

Propostas de Melhoramento do Comportamento Mecânico de Paredes Antigas de Granito do Porto

Celeste Almeida^{a,b}

^a UFP, Porto, Portugal, celestea@ufp.edu.pt

^b CONSTRUCT-LESE, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto

João Miranda Guedes^{c, b}

^c FEUP, Porto, Portugal, jguedes@fe.up.pt

António Arêde^{d, b}

^d FEUP, Porto, Portugal, aarede@fe.up.pt

Aníbal Costa^{e, f}

^e UA, Aveiro, Portugal, acostaa@ua.pt

^f RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

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

A reabilitação de edifícios antigos é um tema de grande atualidade. A entrada em vigor da Portaria n.º302/2019, de 12 de setembro, referente ao Decreto-Lei n.º 95/2019, de 18 de julho, realça este interesse. Neste contexto, foi estudado o comportamento estrutural de paredes de alvenaria de granito de pano único presentes na maioria dos edifícios antigos do Porto. A partir da identificação das tipologias mais frequentes foi inicialmente realizada uma campanha de ensaios experimentais (ensaios de compressão e de corte cíclico com compressão constante) em modelos de parede construídos em laboratório. Utilizando uma das tipologias ensaiadas, foram posteriormente estudadas duas propostas para o melhoramento do comportamento estrutural destas paredes: a primeira propõe a alteração do processo construtivo e a segunda a injeção de argamassa nas juntas. Dois novos modelos de paredes foram construídos e submetidos à campanha de ensaios referida. A análise e comparação de resultados com os obtidos nos modelos originais mostrou que as duas soluções estudadas melhoram significativamente o desempenho estrutural destas alvenarias.

PALAVRAS-CHAVE:

Alvenaria de Granito, Ensaios de compressão e Corte, Parâmetros Mecânicos, Melhoramento.

1 INTRODUÇÃO

A intervenção em edifícios antigos continua a constituir um grande desafio, em particular quando se pretendem definir estratégias de atuação em paredes de alvenaria de pedra. No âmbito de uma tese de doutoramento, foi definido um vasto programa de ensaios experimentais em paredes reais de alvenaria de pedra de folha única e protótipos construídos em laboratório, respeitando as técnicas construtivas originais de paredes comuns em edifícios antigos da cidade do Porto. Esta campanha, realizada no Laboratório de Engenharia Sísmica e Experimental (LESE) da FEUP, permitiu compreender o comportamento estrutural destes elementos face a ações solicitantes no seu plano (de compressão e de corte com compressão). A partir deste conhecimento, foi possível propor e ensaiar duas estratégias de intervenção que permitissem melhorar o comportamento estrutural desta tipologia de alvenarias, nomeadamente: *i)* alterar o procedimento construtivo, eliminando a presença de calços entre os blocos de pedra, em situações onde se propõe a construção, ou a reconstrução deste tipo de paredes e *ii)* injetar com caldas as juntas de forma a consolidar a parede.

2 MODELOS DE PAREDES

O programa experimental envolveu a construção de dois modelos de parede de granito de folha única, respeitando uma das tipologias construída e previamente ensaiada no LESE e identificada como tendo textura Parcialmente Regular (PR). Estes dois modelos, designados como Parcialmente Regular Sem Calços (PR_SC) e Parcialmente Regular INJetado (PR_INJ), foram construídos de forma a representar cada uma das duas propostas de melhoria do comportamento estrutural: o primeiro à alteração do processo construtivo e o segundo à injeção das juntas com caldas apropriadas, Figura 1.

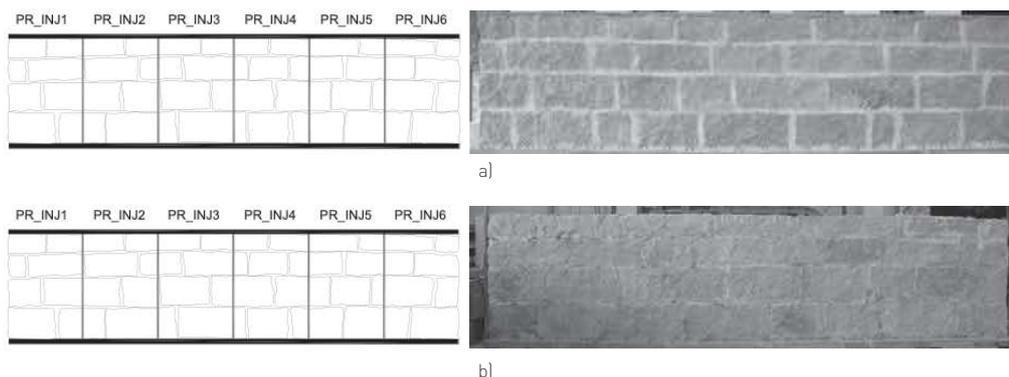


Figura 1. Modelos das paredes: a) tipologia PR_SC e b) tipologia PR_INJ.

3 ENSAIOS DE COMPRESSÃO

Os ensaios de compressão uniaxial foram realizados no LESE, sendo a carga vertical aplicada por dois atuadores, com capacidade máxima total de 3,0MN, e recorrendo a uma prensa com maior capacidade (10MN) disponível no Laboratório de Ensaios de Materiais de Construção (LEMC) da FEUP. O padrão de rotura e fissuração observado nas paredes PR_SC e PR_INJ foi semelhante: ambas exibiram uma rotura brusca após a demarcação de uma linha de rotura ao longo da altura da parede. Comparativamente com o observado na tipologia PR, estas paredes intervencionadas apresentaram menor número de fissuras para um nível de tensão muito superior. Mediante a análise de parâmetros de resistência e de deformabilidade verificou-se que a melhoria das características do material de assentamento, bem como da superfície de contacto entre pedras, proporciona um melhor funcionamento global das paredes. Os resultados obtidos encontram-se indicados na Tabela 1

Tabela 1. Propriedades mecânicas à compressão das paredes: (*) pré e (#) pós-intervenção

Modelo	σ_{cr} [MPa]	f_{cp} [MPa]	E_{cp} [GPa]	$k = E_{cp} / f_{cp}$
PR	3,57*	4,14*	1,16*	280,19*
PR_SC	10,71#	14,50#	9,25#	637,93#
PR_INJ	9,33#	12,98#	11,53#	888,29#

4 ENSAIOS DE CORTE COM COMPRESSÃO

Foram realizados três ensaios de corte cíclicos no plano por cada tipologia de parede associados a diferentes níveis de tensão vertical, $\sigma_0 = 0,4; 0,8; 1,2$ MPa. O mecanismo de rotura nas paredes PR_SC e PR_INJ foi genericamente de *rocking* na base durante todo o ensaio e nos dois sentidos do movimento. Na tipologia PR o dano tinha iniciado com a rotura por corte diagonal, acompanhada pela fissuração e delaminação de pedras. A partir dos diagramas histeréticos força-deslocamento e da aplicação de procedimentos de análise, foram quantificados parâmetros que permitem avaliar a eficácia das duas propostas de intervenção por comparação com a parede no seu estado original. A Tabela 2 resume os resultados desta análise: H_{cr} e $H_{máx}$ – força horizontal de fissuração e máxima aplicada, μ_{dmax} – ductilidade máxima em deslocamento e ξ – amortecimento histerético.

Tabela 2. Parâmetros das curvas envolventes médias

Modelo de Parede	σ_0 [MPa]	H_{cr} [kN]	$H_{máx}$ [kN]	μ_{dmax}	Drift [%]	ξ [%]
PR4	0,4	37,14	50,28	2,80	0,71	15,63
PR5	0,8	66,96	87,85	3,05	1,63	12,04
PR6	1,2	101,04	119,66	3,84	1,19	10,85
PR_SC4	0,4	53,54	62,26	6,14	2,74	7,48
PR_SC5	0,8	77,95	91,04	7,06	3,05	4,95
PR_SC6	1,2	110,05	124,47	3,00	2,91	7,38
PR_INJ4	0,4	53,38	59,69	8,63	2,75	5,20
PR_INJ5	0,8	85,53	88,88	10,02	2,56	7,90
PR_INJ6	1,2	104,67	131,00	6,00	2,89	6,78

5 CONCLUSÕES

Com o objetivo de estudar duas propostas de melhoramento estrutural de paredes de alvenaria de granito de folha única foram construídos dois modelos experimentais em laboratório, submetidos posteriormente a ensaios de compressão uniaxial e a ensaios de corte cíclicos no plano com compressão constante. Os resultados obtidos mostraram que as duas propostas estudadas são eficazes e que induzem comportamentos similares para solicitações verticais e horizontais no plano. Deste modo, configuram-se como duas possibilidades de melhoramento estrutural de alvenarias típicas da cidade do Porto, embora com diferentes aplicabilidades: a primeira aplicável a casos de reconstrução e a segunda como opção de reforço de uma parede existente a manter. Estas duas propostas permitiram obter apreciáveis ganhos de resistência e de rigidez à compressão e, no caso do comportamento ao corte, de ductilidade e redução do dano, principalmente para os níveis de tensão vertical usualmente presentes neste tipo de estruturas.

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). Os autores agradecem aos técnicos do Laboratório de Engenharia Sísmica e Estrutural – LESE pelo apoio na preparação dos ensaios.

REFERÊNCIAS

- [1] Silva B., Benetta M., da Porto F. (2014). Experimental assessment of in-plane behaviour of three-leaf stone masonry walls. *Construction and Building Materials*; 53: 149-161.
- [2] Almeida C., Guedes J.P., Arêde A., Costa C.Q., Costa A. (2011). Physical characterization and compression tests of one leaf stone masonry walls. *Construction and Building Materials*, 30, 188-197. <https://doi:10.1016/j.conbuildmat.2011.11.043>
- [3] OPCM 3274. (2005). Primi elementi in materiali di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sísmica, come modificato dall'OPCM 3431 del 3/5/05.
- [4] Silva B. (2012). Diagnosis and strengthening of historical masonry structures numerical and experimental analyses. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, Universidade de Pádua, Itália.
- [5] Valluzzi M.R., da Porto F., Modena C. (2001). Behaviour of multi-leaf stone masonry walls strengthened by different intervention techniques. III International Seminar Historical Constructions. Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, Guimarães, Portugal.
- [6] Vintzileou E., Miltiadou-Fezans A. (2007). Mechanical properties of three-leaf stone masonry grouted with ternary or hydraulic lime-based grouts". *Engineering Structures*; vol. 30 (8); pp. 2265-2276.
- [7] Almeida, C. (2013). Paredes de Alvenaria do Porto. Tipificação e Caracterização Experimental. Tese de Doutoramento em Engenharia Civil, FEUP, Porto, Portugal.