



DESEMPENHO SÍSMICO DE EDIFÍCIOS ANTIGOS DE ALVENARIA: ENSAIOS EM PLATAFORMA SÍSMICA

Nuno Mendes, Doutor em Engenharia Civil, ISISE, DEC, Universidade do Minho
 Paulo Lourenço, Professor Catedrático, ISISE, DEC, Universidade do Minho
 Alfredo Campo Costa, Investigador Principal, NESDE, LNEC

Os edifícios antigos de alvenaria foram construídos durante vários séculos de acordo com a experiência dos construtores, tendo essencialmente em consideração as ações verticais e sem recurso a regulamentação de dimensionamento à ação sísmica [1]. No entanto, os edifícios antigos de alvenaria correspondem a um grupo significativo de edifícios existentes em parques habitacionais localizados em zonas com perigosidade sísmica moderada a elevada. Devido ao crescente interesse na conservação do património e à consciência de que a vida e os bens devem ser preservados, o estudo sobre a vulnerabilidade sísmica deste tipo de edifícios tem recebido muita atenção nas últimas décadas.

As propriedades comuns aos diferentes tipos de alvenaria conduzem a uma elevada vulnerabilidade sísmica frequente nestes edifícios, em particular, a elevada massa específica, a baixa resistência à tração, a moderada resistência a esforços de corte e o comportamento frágil. Além dos aspetos relacionados com as propriedades das alvenarias, a vulnerabilidade sísmica de edifícios antigos depende de outras características, tais como a geometria da estrutura, as ligações entre paredes ortogonais, as ligações entre paredes e pavimentos, as ligações entre paredes e cobertura, as propriedades das fundações, a rigidez dos pavimentos e a resistência das paredes definidas como não estruturais.

Na tentativa de contribuir para um tema que apresenta uma relevância crescente para as sociedades, foram ensaiados dois modelos experimentais (reforçado e não reforçado) na plataforma sísmica triaxial do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). Estes ensaios têm como principais objetivos a avaliação e a redução a vulnerabilidade sísmica dos edifícios gaioleiros. Estes edifícios correspondem a uma tipologia do parque habitacional de Portugal entre o final do século XIX e início do século XX. Os edifícios têm, geralmente, quatro a seis pisos, paredes em alvenaria de pedra, pavimentos e cobertura em madeira, e encontram-se ainda em utilização [2, 3]. Acredita-se que esta tipologia corresponde aos edifícios mais vulneráveis do parque habitacional de Portugal.

Devido às dimensões e à capacidade de carga da plataforma sísmica triaxial do LNEC, os modelos experimentais foram construídos à escala reduzida 1:3, de acordo com a lei de semelhança de Cauchy [4]. O modelo não reforçado (Figura 1a) tem quatro pisos e é constituído por duas fachadas com aberturas, duas empenas cegas e pavimentos em madeira. Este modelo tem em planta $3.15 \times 4.15 \text{ m}^2$, 4.80 m de altura e espessura das paredes de alvenaria igual a 0.17 m. Na construção dos pavimentos utilizaram-se painéis de MDF com espessura igual a 0.012 m. Os painéis de MDF foram cortados em retângulos ($0.57 \times 1.05 \text{ m}^2$)

e pregados às vigas de madeira orientadas na direção do menor vão (Figura 1b). Após os ensaios, este modelo foi reparado e reforçado (Figura 2a) graciosamente pela empresa BEL – Engenharia e Reabilitação de Estruturas. A técnica utilizada consistiu no reforço das ligações entre paredes e pavimentos, com recurso a cantoneiras e chapas de aço ao nível dos pisos. Note-se que não foram aplicadas chapas pelo exterior das empenas do modelo reforçado. Embora se trate de um edifício isolado, pretende-se que a técnica de reforço seja geral e de aplicação em edifícios de quarteirão. Adicionalmente, foram aplicados cabos de aço nos dois pisos superiores. Cada piso tem quatro cabos que ligam pelo interior o centro das fachadas aos cunhais da fachada oposta, tendo por objetivo transferir as forças de inércia das fachadas para o plano das empenas (Figura 2b).

Foram realizados ensaios sísmicos e ensaios de identificação dinâmica. Nos primeiros ensaios aplicaram-se várias ações sísmicas com amplitude crescente e compostas por dois acelerogramas orientados em direções ortogonais. Os acelerogramas foram gerados com base no espectro de resposta de dimensionamento definido pelo Eurocódigo 8 [5] e no Anexo Nacional para a zona de Lisboa, com coeficiente de amortecimento igual a 5% e tipo de solo A. Antes e após cada ensaio sísmico foram realizados ensaios de identificação dinâmica,



> Figura 1: Modelo não reforçado: (a) vista geral; (b) pormenores do pavimento.



> Figura 2: Modelo reforçado: (a) vista geral; (b) pormenores do reforço.

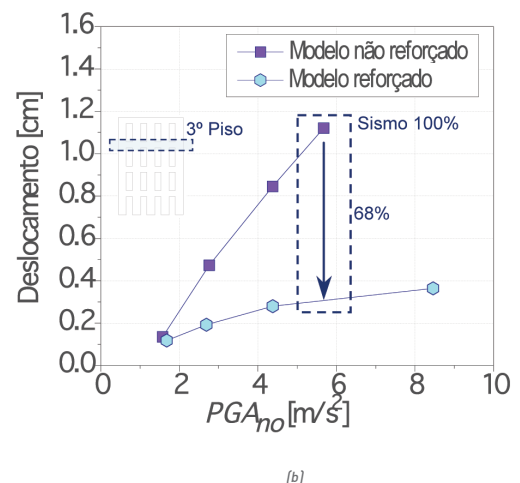
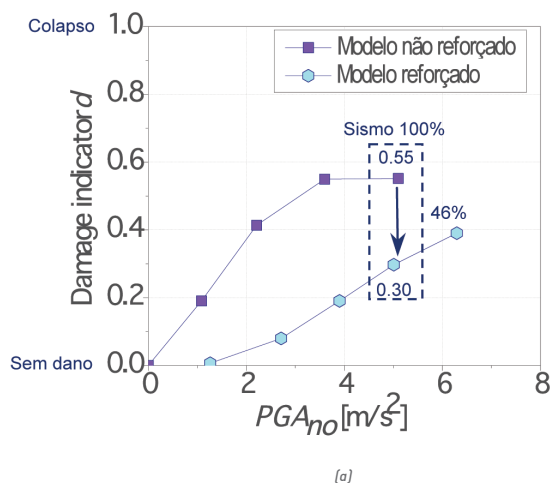
tendo por objetivo avaliar a variação nas propriedades dinâmicas dos modelos ao longo dos ensaios. A variação das frequências dos modos de vibração está relacionada com a evolução do dano. Assim, definiu-se um indicador de dano d com base na variação das frequências, no qual $d=0$ corresponde à ausência de dano e $d=1$ corresponde ao colapso. Os ensaios do modelo não reforçado incluíram quatro ensaios sísmicos com amplitudes iguais a 25%, 50%, 75% e 100% do valor regulamentar, e cinco ensaios de identificação dinâmica. No modelo reforçado foram realizados dois ensaios sísmicos adicionais com amplitudes iguais a 125% e 150% do valor regulamentar. Devido ao dano elevado do modelo reforçado após o último ensaio sísmico, não foi possível realizar o último ensaio de identificação dinâmica. Os resultados dos ensaios em plataforma sísmica permitiram definir as curvas de vulnerabilidade sísmica dos modelos, relacio-

nando o indicador de dano com a PGA nominal (PGA_{nom}) aplicado na base dos modelos. As curvas de vulnerabilidade definidas com base na frequência do primeiro modo de vibração permitem concluir que os elementos de reforço aplicados foram eficientes na redução da vulnerabilidade sísmica do modelo experimental, no qual se obteve para o Sismo 100% uma redução do indicador de dano de cerca de 50% (Figura 3a). Além disso, vários parâmetros qualitativos e quantitativos de controlo da resposta sísmica dos modelos foram analisados. Na Figura 3b apresenta-se a média dos deslocamentos para fora do plano da fachada relativamente aos cunhais ao nível do terceiro piso. A deformação local das fachadas dos modelos são claramente distintas, verificando-se que o modelo reforçado apresenta para o Sismo de 100% uma redução de cerca de 70% no deslocamento para fora do plano das fachadas. Assim, conclui-se que a técnica de reforço melhorou

significativamente o desempenho sísmico do modelo experimental e é uma técnica efetiva na redução da vulnerabilidade sísmica dos edifícios galeiros. ■

REFERÊNCIAS

- [1] Tomažević M., Lutman P., Weiss P. [1996] "Seismic upgrading of old brick-masonry urban houses: Tying of walls with steel ties". *Earthquake Spectra*, 12 (3): 599-622. DOI: 10.1193/1.1585898
- [2] Pinho F.F. (2000) "Paredes de edifícios antigos em Portugal". *Edifícios*, nº 8, Laboratório Nacional de Engenharia Civil. ISBN: 9789724918648
- [3] Appleton J. (2005) "Reabilitação de edifícios "gaioleiros" – um quarteirão em Lisboa". Edições Orion. ISBN: 9728620055
- [4] Carvalho E.C. [1998] "Seismic testing of structures". 11th European Conference on Earthquake: Paris, France, Balkema, Rotterdam, 53-64. ISBN: 9054109823
- [5] NP EN 1998-1 (2010) "Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos. Parte 1: Regras gerais, ações sísmicas e regras para edifícios". Instituto Português da Qualidade.



> Figura 3: Resultados dos ensaios em plataforma sísmica: (a) curvas de vulnerabilidade; (b) média dos deslocamento para fora do plano das fachadas relativamente aos cunhais..