

COMPORTAMENTO À TRACÇÃO DE REBOCOS ARMADOS E SUA EFICÁCIA NO REFORÇO AO CORTE DE PAREDES DE ALVENARIA

TENSION BEHAVIOUR OF REINFORCED RENDERS AND ITS EFFICACY IN SHEAR STRENGTHENING OF BRICK MASONRY WALLS

Ana Isabel Marques¹, Paulo Candeias², João Gomes Ferreira³, M.^a Rosário Veiga⁴

^{1,2,4} LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

³ CERIS, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa



RESUMO

Os edifícios antigos com paredes estruturais em alvenaria, que são parte do património construído das cidades, apresentam geralmente uma resistência sísmica muito reduzida. Por isso, é da maior relevância desenvolver técnicas de reforço sísmico eficazes, mas que não comprometam o valor cultural intrínseco desses edifícios. A utilização de rebocos armados é uma solução de aplicação relativamente simples que pode satisfazer estes requisitos. No presente artigo, são analisadas experimentalmente, em ensaios de tração, diferentes composições de rebocos armados, com argamassas de cal aérea, cal hidráulica ou cimento, com malha metálica, malha de fibra de vidro e malha de fibra natural. Adicionalmente, são apresentados os resultados dos ensaios de compressão diagonal em três paredes de alvenaria de tijolo maciço, uma das quais não reforçada e as outras duas reforçadas com rebocos armados. Os resultados destes ensaios permitiram avaliar a eficácia dos rebocos armados na resistência ao corte das paredes.

ABSTRACT

Old buildings with structural masonry walls, which are part of the cities' built heritage, generally have a very low capacity to resist earthquakes. For these reasons, it is of utmost importance to develop effective seismic strengthening techniques, which do not compromise the intrinsic cultural value of old buildings. The use of reinforced render is a relatively simple application solution that can satisfy these requirements. This paper presents the experimental study on the tensile strength of different compositions of reinforced renders, namely with hydrated lime, hydraulic lime or cement mortars, and with different reinforcements, namely of steel mesh, fiberglass mesh and a natural fiber mesh. The results of diagonal compression tests on three elements of solid brick masonry wall - one plain and the other two with reinforced renders - are also presented. The results of these tests allow evaluating the effectiveness of reinforced renders in the increase of walls' shear strength.

1. INTRODUÇÃO

Os rebocos armados são uma solução particularmente adequada para a reabilitação e reforço de paredes de edifícios antigos, nomeadamente quando o estado de degradação torna

já necessário substituir os rebocos existentes. Esta solução é normalmente composta por um material de reforço (de grande resistência à tração) que é aplicado na superfície externa das paredes estruturais através de uma argamassa.

Os materiais de reforço utilizados nos rebocos armados podem apresentar-se sob a forma de fibras soltas ou de redes e podem ser de vários tipos. Salientam-se as fibras naturais, mais sustentáveis, tais como fibras de lã, algodão, madeira, palha, junco, bambu, crina, sisal, juta, fibra 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 fibras metálicas, de carbono (D'Ambrisi *et al.*, 2013) e de basalto (Balsamo *et al.*, 2011), podendo as fibras de vidro resistentes aos álcalis (Carozzi *et al.*, 2014) considerar-se com um desempenho intermédio.

As argamassas utilizadas nos rebocos 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. De entre estes 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 rebocos armados, assim como do nível de desempenho prescrito no projeto.

A avaliação das propriedades das paredes de alvenaria é também importante para sustentar um correto diagnóstico do estado da parede de alvenaria e garantir assim a escolha dos materiais e técnicas que melhor se adequam a uma boa intervenção de reabilitação estrutural. A falta de conhecimento das principais características das estruturas de alvenaria, como, por exemplo, a resistência ao corte, conduz, por vezes, a intervenções com recurso a técnicas menos criteriosas, que descaracterizam a autenticidade do património construído.

A avaliação das soluções de reforço aplicadas nas paredes de alvenaria é essencial para determinação da sua eficácia comparativamente às paredes não reforçadas. Com a realização dos ensaios experimentais sobre modelos de parede, pretende-se quantificar a

melhoria da sua resistência no plano conferida pela aplicação das soluções de reforço, assim como avaliar a compatibilidade dos materiais que compõem essa solução com o suporte onde vão ser aplicadas.

Estas soluções, além de permitirem melhorias significativas do comportamento estrutural face às ações sísmicas, garantem também a proteção e a preservação do património arquitetónico. As soluções de reforço estudadas neste trabalho deverão ainda satisfazer princípios de compatibilidade, nas suas diversas vertentes, e da maior reversibilidade possível, incluindo a menor intrusão nos elementos existentes.

Neste artigo, foram consideradas várias combinações de revestimentos armados constituídos por argamassas com ligantes de cal aérea, cal hidráulica natural ou cimento, com um traço equilibrado, e por três tipos de redes de reforço, uma rede metálica, uma de fibra de vidro e uma rede de juta. Duas dessas soluções foram escolhidas e aplicadas em pequenos modelos de parede que, posteriormente, foram sujeitos a ensaios de compressão diagonal. Os resultados destes ensaios foram comparados com os obtidos num ensaio realizado numa parede não reforçada para avaliação da eficácia das soluções de reforço escolhidas.

2. ENSAIOS DE TRAÇÃO EM REBOCOS ARMADOS

2.1. Preparação dos provetes

Para a execução de provetes de revestimento armado foram selecionados três tipos de redes de reforço, uma rede metálica (resistência à tração de 362 MPa / 28.5 kN/m, extensão última de 8.3%), uma rede de fibra de vidro (782 MPa / 97.6 kN/m, 2.1%) e uma rede de juta (55 MPa / 4.2 kN/m, 3.1%). Foram também selecionados quatro tipos de argamassa constituídas por ligantes à base de cal aérea ao traço 1:3, cal hidráulica natural aos traços 1:2 e 1:3 e cimento ao traço 1:3. Na Tabela 1 apresenta-se a composição dos vários provetes de revestimento armado em estudo, assim como a identificação atribuída a cada tipo de provetes.

Tabela 1 - Identificação e composição dos provetes de reboco armado

Tipo de provete	Argamassa		Rede de reforço
	Ligante	Traço	
CA_1:3_A			Aço
CA_1:3_J	Cal aérea	1:3	Juta
CA_1:3_V			Fibra de vidro
CH_1:3_A			Aço
CH_1:3_J	Cal hidráulica natural	1:3	Juta
CH_1:3_V			Fibra de vidro
CH_1:2_A			Aço
CH_1:2_J	Cal hidráulica natural	1:2	Juta
CH_1:2_V			Fibra de vidro
CP_1:3_A			Aço
CP_1:3_J	Cimento	1:3	Juta
CP_1:3_V			Fibra de vidro

Para a realização dos ensaios de tração foram preparados cinco provetes de cada tipo de revestimento armado, com 60 cm de comprimento, 10 cm de largura e 2 cm de espessura. A rede de reforço, com dimensões de 80 cm de comprimento e 10 cm de largura, foi colocada a meio da espessura do provete.

Os provetes de reboco armado foram moldados, em duas camadas, em moldes de contraplacado marítimo. Na primeira camada, com espessura de 1 cm, é embebida a rede, conforme se ilustra na Figura 1 (esq). Seguidamente, é colocada a segunda camada, que é depois sarrafada e passada à esponja.

O tipo e tempo de cura seguiram o previs-

**Fig 1** - Provetes de revestimento armado: execução (esq) e cura (dta)

to na norma EN 1015-11 (CEN, 1999), conforme se ilustra na Figura 1 (dta). Após os procedimentos iniciais de cura, os provetes foram colocados numa sala condicionada à temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $65\% \pm 5\%$ 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.

2.2. Campanha experimental

Após o término da cura completa para os provetes de revestimento armado, os provetes foram submetidos aos ensaios de tração. Dada a fragilidade dos provetes, devido à sua esbelteza, houve necessidade de adotar alguns cuidados no manuseamento desses provetes.

Os provetes foram transportados para o local do ensaio à medida que terminava o respetivo período de cura. Nesta fase, os provetes foram primeiro identificados, medidos, pesados e inspecionados à lupa. Seguidamente, foram 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 que pudessem ter sido provocadas pela desmoldagem ou pelo transporte.

Os ensaios de tração foram depois realizados, em controlo em deslocamento, com uma velocidade de ensaio de 0,6 mm/min e uma frequência de amostragem de 50 Hz. A Figura 2 mostra o aspeto geral da realização de um destes ensaios.

**Fig 2** - Aspeto geral da realização de um dos ensaios de tração e alongamento na rotura

2.3. Resultados obtidos

Os valores da força aplicada nos revestimentos armados foram registados e o valor da tensão nas fibras (nas fendas, onde as fibras suportam a totalidade da carga) foi calculado considerando uma área da secção transversal igual à área da rede. A área da secção transversal da rede é calculada através do somatório da área dos fios da rede.

Na Figura 3 apresenta-se um exemplo de um gráfico da força em função do tempo obtido para os revestimentos armados de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e cada uma das 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.

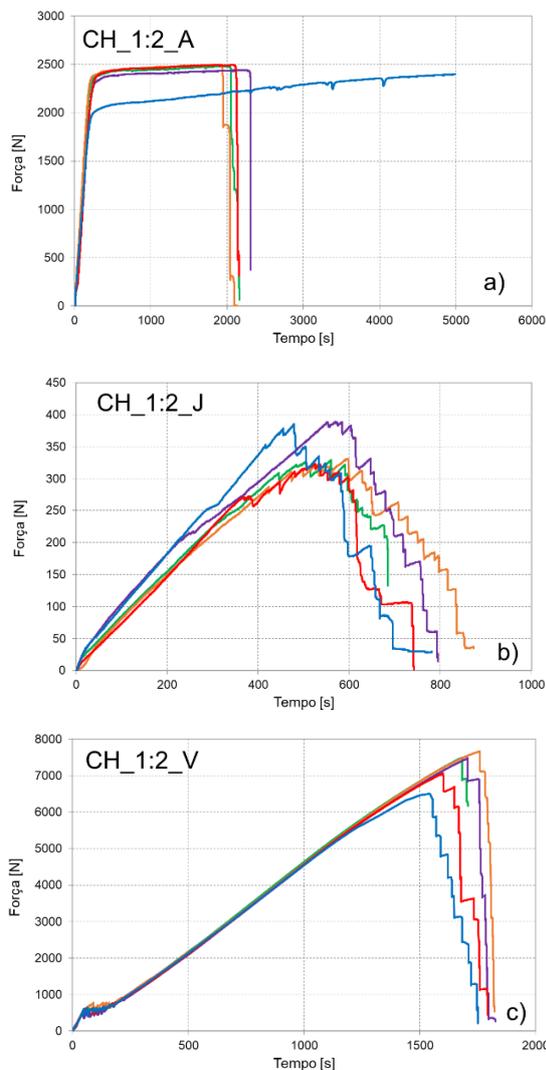


Fig 3 - Diagramas da força ao longo do tempo dos rebocos armados de argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2: a) rede metálica; b) rede de juta; c) rede de fibra de vidro

Na Tabela 2, apresenta-se o valor médio e o desvio padrão (entre parênteses) da tensão de rotura, massa volúmica e módulo de elasticidade dinâmico para cada tipo de provete.

Na Figura 4, apresentam-se os mecanismos de rotura obtidos nos ensaios de tração, apresentando-se, para cada composição de argamassa, um provete representativo do modo de rotura associado a cada tipo de rede.

Tabela 2 - Valores médios (e desvios padrão) obtidos nos ensaios de tração dos provetes de reboco armado

Tipo de provete	Tensão de rotura [MPa]	Massa volúmica [kg/m ³]	Módulo de elasticidade dinâmico [MPa]
CA_1:3_A	405 (11)	1812 (218)	2148 (270)
CA_1:3_J	42 (5)	1684 (38)	1921 (86)
CA_1:3_V	550 (82)	1697 (20)	1843 (85)
CH_1:3_A	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_A	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)
CP_1:3_A	423 (9)	1968 (13)	14439 (401)
CP_1:3_J	38 (2)	1821 (57)	11561 (997)
CP_1:3_V	578 (11)	1889 (18)	13622 (376)

2.4. Análise de resultados

Analisando os resultados obtidos da tensão de rotura dos revestimentos armados sujeitos ao ensaio de tração, pode-se concluir que o valor da tensão de rotura é fortemente condicionado pela rede de reforço. Efetivamente, os valores obtidos para cada tipo de rede são semelhantes entre si, independentemente do tipo de argamassa. Por outro lado, os valores são notavelmente diferentes entre os três diferentes tipos de rede. Os valores obtidos na tensão de rotura mostram-se bastante consistentes em cada tipo de provete, sendo os desvios padrão obtidos relativamente reduzidos.



Fig 4 - Mecanismos de rotura de cada um dos tipos de revestimentos armados constituídos pelos vários tipos de argamassa e as redes metálica, de juta e de fibra de vidro

Além da determinação da resistência à tração, também foi obtida uma estimativa do módulo de elasticidade dinâmico dos provetes pelo método de ultrassons. Esses resultados, que dependem essencialmente da argamassa, permitem confirmar que a deformabilidade dos revestimentos armados de argamassa de cimento é mais reduzida do que a dos revestimentos de argamassas de cais, sendo os rebocos armados de cal aérea os mais deformáveis dos estudados.

Os mecanismos de rotura obtidos nos ensaios de tração são semelhantes aos mecanismos de rotura observados em ensaios semelhantes noutros trabalhos de investigação (Carozzi *et al.*, 2015; Donnini *et al.*, 2016; Ascione *et al.*, 2015; De Santis *et al.*, 2015; Arboleda *et al.*, 2015). Faz-se ainda notar que a ocorrência de um determinado mecanismo de rotura depende fortemente do comportamento à tração da rede e da ligação entre esta e a argamassa (Caggegi *et al.*, 2017).

Relativamente aos mecanismos de rotura observados, pode-se verificar que não existe nenhum tipo de rotura por escorregamento da rede, o que revela que a ligação da argamassa à rede foi realizada de uma forma eficaz.

Em alguns rebocos armados, no entanto, a resistência à tração da argamassa era inconvenientemente superior à da rede de fibra. Nestes casos, a malha rompe logo após a ocorrência da primeira fissura, sem mobilizar novamente a resistência à tração da argamassa e, portanto, sem

promover a propagação de fendas. Tais foram os casos dos elementos com argamassa de cal natural ao traço 1:2 reforçada com fibra de juta ou de argamassas de cimento, tanto com juta como com malhas metálicas.

Com base nos resultados dos ensaios de tração, foram escolhidos dois tipos de revestimento armado para aplicar nos modelos de parede (*wallettes*) construídos para esse efeito. Numa primeira fase excluíram-se as argamassas mais fracas, nomeadamente a cal aérea hidratada ao traço 1:3 e a cal hidráulica natural ao traço 1:3.

Nos rebocos com cal hidráulica ao traço 1:2, tanto a malha de aço como a de fibra de vidro mobilizam a resistência à tração da argamassa, promovendo a propagação de fendas. De entre estas, selecionou-se o reboco com rede de fibra de vidro, por apresentar uma maior tensão de rotura. A outra solução selecionada foi a de argamassa do cimento ao traço 1:3 com rede de fibra de vidro, que é a única capaz de mobilizar a resistência à tração da argamassa de cimento.

3. ENSAIOS DE COMPRESSÃO DIAGONAL EM PAREDES

3.1. Preparação dos *wallettes*

Foram construídos pequenos exemplares de parede de tijolo cerâmico maciço, designados por *wallettes*, com dimensões 70x70 cm², simulando a constituição e o

comportamento de *wallettes* originais, que foram retirados de um edifício real e caracterizados experimentalmente (resultados que não se apresentam neste artigo). O aparelho de assentamento é à “uma vez” (espessura da parede igual à maior dimensão do tijolo), conforme se ilustra na Figura 5. Estes *wallettes* foram construídos com tijolos obtidos na demolição de um edifício (o mesmo edifício referido atrás de onde foram retirados *wallettes*). O assentamento foi realizado com uma argamassa de cal aérea ao traço 1:3 com mistura de agregado (areia de rio e areia de areiro). A argamassa com esta composição apresenta características semelhantes à argamassa de assentamento original das paredes do edifício referido, conforme foi possível concluir numa campanha experimental previamente realizada para este efeito.

Foram selecionados três *wallettes* que foram preparados e instrumentados para realização de ensaios de compressão diagonal. As argamassas de assentamento tiveram um processo de cura de aproximadamente seis meses até a aplicação da solução de reforço.



Fig 5 - Construção de *wallettes* novos de tijolo cerâmico maciço

O *wallette* M2M3 foi reforçado com reboco armado constituído por argamassa de cimento ao traço 1:3 e rede de fibra de vidro VIPLÁS 275 (LNEC, 2017). O *wallette* M3M3 foi reforçado com reboco armado constituído por argamassa de cal hidráulica natural ao traço 1:2 e rede de fibra de vidro VIPLÁS 275. O *wallette* M1M5 é o que não tem aplicado nenhuma solução de reforço e cujos resultados servirão de comparação com os dos *wallettes* reforçados M2M3 e M3M3.

Os rebocos armados foram aplicados em ambas as faces dos *wallettes* com uma espessura de 3 cm (2 cm para a camada de regularização + 1 cm para a camada de acabamento). Foi criada uma estrutura de madeira à volta dos *wallettes* por forma a que a rede de reforço permanecesse esticada durante a aplicação e cura do revestimento. A rede foi fixada ao *wallette* através de conectores plásticos, com aproximadamente 7 cm de comprimento, formando um quadrado de 50 cm de lado centrado no *wallette*, conforme se ilustra na Figura 6.



Fig 6 - Aplicação dos revestimentos armados nos *wallettes*

Após um processo de cura das argamassas de revestimento de aproximadamente seis meses, os *wallettes* reforçados foram sujeitos aos ensaios de compressão diagonal.

3.2. Campanha experimental

Os ensaios de compressão diagonal permitem avaliar a capacidade de distorção da parede no seu próprio plano devido à atuação de uma força horizontal além da força gravítica (como é o caso da ação sísmica). Os ensaios seguiram o método normalizado preconizado na norma ASTM E519/E519M – 10 (ASTM, 2010), com ligeiras adaptações.

Após colocação do *wallette* em posição, procedeu-se à instrumentação do mesmo, colocando dois transdutores de deslocamento do tipo W50 (50 mm de curso) em

cada uma das suas faces, para medir a deformação nas direções horizontal e vertical.

O método de ensaio consiste basicamente na colocação do *wallete* na máquina de ensaio para aplicação da carga de forma gradual, com uma velocidade controlada de 0,005 mm/s, tendo-se adotado uma frequência de amostragem de 50 Hz. A aplicação da carga foi realizada verticalmente com o *wallete* posicionado a 45°, conforme se ilustra na Figura 7.

3.3. Resultados obtidos

Após a realização dos ensaios de compressão diagonal, foram observados os respectivos mecanismos de rotura. Nas Figuras 8 a 10 apresentam-se os mecanismos de rotura obtidos para os três *wallettes* ensaiados.

Na Figura 11 apresenta-se o gráfico da tensão aplicada em função da extensão vertical e horizontal dos três *wallettes* ensaiados em compressão diagonal. Na Tabela 3 apresentam-se os parâmetros calculados com base no resultado desses ensaios.

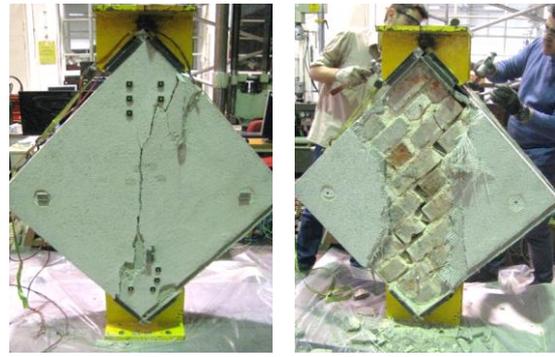


Fig 9 - Tipo de rotura do *wallete* com reforço de cimento M2M3 no revestimento (esq) e na parede (dta)

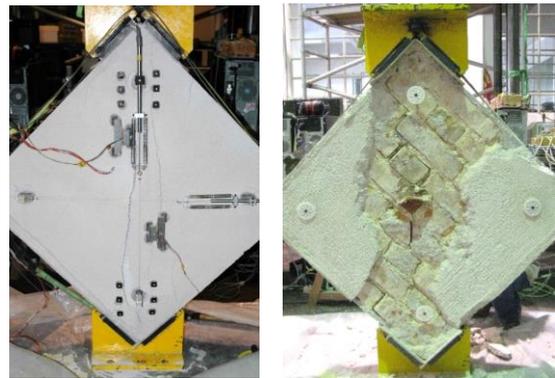


Fig 10 - Tipo de rotura do *wallete* com reforço de cal hidráulica natural M3M3 no revestimento (esq) e na parede (dta)

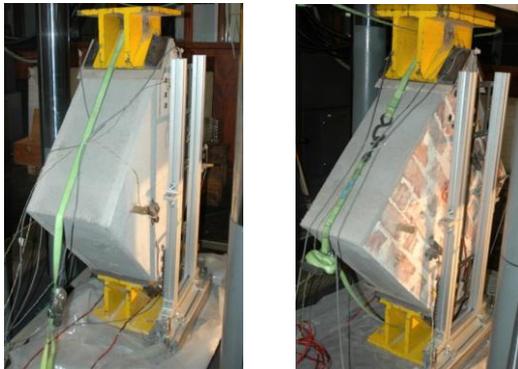


Fig 7 - *Wallettes* com (esq) e sem (dta) reforço sujeitos a ensaio de compressão diagonal

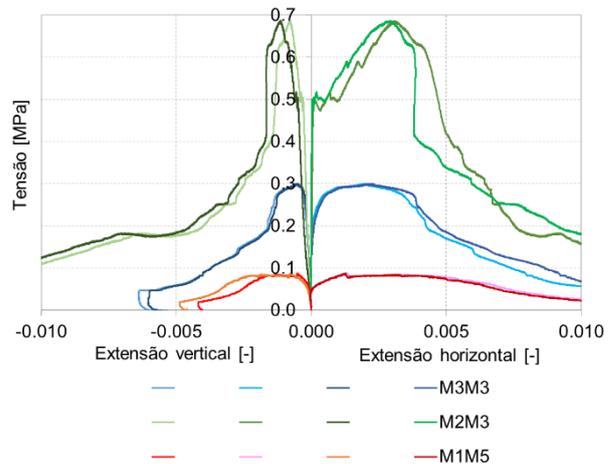


Fig 11 - Gráficos tensão-extensão dos *wallettes* ensaiados em compressão diagonal

Tabela 3 - Parâmetros obtidos nos ensaios de compressão diagonal

<i>Wallette</i>	Tensão de corte [MPa]	Deformação por corte [mm/mm]	Módulo de rigidez [MPa]	Energia de rotura [J]
M1M5	0,09	$1,95 \times 10^{-3}$	44,77	54,02
M2M3	0,69	$2,56 \times 10^{-3}$	268,69	1140,07
M3M3	0,30	$1,81 \times 10^{-3}$	165,72	327,85



Fig 8 - Tipo de rotura do *wallete* sem reforço M1M5

3.4. Análise de resultados

Tendo em conta as tensões máximas obtidas nos ensaios de compressão diagonal dos *wallettes*, pode-se verificar que as paredes de alvenaria resistente de tijolo cerâmico apresentam uma resistência ao corte reduzida.

Conforme se observou nas Figuras 9 e 10, a rotura em ambos os revestimentos armados está associada ao desenvolvimento de fendas diagonais (segundo a diagonal dos *wallettes* que fica em compressão), como é característico de roturas por corte. Os mecanismos de rotura observados no suporte estão de acordo com os observados no revestimento, resultando numa fissura principal diagonal, dentada pelas juntas de argamassa de assentamento, também características de uma rotura por corte em paredes de alvenaria de tijolo.

Após a conclusão do ensaio, verificou-se, sobretudo no caso do *wallette* reforçado com argamassa de cimento, que existiam partes do reboco que não estavam aderentes ao suporte, denotando falta de compatibilidade entre o revestimento e o suporte.

Relativamente à eficácia, verificou-se claramente que ambas as soluções de reforço promovem um aumento de resistência relativamente à parede não reforçada. O reboco armado de cal hidráulica natural aumentou em cerca de 2,25 vezes a resistência ao corte relativamente à parede original sem reforço enquanto o revestimento armado de cimento a aumentou em cerca de 6,50 vezes. Este enorme acréscimo de resistência deve-se à capacidade resistente dos revestimentos, que se mostraram capazes de resistir às solicitações horizontais impostas.

4. CONCLUSÕES

Os rebocos armados selecionados mostraram ser adequados para o reforço sísmico de paredes de alvenaria de tijolo maciço, típicas de edifícios antigos, garantindo um aumento significativo da sua resistência ao corte.

Tendo em conta que ambas as soluções garantem o aumento de resistência previsto, existem dois tipos de objetivos a ser considerados. Se o tipo de reforço a realizar for

mais exigente em termos de compatibilidade de materiais (reforço e suporte) e em termos de durabilidade do suporte onde vai ser inserido, a solução de reboco armado composto por argamassa de cal hidráulica natural e rede de fibra de vidro mostra-se mais adequada. Se, por outro lado, o tipo de reforço a aplicar tiver sobretudo de garantir maior resistência global da parede, então a solução mais adequada será a constituída por rebocos armados compostos por argamassa de cimento e rede de fibra de vidro.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho insere-se no Projeto de Investigação e Inovação 2013-2020 do LNEC "REuSE - Revestimentos para Reabilitação: Segurança e Sustentabilidade".

O trabalho foi igualmente apoiado pela FCT através do projeto "RESIST-2020 – Reabilitação Sísmica de Edifícios Antigos de Alvenaria-Betão", PTDC/ECI-EGC/30567/2017.

Os autores agradecem à empresa Vima-plás pelo fornecimento da rede de fibra de vidro, à SECIL Argamassas pelo fornecimento de cimento e cal hidráulica NHL 3,5 e mão de obra para a aplicação dos revestimentos armados, assim como às empresas Lena Agregados, S.A. e Soarvamil - sociedade de areias de vale de milhaços, Lda. pelo fornecimento das areias.

REFERÊNCIAS

- Arboleda D., Carozzi F., Nanni A. and Poggi C. Testing procedures for the uniaxial tensile characterization of fabric-reinforced cementitious matrix composites. *ASCE Journal of Composites for Construction*. 2015; 20(3): 04015063.
- Ascione L., De Felice G. and De Santis S. A qualification method for externally bonded fibre reinforced cementitious matrix (FRCM) strengthening systems. *Composites Part B*. 2015; 78: 497-506.
- ASTM - American Society for Testing and Materials. ASTM E519/E519M-10, "Standard Test Method for Diagonal Tension (Shear) in Masonry Assemblages". West Conshohocken, Pennsylvania, USA, 2010.

- Balsamo A., Di Ludovico M., Prota A. and Manfredi G. Masonry walls strengthened with innovative composites. American Concrete Institute, ACI Special Publication. 2011; 2(275): 769-86.
- Caggegi C., Carozzi F., De Santis S., Fabbrocino F., Focacci F. and Hojdy L. Experimental analysis on tensile and bond properties of PBO and Aramid fabric reinforced cementitious matrix for strengthening masonry structures. Composites Part B. 2017; 127: 175-195.
- Carozzi F., Milani G. and Poggi C. Mechanical properties and numerical modeling of Fabric Reinforced Cementitious Matrix (FRCM) systems for strengthening of masonry structures. Composite Structures. 2014; 107: 711-25.
- Carozzi F. and Poggi C. Mechanical properties and debonding strength of fabric reinforced cementitious matrix (FRCM) systems for masonry strengthening. Composites Part B. 2015; 70: 215-230.
- CEN. 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.
- D'Ambrisi A., Feo I. and Focacci F. Experimental and analytical investigation on bond between Carbon-FRCM materials and masonry. Composites Part B. 2013; 46: 15-20.
- De Santis S. and De Felice G. Tensile behavior of mortar-based composites for externally bonded reinforcement systems. Composites Part B. 2015; 68: 401-413.
- Donnini J., Corinaldesi V. and Nanni A. Mechanical properties of FRCM using carbon fabrics with different coating treatments. Composites Part B. 2016; 88:220-228.
- LNEC, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. “VIPLÁS 167 e VIPLÁS 275 – Redes para reforço de revestimentos de paredes (para aplicação em ETICS)”, Documento de Homologação de novos materiais e processos de construção DH942, julho 2017.