

Revestimentos armados como solução de reabilitação sísmica de paredes de alvenaria de edifícios antigos

Reinforced plaster as seismic rehabilitation solution
for old building masonry walls

Ana Isabel Marques
Maria do Rosário Veiga
Paulo Xavier Candeias
João Gomes Ferreira

Resumo

As construções antigas fazem parte do tecido histórico das cidades, pelo que é importante proceder a intervenções de reabilitação eficientes, mas não destruidoras da sua identidade e valor cultural intrínseco. A utilização de rebocos armados apresenta-se como uma solução simples e eficaz no reforço sísmico deste tipo de construções, nos casos em que não é possível ou exigível a preservação dos revestimentos de paredes.

Neste artigo, são analisadas várias composições de rebocos armados, constituídos por ligantes à base de cal aérea, cal hidráulica ou cimento, com um traço usual e com armaduras constituídas por redes metálicas, redes de fibra de vidro e uma rede de fibra natural. É analisada a capacidade resistente à tração desses revestimentos armados, assim como aspetos que podem influenciar a compatibilidade com os materiais existentes, apresentando-se as principais vantagens e desvantagens dos vários tipos de revestimentos.

Abstract

Old buildings are part of the historic fabric of cities, so it is important to carry out efficient rehabilitation works, but avoiding the destruction of their identity and intrinsic cultural value. The use of reinforced plaster presents itself as a simple and effective solution for the seismic reinforcement of this type of constructions, in cases where the preservation of wall coatings is not possible or required.

In this article, various compositions of reinforced plasters are analyzed, consisting of binders based on aerial lime, hydraulic lime or cement, with a common binder-aggregate ratio and with reinforcements consisting of metallic meshes, fiberglass meshes and one natural fiber mesh. The tensile strength of these reinforced coatings are analyzed, as well as aspects that can influence compatibility with existing materials, presenting the main advantages and disadvantages of the various types of coatings.

Palavras-chave: Revestimentos armados / Reabilitação sísmica / Paredes de alvenaria / Edifícios antigos

Keywords: Reinforced coatings / Seismic rehabilitation / Masonry walls / Old buildings

Ana Isabel Marques

Bolseira Doutorada
LNEC, Portugal
aimarques@lnec.pt

Maria do Rosário Veiga

Investigadora Principal com Habilitação
LNEC, Portugal
rveiga@lnec.pt

Paulo Xavier Candeias

Investigador Auxiliar
LNEC, Portugal
pcandeias@lnec.pt

João Gomes Ferreira

Professor Associado com Agregação
CERIS, IST, ULisboa, Portugal
joao.gomes.ferreira@tecnico.ulisboa.pt

Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Legal notice

The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.

MARQUES, A.I. [et al.] – Revestimentos armados como solução de reabilitação sísmica de paredes de alvenaria de edifícios antigos. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 13. ISSN 2183-8488. (julho 2020) 25-36.

1 Introdução

As argamassas armadas são uma solução de reforço particularmente promissora para a reabilitação e reforço de estruturas. Esta solução é normalmente composta por um material de reforço (de elevada resistência à tração) que é aplicado à superfície externa dos elementos estruturais através de uma argamassa. Os materiais de reforço utilizados podem apresentar-se sob a forma de fibras soltas ou redes e podem ser de vários tipos. Salientam-se as fibras naturais mais sustentáveis, como as de: lã, algodão, madeira, palha, junco, bambu, crina, sisal, juta, palha de coco, entre outras. Por outro lado, as fibras de maior resistência e maior eficiência para o aumento da resistência à tração da argamassa são as metálicas, de carbono [1] e de basalto [2], tendo as fibras de vidro (resistentes aos álcalis) [3] um desempenho intermédio. As argamassas utilizadas nos revestimentos armados podem ser à base de cimento, de cal hidráulica, de cal aérea, ou de ligantes mistos, por exemplo cimento e resina ou cimento e cal aérea. Destes tipos de argamassas as mais resistentes são as de cimento ou as de cimento e resina, enquanto as mais compatíveis com edifícios antigos e mais sustentáveis, mas também de menor resistência mecânica, são as de cal aérea. As argamassas de cal hidráulica natural podem ser um compromisso razoável, se se verificar que são suficientemente eficazes. A escolha do tipo de argamassa a utilizar depende essencialmente das propriedades do suporte onde vão ser aplicados esses revestimentos armados, assim como do nível de desempenho previsto no projeto.

Os revestimentos armados com redes correspondem a uma técnica de reforço de paredes de alvenaria tradicional, muito usada atualmente. Para que essa rede possa atuar como reforço do reboco, deve ser bem incorporada na espessura da argamassa, entre duas demãos. A sua aplicação deve obedecer à seguinte sequência de operações: aplicação da 1.ª demão da camada de revestimento a armar; aplicação da rede, bem plana, sobre esta demão ainda fresca; passagem da colher sobre a rede, de forma a facilitar a sua incorporação na argamassa; após a secagem parcial da 1ª demão, aplicação da 2.ª demão sobre a rede [4]. No caso de se pretender um reforço estrutural devem ser utilizados conectores metálicos ou fixadores, garantindo desta forma um melhor confinamento da alvenaria.

A escolha dos rebocos de reforço a usar deve ter em conta a sua eficácia como reforço estrutural à ação sísmica, conjugando essa eficácia, na medida do possível, com a compatibilidade com os materiais e soluções de paredes originais, sem a qual diversas anomalias construtivas poderão surgir e a durabilidade global da parede poderá ser comprometida. Embora o aumento da durabilidade do edifício e da parede original seja, em si, um fator de sustentabilidade, adicionalmente deverá ter-se em conta, sem prejuízo dos outros parâmetros apontados, o caráter sustentável dos materiais de reforço escolhidos. Neste contexto, é muito importante conhecer bem o comportamento dos revestimentos armados, principalmente do ponto de vista mecânico, por forma a que as escolhas do tipo de revestimento armado a utilizar sejam as mais eficazes e compatíveis com o elemento a reforçar.

Os ensaios para determinação da resistência à tração de revestimentos armados são geralmente realizados em provetes

prismáticos compostos por uma ou mais camadas de rede de reforço incorporadas na argamassa [5]. Outras configurações de provetes foram também ensaiadas noutros estudos, com provetes em forma de osso que possuem uma maior área na zona de tração do provete [6], ou com provetes em forma de haltere que são mais espessos nas zonas de tração do provete [4; 7]. Neste trabalho foram adotados provetes prismáticos para os ensaios de determinação da resistência à tração, dado que existem documentos normativos que fazem essa recomendação [8; 9].

Os ensaios realizados que se apresentam neste artigo têm como principal objetivo a determinação da resistência à tração dos revestimentos armados. O conhecimento do comportamento elástico destes revestimentos pode ser importante em algumas aplicações estruturais, tais como o reforço ao corte de paredes de alvenaria, o reforço de arcos e abóbadas, e o confinamento de colunas. Por esta razão, os ensaios de tração são realizados de acordo com normas relativas à caracterização mecânica de sistemas de reforço à base de argamassa [8], o que deverá contribuir para a viabilidade dos processos de certificação destes produtos.

Neste artigo foram consideradas várias combinações de revestimentos armados constituídos por argamassas com ligantes de cal aérea, cal hidráulica natural ou cimento, com traços usuais, e por três tipos de redes de reforço, nomeadamente, uma rede metálica, uma rede de fibra de vidro e uma rede de juta. A capacidade resistente dos revestimentos armados foi determinada através de ensaios de tração, que permitiram igualmente analisar os modos de rotura resultantes, que estão diretamente relacionados com a compatibilidade entre materiais.

2 Caracterização dos materiais que compõem os revestimentos armados

As argamassas de revestimento e as respetivas redes de reforço foram previamente caracterizadas. Nesta secção, apresentam-se as principais características desses materiais. Relativamente às argamassas de revestimento foram utilizadas argamassas à base de três tipos de ligantes, nomeadamente cal aérea, cal hidráulica natural e cimento, ao traço 1:3 dado que é um traço equilibrado para os três ligantes utilizados. Foi ainda considerada uma quarta composição, com cal hidráulica natural, com traço mais forte, de 1:2, tendo em conta que se trata de um ligante relativamente fraco (quando comparado com o cimento) mas que é, potencialmente, o mais compatível com o suporte em causa.

As argamassas de revestimento foram fabricadas em laboratório e submetidas aos seguintes ensaios para determinação das seguintes propriedades físicas e mecânicas: i) massa volúmica e consistência por espalhamento no estado fresco [10; 11]; ii) módulo de elasticidade dinâmico, por frequência de ressonância aos 28, 90, 180 e 365 dias [12] e iii) resistência à tração por flexão e resistência à compressão aos 28, 90, 180 e 365 dias [13]. Foram testados três provetes para cada ensaio realizado. No Quadro 1 apresentam-se os resultados médios e respetivo desvio padrão obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas de revestimento fabricadas em laboratório no seu estado fresco e no seu estado endurecido.

Relativamente às redes de reforço a incorporar nos revestimentos armados, tendo em conta a tradição de uso em Portugal e na Europa e as suas características técnicas, considerou-se suficiente estudar o efeito das redes de fibra de vidro, rede metálica e rede de fibra natural. No caso da rede de fibra de vidro foi utilizada a rede VIPLÁS 275. Estas redes são constituídas por fibra de vidro tecida segundo o processo designado por “meia-volta” ou “gaze de volta” – ou seja, com os fios da teia e da trama solidarizados por entrelaçamento, seguido de torção – e recebem, na fase final do processo de fabrico, uma proteção contra o ataque dos álcalis que consiste numa indução de resina. A rede metálica utilizada foi a rede CASANET 12,7 × 12,7 mm. Verificou-se que em Portugal não existe nenhuma empresa que fabrique e comercialize redes de fibra natural, pelo que a rede de fibra de juta, do tipo Claytec Rete di Juta, foi adquirida à empresa europeia Naturalia-BAU.

Os três tipos de redes usados nos revestimentos armados foram sujeitos a diversos ensaios de caracterização (segundo a orientação da rede que foi adotada nos revestimentos armados), nomeadamente: i) resistência à tração [14]; ii) determinação da massa por unidade de superfície [15] e iii) determinação da dimensão da abertura da malha e espessura do fio [16]. No Quadro 2 apresentam-se os resultados médios e respetivo desvio padrão obtidos nos ensaios de caracterização das redes de reforço utilizadas nos revestimentos armados.

3 Preparação das amostras

As redes de reforço e as argamassas de revestimento referidas no capítulo anterior foram combinadas entre si com vista à execução dos revestimentos armados. No Quadro 3 apresenta-se a composição dos vários provetes de revestimento armado em estudo, assim como a identificação atribuída a cada tipo de provetes.

Para a realização dos ensaios de tração e alongamento na rotura foram preparados pelo menos cinco tipos de provetes de revestimento armado com 60 cm de comprimento, 10 cm de largura e 2 cm de espessura, sendo que a rede de reforço se situa a meio da espessura do provete e tem as dimensões de 80 cm de comprimento e 10 cm de largura.

Os provetes de revestimento armado foram moldados em moldes de contraplacado marítimo e em duas camadas. Na primeira camada, com a espessura de aproximadamente 1 cm, é embebida a rede, conforme se ilustra na Figura 1. Posteriormente é colocada a segunda camada que é sarrafada e passada à esponja. O tipo e o tempo de cura foram os mesmos que os realizados para as argamassas, de acordo com o previsto na norma EN 1015-11: 1999 [13], conforme se ilustra na Figura 2. Após os procedimentos iniciais de cura, os provetes foram colocados numa sala condicionada à temperatura de 20°C ± 2% e humidade relativa de 65% ± 5% até à data da realização do ensaio. Os provetes de cimento tiveram uma cura de 28 dias, enquanto os provetes de cal tiveram uma cura de 90 dias.

Quadro 1 Resultados médios (e desvio padrão) obtidos nos ensaios de caracterização das argamassas de revestimento fabricadas em laboratório no seu estado fresco e endurecido

	Idade [dias]	Cal aérea		Cal hidráulica natural		Cimento
		Traço	1:3	1:3	1:2	1:3
Estado fresco	Massa volúmica aparente [kg/m³]	0	1968,2	2028,4	2048,9	2009,4
	Consistência por espalhamento [mm]	0	147	141	145	162
	Relação água ligante (em massa) [-]	0	1,7	1,1	0,8	0,9
Estado endurecido	Módulo de elasticidade dinâmico por frequência de ressonância [MPa]	28	2035 (20)	3086 (85)	5987 (49)	16969 (866)
		90	2571 (35)	3002 (694)	7476 (52)	15426 (894)
		180	2659 (50)	3461 (92)	7386 (203)	15030 (468)
		365	2931 (19)	3417 (133)	8006 (254)	16043 (219)
	Resistência à flexão [MPa]	28	0,22 (0,03)	0,38 (0,06)	1,12 (0,08)	3,2 (0,44)
		90	0,42 (0,03)	0,5 (0,05)	1,25 (0,13)	3,55 (0,46)
		180	0,4 (0,05)	0,48 (0,06)	1,27 (0,08)	3,58 (0,08)
		365	0,37 (0,08)	0,47 (0,10)	1,1 (0,18)	4,55 (0,07)
	Resistência à compressão [MPa]	28	0,41 (0,05)	1,23 (0,03)	2,18 (0,11)	13,18 (1,28)
		90	0,88 (0,05)	1,42 (0,06)	2,46 (0,27)	11,18 (1,05)
		180	0,73 (0,06)	1,51 (0,10)	3,28 (0,10)	11,96 (1,18)
		365	0,78 (0,05)	1,39 (0,12)	2,94 (0,55)	12,76 (1,44)

Quadro 2 Resultados médios (e desvio padrão) obtidos nos ensaios de caracterização das redes de reforço utilizadas nos revestimentos armados

Tipo de rede	Tensão de rotura [MPa]	Massa por unidade de superfície [g/m²]	Espessura do fio [mm]	Abertura da malha [mm]
Rede metálica	406 (13)	1005 (8)	1,00 (0,02)	11,75 (0,15)
Rede de juta	55 (8)	115 (2)	1,15 (0,36)	5,42 (0,92)
Rede de fibra de vidro	782 (9)	330 (1)	2,60 (0,14)	6,11 (0,20)

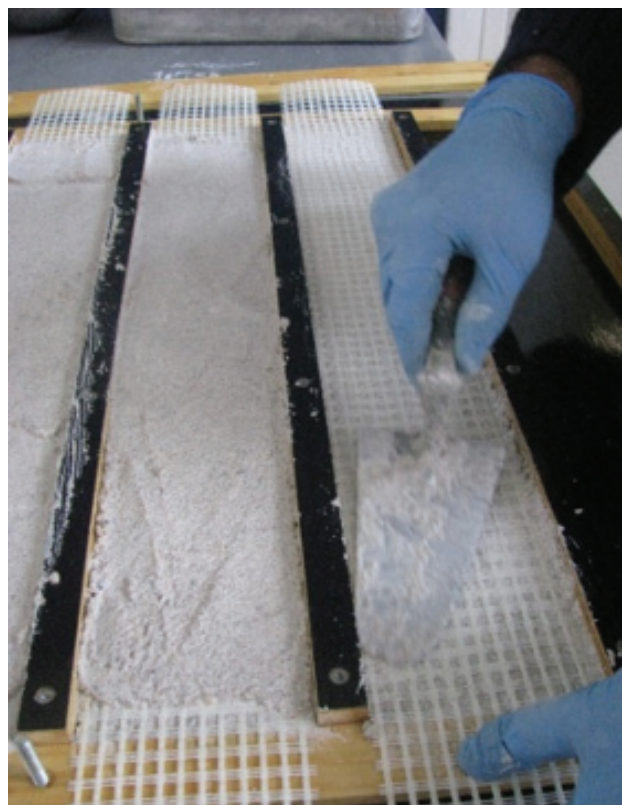


Figura 1 Execução dos provetes de revestimento armado



Figura 2 Cura dos provetes de revestimento armado

Quadro 3 Identificação e composição dos provetes de revestimento armado

Identificação do tipo de provete	Argamassa de revestimento			Rede de reforço
	Tipo de ligante	Tipo de areia	Traço	
CA_M	Cal aérea	Areia de rio	1:3	Metálica
CA_J				Juta
CA_V				Fibra de vidro
CH_1:3_M	Cal hidráulica natural	Areia de rio	1:3	Metálica
CH_1:3_J				Juta
CH_1:3_V				Fibra de vidro
CH_1:2_M	Cal hidráulica natural	Areia de rio	1:2	Metálica
CH_1:2_J				Juta
CH_1:2_V				Fibra de vidro
Ci_M	Cimento	Areia de rio	1:3	Metálica
Ci_J				Juta
Ci_V				Fibra de vidro

4 Campanha experimental

Após a cura completa dos provetes de revestimento armado, que foi de 28 dias para o caso dos de cimento e de 90 dias para os de cal, os provetes foram submetidos aos ensaios de tração. Dada a fragilidade dos provetes, devido à sua esbelteza, houve necessidade de adotar alguns cuidados no seu manuseamento.

Os provetes foram transportados para o local do ensaio à medida que a cura completa era terminada, tendo os provetes sido identificados, medidos, pesados, inspecionados à lupa e submetidos ao ensaio para a determinação da velocidade de propagação de ultrassons, através do método indireto com o objetivo de verificar a existência de fissuras eventualmente causadas pela desmoldagem ou pelo transporte. Os provetes em que fossem detetadas anomalias, eram rejeitados e substituídos por provetes suplentes. Apresentam-se, no Quadro 4, os valores médios e os desvios padrão da massa volúmica, obtidos para cada tipologia de provetes.

Quadro 4 Valores médios (e desvio padrão) obtidos nos ensaios realizados nos provetes de revestimento armado

Identificação do tipo de provete	Tensão de rotura [MPa]	Massa volúmica [kg/m³]	Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]
CA_M	405 (11)	1812 (218)	2148 (270)
CA_J	42 (5)	1684 (38)	1921 (86)
CA_V	550 (82)	1697 (20)	1843 (85)
CH_1:3_M	404 (19)	1913 (11)	4284 (212)
CH_1:3_J	35 (1)	1721 (24)	4810 (74)
CH_1:3_V	600 (26)	1742 (17)	4562 (339)
CH_1:2_M	392 (7)	1805 (39)	8056 (469)
CH_1:2_J	39 (4)	1855 (34)	8379 (225)
CH_1:2_V	580 (38)	1834 (30)	7785 (354)
Ci_M	423 (9)	1968 (13)	14439 (401)
Ci_J	38 (2)	1821 (57)	11561 (997)
Ci_V	578 (11)	1889 (18)	13622 (376)

Posteriormente, os provetes de revestimento armado foram submetidos aos ensaios de tração. O ensaio foi realizado com controlo em deslocamento e com uma velocidade de 0,6 mm/min e uma frequência de amostragem de 50 Hz. A Figura 3 apresenta o aspeto geral da realização de um destes ensaios. Da Figura 4 à Figura 6 apresentam-se, como exemplos, os gráficos da força em função do tempo obtidos para os revestimentos armados de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2, respetivamente para cada um dos tipos de redes estudadas. Realça-se o facto de os gráficos não se encontrarem à mesma escala dado que as forças de rotura de cada material são bastante diferentes.

Tendo em conta que a rede é o elemento que acaba por garantir e, assim, condicionar a resistência à tração dos provetes, o valor da tensão foi calculado como a razão entre a força e a área da secção transversal da rede. No Quadro 4 apresenta-se o valor médio e o desvio padrão da tensão de rotura à tração para cada tipologia de provete.

Na Figura 7 apresentam-se alguns exemplos de roturas obtidas nos revestimentos armados durante os ensaios de tração. Da Figura 8 à Figura 11 apresentam-se os modos de rotura para cada tipo de revestimentos armados, agrupados pelo tipo de argamassa.

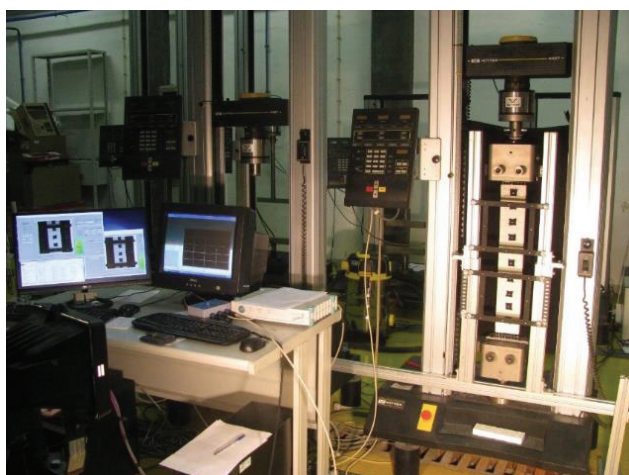


Figura 3 Aspeto geral da realização de um dos ensaios de tração

Tendo em conta os modos de rotura obtidos nos ensaios de tração realizados, assim como os modos de rotura observados em ensaios semelhantes noutros trabalhos de investigação [17; 18; 19; 20] foi possível tipificá-los em quatro tipos: i) rotura nas garras, ii) rotura por tração da rede após a rotura da argamassa, iii) escorregamento da rede e iv) desligamento da argamassa da rede, conforme se ilustra na Figura 12. Faz-se ainda notar que a ocorrência de um determinado modo de rotura entre os representados na Figura 12 depende fortemente da tensão de corte instalada nas extremidades do provete, assim como do desempenho à tração da rede e da ligação entre a rede e a argamassa [21]. O Quadro 5 apresenta o modo de rotura predominante para cada tipo de revestimento armado.

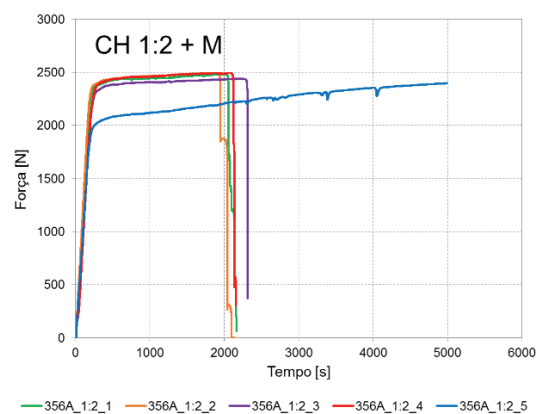


Figura 4 Gráficos da força em função do tempo obtidos para os revestimentos armados de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e rede metálica

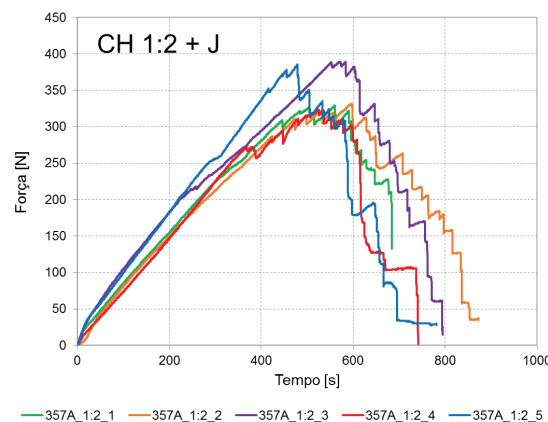


Figura 5 Gráficos da força em função do tempo obtidos para os revestimentos armados de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e rede de juta

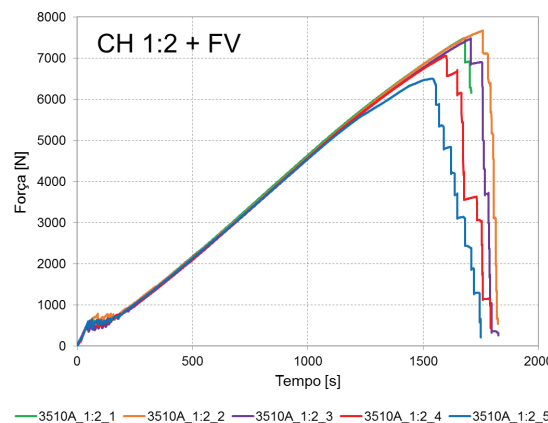


Figura 6 Gráficos da força em função do tempo obtidos para os revestimentos armados de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e rede de fibra de vidro



Figura 7 Exemplo de alguns modos de rotura dos revestimentos armados nos ensaios de tração



Rede metálica

Rede de juta

Rede de fibra de vidro

Figura 8 Modos de rotura dos revestimentos armados constituídos por argamassa à base de cal aérea e as diversas redes em estudo



Rede metálica

Rede de juta

Rede de fibra de vidro

Figura 9 Modos de rotura dos revestimentos armados constituídos por argamassa à base de cal hidráulica natural ao traço 1:3 e as diversas redes em estudo



Figura 10 Modos de rotura dos revestimentos armados constituídos por argamassa à base de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e as diversas redes em estudo

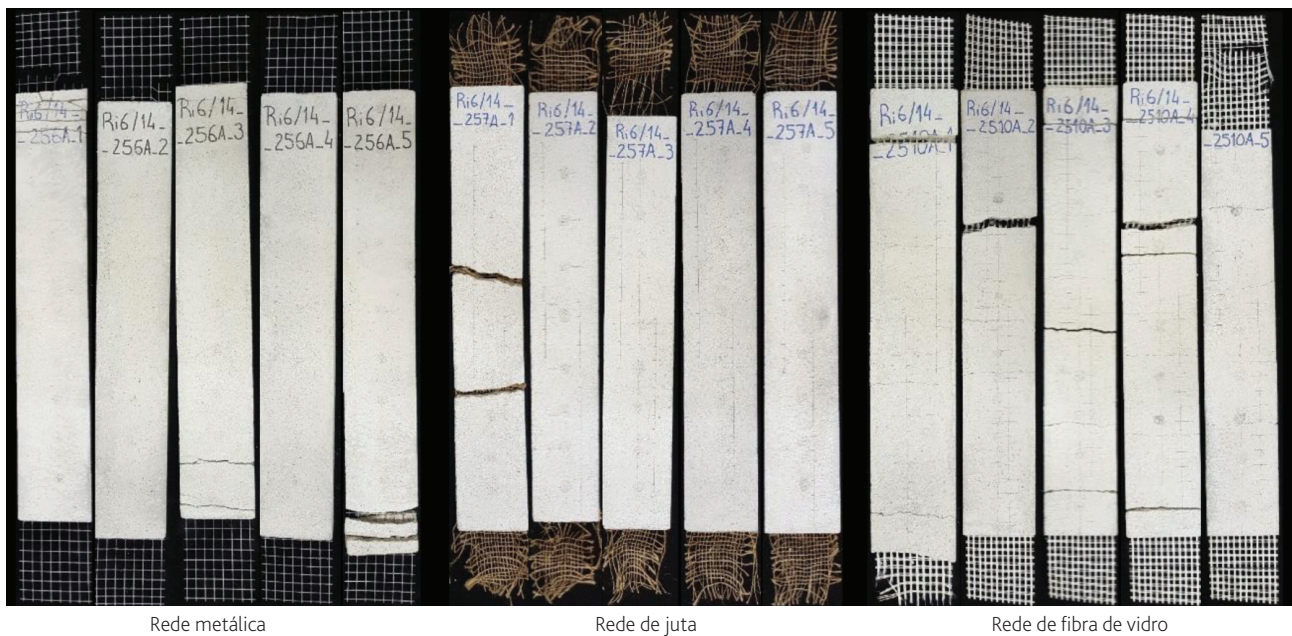


Figura 11 Modos de rotura dos revestimentos armados constituídos por argamassa à base de cimento e as diversas redes em estudo

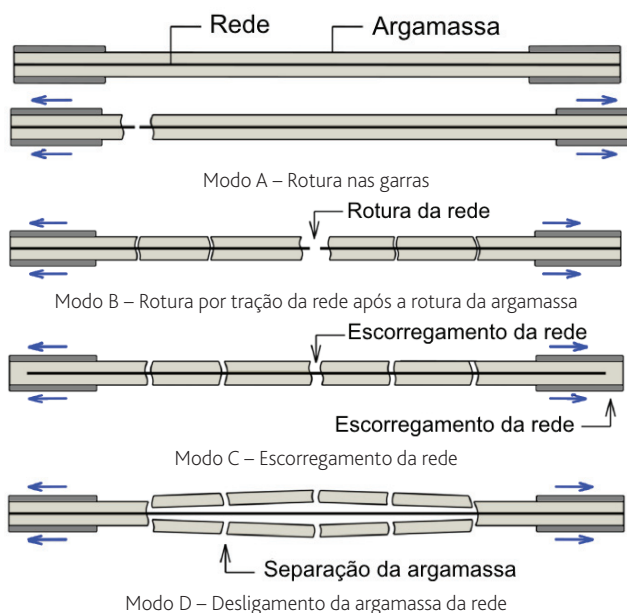


Figura 12 Modos de rotura típicos de revestimentos armados sujeitos a ensaio de tração (Adaptado de [21])

Quadro 5 Identificação do tipo de modos de rotura nas várias tipologias de provetes de revestimento armado ensaiados

Tipologias de provetes	Tipo de modos de rotura
CA_M	B
CA_J	B
CA_V	D
CH_1:3 M	B
CH_1:3 J	B
CH_1:3 V	D
CH_1:2 M	B
CH_1:2 J	A
CH_1:2 V	D
CL_M	A
CL_J	A
CL_V	B

Os resultados obtidos nos ensaios de tração dos revestimentos armados mostram que o valor da resistência é fortemente condicionado pela rede de reforço, variando pouco significativamente com o tipo de argamassa. Os valores obtidos na tensão de rotura

mostram-se bastante consistentes para cada tipo de provete, dado que os desvios padrão obtidos são relativamente reduzidos.

Através dos resultados obtidos, verifica-se que as tensões de rotura mais elevadas ocorrem nos revestimentos armados reforçados com rede de fibra de vidro e as mais reduzidas ocorrem para os revestimentos reforçados com juta. Nos revestimentos armados com rede metálica, o valor médio da tensão de rotura obtido para os revestimentos armados é ligeiramente superior ao valor médio da tensão de rotura obtido na rede metálica sem revestimento. A ocorrência deste facto pode dever-se a uma das seguintes causas: i) A argamassa entre as fissuras que vão abrindo ao longo do provete pode dar ainda alguma contribuição para a rigidez do provete de revestimento armado, permitindo assim uma melhor distribuição de tensões e um incremento na tensão de rotura; ii) Nos ensaios das redes sem revestimento, pode existir uma distribuição de tensão não homogénea entre os fios que compõem a rede, ou também a ocorrência de danos localizados na rede (na zona das garras, por exemplo), permitindo assim que ocorra uma rotura prematura de alguns desses fios. Portanto, o aparente ganho de resistência quando passamos da rede sem revestimento para os revestimentos armados pode ser atribuído a uma subestimação da resistência à tração real da rede face ao seu desempenho quando embebida na argamassa [5; 22]. No caso dos revestimentos armados com redes de juta e de fibra de vidro, o valor médio da tensão de rotura obtido para os revestimentos armados é inferior ao valor médio da tensão de rotura obtido nas respetivas redes de reforço sem revestimento. A ocorrência deste facto pode dever-se ao surgimento, sobretudo nas zonas das fissuras, de concentrações de tensões, com distribuição desigual pelos diversos fios da rede. No caso destes revestimentos a considerável abertura das fissuras, por um lado, e o facto de se tratar de redes mais flexíveis (podendo ser mais difícil garantir o seu esticamento durante o fabrico dos provetes) poderão promover a ocorrência deste tipo de rotura prematura.

Além da determinação da resistência à tração máxima através dos ensaios de tração, também foi possível fazer uma estimativa do módulo de elasticidade dos revestimentos armados através da determinação do módulo de elasticidade dinâmico pelo método de ultrassons. O módulo de elasticidade dos revestimentos armados é uma característica fundamental para o projeto de reforço, e para as propriedades de interação argamassa-rede, que afetam significativamente a fissuração, influenciando assim aderência ao suporte e durabilidade. Os resultados do módulo de elasticidade dinâmico obtidos permitem assim confirmar que a deformabilidade dos revestimentos armados de argamassa de cimento é mais reduzida do que os revestimentos de argamassa de cal, sendo os revestimentos armados de cal aérea os mais deformáveis dos revestimentos armados estudados.

Relativamente aos modos de rotura, não se observou nenhum caso de escorregamento da rede, o que revela que a ligação da argamassa à rede foi realizada de uma forma eficaz. No caso dos revestimentos armados de argamassas à base de cal aérea e de cal hidráulica natural ao traço 1:3 (as mais fracas), observa-se que, para redes iguais, os tipos de rotura são também bastante semelhantes. Nos casos em que a resistência da rede é inferior à da argamassa, como é o caso dos revestimentos armados com argamassa de cal hidráulica natural

ao traço 1:2 e rede de juta, os provetes rompem logo aquando da ocorrência da primeira fissura na argamassa. No caso das argamassas de cimento, as mais fortes, esta situação também ocorre, quer para os reforços em rede de juta quer rede metálica. Estas combinações, em que a rede não tem capacidade para mobilizar a resistência da argamassa e, assim, promover a distribuição de fissuras, não devem ser usadas na prática construtiva.

No caso dos revestimentos com reforço em rede de fibra de vidro e argamassas de cal verificou-se que a argamassa se destacou da rede no decorrer do ensaio de tração. No caso das argamassas de cal aérea e de cal hidráulica natural ao traço 1:3, esse destacamento ocorreu para valores de força relativamente reduzidos. No caso dos provetes com argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2, mais forte, esse destacamento ocorreu apenas na parte final do ensaio, para valores mais elevados da força aplicada, mantendo-se algumas zonas de argamassa agarradas à rede, mesmo após a rotura. No caso das argamassas de cimento, as mais fortes, nunca ocorreu destacamento da argamassa face à rede de reforço. A ocorrência deste fenómeno parece, assim, dever-se à reduzida abertura da rede de fibra de vidro, que prejudica a ligação entre demãos de argamassa, promovendo o seu destacamento, sobretudo no caso das argamassas mais fracas.

5 Conclusões

Os ensaios mecânicos aos revestimentos armados mostraram que é essencialmente a rede que condiciona a resistência à tração do conjunto. Efetivamente, os revestimentos armados com fibra de vidro, que é mais resistente, apresentam os valores mais elevados das tensões de rotura à tração. Conclui-se, deste modo, que o tipo de argamassa, nomeadamente o tipo de ligante utilizado, não condiciona significativamente a resistência à tração dos revestimentos armados.

Outro aspeto de significativa relevância, para além da resistência à tração, diz respeito à configuração dos modos de rotura dos revestimentos armados. Estas configurações, que foram agrupadas em diferentes tipologias, estão associadas à compatibilidade entre os materiais que constituem o revestimento armado – argamassa e rede de reforço – e entre estes e os suportes onde a solução será aplicada.

Tendo em conta o conjunto de resultados obtidos em termos de resistência e compatibilidade, considera-se que os dois tipos de revestimentos armados mais adequados à melhoria do comportamento sísmico das paredes são os de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e os de argamassa de cimento, com traço 1:3, ambos com o reforço em fibra de vidro.

Se a aplicação a realizar for mais exigente em termos de compatibilidade (entre o revestimento armado e o suporte) e de durabilidade, a solução de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 com rede de fibra de vidro será a mais adequada. Se, no entanto, o tipo de revestimento armado a aplicar tiver de garantir maior resistência global da parede, para a qual a solução com cal hidráulica natural seja insuficiente, a solução mais adequada será o revestimento armado composto por argamassa de cimento com rede de fibra de vidro.

Referências

- [1] D'Ambrisi, A.; Feo, L.; Focacci, F., 2013 – "Experimental and analytical investigation on bond between Carbon-FRCM materials and masonry". *Composites Part B*, 46: 15-20, DOI: 10.1016/j.compositesb.2012.10.018.
- [2] Balsamo, A.; Di Ludovico, M.; Prota, A.; Manfredi, G., 2011 – *Masonry walls strengthened with innovative composites*. American Concrete Institute, ACI Special Publication, 2(275): 769-86, DOI: 10.14359/51682454.
- [3] Carozzi, F.G.; Milani, G.; Poggi, C., 2014 – "Mechanical properties and numerical modeling of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structures". *Composite Structures*, 107: 711-25, DOI: 10.1016/j.compstruct.2013.08.026.
- [4] Veiga, M.R., 1997 – *Comportamento de argamassa de revestimentos de paredes. Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação*. Lisboa: LNEC, Dissertação para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [5] De Santis, S.; Carozzi, F.; De Felice, G.; Poggi, C., 2017 – "Test methods for textile reinforced mortar systems". *Composites Part B*, 127: 121-132, DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.03.016.
- [6] Orłowski, J.; Raupach, M., 2008 – "Durability model for AR-glass fibres in textile reinforced concrete". *Materials and Structures*, 41(7): 1225-1233, DOI: 10.1617/s11527-010-9586-8.
- [7] Hegger, J.; Will, N.; Bruckermann, O.; Voss, S., 2006 – "Load-bearing behavior and simulation of textile reinforced concrete". *Materials and Structures*, 39(8): 765-776, DOI: 10.1617/s11527-005-9039-y.
- [8] ICC-ES, 2013 – *Acceptance criteria for masonry and concrete strengthening using fiber-reinforced cementitious matrix (FRCM) composite systems*. AC434, ICC-Evaluation Service, Whittier, CA, USA.
- [9] RILEM, 2016 – *Recommendation of RILEM TC 232-TDT: test methods and design of textile reinforced concrete*. Technical Committee 232-TDT, *Materials and Structures*, 49(12): 4923-4927, DOI: 10.1617/s11527-016-0839-z.
- [10] CEN, 1998 – *Methods of test for mortar for masonry – Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar*. EN 1015-6, CEN, Brussels, Belgium.
- [11] CEN, 1999 – *Methods of test for mortar for masonry – Part 3: Determination of consistency of fresh mortar (by flow table)*. EN 1015-3, CEN, Brussels, Belgium.
- [12] CEN, 2004 – *Natural stone test methods. Determination of the dynamic modulus of elasticity (by measuring the fundamental resonance frequency)*. EN 14146, CEN, Brussels, Belgium.
- [13] CEN, 1999 – *Methods of test for mortar for masonry – Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. EN 1015-11; 1999, CEN: Brussels, Belgium.
- [14] ISO, 1995 – *Verre textile – Tissus – Détermination de la force de rupture en traction et de l'allongement de rupture par la méthode de la bande*. ISO 4606, Deuxième édition, mai.
- [15] ISO, 1978 – *Verre textile – Tissus – Détermination de la masse surfacique*. ISO 4605, Première édition, novembre.
- [16] ISO, 2016 – *Industrial Woven wire cloth – Technical requirements and testing*. ISO 9044, Third edition, Julho.

- [17] Carozzi, F. G.; Poggi, C., 2015 – "Mechanical properties and debonding strength of fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) systems for masonry strengthening". *Composites Part B*, 70: 215-230, DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.10.056.
- [18] Ascione, L.; De Felice, G.; De Santis, S., 2015 – "A qualification method for externally bonded fibre reinforced cementitious matrix (FRCM) strengthening systems". *Composites Part B*, 78: 497-506, DOI: 10.1016/j.compositesb.2015.03.079.
- [19] De Santis, S.; De Felice, G., 2015 – "Tensile behavior of mortar-based composites for externally bonded reinforcement systems". *Composites Part B*, 68: 401-413, DOI: 10.1016/j.compositesb.2014.09.011
- [20] Arboleda, D.; Carozzi, F. G.; Nanni, A.; Poggi, C., 2015 – "Testing procedures for the uniaxial tensile characterization of fabric-reinforced cementitious matrix composites". *ASCE Journal of Composites for Construction*, 20(3): 04015063, DOI: 10.1061/(ASCE)CC.1943-5614.0000626
- [21] Caggegi, C.; Carozzi, F.G.; De Santis, S.; Fabbrocino, F.; Focacci, F.; Hojdis, L., 2017 – "Experimental analysis on tensile and bond properties of PBO and Aramid fabric reinforced cementitious matrix for strengthening masonry structures". *Composites Part B*, 127: 175-195, DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.05.048.
- [22] Carozzi, F.G.; Bellini, A.; D'Antino, T.; De Felice, G.; Focacci, F.; Hojdis, L.; Laghi, L.; Lanoye, E.; Micelli, F.; Panizza, M.; Poggia, C., 2017 – "Experimental investigation of tensile and bond properties of Carbon-FRCM composites for strengthening masonry elements". *Composites Part B*, 128: 100-119, DOI: 10.1016/j.compositesb.2017.06.018.

