METODOLOGIA DA PREPARAÇÃO DE ENSAIOS A REALIZAR NA ILHA DO FAIAL, AÇORES

ALEXANDRE A. COSTA
Investigador
FEUP
Porto - Portugal

ANÍBAL COSTA
Prof. Catedrático
U. Aveiro
Aveiro - Portugal

ANTÓNIO ARÊDE
Prof. Auxiliar
FEUP
Porto - Portugal

C. SOUSA OLIVEIRA
Prof. Catedrático
IST
Lisboa - Portugal

FILIPE NEVES
Eng. Civil
U. Aveiro
Lisboa - Portugal

SUMÁRIO

O comportamento *in-situ* de alvenaria estrutural, tanto no próprio plano como fora-do-plano, não tem sido muito estudado pela comunidade científica, fundamentalmente devido às diversas dificuldades que se colocam à realização de ensaios em construções reais. Tal é o caso das paredes alvenaria de pedra tradicional como as existentes em muitas casas do arquipélago açoreano em geral e, em particular, das ilhas do Faial e do Pico onde ocorreram os danos mais severos na sequência do sismo de 9 de Julho de 1998. Tendo surgido a possibilidade de estudar no próprio local algumas destas casas da ilha do Faial, já danificadas devido ao sismo, foi necessário elaborar uma metodologia adequada de ensaio para o estudo do comportamento da alvenaria tradicional, nomeadamente para fora do seu próprio plano. Além disso, por forma a comparar o comportamento desta mesma alvenaria com a que correntemente tem sido agora usada na reconstrução/construção nesta ilha, foram também considerados ensaios neste último tipo de alvenaria confinada de blocos de betão.

Assim, esta comunicação pretende apresentar uma metodologia seguida de forma a possibilitar tal tipo de ensaios, desde a preparação de todo o equipamento em laboratório até à sua montagem *in-situ*, tendo como principais condicionantes o reduzido tempo disponível para o ensaio (cinco ensaios em cinco dias) e a minimização do peso do sistema de ensaio a usar. Deliberadamente não são aqui apresentados quaisquer resultados dos ensaios que são parcialmente abordados numa outra comunicação dos mesmos autores a esta conferência.

1. INTRODUÇÃO

Com excepção dos ensaios de carga de recepção de obras, os ensaios *in-situ* sobre construções existentes são normalmente menos preferidos pela comunidade científica devido à complexidade normalmente associada e também aos inúmeros factores que não estão sob o controlo do experimentador. No entanto, este tipo de ensaios permitem obter valiosa informação sobre o comportamento de elementos ou estruturas nas suas condições originais ou com pequenas modificações destas, normalmente condicionadas pela forma de aplicação de carga.

O facto referido constituiu assim forte motivação para procurar tirar partido de construções existentes na ilha do Faial, Açores, já destinadas a demolição na sequência dos danos ocorridos durante o sismo de 9 de Julho de 1998. As condições reais destas construções, localizadas na zona de maior actividade sísmica do país, permitem realizar ensaios no plano e fora do plano das paredes. Destes ensaios, os últimos assumem particular relevância em virtude de os movimentos fora do plano constituírem um modo de ruína observado com grande frequência; não obstante, encontram-se pouco caracterizados do ponto de vista experimental (i.e. Costa [1]).

Apesar de ser viável e de já ter sido realizado, o ensaio em laboratório de troços de paredes de construções existentes na ilha do Faial (Costa *et al.* [2]) é uma opção complicada devido à necessidade de um processo muito

cuidado de extracção do troço da parede, do seu transporte para o laboratório e da sua colocação num dispositivo adequado para o ensaio.

Assim, em face desta experiência passada, afigurou-se aos autores que o procedimento mais viável ao estudo do comportamento destas paredes consistiria em realizar ensaios *in-situ*, com todas as condicionantes que advêm desta escolha. Para tal, houve que proceder a um estudo cuidadoso de todas estas condicionantes, pois além de questões mais relacionadas com material laboratorial, outras dificuldades forçosamente surgiriam devido à falta de adequadas condições de ensaio. Todo o processo de preparação desta campanha experimental foi conduzido através do Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural (LESE) da FEUP, no Porto, onde todos os componentes e aspectos necessários à realização dos ensaios foram criteriosamente pensados. Uma vez preparado e embalado, houve que transportar todo o material de ensaio do Porto para o Faial, pelo que foi da maior importância evitar qualquer esquecimento ou incompatibilidade de equipamento que poderia pôr em risco a realização dos testes. Por fim refira-se que os aspectos mais importantes a ter em conta foram os seguintes: realizar cinco ensaios experimentais num tempo máximo de cinco dias, obrigando portanto a uma cuidadosa preparação de todo o processo; obter a solução mais leve possível susceptível de ser transportada entre Porto e Faial, entre locais de ensaio e montagem do equipamento sem dispor dos meios mais adequados.

2. DEFINIÇÃO DO TIPO DE ENSAIOS A REALIZAR

2.1. Selecção prévia de casos de estudo

Conforme já referido, a existência de casas desabitadas e destinadas a demolição devido ao sismo de 1998, proporcionou uma situação que permitiu os ensaios *in-situ*. O processo de selecção das casas para os ensaios foi uma tarefa de várias etapas. Inicialmente foi realizada uma visita por toda a ilha de modo a averiguar e conhecer as freguesias mais afectadas pelo sismo. Escolheram-se cerca de dez edifícios que apresentavam adequadas condições de viabilidade e acessibilidade. Na selecção das casas foram considerados alguns factores essenciais, nomeadamente, o estado de conservação do edifício, a existência de electricidade próxima, a topografia do terreno e a segurança do trabalho. Foi dada a devida informação à Secretaria Regional da Habitação e Equipamento, delegação do Faial, sobre a realização dos ensaios e obteve-se autorização dos proprietários das casas, após o que foi possível efectuar a limpeza necessária para bom acesso às casas seleccionadas.

2.2. Estruturas a ensaiar

Inicialmente foram previstos cinco ensaios: dois em paredes de alvenaria confinada (um ensaio no plano e outro fora do plano), um ensaio numa casa na freguesia dos Cedros (diferente da que foi posteriormente seleccionada), e dois ensaios numa casa da Canada do Sousa. Porém, uma vez no local este esquema inicial de ensaio foi depois modificado, devido a variados factores que adiante são referidos. Assim, seguidamente apresentam-se as estruturas que foram realmente ensaiadas durante a campanha de ensaios realizada de 15 a 19 de Maio de 2007.

2.2.1. Alvenaria tradicional de pedra

Tendo surgido a possibilidade de ensaiar habitações existentes que colapsaram parcialmente (coberturas e/ou pavimentos) durante o sismo de 9 de Julho de 1998, ficaram disponíveis potenciais elementos para a correcta caracterização do comportamento fora do plano de alvenaria tradicional de pedra de duas folhas. Foram então identificadas duas casas para potencial de estudo: a primeira, Figura 1 a), situa-se na freguesia de salão, tem apenas de um piso térreo e possui uma parede cega de tardoz e outra parede de fachada com algumas aberturas, sendo as paredes argamassadas; a segunda, Figura 1 b), situa-se na Canada do Sousa, freguesia dos Cedros, tem dois pisos, paredes de pedra à vista e contém também uma parede cega de tardoz e outra de fachada com aberturas mas ligeiramente irregular em altura.

É oportuno salientar que a casa na freguesia de Salão inicialmente prevista não é a que foi realmente ensaiada. De facto, após uma visita ao local, constatou-se que a casa da Figura 1 a) apresentava maior potencial de ensaio

do que a outra inicialmente prevista, devido essencialmente à presença de um anexo construído em paredes de alvenaria de bloco. Assim, procurou-se então tirar partido desta casa para realizar dois ensaios, um apenas envolvendo paredes de alvenaria tradicional e outro ensaio misto envolvendo simultaneamente paredes de alvenaria tradicional e paredes de alvenaria de blocos de betão.

2.2.2. Alvenaria confinada de blocos de betão

A alvenaria de blocos de betão confinada com uma cintagem envolvente de betão armado (montantes verticais e cintas horizontais) é, juntamente com as estruturas porticadas de betão armado e paredes de enchimento em alvenaria de blocos, a tipologia estrutural actualmente utilizada de forma corrente na ilha do Faial após o sismo de 1998.

a) b)

Figura 1: Habitações de alvenaria de pedra no(a): a) Salão; b) Canada do Sousa.

De forma a avaliar o comportamento deste tipo de alvenaria e tornar possível a sua comparação com alvenaria tradicional, foram realizados dois ensaios num painel deste tipo de alvenaria. Na realidade, inicialmente o objectivo passava também por testar o comportamento no plano de uma parede deste género. Para tal, foram construídas duas paredes dispostas perpendicularmente em T, estando a mais pequena (a ensaiar no plano) localizada a meio da parede mais longa (por sua vez a ensaiar para fora do plano), conforme se mostra na Figura 2.

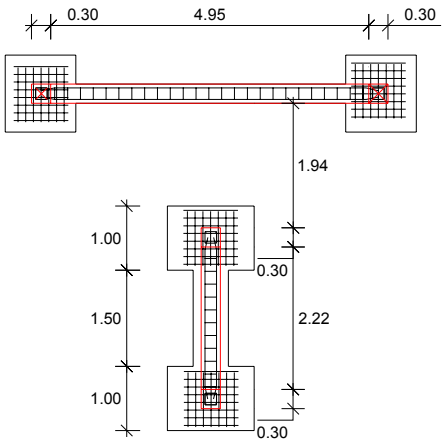


Figura 2: Paredes de alvenaria de blocos de betão confinada com cintagem de betão armado.

Contudo, a resistência no próprio plano da parede de alvenaria de blocos de betão confinada por pórtico de betão armado revelou-se muito elevada, tornando impossível obter uma estrutura de reacção suficientemente rígida para ensaiar esta parede, apesar de se ter feito algumas tentativas usando recursos existentes e improvisados no local. A título de curiosidade refere-se que foram experimentadas duas situações: *i)* uso de uma retroescavadora de grande massa que, encostada à parede maior e com recurso a cabos de aço, poderia aumentar a rigidez desta para providenciar reacção a um carregamento cíclico, Figura 3 a); *ii)* aumento da rigidez da mesma parede com o recurso a um escoramento com perfis metálicos diagonais, Figura 3 b). No entanto, nenhuma das tentativas foi bem sucedida: no 1º caso, a rigidez da parede no plano era de tal ordem que os actuadores hidráulicos moviam a retroescavadora e não a parede, inviabilizando assim esta opção; no 2º caso, mesmo com o uso do travamento metálico também não foi possível deformar suficientemente a parede menor no seu próprio plano devido à sua elevada rigidez, podendo mesmo colocar em risco o funcionamento do equipamento de ensaio por deficiente reacção para aplicar cargas mais elevadas.

a) b)

Figura 3: Travamento da parede fora do plano: a) uso da retroescavadora; b) travamento metálico.

2.3. Metodologia de ensaio

Com base no tipo de estruturas identificados no ponto 2.2. foi definida inicialmente uma metodologia de ensaio a ser usada, tendo sido detectados vários factores condicionantes tais como a definição do ponto e método de aplicação de carga, os pontos de monitorização e o sistema de actuação a utilizar.

2.3.1. Ponto de aplicação de carga

Em estruturas de alvenaria tradicional de pedra, a massa encontra-se essencialmente distribuída ao longo das paredes devido à espessura e densidade destes elementos, ao contrário das construções recentes onde a massa está concentrada ao nível dos pisos (normalmente lajes de betão armado, na maioria aligeiradas). No entanto, a observação pós-sismos tem permitido identificar que o efeito do telhado no comportamento fora do plano das paredes exteriores de construções antigas é significativo devido à insuficiente ligação dos telhados às paredes, tal como foi recentemente identificado após os sismos de Umbria-Marche (1997), Itália, e também do Faial-Pico (1998), Açores. Desse efeito resulta que a acção horizontal do telhado, provocada pela excitação sísmica, é transmitida directamente às paredes exteriores perpendicularmente a estas através de uma força de corte. No entanto, outro efeito porventura ainda mais condicionante, consiste na incapacidade da cobertura promover uma restrição de deslocamento das paredes fora do plano devido a uma fraca ligação, deixando assim que as paredes se comportem como simples consolas tal como se ilustra na Figura 4.

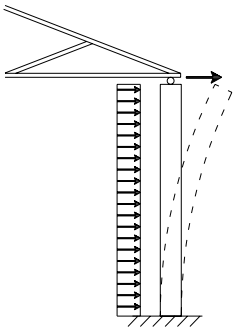


Figura 4: Efeito do telhado.

Este efeito do telhado é agravado pela elevada massa da alvenaria de pedra tradicional, a que vêm associadas significativas forças de inércia para fora do plano e elevados deslocamentos nesta direcção. Um aspecto que será importante referir é o facto do principal factor na avaliação do comportamento fora do plano de painéis de alvenaria ser a sua capacidade de deslocamento, mais importante do que a própria resistência, pois o colapso dá-se na maioria das vezes por estes painéis atingirem condições de instabilidade e não de resistência última.

Daqui se pode concluir que a aplicação de carga no topo das paredes representa uma condição real de comportamento destas paredes durante a acção sísmica, pois reproduz os deslocamentos provocados pela massa distribuída e pelo efeito do telhado.

Em relação a paredes de alvenaria de blocos confinadas, e no seguimento do que foi descrito acima, a actuação para fora do plano resulta de duas contribuições: excitação da massa presente a nível do piso superior, originando forças de inércia actuando ao longo do topo da parede; excitação da própria massa da alvenaria para fora do plano que origina uma carga distribuída em toda a parede. Além disso, o comportamento destas paredes está fortemente ligado às condições fronteira a que está sujeita, já que a presença de pilares de betão armado nos cantos e uma restrição ao nível do topo (resultante da existência de uma laje de betão armado) permite considerar a parede apoiada em todo o contorno com um apreciável grau de encastramento resultante do contraste de fraca rigidez da alvenaria com maior rigidez dos elementos de betão armado. Naturalmente, tal não acontece se não existir uma laje de topo com rigidez suficiente para impedir os deslocamentos do topo do painel de alvenaria, pelo que, no esquema de ensaio adoptado para este caso, houve que ligar a cinta superior de betão armado no topo da parede a um perfil metálico colocado na direcção normal à parede apoiando-se na outra parede ortogonal para restrição dos deslocamentos nessa direcção, conforme é possível observar na Figura 5. Poder-se-á assim considerar este painel de alvenaria relativamente bem apoiado em todo o contorno para uma força aplicada de forma parcialmente distribuída com ponto de aplicação da resultante no centro do painel.

Figura 5: Sistema de ensaio para fora do plano e restrição de deslocamentos no topo.

2.3.2. Métodos utilizados para aplicação das cargas

Inicialmente, e baseado nas considerações feitas no ponto anterior 2.3.1. a aplicação de cargas ao nível superior dos painéis a ser ensaiados ficou definida como uma metodologia adequada para o estudo do comportamento das paredes fora do plano. Porém, para aplicar tais cargas a este nível seria necessário a existência de uma estrutura de reacção, o que não possibilitaria o transporte fácil entre os diversos locais de ensaio inviabilizando assim a realização em média de um ensaio por dia. Surgiu então a ideia de utilizar as duas paredes em cada fachada para utilizar o par acção-reacção, não sendo necessário assim uma estrutura de reacção fixa, apesar de este procedimento inviabilizar o ensaio até ao colapso de uma das paredes, já que apenas a mais fraca pode ser alvo de ensaio até à rotura. Por outro lado, esta opção permite de uma forma fácil e cómoda ensaiar simultaneamente duas paredes em vez de apenas uma, aumentando assim os dados obtidos para uma melhor caracterização deste tipo de alvenaria. Este sistema de ensaio adoptado será apresentado na secção 5. desta mesma comunicação.

Em relação às paredes de alvenaria confinada, a mesma estratégia de aplicação da carga no topo foi inicialmente admitida e utilizada, tirando partido da reacção na parede perpendicular como adiante se apresenta. Vale a pena referir que, em boa verdade, tais condições de ensaio não são totalmente realistas pois a carga vertical proveniente de um piso não está presente e o efeito do peso próprio é potencialmente significativo numa parede de alvenaria confinada; além disso, o comportamento do elemento ensaiado acabou por envolver "*rocking*", havendo movimento do pórtico de betão armado praticamente sem mobilizar a resistência da alvenaria. Porém, a polivalência do sistema de ensaio utilizado permitiu criar uma nova forma de aplicação de carga, mais realista, mesmo após decorrido já o primeiro ensaio neste painel confinado. A força passou então a ser aplicada a meio do painel de alvenaria e distribuída através de barrotes de madeira numa área de 1.2 x 1.2 m^2. É de salientar o facto de esta nova forma de aplicação de carga não ter sido previamente pensada mas, com recurso a polivalência do sistema de ensaio, ser possível adaptar este ensaio *in-situ* a uma nova situação de carga (Figura 5).

2.3.3. Sistema e pontos de monitorização

Devido ao facto de ser necessário uma rápida instalação do sistema de monitorização, e também devido à elevada quantidade de informação que poderia resultar do uso deste sistema de ensaio (onde estariam a ser testadas duas paredes e a respectiva envolvente), o sistema e pontos de monitorização foram adequadamente seleccionados para tal. Foram então definidos os pontos a ser monitorizados ao longo dos vários ensaios, optando-se por uma leitura de deslocamentos em T em cada parede. Ou seja, para cada parede, três pontos estariam colocados na horizontal mais dois na vertical (na direcção do central horizontal), perfazendo um total de dez transdutores de deslocamentos. A acrescentar a estes, foi previsto ainda outro transdutor no sistema de actuação (conforme se descreve mais adiante) de forma a controlar o movimento deste. Adicionalmente, foram utilizados mais quatro transdutores com o objectivo de monitorizar outros pontos específicos nas diferentes estruturas ensaiadas. Outro parâmetro da maior importância a monitorizar foi a força aplicada a cada parede. Como o sistema funciona por acção-reacção entre paredes, a força aplicada numa parede será equilibrada pela outra e, obviamente com o mesmo valor. Optou-se então por incorporar uma célula de carga próximo do sistema de actuação. Na
Figura 6 é possível observar os pontos monitorizados para a casa da Canada do Sousa, que teve mais pontos monitorizados por ter dois pisos, possibilitando assim a obtenção de ainda mais informação.

Todavia, o uso dos tradicionais LVDTs revelava-se inapropriado porque seria necessário colocar estes nas paredes com um sistema que permitisse a leitura de deslocamentos fora do plano. Optou-se então pelo uso de transdutores de fio (marca WayCon), de fácil suporte (colocados através de parafusos, directamente na parede ou num pórtico de referência), onde a leitura de deslocamentos de grande amplitude era facilitada (amplitude máxima de ±312.5 mm com os transdutores de maior curso) e a ligação à parede era feita por fio metálico de massa desprezável e deformações quase nulas para o nível de tensão imposta pela bobine do transdutor. Para pórtico de referência foram usados andaimes, sendo a ligação dos transdutores de fio a estes feita por abraçadeiras. É possível observar esta ligação, assim como o aspecto dos transdutores de fio usados na Figura 7.

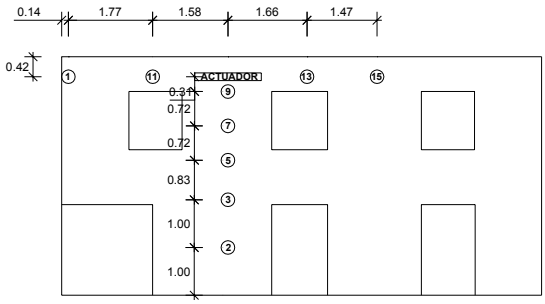


Figura 6: Pontos monitorizados.

Figura 7: Transdutores de fio.

2.3.4. Sistema de actuação

Em relação ao sistema de actuação, foram seleccionados dois cilindros hidráulicos sem servo-válvula, de média-baixa capacidade de carga (máximo 100 kN em tracção) e elevada capacidade de deslocamentos (curso máximo de ±100 mm), sendo colocados um contra o outro, com o objectivo de permitir elevada capacidade de deslocamentos (±200 mm) de forma a ser possível atingir praticamente a instabilidade das paredes fora do plano. No entanto, esta surgiu como opção de recurso, já que a primeira opção seriam cilindros de duplo efeito de alumínio com peso bastante reduzido comparativamente aos que foram utilizados. Apresenta-se então na Figura 8 a solução adoptada nestes ensaios.

Figura 8: Sistema de actuação utilizado.

No entanto, o uso deste tipo de actuação impede o controlo directo em deslocamento devido à inexistência de uma servo-válvula de caudal. Tendo isso em consideração, optou-se por um sistema de controlo indirecto em deslocamentos, onde o ponto de controlo do deslocamento era seleccionado entre os vários pontos monitorizados, e o controlo dos actuadores era feito através de um algoritmo PID simples, em que a pressão da central hidráulica é o parâmetro de controlo. Apesar desta escolha de recurso, este tipo de controlo revelou-se eficaz para velocidades de deslocamento baixas (0,1mm/s), porém com mais reduzida eficácia com o aumento de velocidade. Este facto ficou a dever-se também à baixa resistência das paredes de alvenaria tradicional na direcção ensaiada, onde a baixa resistência contrariava os elevados deslocamentos pretendidos. No caso da alvenaria confinada de blocos, o sistema de actuação funcionou conforme as expectativas devido aos níveis de força atingidos (100 kN) que favoreciam este tipo de controlo. Além disso, o programa de controlo usado e desenvolvido no LESE (versão 3.21 – Açores, baseada na versão inicial apresentada por Arêde *et al.* [3]), permite alterar os parâmetros correctivos de controlo em tempo real, além da alteração de velocidade de ensaio, LVDT de controlo, e observação on-line de gráficos. Normalmente, na fase inicial de ensaio, era usado um transdutor que controlava a abertura dos macacos hidráulicos para controlo do ensaio, de forma a ser possível estudar melhor o componente mais fraco a ser ensaiado.

2.4. Parâmetros condicionantes para a elaboração do ensaio

Uma primeira abordagem de forma a serem identificados os parâmetros condicionantes para a elaboração dos ensaios passou por um levantamento da geometria das diferentes estruturas a serem ensaiadas. O objectivo deste levantamento geométrico focou-se em dois pontos essenciais: identificar nembos de paredes possíveis de serem ensaiados; definir o comprimento máximo necessário ao sistema de ensaio.

Numa primeira fase, ainda na FEUP, foram identificados três nembos possíveis de serem ensaiados a partir dos desenhos obtidos de levantamentos geométricos realizados no Faial: um nembo na casa inicialmente prevista do Salão e dois nembos na casa da Canada do Sousa (Figura 1:). Além destes, os ensaios das paredes de alvenaria de blocos confinada (Figura 2) também foram considerados para a primeira abordagem ao sistema de ensaio a utilizar. Com base na geometria dos elementos a serem ensaiados, foram identificados comprimentos mínimos e máximos necessários ao sistema de ensaio: l_{min} = 1,94 m; l_{max} =6,48 m.

Isto significa que foi necessário dimensionar um sistema modular de tal forma que abrangesse os comprimentos acima mencionados, de fácil transporte, versátil, possível de transportar do Porto para o Faial via aérea, e acima de tudo de peso reduzido.

3. ELABORAÇÃO DO ESQUEMA DE ENSAIO E COMPONENTES

De acordo com o exposto no último parágrafo, houve que adoptar um sistema ensaio versátil capaz de abranger os diferentes comprimentos necessários. A solução adoptada consistiu então na construção de elementos metálicos (alongas) de diferentes comprimentos que seriam modularmente acopladas aos eixos dos macacos hidráulicos. Além disso, foi ainda devidamente tida em consideração a ligação deste sistema às paredes, assim como a forma mais rápida e fácil de a instalar no local.

3.1. Alongas metálicas

A adopção de alongas metálicas possibilitou o uso do mesmo sistema de ensaio em diversas situações que, como posteriormente foi observado, não estavam inicialmente previstas. Estas alongas metálicas consistem em 4 cantoneiras dispostas em quadrado, unidas nos topos por uma chapa de aço de 2 cm de espessura, de forma a obter igual distribuição de esforços ao longo das cantoneiras. Foram então dimensionadas e construídas alongas metálicas de 0,35 m (x 2), 0,50 m (x 2) e 1,0 m (x 3) de comprimento, perfazendo o vão necessário para o teste na casa da Canada do Sousa (caso mais desfavorável). Devido à existência de uma gama variada de comprimentos abrangidos pela combinação das diversas alongas, foi possível o ensaio de nembos que não estavam inicialmente previstos (na casa seleccionada da freguesia de Salão). Na Figura 9 apresentam-se as alongas metálicas usadas nestes ensaios, onde é possível observar que se adoptou uma solução treliçada de forma a reduzir o risco de encurvadura que poderia danificar as alongas.

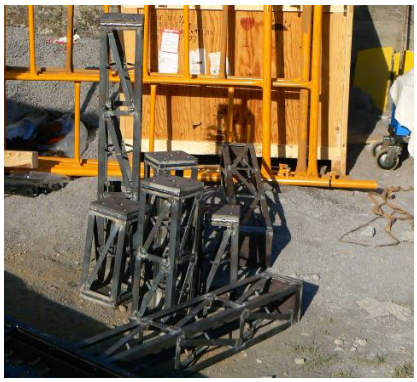
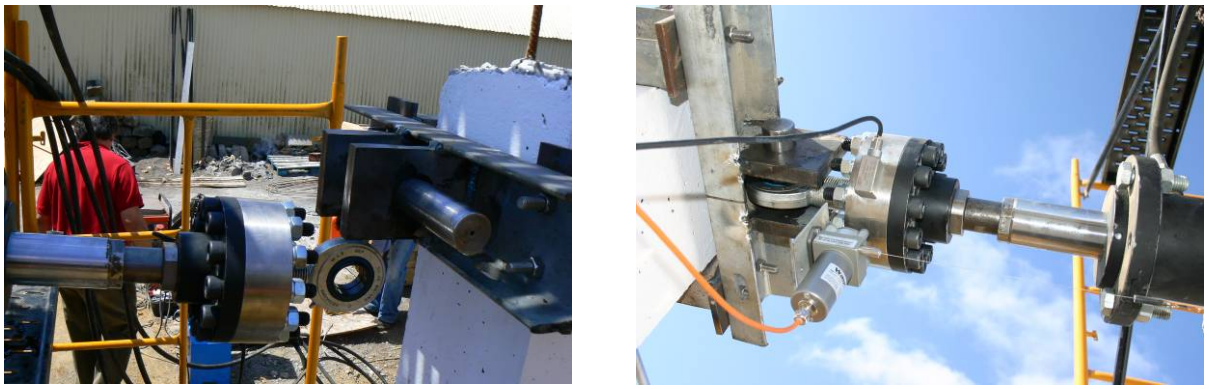


Figura 9: Alongas metálicas.

3.2. Definição de ligações

A definição das ligações entre os diversos elementos foi um ponto fundamental na elaboração de todo o processo pois pretendia-se dispor de ligações fáceis e rápidas de efectuar. Para tal, foi necessário ter em consideração os diversos elementos a ligar e o tipo de ligação necessária. Na ligação entre o actuador e as alongas metálicas, foi usada uma solução aparafusada com parafusos M20 (classe 10.9), de tal forma que fosse possível transmitir toda carga máxima necessária (100 kN) apenas através deste elemento. Este mesmo tipo de ligação poderia ser usada na ligação entre as diferentes alongas, permitindo assim uma total flexibilidade de construção. De salientar que todos os elementos do sistema de ensaio estavam apenas sujeitos a esforço axial, pois foi adoptada uma ligação rotulada a ambas as paredes. Não foram adoptadas rótulas esféricas devido ao seu peso excessivo, tendo-se então optado por materializar a ligação usando rótulas de cavilha e olhal, este último fixo à parede, de forma a facilitar a ligação de todo o sistema à estrutura da parede. A eficácia desta ligação foi verificada em todos os ensaios devido à inexistência de folgas observada também nos resultados obtidos, ilustrando-se na Figura 10 os pormenores da ligação.

Na fixação do sistema de ensaio às paredes foram colocados perfis metálicos sobre um par de barrotes de madeira, de forma a possibilitar também alguma acomodação e conseguir uma distribuição mais uniforme de carga. Por sua vez, estes perfis metálicos foram ligados à face oposta das paredes por varões roscados de aço que tinham por função ligar ambas as faces e permitir um carregamento cíclico nos dois sentidos. Na face exterior das paredes foram também colocados idênticos barrotes de madeira, estando estes comprimidos contra a parede por chapas metálicas aparafusadas aos varões metálicos (Figura 11). O uso destas chapas metálicas permitiu a instalação fácil deste sistema de ensaio pois com estas chapas na posição vertical foi possível usar furos desnivelados nas paredes, o que aconteceu na maioria das vezes devido à dificuldade de furar paralelamente todos os furos.



a) b)

Figura 10: Ligação do sistema de ensaio à parede: a) em preparação; b) ligação efectuada.

Figura 11: Ligação ao exterior das paredes.

Com o intuito de permitir uma maior facilidade da construção do sistema de ensaio *in-situ*, foram usadas peças de ajuste (Figura 12) que poderiam ser colocadas em qualquer ou ambas as extremidades, permitindo assim variações máximas de 25 cm de comprimento em cada lado, o que, combinado com o curso dos actuadores, se revelou útil para os posicionar o mais correctamente possível a meio curso (máxima amplitude de deslocamentos).

Figura 12: Peça de ajuste e ligação à rótula.

4. TESTES PRELIMINARES

4.1. Alongas metálicas

As alongas metálicas de diferentes comprimentos foram previamente ensaiadas no LESE para o valor da carga máxima que deveriam suportar (100 kN), de forma a controlar a eficiência e deformabilidade destas para o nível máximo de carga. Além disso, foi também monitorizada a deformabilidade lateral de forma a controlar qualquer efeito de encurvadura individual dos elementos. Na Figura 13 é possível visualizar o esquema de ensaio utilizado para testar uma alonga com 0.35 m de comprimento.

Figura 13: Ensaio preliminar em alonga metálica (0.35 m).

4.2. Sistema de controlo e aquisição de dados

Conforme já referido em 2.3.4. o programa de controlo foi adaptado para esta nova situação de ensaio de tal forma que se tornou necessário calibrar os parâmetros de controlo e verificar a eficiência deste. Foi então reproduzido em laboratório o esquema de ensaio que iria ser usado posteriormente nos Açores, utilizando dois pilares de betão armado já danificados na base no âmbito de uma outra campanha laboratorial (Figura 14), que permitiram configurar uma situação com grandes deslocamentos e baixa resistência (semelhante ao comportamento de uma parede de alvenaria fora do plano).

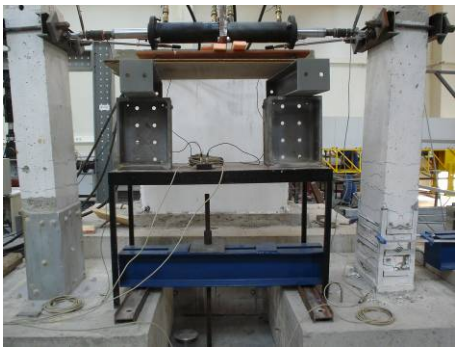


Figura 14: Esquema preliminar de ensaio usado em laboratório.

Para reduzir o efeito do peso próprio do sistema de ensaio foi utilizada uma base móvel de roletes onde estavam apoiados os actuadores, reproduzindo assim o efeito do dispositivo usado nos ensaios *in-situ* para elevação do sistema de ensaio e suporte do mesmo durante os ensaios.

5. INSTALAÇÃO IN-SITU

O sistema de ensaio adoptado revelou-se de fácil e rápida colocação no local devido ao tipo de ligações usadas entre os diversos elementos e também entre estes e as paredes. Além disso, evidenciou uma grande polivalência para fazer face a novas situações de ensaio que surgiram após chegada ao Faial. A modularidade do sistema, com base nas diversas alongas já referidas, permitiu ensaiar dois pares de nembos que não estavam inicialmente previstos (caso da casa de Salão), já que se torna possível abranger comprimentos desde 1.9 metros até 6,6 metros e bastando construção de outras alongas para poder aumentar o comprimento máximo. No entanto, no caso dos comprimentos máximos já disponíveis e para níveis de carga superiores aos verificados para o comprimento maior (l_{ensaio} = 6,48 m, F_{max} = 9 kN), o travamento do sistema de ensaio deve ser feito de forma a serem evitados efeitos adversos provenientes da encurvadura global do sistema.

No que se refere à instrumentação, constatou-se a excelente adequação dos transdutores de fio adoptados, de fácil aplicação no local e com precisão suficiente para os ensaios em causa (no mínimo de ±0,1% para 625mm), concluindo-se ser uma boa opção tendo em conta a relação preço-qualidade que apresentam. Quanto ao sistema de controlo e aquisição, conseguiu-se uma aplicação eficaz que, através de um simples filtro numérico de média móvel, permite filtrar os dados adquiridos com uma taxa de amostragem de pelo menos 33 Hz, utilizando 300 amostras em cada varrimento de aquisição (valor seleccionável pelo utilizador) e conduzindo a resultados muito precisos.

Apesar de ser o sistema efectuar o controlo indirectamente em deslocamentos, permitiu captar a resposta das paredes a carregamento cíclico, possibilitando mesmo a observação e registo da fase pós-pico, parâmetro importante no estudo do comportamento de alvenaria fora-do-plano.

Na Figura 15 apresenta-se o sistema de ensaio usado na casa da freguesia de Salão e na casa da Canada do Sousa, com comprimento entre paredes de 3,4 m e 6,5 m, respectivamente. Como é possível observar, o sistema é relativamente simples, mas necessita de algum esforço humano para a sua montagem/desmontagem em apenas um dia. Note-se a existência de andaimes a um nível superior ao do sistema de ensaio, onde foi colocado um dispositivo para elevação do material (correntemente designado de Garibaldi), para reduzir o efeito do peso próprio de todo o sistema de ensaio e para servir como elemento de segurança dos elementos hidráulicos no caso de colapso das estruturas ensaiadas. Refira-se que a cota a que esteve colocado o sistema de ensaio na casa da Canada do Sousa se situava nos 4,6 metros de altura.

Em todo este sistema, vale a pena apontar também os aspectos negativos. O primeiro diz respeito à furação das paredes, pois nem sempre é possível realizar os furos nas posições desejáveis devido à irregularidade das pedras

e juntas; no entanto esse problema foi ultrapassado pelo uso das chapas metálicas nas faces exteriores das paredes, como apresentado na Figura 11, garantindo uma maior facilidade de ajuste às diversas situações. O segundo aspecto diz respeito ao peso de todo o sistema. Apesar de se ter feito um grande esforço para minimizar este parâmetro, e devido a atrasos de fornecimento de outro tipo de equipamento que à partida se pensava utilizar, acabou por ter de adaptar soluções já existentes no LESE. Tal é o caso dos cilindros hidráulicos usados que pesam cerca de quatro vezes mais do que a solução prevista inicialmente, o mesmo se passando com a central hidráulica. Não obstante estas questões, o desempenho do sistema foi muito satisfatório e, além dos resultados interessantes que permitiu disponibilizar (Arêde *et al.* [4]), mostrou que é uma solução viável para ensaios *in-situ*.

a) b)

Figura 15: Sistema de ensaio usado *in-situ*: a) casa na freguesia de Salão e b) casa na Canada do Sousa.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de todas as contingências e de alguns parâmetros de difícil controlo, os ensaios *in-situ* de caracterização mecânica de paredes de alvenaria constituem uma fonte de resultados experimentais de inquestionável interesse, sobretudo se corresponderem a uma campanha sobre um conjunto apreciável de casos representativos da construção existente. Porém, para que tal se concretize existe todo um conjunto de tarefas e aspectos subsidiários de concepção e preparação prévia que é necessário levar a cabo, tendo por objectivo central um sistema de ensaio eficaz, versátil e viável.

Sem a preocupação de aqui abordar resultados experimentais concretos que ficam reservados para outra comunicação, procurou dar-se ao longo dos parágrafos anteriores uma perspectiva geral de tudo o que está subjacente a uma campanha experimental *in-situ* como a que foi levada a cabo durante cinco dias pelos autores na ilha do Faial. Para além dos resultados de cariz científico que se podem obter, mas ainda em processo de análise, interessa daqui reter o grau de desempenho muito satisfatório que se conseguiu com todo o sistema de ensaio concebido. Tendo sido francamente apoiado em material já existente no LESE, obteve-se uma solução eficaz e viável, pese embora a sua versatilidade possa ser melhorada com recurso a algum equipamento mais leve já em fase de aquisição e construção.

É assim convicção dos autores de que se abre uma interessante via de obter resultados experimentais de inquestionável contrapartida real, já que são baseados em ensaios sobre as próprias construções sujeitas à acção sísmica, quiçá potenciando mesmo uma forma de avaliação de desempenho de técnicas de reforço.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento ao Governo Regional dos Açores, na pessoa do Senhor Secretário Regional da Habitação e Equipamentos, Dr. José Contente, ao Delegado da Secretaria Regional da Habitação e

Equipamento no Faial, Dr. João Bettencourt e ao Presidente da SPRHI, S.A., Eng. Fernando Nascimento e ao Senhor Constantino, técnico fiscal da Secretaria Regional da Habitação e Equipamento no Faial pelo apoio concedido e por todos os meios postos à sua disposição, sem os quais este trabalho não poderia ser desenvolvido.

Este artigo refere investigação realizada com o apoio financeiro da "FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia", Portugal.

8. REFERÊNCIAS

[1] Costa, A. (2002) Determination of mechanical properties of traditional masonry walls in dwellings of Faial Island, Azores, *Journal of Earthquake Engineering & Structural Dynamics*. **31** (7), 1361 – 1382.

[2] Costa, A. A., Silva, B., Costa, A., Guedes, J. M. e Arêde, A. (2006) Structural behaviour of a masonry wall under horizontal cyclic load: Experimental and Numerical Study, *5th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions*, 6 – 8 de Novembro de 2006, Nova Deli, India.

[3] Arêde, A., Noites, L. e Costa, A. A. (2004) Sistemas de Monitorização de Ensaios de Estruturas de Engenharia Civil em Laboratório, *NI Days 2004*, 2 de Março de 2005, LNEC, Lisboa. (disponível em http://ncrep.fe.up.pt)

[4] Arêde, A., Costa, A., Costa, A.A., Oliveira, C.S. e Neves, F. (2007) Caracterização Experimental do Sistema Construtivo do Grupo Central do Arquipélago Açoreano – Uma Contribuição para a Avaliação e Redução da sua Vulnerabilidade Sísmica, *SÍSMICA 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica*, FEUP, Porto.