

REFORÇO DE PAREDES DE ADOBE: CARACTERIZAÇÃO EXPERIMENTAL DE UMA SOLUÇÃO DE REFORÇO SÍSMICO

António Figueiredo¹; Humberto Varum¹; Aníbal Costa¹; Miguel Santos²

¹Departamento de Engenharia Civil

Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, PORTUGAL

E-mail: ajfigueiredo@ua.pt ; hvarum@ua.pt ; agc@ua.pt

Tel.: +351 234 370049 - Fax: +351 234 370094

²STAP - Reparação, Consolidação e Modificação de Estruturas, SA

Rua Marquês da Fronteira, n.º 8, 3.dto, 1070-296 Lisboa, PORTUGAL

E-mail: lmsantos@stap.pt

Tema 2: Património e Conservação

Palavras-Chave: Paredes de alvenaria de adobe, vulnerabilidade sísmica, reforço sísmico.

Resumo

O uso de blocos de terra comprimida secos ao sol é das técnicas construtivas mais antigas das sociedades humanas. Actualmente cerca de 30% da população mundial vive em construções de terra. Aproximadamente 50% da população dos países em desenvolvimento, incluindo a maioria da população rural e cerca de 20% da urbana, vivem em casas de terra (Houben e Guillard, 1994). Em geral este tipo de construções encontra-se em zonas rurais de baixo poder económico e em regiões de alto risco sísmico. Devido ao seu comportamento frágil na presença de solicitações horizontais, comprovado pelos danos severos que os sismos têm causado nestas construções (El Salvador 2001, Áquila 2009) torna-se necessário desenvolver soluções de reforço sísmico para estas estruturas.

Foi construído no Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro um modelo de parede com geometria em planta em forma de I à escala real, e ensaiado sob acção de cargas horizontais cíclicas. O objectivo central deste estudo foi obter uma base de conhecimentos que permita desenvolver uma avaliação da segurança e reforço para este tipo de estruturas. Após o ensaio original, os danos foram reparados e procedeu-se ao reforço da parede, sendo esta novamente submetida a um ensaio cíclico. Com a aplicação da reparação e reforço na parede em I, pretende-se demonstrar que a reabilitação para alvenarias de adobe é uma solução sustentável, resistente e bastante eficaz na presença de solicitações horizontais cíclicas, como as induzidas por sismos. Os estudos efectuados nos dois modelos (antes e após reforço) permitem desta forma, o desenvolvimento e calibração de novos modelos numéricos, uma melhor interpretação das patologias estruturais mais comuns, o desenvolvimento de outras soluções de reforço e poderão assegurar a utilização de técnicas de reforço sísmico aplicadas em construções de alvenaria de adobe, no património nacional e mundial.

1. ENQUADRAMENTO

Em Portugal Continental, sobretudo na região litoral centro, pode encontrar-se um vasto património construído em alvenaria de adobe. Muitos desses edifícios, nomeadamente nos centros históricos, têm um considerável valor arquitectónico, particularmente do estilo “Arte Nova”. Atendendo a que grande parte deste património se encontra num estado de degradação acentuado, tem-se verificado um crescente interesse na sua recuperação. Como os modelos e as técnicas de reparação e reforço recentes, aplicadas a estruturas modernas, mostram-se inadequadas para a reabilitação em alvenaria de adobe, ocorre a necessidade de se desenvolverem novos estudos que venham colmatar a falta de informação existente neste domínio. Uma vez que estas estruturas apresentam uma elevada vulnerabilidade sísmica, localizadas em zonas de perigosidade não desprezável, o risco sísmico deve ser considerado na análise da segurança estrutural. Os sismos que ocorreram com fortes intensidades em regiões, que a construção predominante é o adobe, produziram elevados danos nas estruturas levando-as em números muito elevados ao colapso. Em muitos casos, na

origem de um colapso frágil destas estruturas, encontram-se associadas muitas perdas humanas e feridos graves. Com os números das vítimas e das estruturas que têm colapsado durante os sismos, demonstra-se que as construções em adobe na ausência de um adequado reforço, são extremamente sensíveis e vulneráveis à acção sísmica.

A Universidade de Aveiro tem efectuado inúmeros ensaios experimentais de caracterização do adobe e suas estruturas, para colmatar a pouca informação existente, nomeadamente a realização de levantamentos dimensionais, estudos da composição dos diferentes adobes da região, ensaios cíclicos e dinâmicos e mecanismos de colapso (Varum *et al.*, 2005; Varum *et al.*, 2006). Pelos estudos tem-se constatado que, apesar do elevado estado de degradação existente nas construções de adobe da região de Aveiro, a maioria destas edificações continua a satisfazer as funções para as quais foram projectadas e assim vão atestando a longevidade e duração do adobe como material de construção. Para se assegurar uma boa preservação destas estruturas, regra geral, pequenas obras de manutenção e conservação são suficientes. Verifica-se no entanto que, muitas vezes, a solução adoptada pelos proprietários tem passado pela demolição, devido à falta de conhecimentos e de empresas qualificadas na reabilitação destas alvenarias.

Um outro país que tem sido pioneiro em ensaios experimentais sobre construções em terra, tem sido o Peru. Com os danos devastadores que se têm sentido nestas construções de terra aquando à existência de um sismo, a Universidade Católica do Peru tem desenvolvido vários estudos experimentais desde meados dos anos setenta até à actualidade (Corazón e Blondet 1974; Blondet *et al.*, 2003; Blondet *et al.*, 2004). Estes estudos têm permitido uma melhor caracterização das estruturas de adobe, encontrando e desenvolvendo algumas soluções de reforço sísmico.

2. CONSTRUÇÃO DE UMA PAREDE À ESCALA REAL DE ALVENARIA DE ADOBE

Através de uma recolha de blocos de adobe, realizada numa demolição que decorreu na região de Aveiro, construiu-se uma parede com geometria em planta em I, à escala real, no Laboratório do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro. Tendo em consideração, a argamassa encontrada na zona da demolição e mantendo as mesmas composições das argamassas encontradas no distrito, usou-se um traço de 1:1:2 (cal hidratada, terra ligeiramente argilosa e areia) para a construção da parede e, posteriormente, com a mesma composição para o seu reboco. De forma a criar uma base mais sólida, resistente e com uma ligação mais rígida entre a parede e a fundação, realizou-se a primeira fiada de blocos de adobe colocados a par na sua maior direcção, utilizando-se uma argamassa de cimento (Pereira, 2008).

O resultado final foi uma parede com uma altura de 3,07m, um comprimento de 3,5m e uma espessura média de 0,29m. Após a construção da parede e decorrido o tempo de cura, procedeu-se ao seu reboco, ficando este com uma espessura média de 2cm (Pereira, 2008).

2.1. INSTRUMENTAÇÃO USADA NA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Para a realização dos ensaios foi colocada uma carga vertical uniformemente distribuída de 20kN no topo da parede, de forma a simular as acções permanentes, nomeadamente o peso próprio das coberturas em madeira, existentes nas construções mais antigas e as sobrecargas existentes nos edifícios. Essa carga vertical foi aplicada no topo da parede em todo o comprimento da aba, através de um pórtico metálico.

Os deslocamentos sofridos pela parede durante o ensaio cíclico foram registados através de transdutores electrónicos, fixos a estruturas externas à parede. Para o registo dos deslocamentos verticais, fixaram-se os transdutores à sapata que servia de base à parede e para os deslocamentos horizontais, utilizaram-se como sistema de fixação andaimes metálicos ancorados à laje do laboratório.

A aplicação da força à parede durante o ensaio efectuou-se através de um actuador hidráulico, com capacidade de impulsionar uma carga máxima de 90kN. O actuador continha uma célula de carga do tipo TC4 da marca AEP-Transducers que permitia medir a intensidade da força aplicada.

A aquisição e o controlo dos dados foram efectuados com recurso a um par de placas de aquisição da National Instruments ligadas via USB, a um computador que registava os deslocamentos em função da força aplicada, através de um programa com base na plataforma LabVIEW desenvolvido pelo LESE.

Os ensaios dinâmicos realizaram-se através de um sismógrafo colocado no topo da parede, que media as acelerações impostas através da excitação de uma pancada com um martelo sobre esta. Das acelerações medidas, derivam as frequências próprias da parede.

2.2. EVOLUÇÃO DOS ENSAIOS

2.2.1. ENSAIOS CÍCLICOS

O ensaio cíclico executou-se através da aplicação de uma força cíclica de amplitude crescente, aplicada a 2,5m de altura da parede cotada desde a primeira fiada, até à sua rotura.

Após o primeiro ciclo de forças impostas à parede, correspondentes a um deslocamento máximo no seu topo de 0,1mm, verificou-se a formação das primeiras fissuras de espessura de um fio de cabelo. No ciclo seguinte, ($\Delta=0,5\text{mm}$) constatou-se a formação de uma fissura oblíqua na alma da parede (Fig. 1). Para um deslocamento de 1mm deu-se o colapso da parede, registando-se duas grandes fendas em forma de “cruz” que se propagaram pelas duas faces da alma da parede (Fig. 2).



Fig. 1 - Início da fissuração (Pereira, 2008); Fig. 2 – Propagação e formação de novas fissuras (créditos: Pereira, 2008).

Do impacto provocado na ligação entre o actuador e a parede verificou-se um esmagamento localizado na correspondente zona envolvente. Observou-se também, na parte superior do banzo, um deslocamento diferencial lateral do mesmo pano da parede (Fig. 3), que provocou um desalinhamento na sua verticalidade. Com a continuação da aplicação da força horizontal com elevadas amplitudes de deslocamentos, previa-se que esta correspondesse a uma das zonas frágeis de possível início de desmoronamento da parede.



Fig. 3 – Danos observados na face interior da parede, junto ao apoio (créditos: autores 2009).

No gráfico da Fig. 4 observa-se a evolução da força horizontal aplicada com a resposta medida em termos de deslocamento horizontal ao nível do ponto de aplicação da força.

Como resultados deste ensaio cíclico verificou-se uma capacidade máxima ao corte da parede de 58kN, para um deslocamento de 1mm, registado no seu topo. Nos ciclos seguintes, a força foi aplicada até um deslocamento máximo no topo da parede corresponde a 13,7mm. Para esse deslocamento a força registada foi de 30kN, valor correspondente a uma resistência residual da parede de 50% da sua capacidade ao corte (Pereira, 2008).

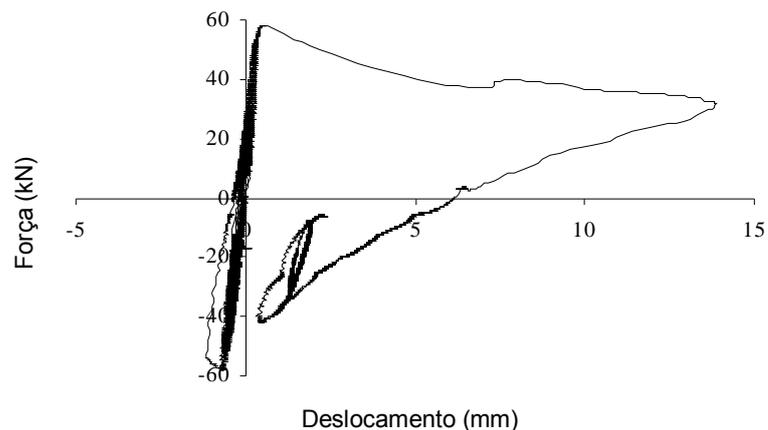


Fig. 4 - Força versus deslocamento ao nível da aplicação da força (créditos: adaptado de Pereira, 2008).

2.2.2. ENSAIOS DINÂMICOS

Através do sismógrafo colocado na reentrância existente no topo da parede, foram efectuadas várias leituras das correspondentes acelerações medidas, ao fim de cada ciclo de deslocamentos impostos. Destas acelerações como já foi referido no ponto 2.1 derivaram as frequências próprias da parede carregada verticalmente. Na Fig. 5 apresenta-se a evolução da primeira frequência ao longo do ensaio.

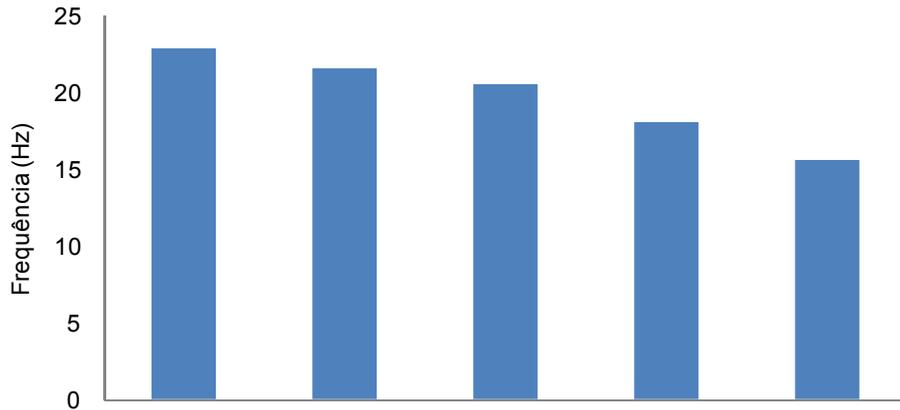


Fig. 5 - Evolução da frequência ao longo do ensaio (adaptado de Pereira, 2008): 1- $\Delta=0$ mm; 2- $\Delta=0,1$ mm; 3- $\Delta=0,5$ mm; 4- $\Delta=1$ mm; 5- $\Delta=13,7$ mm (créditos: autores 2009).

Do gráfico representativo da evolução da primeira frequência medida antes, durante e após o ensaio (Fig. 5), conclui-se:

- A primeira frequência natural da parede original, com carga vertical instalada, e antes da aplicação do primeiro ciclo de cargas horizontais é de 22,95Hz;
- Após os primeiros ciclos, com o aparecimento dos danos na parede, o valor da frequência cai para 21,58Hz e em seguida para 20,51Hz;
- Após o ciclo correspondente à rotura da parede ($\Delta=1$ mm) a frequência sofre um grande decréscimo, caindo para um valor de 18,07Hz;
- No final do ensaio (após grandes amplitudes de deslocamentos) a frequência sofre uma quebra final para 15,63Hz.

Esta elevada diminuição da frequência que se sentiu na fase final do ensaio, em que os deslocamentos impostos tinham grandes amplitudes, verificou-se pela elevada perda de rigidez da parede, causada pelos danos instalados.

3. ENSAIOS AOS MATERIAIS

3.1. ENSAIOS DE FLEXÃO E COMPRESSÃO AOS PROVETES DE ARGAMASSA DE CONSTRUÇÃO

Conjuntamente com os ensaios cíclicos e dinâmicos realizados na parede, foram testados (Fig. 6 e Fig. 7) os provetes de argamassa de dimensões de $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$, produzidos durante a sua construção. Dos resultados, verificou-se que a tensão média de rotura em flexão corresponde a 34% da mesma tensão média de rotura em compressão (0,67MPa).



Fig. 6 – Ensaio de flexão; Fig. 7 – Ensaio de compressão (créditos: autores 2009).

3.2. ENSAIOS DE FLEXÃO AOS BLOCOS DE ADOBE

Para uma avaliação mais rigorosa, devido à grande heterogeneidade das características do adobe, ensaiou-se à flexão (Fig. 8), alguns blocos provenientes da mesma demolição dos usados na construção da parede. Dos ensaios obteve-se uma tensão de rotura média de 0,54MPa.

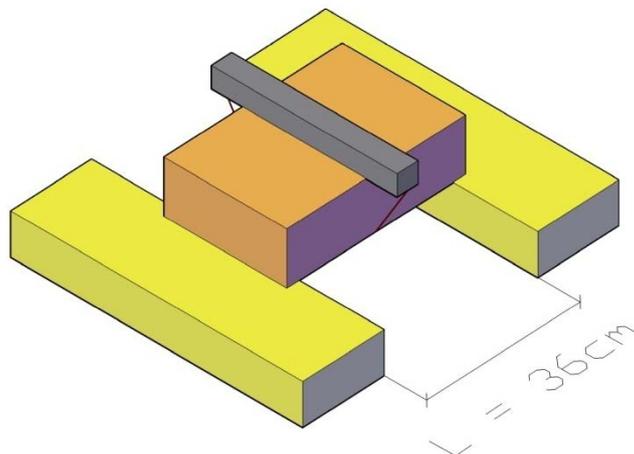


Fig. 8 - Esquema geral do ensaio à flexão dos blocos de adobe (créditos: autores 2009)

O passo seguinte passou pelo estudo e posterior definição da solução de reparação e reforço a aplicar na parede. Definiu-se como solução de reparação, a aplicação de uma goma à base de cal para a selagem das fissuras e, para o reforço, projectou-se a aplicação de uma rede sintética em toda a envolvente da parede. Estas soluções tiveram como primeira prioridade, garantir uma solução sismoresistente que garantisse uma boa compatibilidade entre os materiais utilizados, procurando sempre a solução mais económica e de fácil execução.

Com os blocos fracturados dos ensaios de flexão, estudou-se qual a solução mais eficaz a aplicar na selagem das fissuras existentes na parede. A estratégia consistiu na “colagem” dos blocos partidos com diferentes ligantes. Utilizou-se um ligante de cal hidráulica, outro de cal aérea e um terceiro correspondente a uma mistura na proporção 1:1 dos dois primeiros.

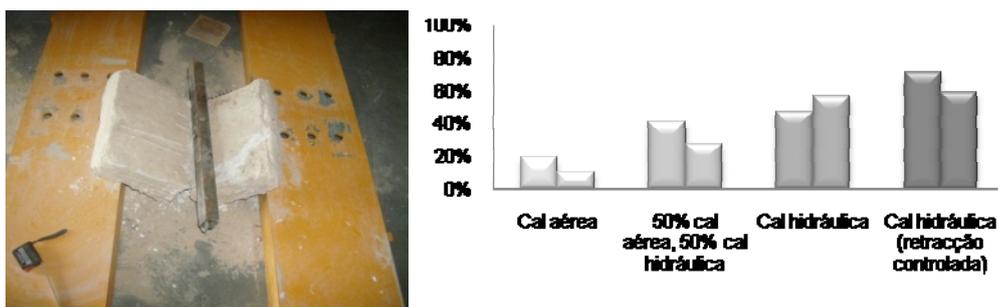


Fig. 9 – Ensaio de flexão aos blocos reparados; Fig. 10 – Avaliação da eficiência das selagens (medida em termos do valor da recuperação da resistência inicial) (créditos: autores 2009).

Dos ensaios realizados (Fig. 9) verificou-se que os melhores resultados obtidos na eficiência da ligação (Fig. 10) estiveram presentes na solução de cal hidráulica. Comparando os valores de resistências obtidos entre os blocos no seu estado original e após selagem, verificou-se que a recuperação da resistência foi de aproximadamente 65%.

3.3. ENSAIOS DE TRACÇÃO À REDE SINTÉTICA USADA NA REABILITAÇÃO DA PAREDE

Após uma pesquisa detalhada da vasta gama de redes disponíveis no mercado, por uma pré-análise das características técnicas disponíveis, seleccionou-se para aplicar no reforço da parede, uma rede sintética com paredes de reduzida espessura (0,8×0,6mm), com uma elevada maleabilidade para facilmente se ajustar às imensas irregularidades dos blocos de adobe e pouco vidrada, facilitando assim a sua aderência com a argamassa. Com o objectivo de se obter uma melhor caracterização da rede seleccionada para o reforço, desenvolveu-se uma campanha de ensaios de tracção. O ensaio foi realizado com recurso a quatro cantoneiras cortadas em forma de T, para permitirem o agarre da rede e em simultâneo à máquina de tracção (Fig. 11 e Fig. 12). Este ensaio foi efectuado a uma velocidade de três milímetros por minuto e a uma temperatura ambiente de 22°.

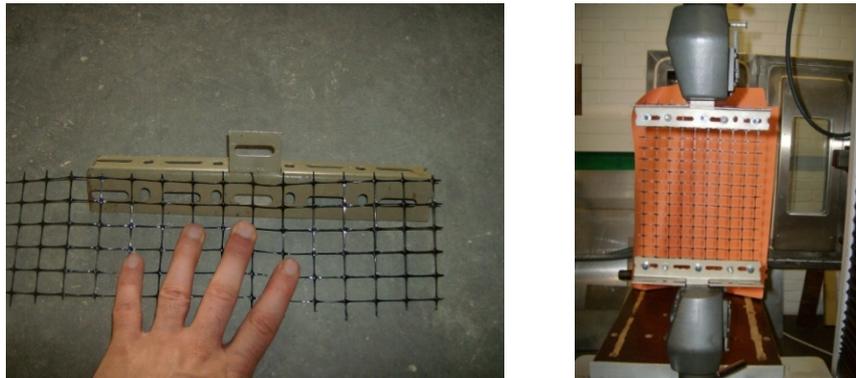


Fig. 11 e Fig. 12 – Cantoneira de fixação da rede e imagem elucidativa do ensaio (créditos: autores 2009)

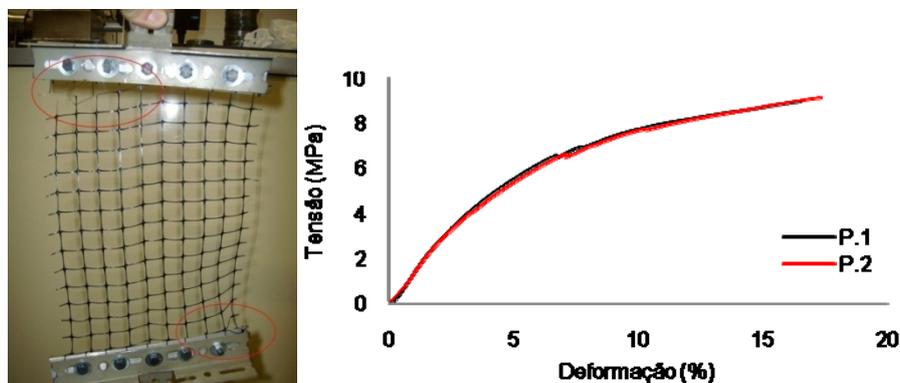


Fig. 13 e Fig. 14 – Modo de rotura e resultados obtidos do ensaio de tracção (créditos: autores 2009).

Apesar dos cuidados que se tiveram na fixação da rede às cantoneiras, pelos modos de rotura (Fig. 13), observa-se que essa zona de ligação provocou uma fragilidade nas fibras da rede.

Da análise ao gráfico tensão *versus* deformação (Fig. 14), verifica-se uma tensão média de rotura à tracção de 9MPa, para uma deformação longitudinal correspondente de 18%.

4. REABILITAÇÃO DA PAREDE

4.1. REPARAÇÃO DOS DANOS PROVENIENTES DO ENSAIO CÍCLICO

Após a realização dos ensaios descritos no capítulo 2, que levaram à rotura da parede, foi necessário reparar os danos existentes para posteriormente se aplicar a técnica de reforço projectada. A estratégia adoptada passou pelo preenchimento das fissuras existentes, por injeção sob pressão de uma goma de cal hidráulica. Para a execução desta tarefa foram inseridos uns tubos de diâmetro interior de 12mm até ao seio destas (Fig. 15). Para a sua inserção, previamente foram abertos furos com um berbequim, espaçados em cerca de 20cm ao longo do curso das fissuras. Em seguida realizou-se uma selagem com uma argamassa muito fina de cal hidráulica sobre as fissuras (Fig. 16), para que ao efectuar-se a injeção não ocorressem fugas da goma para o exterior, garantindo desta forma o total preenchimento das fissuras no interior da parede. A tarefa final correspondeu à execução da injeção sob pressão (Fig. 17).



Fig. 15 – Mangueiras de injeção; Fig. 16 – Selagem das fissuras; Fig. 17 – Injeção da goma de cal hidráulica sob pressão (créditos: autores 2009).

4.2. REFORÇO DA PAREDE

Estando a parede devidamente reparada, passou-se para a fase do seu reforço sísmico. Com o objectivo de garantir que a massa da parede original e após reforço seriam iguais procedeu-se à remoção do reboco da parede, para possibilitar a aplicação da rede no interior do seu novo reboco. A rede foi aplicada em toda a envolvente da parede, ficando devidamente esticada e ancorada à base. O sistema de fixação consistiu na aplicação de cantoneiras e perfis laminares em PVC “cozidos” entre si com um fio de nylon de alta resistência, em todos os vértices côncavos da parede. Efectuou-se ainda uma pregagem com buchas/pregos plásticos formando uma malha quadrada de pontos de fixação, afastados de 0,5m nas duas direcções (Fig.18 e Fig.19). Na fase final procedeu-se ao reboco da parede e posteriormente à sua caiação.

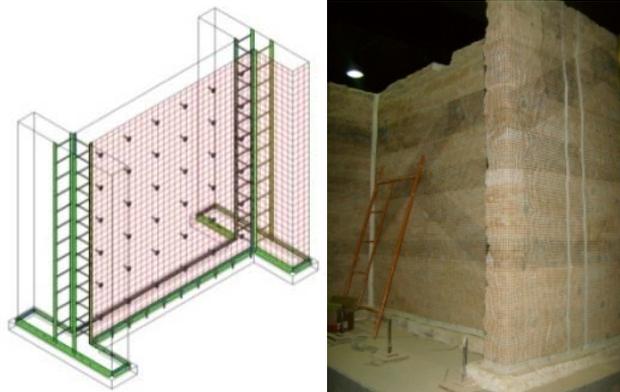


Fig. 18 e Fig. 19 – Esquema geral do reforço efectuado (créditos: autores 2009).

As tarefas inerentes à reparação e reforço da parede encontram-se detalhadamente em Figueiredo (2009).

4.3. EVOLUÇÃO DOS ENSAIOS CÍCLICOS E DINÂMICOS NA PAREDE REFORÇADA

Nesta segunda fase de ensaios procurou-se manter o mesmo esquema geral adoptado, nos testes realizados na parede no seu estado original. O ponto de aplicação da força e a posição dos transdutores electrónicos que serviram de comparação de resultados entre os dois ensaios, mantiveram-se inalterados.

4.3.1. EVOUÇÃO DOS ENSAIOS CÍCLICOS

Tal como no ensaio cíclico da parede original foi aplicada uma força vertical para simular as acções permanentes e sobrecargas existentes nas construções.

Adoptou-se o intervalo observado na Tabela 1 para os deslocamentos impostos com os respectivos drifts. Na Fig. 20 observa-se os ciclos de força correspondentes aos deslocamentos impostos ao longo do ensaio.

Tab. 1 - Ciclos de deslocamentos impostos à parede.

Deslocamentos impostos (em mm) / (Drift, %)								
0.125	0.25	0.50	1.25	2.50	5.00	12.50	25.00	37.50
(0.005%)	(0.01%)	(0.02%)	(0.05%)	(0.1%)	(0.2%)	(0.5%)	(1.0%)	(1.5%)

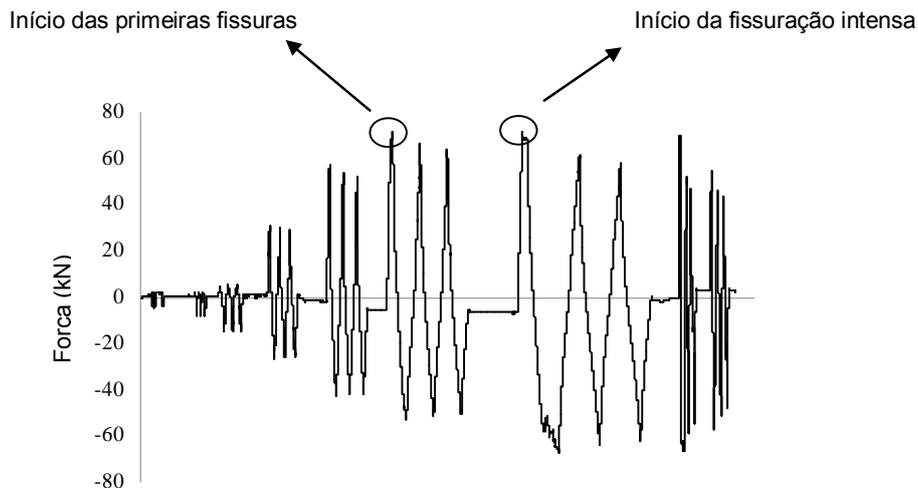


Fig. 20 - Evolução da força horizontal aplicada ao longo do ensaio (créditos: autores 2009).

Da análise dos resultados apresentados na Tabela 1 e no gráfico da Fig. 20, bem como da restante informação reunida durante o ensaio verificou-se que o início da fissuração ocorreu no sexto ciclo de deslocamentos ($\Delta=5\text{mm}$). Com o incremento da amplitude do deslocamento imposto no ciclo seguinte, observou-se uma propagação intensa das fissuras já existentes. Notou-se também a formação de novas fissuras, de aberturas maiores e com um prolongamento mais extenso. Nos deslocamentos seguintes, observou-se um destacamento acentuado do reboco em grande parte da área já fissurada. Foi visível também o esmagamento da parede na zona envolvente da sua ligação ao sistema de aplicação da força horizontal. Através das Fig. 21 e Fig. 22, observa-se mais detalhadamente a resposta dada pela parede, com o decorrer do ensaio.

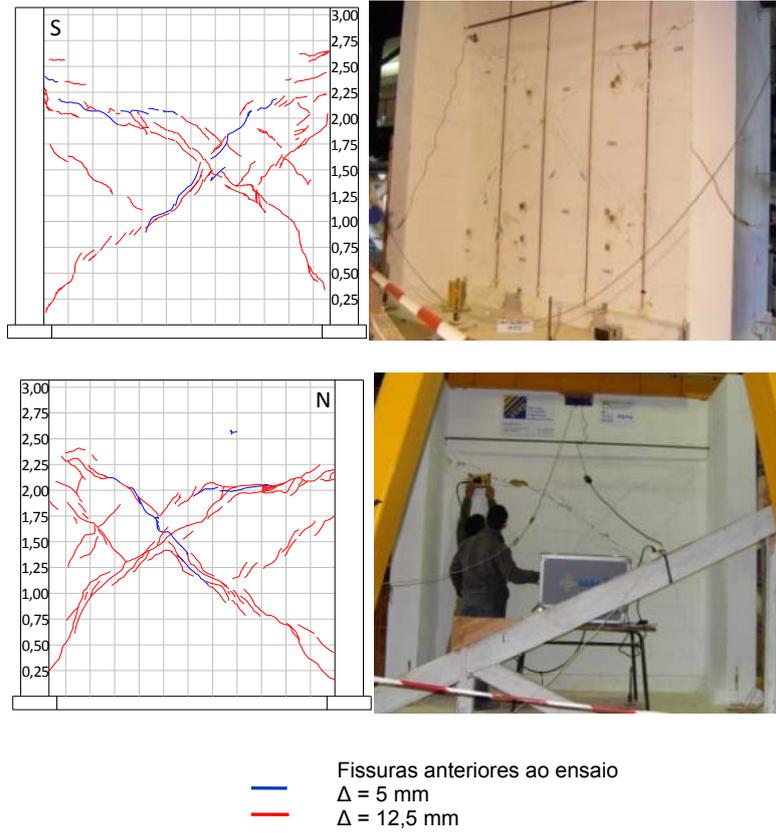


Fig. 21 – Evolução dos danos nas faces Sul e Norte da alma da parede (créditos: autores 2009).

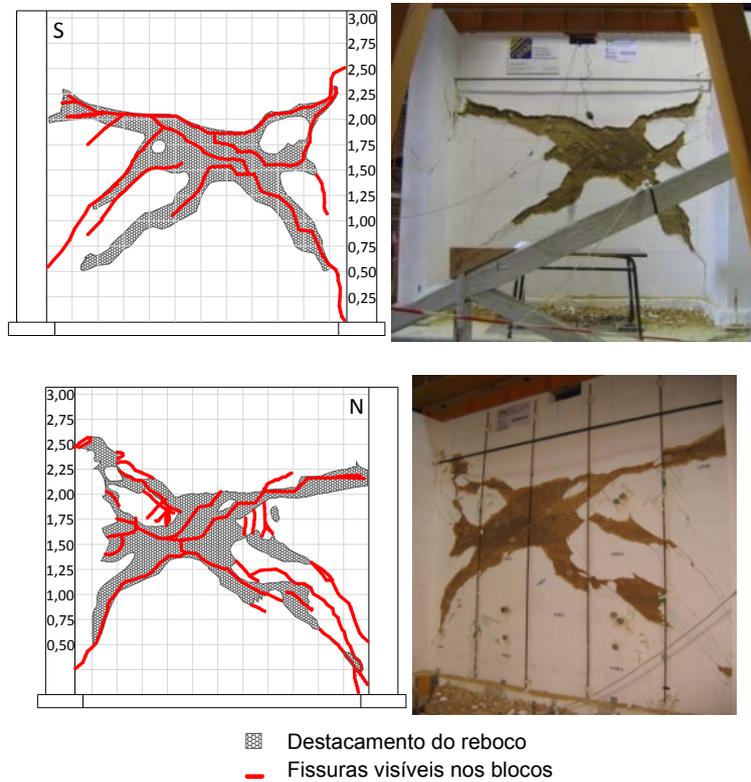


Fig. 22 – Estado final de dano nas faces Sul e Norte da parede (créditos: autores 2009).

Dos ensaios cíclicos realizados averiguou-se, entre outros dados importantes, a resposta dada pela parede aos movimentos impostos pela aplicação das forças (Fig. 23 e Fig. 24). Os principais resultados obtidos foram:

- A capacidade máxima ao corte da parede foi de 71,75kN;
- A sua resistência residual foi de 43kN (aproximadamente 40% da sua resistência máxima);
- O deslocamento máximo imposto no topo da parede foi de 41,49mm, sendo ao nível do ponto de aplicação da força de 36,71mm;
- Pelos primeiros ciclos de deslocamentos evidencia-se uma resposta praticamente linear da parede;
- Ainda nos primeiros ciclos de deslocamentos impostos verifica-se que a dissipação de energia foi praticamente nula, verificando-se a ausência de danos;
- Entre os ciclos de 2,5mm e 25,0mm observa-se uma dissipação de energia de cerca de 1/3 da energia total dissipada. Esta dissipação indica o início dos danos causados na parede;
- Nos últimos ciclos em que as amplitudes de deslocamentos foram muito elevadas, os danos na parede cresceram de forma exponencial, o que se pode comprovar pelo gráfico da dissipação de energia. Estima-se que 2/3 da energia total tenha sido dissipada nestes ciclos.

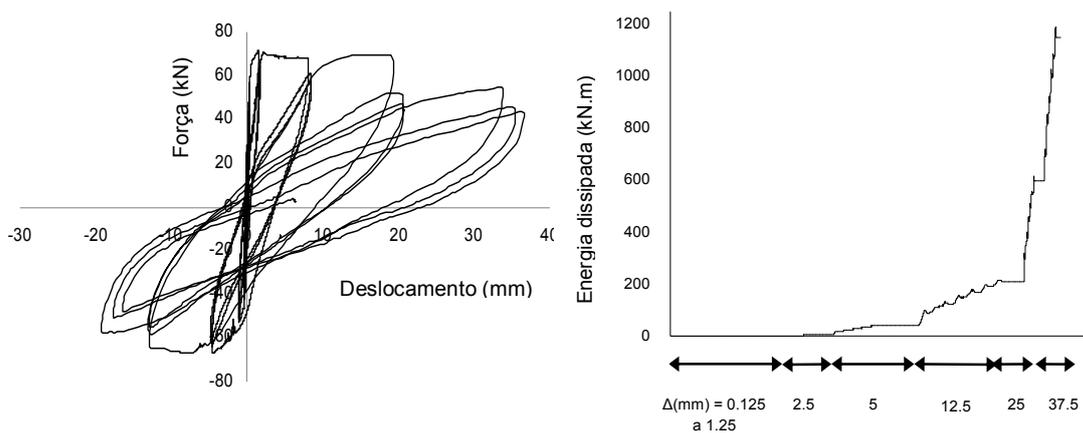


Fig. 23 e Fig. 24 - Evolução do ensaio cíclico (créditos: autores 2009).

Com o objectivo de averiguar a eficiência do reforço construiu-se um gráfico força *versus* deslocamentos, comparativo entre os dois ensaios realizados na parede (estado original e após reforço). Através do gráfico da Fig. 25 verifica-se a influência que o reforço teve na resposta da parede.



Fig. 25 - Evolução das curvas força *versus* deslocamento no topo da parede (créditos: autores 2009).

Das curvas observadas no gráfico da Fig. 25 conclui-se que:

- Após o reforço da parede verificou-se a recuperação da sua rigidez inicial;
- A capacidade máxima resistente da parede ao corte teve um incremento de aproximadamente 20% após o reforço;
- O deslocamento máximo imposto no topo da parede teve um aumento para o dobro;
- A fragilidade da parede, pós pico de força diminuiu, aumentando assim a sua ductilidade e capacidade de dissipação de energia;
- Para ciclos repetidos observou-se uma menor degradação de resistência na parede reforçada;
- O reforço aplicado mostrou-se como uma solução de elevada eficácia no reforço sísmico da parede.

4.3.2. ENSAIOS DINÂMICOS

Para avaliar a recuperação da rigidez que a reabilitação da parede lhe conferiu e para estudar a sua evolução durante o ensaio, efectuaram-se várias leituras às frequências próprias da parede. Os resultados obtidos apresentam-se na Fig. 26.

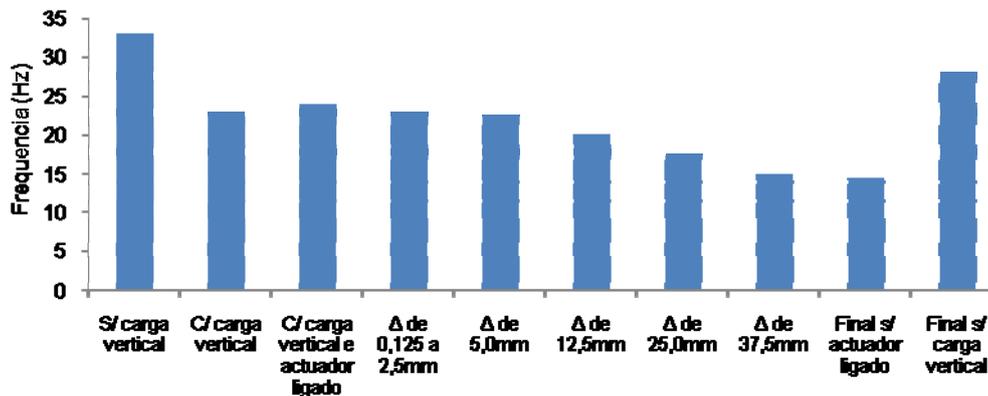


Fig. 26. - Evolução das frequências próprias (Hz) da parede (créditos: autores 2009).

De modo a evidenciar as diferenças do comportamento entre as duas paredes construiu-se um gráfico com as frequências da parede carregada verticalmente no seu estado original e após o seu reforço.

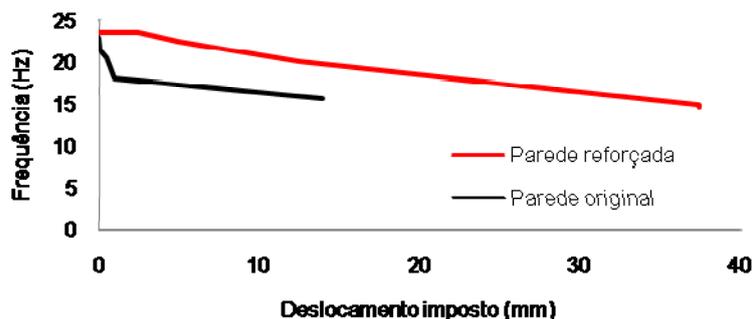


Fig. 27 - Evolução das frequências próprias da parede reforçada e da parede original carregadas verticalmente (créditos: autores 2009).

Do início das curvas das frequências próprias da parede verifica-se que a sua reabilitação lhe conferiu uma rigidez inicial praticamente igual à rigidez verificada na parede original. Salienta-se que a primeira frequência mostrada pelo gráfico corresponde à parede com carga vertical antes do início dos ensaios cíclicos. Pelo gráfico (Fig. 27), verifica-se que a resposta dada pela parede reforçada durante a

imposição de cargas cíclicas provocou um decréscimo de rigidez e consequentemente de frequência natural, mais suave. Da análise das frequências observou-se que o reforço aplicado, mostrou-se benéfico no comportamento da parede quando solicitada horizontalmente.

4.3.3. ENSAIOS DE FLEXÃO E COMPRESSÃO AOS PROVETES DE ARGAMASSA DA PAREDE

Durante as fases de reparação e reforço da parede, recolheram-se amostras de goma de cal hidráulica utilizada no preenchimento das fissuras e argamassa utilizada no reboco do reforço da parede, para avaliar a suas resistências em compressão e em tracção.

Da goma usada na injeção das fissuras obteve-se um valor médio de resistência em compressão de 3,77MPa, sendo a tensão de rotura por tracção aproximadamente 30% desse valor.

Como a argamassa de reboco usado no reforço da parede tinha um traço igual ao da argamassa de construção, os valores resistentes dos provetes foram idênticos. Obtendo-se uma resistência nos provetes da argamassa de reforço em compressão de 0,61MPa e 0,20MPa de resistência em tracção (aproximadamente 30% de resistência em compressão).

5. CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

O comportamento frágil que se tem observado nas estruturas de alvenaria de adobe quando solicitadas horizontalmente, é uma problemática corrente para as construções existentes, devido às suas localizações em zonas de elevado risco sísmico.

Com o trabalho desenvolvido, obtiveram-se conhecimentos que contribuem na avaliação do comportamento de estruturas de alvenaria de adobe, quando sujeitas a esforços cíclicos, como os induzidos pelos sismos. Do ensaio da parede no seu estado original caracterizou-se a evolução das suas frequências com a aplicação de solicitações cíclicas horizontais, caracterizou-se a evolução da força *versus* deslocamentos, que permitiu caracterizar as deformações máximas, modos de rotura, e capacidade resistente ao corte, da parede ensaiada. Com estes dados foi possível definir uma solução de reparação e posterior reforço sísmico para a parede em causa.

Foram feitos alguns ensaios aos materiais utilizados na reparação e reforço da parede, de modo a caracteriza-los.

Dos ensaios realizados na parede reforçada, foi possível concluir que alguns dos danos tipicamente encontrados nestas alvenarias, são facilmente reparados com o uso de técnicas simples e de baixos custos. Conclui-se também que é possível obter-se uma boa resposta sísmica por parte das alvenarias de adobe quando devidamente reforçadas. Estes dados foram comprovados pelos resultados obtidos do ensaio sob a parede reabilitada, em que se constatou a recuperação da rigidez inicial da parede, um aumento da ductilidade de aproximadamente o dobro, uma melhoria bastante significativa da dissipação de energia, um aumento de cerca de 20% da capacidade ao corte da parede, e a ausência de um modo de rotura frágil, característico neste tipo de alvenarias.

Com base nos resultados obtidos é possível criar uma base de dados que apoia o desenvolvimento de uma avaliação mais rigorosa na segurança das construções existentes em alvenarias de adobe. Os bons resultados, conjugados com os métodos aplicados nas intervenções efectuadas na parede, poderão servir de bases para a

aplicação da técnica de reforço estudada em construções de adobe existentes, ou para o desenvolvimento e aperfeiçoamento de novas técnicas de reforço sísmico.

Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem a todas as pessoas, empresas e instituições que colaboraram na preparação e realização dos ensaios, ajuda imprescindível para os resultados alcançados:

- Ao Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE), da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, pelo apoio na preparação e realização dos ensaios na parede;
- À empresa STAP, especializada na reparação, consolidação e modificação de estruturas, pela disponibilidade nas tarefas que envolveram a reparação e o reforço da parede;
- À empresa Fregaze pela oferta da rede usada no reforço da parede;
- À Câmara Municipal de Aveiro, pela cedência dos adobes usados na construção da parede, e pela troca constante de ideias e preocupações relacionadas com a preservação do património local, que motivaram estes ensaios;
- Ao Departamento de Física da Universidade de Aveiro pelo apoio na preparação e montagem do sistema de monitorização dos ensaios na parede com sensores de fibra óptica;
- Ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro que disponibilizou os seus meios para a realização dos ensaios de tracção das amostras de rede sintética usada no reforço;
- Ao Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro pela colaboração na realização dos ensaios, monitorizando a evolução dos danos com georradar.

Bibliografia

Blondet, M.; Garcia, G.; Brzey, S. (2003) *Construcciones de adobe resistentes a los terremotos*. Publicado como um contributo para a Enciclopedia Mundial de Habitação de EERI/IAEE, www.world-housing.net. Marjorie Greene, EERI.

Blondet, M.; Torrealva, D.; García, G.; Ginocchio, F.; Madueño, I. (2004). *Using Industrial Materials for the Construction of Safe Adobe Houses in Seismic Areas*. PUCP, Peru.

Corazao, M; Blondet, M. (1974). *Estudio Experimental del Comportamiento Estructural de las Construcciones de Adobe Frente a Solicitaciones Sísmicas*. Banco Peruano de los Constructores. Lima, Perú.

Figueiredo, A. (2009) *Caracterização de uma solução de reforço sísmico de paredes de adobe*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Houben, H.; Guillaud, H. (1994). *Earth Construction – A comprehensive guide*, CRATerre – EAG. Intermediate Technology Publications, London.

Pereira, H. (2008). *Caracterização do comportamento estrutural de construções em adobe*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Departamento de Eng. Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

Varum, H.; Costa, A; Pereira, H.; Almeida, J. (2006). *Comportamento estrutural de elementos resistentes em alvenaria de adobe*. Terra Brasil. Minas Gerais. Ouro Preto.

Varum, H.; Costa, A.; Pereira, H.; Almeida, J.; Rodrigues, H. (2006). *Avaliação Experimental do Comportamento Estrutural de Elementos Resistentes em Alvenaria de Adobe*. Departamento de Eng. Civil. Universidade de Aveiro. Portugal.

Varum, H.; Martins, T.; Velosa, A. (2005). *Caracterização do adobe em construções existentes na região de Aveiro*. IV SIACOT Seminário Ibero-Americano de Construção com terra e III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Convento da Orada. Monsaraz.

Currículos

António Figueiredo: Mestre em Engenharia Civil (UA, 2009) tem dedicado preferencialmente a sua formação e investigação no domínio do estudo de soluções de reforço sísmico de estruturas de alvenaria de adobe.

Humberto Varum: Engenheiro Civil, Ph.D, professor da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação, reabilitação e reforço sísmico de estruturas, e particularmente sobre reabilitação de construções em terra.

Aníbal Costa: Engenheiro Civil, Ph.D, professor da Universidade de Aveiro, Portugal, tem desenvolvido vários trabalhos sobre avaliação, reabilitação e reforço sísmico de estruturas, e particularmente sobre reabilitação de construções em terra.

Miguel Santos: Engenheiro Civil, Director da delegação Norte da empresa STAP, Reparação, Consolidação e Modificação de Estruturas, SA.