro troço linear da curva de absorção corresponde ao coeficiente de absorção por capilaridade.

Os valores de coeficiente obtidos revelam uma ligeira redução da absorção de água nas misturas com fibras, principalmente com as fibras naturais (EM1, EM2 e EM3).

Observando-se as curvas de absorção de água, comparando com a mistura EM0, sem fibras, verifica-se que a mistura EM4 com fibras de polipropileno absorveu maior quantidade de água. Já as misturas EM1 e EM2, com fibras de sisal e banana, absorveram menos água aos 90 minutos ($\cong 10 \text{ min}^{0,5}$). Contudo, às 24 e 48 horas ($\cong 38 \text{ min}^{0,5}$ e $\cong 54 \text{ min}^{0,5}$ respetivamente) não apresentaram diferenças significativas entre as misturas testadas.

Secagem. O comportamento das diferentes misturas durante o processo de secagem é mostrado na Figura 5, através do índice de secagem e das respetivas curvas de evaporação de água. Esta propriedade é importante para as argamassas de revestimento, uma vez que estas são utilizadas em interiores, onde é expectável que o material seque rapidamente para que não seja aumentada a humidade relativa nos compartimentos interiores. O índice de secagem foi calculado de acordo com a fórmula de *Cultrone, G. et al* [20].

Os resultados revelam que, embora os valores obtidos sejam da mesma ordem de grandeza, a incorporação das fibras parece contribuir para uma ligeira redução do tempo de absorção, sobretudo

com as fibras naturais (EM1, EM2 e EM3). Verificando-se, também, que as misturas com menor quantidade de água inicial secaram com maior rapidez.

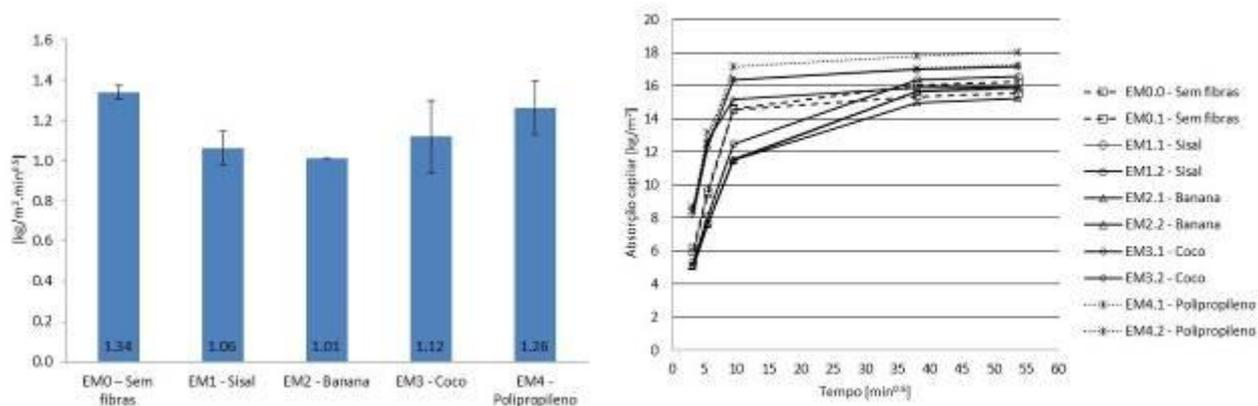


Figura 4: Coeficientes de absorção por capilaridade e as respectivas curvas de absorção de água

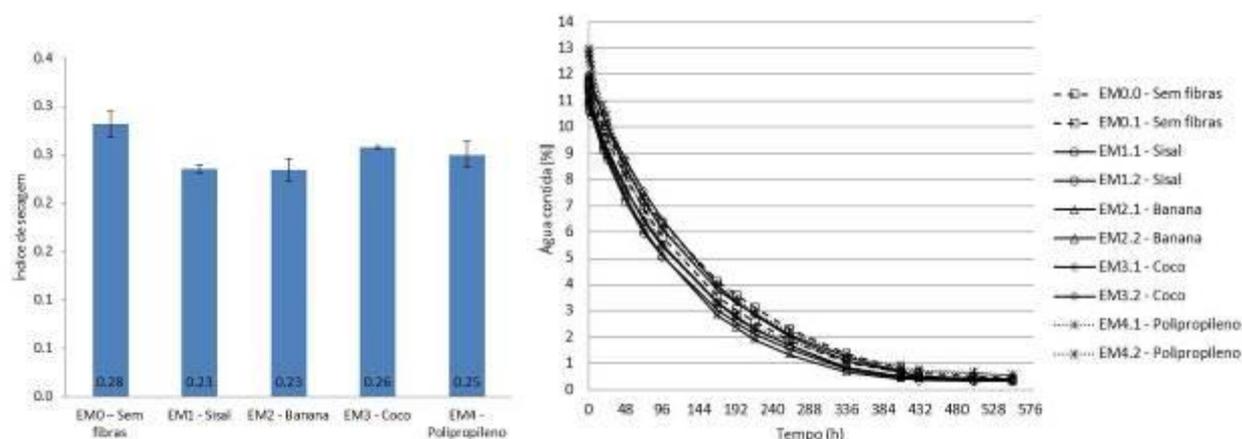


Figura 5: Índice de secagem e curva de evaporação

Aderência ao suporte. Na tabela 6 são apresentados os resultados obtidos no teste de arrancamento, apresentando os valores de resistência à tração, o coeficiente de variação e a tipologia de rotura observada.

O maior coeficiente de variação na mistura é verificado na de referência EM0 o que torna esta avaliação mais difícil. Contudo, em geral, comparando os resultados obtidos com a mistura sem fibras, verifica-se que a incorporação de fibras não parece afetar significativamente a aderência das argamassas ao suporte.

Relativamente à tipologia de rotura observa-se que: i) a mistura sem fibras (EM0) e a mistura com fibras de polipropileno (EM4) tiveram uma rotura adesiva (entre o revestimento e o suporte); ii) as misturas com fibras de banana e com fibras de coco (EM2 e EM3) tiveram uma rotura maioritariamente coesiva (pelo revestimento); iii) e a mistura com fibras de sisal teve uma rotura mista, apresentando os dois tipos de rotura.

Em geral, os resultados revelam que a resistência à tração das argamassas deverá ser próxima da tensão de aderência entre as argamassas e os tijolos.

Tabela 6: Resultados dos testes de arrancamento e tipologia de rotura

Misturas	Resistência à tração média [MPa]	Coefficiente de variação [%]	Tipologia de rotura
EM0 – Sem fibras	0,13	20,74	Maioritariamente A
EM1 - Sisal	0,09	9,47	Mista AB
EM2 - Banana	0,12	9,50	Maioritariamente B
EM3 - Coco	0,10	5,57	Maioritariamente B
EM4 - Polipropileno	0,10	4,83	A

A – Rotura adesiva (entre o revestimento e o suporte); B – rotura coesiva (pelo revestimento)

Conclusões

Com base nos resultados obtidos, conclui-se neste estudo que a incorporação das fibras naturais, sustentáveis, poderá ser uma boa solução para resolver o principal problema das argamassas à base de terra, a fendilhação/fissuração por retração. Os resultados destacam a redução deste problema e mostram que as propriedades das argamassas no estado seco (resistências mecânicas e absorção de água) não foram afetadas.

Relativamente aos requisitos mencionados para argamassas de revestimento a base de terra, pode-se concluir que estas argamassas com fibras naturais cumprem, em geral, os valores recomendados. Na resistência à flexão os valores obtidos foram entre 0,27 e 0,39 MPa (requisitos entre 0,2 e 0,7 MPa, ver Tabela 2). Na resistência à compressão cumprem os requisitos gerais para argamassas de reboco para exteriores ou interiores presentes na Tabela 2 (entre 0,4 e 2,5 MPa), embora pelos requisitos da Tabela 1 cumpram apenas com os valores de argamassas à base de terra para espaços secundários ($\geq 0,5$ MPa). Todavia, também se espera um aumento significativo das resistências ao longo do tempo. Na absorção de água por capilaridade os resultados obtidos encontram-se entre os valores recomendados (entre 1 e 1,5 kg/m².min^{-0,5}, ver Tabela 2). Nos testes de arrancamento, a maioria das misturas cumpre os valores mínimos recomendados de $\geq 0,03$ MPa da Tabela 1 e de 0,1 MPa da Tabela 2.

As argamassas estudadas apresentam também um bom comportamento relativamente à secagem da água após absorção, revelando que a humidade relativa dos compartimentos não será comprometida. Além disso, apresentam uma boa trabalhabilidade e facilidade de aplicação no suporte.

Relativamente à sustentabilidade, comparando este tipo de argamassas à base de terra, cal e fibras com as argamassas convencionais de cal, gesso ou cimento, o teor em argila permite reduzir parcialmente ou completamente a percentagem utilizada de material ligante processado. Os ligantes processados requerem um considerável consumo de energia na sua manufatura. Como tal, a redução destes materiais processados é um bom contributo para a sustentabilidade. Embora a adição de estabilizantes pouco processados como a cal possa aumentar a durabilidade e o desempenho das argamassas à base de terra. A incorporação das fibras, como verificado neste estudo, também contribuirá para uma maior durabilidade deste tipo de argamassas aumentando o seu desempenho em termos de resistências mecânicas, absorção, secagem e retração.

Agradecimentos

Este trabalho de investigação foi desenvolvido com o apoio da turma de estudantes do curso de Mestrado em Sustentabilidade da Construção e Reabilitação, disciplina de Patologias e Reabilitação Não-Estrutural de edifícios, da Universidade do Minho.

Referências

- [1] M. Gomes et al. Análise experimental de argamassas de terra com cais e fibras naturais. 4º Congresso Português de argamassas e ETICS, Coimbra: APFAC (2012).
- [2] T. Morton, e R. Little. Mixing it with Lime and Clay. The journal of the building limes forum, Vol. 14:25-44 (2007).
- [3] B. Taylor et al. Compressive Strength Testing of Earthen Plasters For Straw Bale Wall Application. Advances in Engineering Structures, Mechanics & Construction - Solid Mechanics and Its Applications, Volume 140: 175-183 (2006).
- [4] T. Morton. Earth Masonry - Design and construction guidelines. Berkshire: IHS BRE Press (2008).
- [5] Dachverband Lehm e.V. (Associação Alemã para a Construção em Terra) (Eds). Lehm bau Regeln. Wiesbaden: Vieweg e Teubner (2008).

- [6] H. Houben, e H. Guillaud. Earth Construction – A comprehensive guide, original publicado com o título “Traite de construcion en terre de CRA Terre”. Ed. Parenthèse, 1989, Edição CRA Terre-EAG, Practical Action Publishing, The Schumacher Centre for Technology & Development (2008).
- [7] M. Margalha, et al. Algumas vantagens do uso da cal em pasta em revestimentos. 2º Encontro de Patologia e Reabilitação de Edifícios. Porto: Patorreb (2006).
- [8] G. Minke, e C. Ziegert. DVL technical infosheet - The Requirements for Clay Plasters. LEHM 2008 – 5th International conference on building with earth. Koblenz: Dachverband Lehm e.V. (2008).
- [9] M. Veiga. Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes. 3rd ENCORE. Lisboa: LNEC (2003).
- [10] CEN, EN 933-1:2012. Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method. Brussels: CEN (2012).
- [11] Fradical. Cal aérea não hidrófuga em pasta. Ficha técnica, 2006. Informação obtida em www.fradical.pt, em 2013.
- [12] R. Carvalho. Estudo da durabilidade de geotêxteis em fibra natural. Dissertação de Mestrado. Guimarães: Universidade do Minho (2012).
- [13] Vimaplas. Fibras cortadas de polipropileno. Ficha técnica, 2009. Informação obtida em www.vimaplas.pt, em 2013.
- [14] S. Jalali e F. Torgal. A Sustentabilidade dos Materiais de Construção. Guimarães: Tec Minho (2010).
- [15] CEN, EN 1015-3:1999. Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table). Brussels: CEN (2004).
- [16] CEN, EN 1015-11:1999. Methods of test for mortar for masonry - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. Brussels: CEN (2006).
- [17] IPQ, NP EN 196-1:2006. Métodos de ensaio de cimentos. Parte 1: Determinação das resistências mecânicas. Lisboa: IPQ (2006).
- [18] CEN, EN 1015-18:2002. Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. Brussels CEN (2002).
- [19] CEN 2000. EN 1015-12:2000, Methods of test for mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates. Brussels: CEN.
- [20] G. Cultrone et al. Durability of masonry systems: A laboratory study. Construction and Building Materials 21: 40-51 (2007).