

Avaliação experimental de soluções de reforço sísmico para paredes de alvenaria de enchimento

André Furtado

CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, afurtado@fe.up.pt

António Arêde

CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, aarede@fe.up.pt

José Melo

CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, josemelo@fe.up.pt

Hugo Rodrigues

RISCO, Universidade de Aveiro, Portugal, hrodrigues@ua.pt

Humberto Varum

CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, hvarum@fe.up.pt

Nota: Este artigo foi selecionado para a Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, Série III, nº 17 de novembro de 2021, apresentando-se apenas o resumo alargado no livro.

RESUMO

O estudo do comportamento para fora-do-plano de paredes de enchimento tem sido, durante os últimos anos, alvo de uma atenção especial por parte da comunidade científica internacional, motivado pelas observações realizadas em missões de reconhecimento de danos pós-sismo onde são reportados inúmeros danos e colapsos deste tipo de paredes para fora do seu plano. Diferentes causas são apontadas para esta vulnerabilidade, sendo estas na sua maioria relacionadas com as soluções construtivas adotadas aquando da sua construção, e que ainda hoje são prática comum na construção em Portugal. Com base nesta motivação foram realizados 4 ensaios quase-estáticos para fora-do-plano de paredes de enchimento à escala real, no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural – LESE, com o objetivo principal de avaliar a eficiência de uma solução de reboco armado com rede de armação em fibra de vidro em paredes sujeitas a ações puras para fora-do-plano ou combinadas com ações prévias ao longo do plano da parede. Ao longo do presente trabalho será apresentada a campanha experimental, a descrição do setup experimental, os resultados principais (curvas força-deslocamento e evolução de dano), assim como as principais conclusões retiradas do presente estudo

PALAVRAS-CHAVE:

Paredes de Enchimento, Comportamento para fora-do-plano, Solução de reforço, Reboco armado; Força-deslocamento, Evolução de dano

INTRODUÇÃO

O comportamento sísmico das paredes de enchimento tem sido caracterizado por diversos tipos de danos e colapsos com origem em ações combinadas ao longo do seu plano e fora-do-plano [1-3]. O colapso para fora-do-plano destes elementos tem sido responsável por inúmeras mortes e prejuízos económicos e materiais. É reconhecido que o seu comportamento no plano tem interação com o seu desempenho para fora do seu plano uma vez que danos causados por ações no seu plano tais como descolamento entre o painel e o pórtico de betão armado envolvente, fissuração diagonal, etc., aumentam a sua vulnerabilidade quando sujeito a ações perpendiculares ao seu plano. Diferentes autores indicam que o comportamento para fora-do-plano de painéis de enchimento é fortemente influenciado por diversos fatores tais como: existência ou não de ligação entre o painel e os elementos de betão armado envolventes; existência ou não de ligação mecânica entre panos (em caso de paredes duplas); insuficiente largura de apoio do painel na viga de base ou laje adotado para correção das pontes térmicas; deficiente execução da última junta horizontal de argamassa na transição entre a parede e o pórtico de betão armado; condições-fronteira, esbelteza e por fim a existência de dano prévio. Desta forma, o presente trabalho visa apresentar os resultados experimentais de três ensaios para fora-do-plano, à escala real realizados no Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural cujo objetivo principal foi avaliar a eficiência de uma solução de reforço de reboco armado com rede de armação em fibra de vidro. Ao longo do presente resumo alargado serão apresentados os resultados experimentais mais relevantes.

CAMPANHA EXPERIMENTAL

A presente campanha experimental é composta por três ensaios quase-estáticos para fora-do-plano de paredes de enchimento à escala real com recurso a atuadores pneumáticos. As dimensões geométricas dos painéis testados são 4.20x2.30m (comprimento e largura, respetivamente), representativo das dimensões geométricas dos painéis existentes no Parque Habitacional em Portugal. As paredes são inseridas num pórtico de betão armado com pilares de secção transversal 30x30cm² e vigas superiores e inferiores com secção igual a 30x50cm².

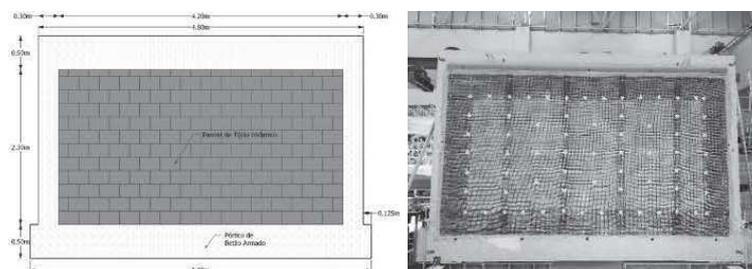


Figura 1 – Campanha Experimental: Dimensões geométricas do pórtico de betão armado com parede de enchimento (unidades em metros); b) Visão global das paredes reforçadas com reboco armado.

Ambos os painéis foram construídos com recurso a tijolos cerâmicos de furação horizontal com 15cm de espessura, sem ligação ao pórtico de betão armado e sem existência de qualquer espaçamento entre o painel e os elementos de betão armado. Para o assentamento da alvenaria foi utilizada uma argamassa pré-doseada de classe M5. Ambas as paredes foram construídas com recurso a mão-de-obra tradicional. Foram construídas três paredes com as mesmas dimensões geométricas, os mesmos materiais e utilizando a mesma mão-de-obra. A primeira parede, aqui designada Inf_09, foi construída sem qualquer reforço e foi testada (unicamente para fora-do-plano) até ao seu colapso. Após a sua remoção foi construída uma nova parede Inf_12, que foi reforçada com reboco armado. Esta foi testada primeiramente ao longo do seu plano onde o objetivo foi introduzir um dano reduzido no painel correspondente a um *drift* entre pisos de 0.3%. Após atingir este objetivo, o ensaio no plano foi concluído e a parede passou a ser testada unicamente para fora do seu plano para avaliar o desempenho da solução de reforço quando sujeito a ações combinadas no plano (IP) e fora do plano (OOP). Finalmente, a terceira parede Inf_13 foi construída e reforçada com a mesma solução da parede Inf_12. A parede foi testada unicamente para ações puras para fora do plano. Pode-se observar na Figura 1b o aspecto geral das paredes reforçadas com reboco armado. Mais detalhes sobre as características das paredes ensaiadas, pormenorização e aplicação das soluções de reforço podem ser encontradas em [4]. Os ensaios para fora-do-plano consistiram na aplicação de uma carga distribuída para fora do plano.

APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A Figura 2 apresenta uma comparação global das respostas força-deslocamento entre as várias paredes ensaiadas. Da comparação entre a parede não reforçada e sem dano prévio Inf_09 com a parede reforçada sem dano prévio Inf_13 (Figura 2a) pode-se observar que a rigidez inicial da parede aumentou 50% com a presença da solução de reforço, a força máxima da parede aumentou 100% e a sua capacidade de deformação aumentou 300% sem que tenha colapsado. A principal conclusão a retirar é que o reboco armado conseguiu evitar o colapso frágil da parede observado no teste Inf_09.

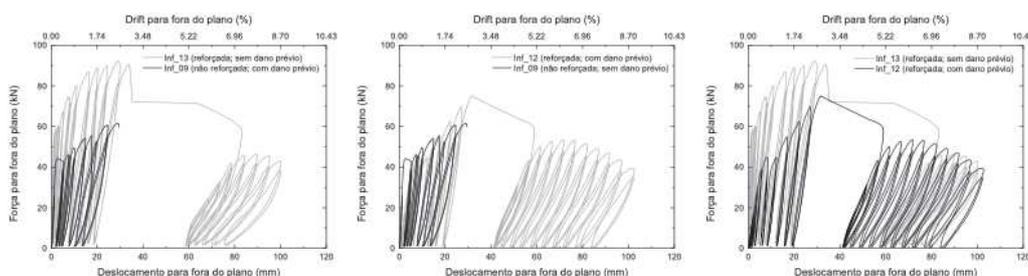


Figura 2 – Comparação global: a) Inf_13 vs Inf_09; b) Inf_12 vs Inf_09 e c) Inf_12 vs Inf_13.

Na Figura 2b é apresentada a comparação entre a parede Inf_09 e Inf_12, onde se pode observar mais uma vez a eficiência do reboco armado a evitar o colapso. A rigidez inicial diminuiu 12% em virtude do dano prévio (a parede de referência foi apenas sujeita a ações para fora do plano). A resistência máxima aumentou 30% e a capacidade de deformação aumentou uma vez mais cerca de 300%. Finalmente a Figura 2c apresenta uma comparação entre as paredes reforçadas Inf_12 (com dano prévio) e Inf_13 (sem dano prévio). O dano prévio reduziu a rigidez inicial em cerca de 30%, a resistência máxima em cerca de 19%.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentada uma campanha experimental de avaliação da eficiência de uma solução de reboco armado com rede de armação em fibra de vidro para melhoria do comportamento para fora-do-plano de três paredes de enchimento à escala real. O ensaio da parede não reforçada demonstrou a elevada vulnerabilidade deste tipo de elementos, uma vez que o seu colapso ocorreu sem perda significativa de resistência prévia que permitisse antecipar a sua ocorrência. Foi observado um padrão de fissuração trilinear sem destacamento do painel relativamente ao pórtico de betão armado. De seguida, foram testadas duas paredes reforçadas com a técnica acima indicada, tendo sido utilizados conectores metálicos para fazer a ancoragem da rede de armação aos elementos de betão armado. A técnica de reforço explorada neste trabalho demonstrou ser eficiente e de fácil implementação, pois a sua instalação não necessitou de mão-de-obra especializada nem de tempo excessivo. O resultado foi interessante uma vez que permitiu um ganho de resistência de 30% (com dano prévio) e 100% (sem dano prévio) e uma capacidade de deformação 3 vezes superior sem ocorrência de colapso.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi financiado por: Financiamento Base - UIDB/04708/2020 e Financiamento programático - UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT - Instituto de I&D em Estruturas e Construções - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). Este trabalho foi também desenvolvido com o apoio da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) - Centro de Investigação em Riscos e Sustentabilidade na Construção (RISCO), Universidade de Aveiro, Portugal [FCT/UIDB/ECI/04450/2020].

REFERÊNCIAS

- [1] A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde, and H. Varum, "Out-of-plane behavior of masonry infilled RC frames based on the experimental tests available: A systematic review," *Construction and Building Materials*, Review vol. 168, pp. 831-848, 2018.
- [2] L. Hermans, A. Fraile, E. Alarcón, and R. Álvarez, "Performance of buildings with masonry infill walls during 2011 Lorca earthquake," *Bull Earthquake Eng*, vol. 12, pp. 1977-1997, 2014.
- [3] F. Luca, G. Verderame, F. Gómez-Martínez, and A. Pérez-García, "The structural role played by masonry infills on RC buildings performances after the 2011 Lorca, Spain, earthquake," *Bull Earthquake Eng*, vol. 12, pp. 1999-2026, 2014.
- [4] A. Furtado, H. Rodrigues, A. Arêde, J. Melo, and H. Varum, "The use of textile-reinforced mortar as a strengthening technique for the infill walls out-of-plane behaviour," *Composite Structures*, Article vol. 255, 2021, Art. no. 113029.