

CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DA ALVENARIA TRADICIONAL DE PEDRA DO ALGARVE



Paulo Cabral

Aluno de mestrado
DEC-ISE-UAIG
Faro
paulocabralrei@hotmail.com



Alfredo Braga

Professor Adjunto
CEPAC, ISE-UAIG
Faro
abraga@ualg.pt



João M.C. Estêvão

Professor Adjunto
CEPAC, ISE-UAIG
Faro
jestevao@ualg.pt

SUMÁRIO

O Algarve possui um conjunto de edifícios vernaculares cujo sistema estrutural é constituído por paredes resistentes de alvenaria simples. A avaliação da vulnerabilidade estrutural desse tipo de construções obriga ao conhecimento das propriedades mecânicas dos materiais constituintes. No entanto, existe uma grande heterogeneidade nas propriedades dessas paredes. Uma forma de ultrapassar esse problema poderá ser o recurso a bases de dados com resultados de ensaios laboratoriais, e que sejam depois aferidos com alguns ensaios *in-situ*. Assim, foi dado início à realização de uma campanha de ensaios laboratoriais de pequenos provetes de alvenaria. Em primeiro lugar, foi realizada uma caracterização tipológica geral das construções de alvenaria tradicional de pedra existentes na região. Depois, foram executados quatro pequenos provetes de alvenaria ordinária, realizadas com pedra irregular de diferentes formas geométricas, com recurso aos materiais e às técnicas tradicionais usadas no Algarve. Esses provetes foram sujeitos a cargas de compressão, com recurso a um macaco hidráulico ligado a uma célula de carga. Nos provetes, também foram colocados, no terço central, diversos transdutores lineares de deslocamento. Os provetes foram levados até à rotura por compressão, o que permitiu determinar o módulo de elasticidade do material, e a tensão de rotura, assim como foram obtidos gráficos das relações entre extensões e tensões do material. Também foi realizada a comparação dos resultados obtidos em laboratório com os obtidos de ensaios realizados *in-situ* com macacos planos, que se apresentam.

Palavras-chave: Alvenaria de pedra, Algarve, ensaios laboratoriais, ensaios *in-situ*.

1. INTRODUÇÃO

A utilização de terra e pedra como materiais de construção é muito antiga, tendo vindo a ser utilizada em muitas regiões de todo o mundo, particularmente em climas secos e temperados, como é o caso do Algarve.

A sua grande área de aplicação deve-se à quantidade de matéria prima disponível no meio natural, ao reduzido nível tecnológico exigido, designadamente, a facilidade de aplicação do material. As técnicas construtivas tradicionais variam de região para região, e têm sido transmitidas de geração em geração. Nos últimos anos, existe um crescente interesse em preservar e reabilitar a construção tradicional.

No entanto, as construções Algarvias em alvenaria resistente têm apresentado um comportamento sísmico deficiente, designadamente em face dos sismos ocorridos em 1719, 1722, 1755 [1, 2] e, mais recentemente, em 1969 [3].

Atendendo à grande complexidade deste tipo de sistema estrutural, quer em relação ao conjunto dos seus constituintes (unidades de alvenaria de pedra e argamassa), quer em relação à sua disposição e ao seu funcionamento como um todo, têm sido realizados diversos trabalhos de investigação (*in-situ* e em laboratório) referentes à construção de alvenaria resistente Portuguesa, de modo a caracterizar o seu comportamento sísmico.

A realização de ensaios *in-situ* que possibilitem a caracterização do comportamento sísmico das paredes de alvenarias, apresenta grandes dificuldades. Apesar de algumas desvantagens deste tipo de ensaios, principalmente relacionadas com a logística e a existência de um ambiente menos controlado, eles fornecem um meio de caracterizar adequadamente o comportamento de elementos de alvenaria nas condições em que foram realmente executadas as construções, contribuindo assim para a redução das incertezas associadas aos testes experimentais realizados em laboratório. Neste sentido, têm sido realizados diversos trabalhos experimentais referentes às construções de alvenaria de pedra existentes em Portugal (ensaios estáticos e pseudo-dinâmicos), como é o exemplo de estudos realizados nos Açores, e que têm permitido caracterizar o comportamento global de paredes de alvenaria, designadamente para fora do seu plano [4-6].

Outro tipo de ensaios realizados em Portugal, e que também permitem capturar o comportamento sísmico de conjunto das construções de alvenaria, designadamente identificando os seus principais mecanismos de colapso, são os ensaios laboratoriais realizados em mesa sísmica [7, 8].

Também têm sido realizados outro tipo de ensaios de modo a obter as características mecânicas das alvenarias tradicionais Portuguesas, designadamente ensaios laboratoriais com pequenos provetes de alvenaria [9-11], e ensaios realizados *in-situ* com recurso a macacos planos [12-14].

Neste contexto, foi iniciada uma campanha de ensaios *in-situ*, e em laboratório, de forma a realizar a caracterização mecânica da alvenaria tradicional de pedra existente no Algarve.

2. CARACTERÍSTICAS DA ALVENARIA TRADICIONAL DO ALGARVE

Nas regiões a sul do continente Português, como o Alentejo e o Algarve (Fig.1), onde o clima é mais seco, as construções de alvenaria tradicional apresentam muitos aspetos característicos que as identificam, arquitetónica e construtivamente.

As alvenarias resistentes Algarvias têm características singulares em relação ao resto do país, e são constituídas, principalmente, por pedra, terra (taipa), ou por uma mistura de terra e pedra. A existência de paredes de tijolo cerâmico maciço é muito reduzida. A riqueza e a variedade geológica da região, caracterizada pelos seus maciços calcários, argilosos e areníticos (mais no litoral), e os xistos (que se encontram mais na zona da serra), viabilizaram a sua utilização em paredes de alvenaria resistente.



Figura 1. Exemplo de uma casa tradicional Algarvia.

As técnicas de construção variam muito, sendo muito dependentes do material que se encontrava disponível no local e mesmo do tipo de obra a ser executada.

É possível encontrar no Algarve construções com paredes, tanto em alvenaria aparelhada como em alvenaria ordinária de pedra irregular (Fig. 2), podendo ser de alvenaria mista, e apresentar folhas simples ou múltiplas, normalmente com as unidades de alvenaria de pedra ligadas por uma argamassa.

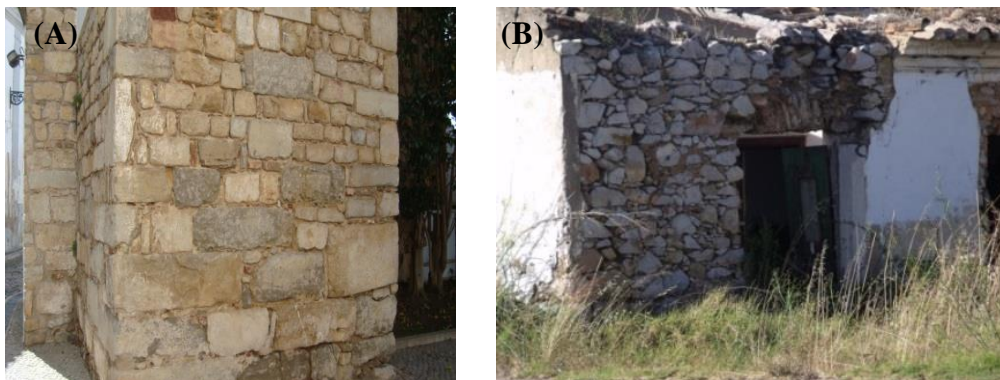


Figura 2. Exemplos de alvenaria (A) aparelhada e (B) irregular, existentes no Algarve.

3. ENSAIOS *IN-SITU* COM MACACOS PLANOS

O anexo C da EN 1998-3: 2005 [15] apresenta um conjunto de recomendações referentes à avaliação e ao projeto do reforço de edifícios de alvenaria em regiões sísmicas (com é o caso do Algarve). Especificamente, no ponto C.2.4 referente a materiais, explícita o seguinte:

i. O ensaio de macacos planos hidráulicos para avaliar, *in-situ*, a resistência ao corte da alvenaria. Este ensaio pode ser executado conjuntamente com macacos planos a exercerem uma carga vertical, mensurável, na alvenaria [16];

ii. O ensaio com os macacos planos hidráulicos para avaliar, *in-situ*, a tensão de compressão vertical a que a alvenaria pode resistir. Este ensaio também fornece, por exemplo, informações sobre a distribuição da carga gravítica em paredes de alvenaria [17, 18].

O ensaio simples pode ser realizado com um único macaco plano, segundo as normas RILEM,TC 177-MDT.D.4 [19] e a ASTM C1196-04 [17], e permite determinar o valor da tensão instalada na parede de alvenaria. O ensaio duplo recorre à utilização de dois macacos planos e pode seguir as normas RILEM TC 177-MDT.D.5 [18] e a ASTM C1197-04 [20], permitindo determinar a resistência e as características de deformabilidade da alvenaria em estudo.

A título de exemplo do tipo de problemas observados com este tipo de ensaio, quando utilizado na caracterização da alvenaria tradicional Algarvia, na Fig. 3 estão apresentados os resultados de um ensaio *in-situ* realizado numa moradia de pequena altura, situada em Lagos, com paredes de alvenaria de pedra calcária e que não foi possível levar à rotura.

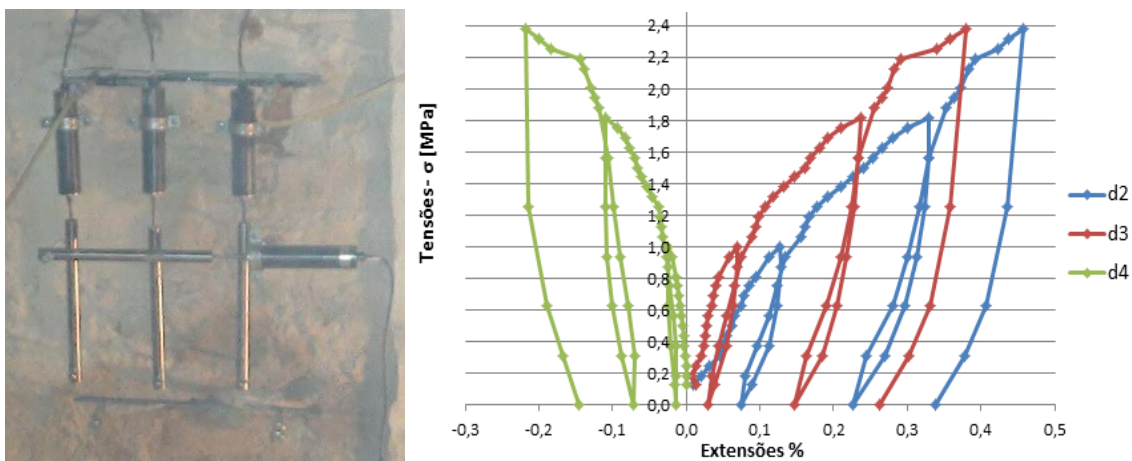


Figura 3. Exemplo dos resultados obtidos com um ensaio duplo com macacos planos, realizado numa casa Algarvia com alvenaria de pedra calcária de boa qualidade.

A máxima tensão a que a parede foi sujeita foi de 2,38 MPa. Os módulos de elasticidade obtidos a partir de regressões lineares realizadas para os conjuntos de pontos associados a cada ciclo de carga, referentes ao transdutor linear de deslocamentos d2, foram de 0,95

GPa, ($R^2=0,986$), 0,48 GPa, ($R^2= 0,988$) e 0,47 GPa, ($R^2= 0,935$), e com os respetivos coeficientes de Poisson iguais a 0,26, 0,42 e 0,93.

4. ENSAIOS LABORATORIAIS

O trabalho experimental aqui apresentado visou o ensaio de quatro provetes de alvenaria (designados por Ma, Mb, Mc e Md), previamente preparados em laboratório com argamassa idêntica, mas com unidades de alvenaria de pedra calcária com diferentes formatos, visando observar como a forma das pedras pode afetar o comportamento mecânico das paredes de alvenaria.

4.1 Caracterização das unidades de alvenaria

As pedras utilizadas nos ensaios foram recolhidas de uma pedreira existente no sítio da Bordeira, concelho de Faro. A pedra calcária escolhida, de cor acinzentada, apresenta características semelhantes à das amostras retiradas da construção onde foi realizado o ensaio *in-situ* apresentado da Fig. 3. Foram retiradas amostras de pedra da parede de alvenaria onde foi executado o ensaio com macacos planos atrás referido, que em laboratório foram talhadas com a serra de corte numa forma sensivelmente cúbica (Fig. 4).

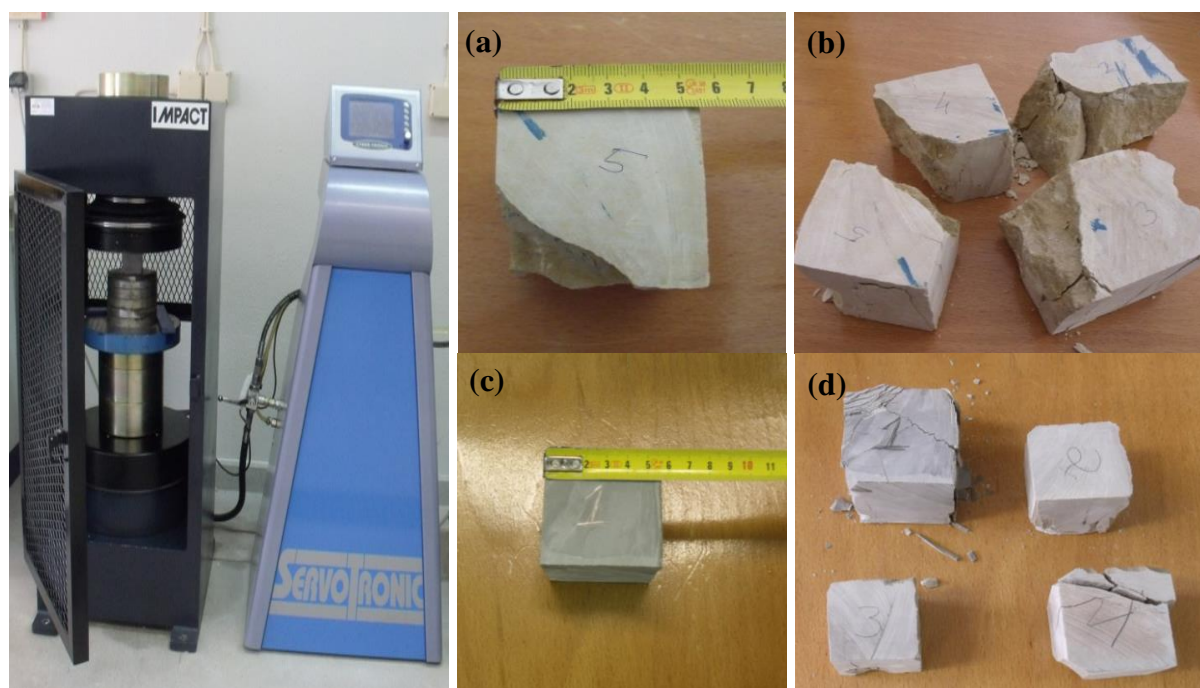


Figura 4. Ensaio das amostras de pedra calcária (a) e (b), retiradas da construção existente em Lagos, onde se realizou o ensaio *in-situ*, e (c) e (d), recolhidas de uma pedreira em Bordeira (Faro).

Após a regularização das pedras, foi realizado um ensaio de compressão, tendo sido obtido um valor médio de resistência, de aproximadamente 60,5 MPa, das amostras de pedra calcária do ensaio *in-situ* realizado em Lagos.

O valor médio aproximado de resistência à compressão das amostras recolhida da pedreira existente no sítio da Bordeira, foi de 58,6 MPa, muito semelhante ao obtido nas pedras retiradas da parede ensaiada *in-situ* (Lagos).

Foi estabelecido um índice de forma (I_f) de cada pedra, de modo a ser possível obter um valor mesurável da regularidade de cada pedra (Eq. 1)

$$I_f = \frac{V_{pedra}}{L_x \cdot L_y \cdot L_z} \quad (1)$$

em que V_{pedra} é o real volume de cada pedra, e L_x , L_y , e L_z são as dimensões de um prisma quadrangular inscrito nos eixos médios da pedra (Fig. 5). Uma unidade de alvenaria de pedra que corresponda a um prisma retangular, de faces aparelhadas e perfeitamente polidas, terá um índice de forma igual à unidade, pois o volume da pedra será igual ao volume do prisma. Do mesmo modo, uma pedra perfeitamente esférica terá um índice de forma igual a 0,524. Quanto mais irregular for uma pedra, mais esta se afastará da forma prismática, pelo que menor será o seu índice de forma.

Neste contexto, foram escolhidos quatro grupos de pedras, pertencentes a diferentes intervalos de índice de forma, de acordo com a sua regularidade (Fig. 6):

- Grupo 1 - provete Ma com $0,8 \leq I_f \leq 1$, com uma média de 0,88 (pedras aproximadamente prismáticas);
- Grupo 2 - provete Mb com $0,7 < I_f < 0,8$, com uma média de 0,75;
- Grupo 3 - provete Mc com $0,6 < I_f \leq 0,7$, com uma média de 0,65;
- Grupo 4 - provete Md com $0,5 < I_f \leq 0,6$, com uma média de 0,55 (pedras aproximadamente redondas).

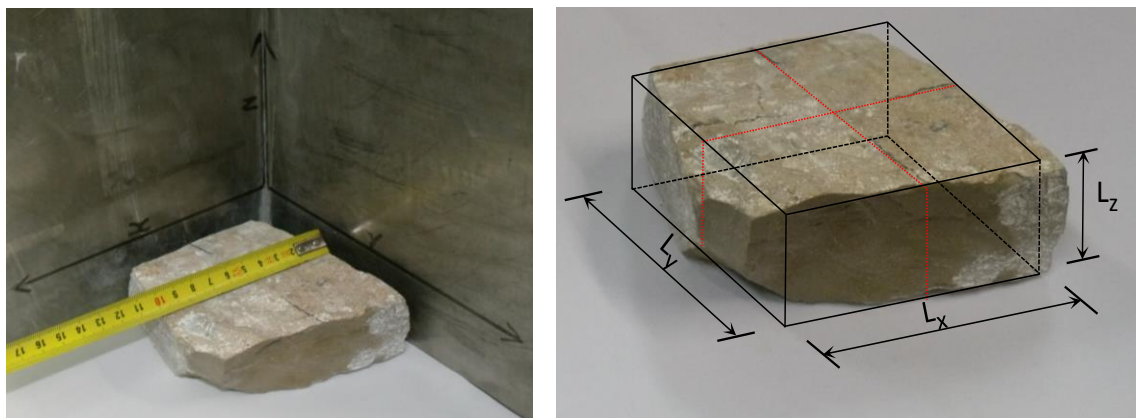


Figura 5. Metodologia de cálculo do índice de forma (I_f) de uma pedra.



Figura 6. Grupos de pedras usados nos provetes: (1) Ma, (2) Mb, (3) Mc e (4) Md.

4.2 Caracterização da argamassa

Todos os provetes de alvenaria ensaiados foram executados com uma argamassa possuindo um traço 1: 0,5: 3, respetivamente de cal aérea, pozolana e areia. O uso de pozolanas em argamassa é uma prática ancestral, designadamente foi uma prática recorrente no tempo do império romano [21]. O traço adotado neste estudo está enquadrado nas formulações usadas em construções antigas [22]. A utilização de pozolanas neste trabalho teve como objetivo acelerar o processo de cura da argamassa, de modo a viabilizar a realização dos ensaios em tempo útil. Os ensaios dos provetes de alvenaria foram realizados quando a resistência da argamassa estabilizou (Fig 7).

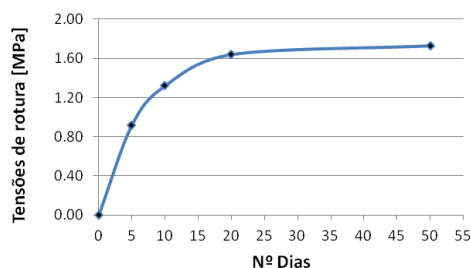


Figura 7. Evolução do valor médio da tensão de rotura à compressão dos provetes de argamassa.

De cada murete foram retirados 6 provetes de argamassa com dimensões 4 x 4 x 16 cm para realização de ensaios à flexão e à compressão. Os 48 ensaios à compressão foram efetuados a intervalos de tempo regulares. Foi obtido um valor médio final da tensão de rotura à compressão de 1,73 MPa, com um desvio padrão de 0,074.

4.3 Realização dos provetes de alvenaria

Na preparação dos provetes de alvenaria, a colocação das pedras e o preenchimento da argamassa foi feito de forma a tentar reduzir ao máximo o volume de vazios. Todo este processo foi executado num molde pré-preparado com dimensões 24,5 x 24,5 x 36,6 cm. Os muretes foram executados em cima de uma base que continha 2 cm de areia. Antes do início do processo de execução, as pedras utilizadas ficaram um dia numa câmara de refrigeração, de modo a reduzir a temperatura das mesmas. Depois, em cada junta de assentamento, foi registada a localização das pedras por intermédio de uma câmara termográfica, que permitiu registar as diferenças de temperaturas superficiais entre as pedras (previamente refrigeradas) e a argamassa (à temperatura ambiente). Em cada face dos provetes foram cravados nas pedras, através de bucha química, dois parafusos roscados para fixar os transdutores lineares de deslocamentos. Cada provete foi composto por um valor entre 30 a 32 Kg de pedras e por cerca de 18,5 kg de argamassa.

Foram registadas, por uma câmara termografica, 6 juntas horizontais de assentamento, como está apresentado na Fig. 8, estando as pedras representadas com tonalidades azuis e lilases e a argamassa de assentamento em tonalidades de amarelo.

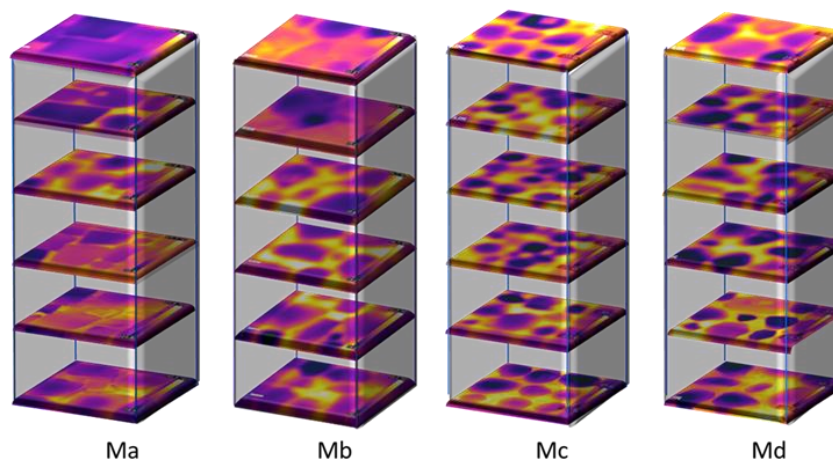


Figura 8. Disposição esquemática das unidades de alvenaria (pedras calcárias) e da argamassa de assentamento, nos provetes ensaiados.

Este procedimento possibilitou registar, com elevado rigor, a disposição das unidades de alvenaria em cada provete, pois viabilizou a captura do volume de cada pedra dentro do provete, mesmo quando estas estavam envolvidas com argamassa (principalmente nos provetes envolvendo as pedras mais redondas).

No topo de cada provete de alvenaria, foi disposta uma camada de areia, de modo a melhorar a uniformidade na distribuição da força de compressão, com cerca de 2 cm de espessura.

4.4 Realização dos ensaios à compressão

Foram instalados quatro transdutores lineares de deslocamentos, nas diferentes faces de cada provete de alvenaria (Fig.14), que foram ligados ao equipamento de aquisição de dados. Também foi usada uma célula de carga de modo a registar a carga de compressão induzida pelo macaco hidráulico.

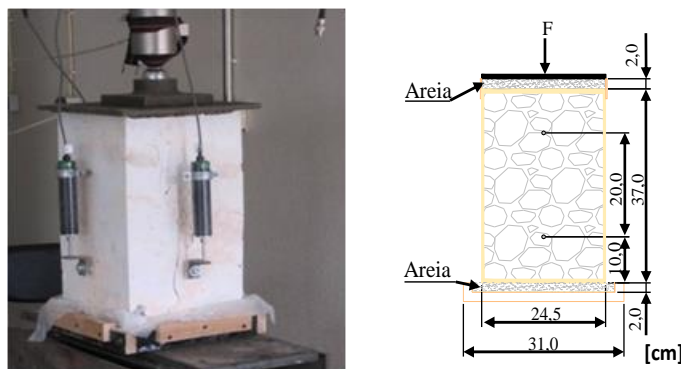


Figura 9. Esquema da preparação do ensaio.

Todos os provetes foram levados até à rotura, e registadas as tensões de rotura. Contudo, só foi possível registar as relações entre as tensões e as extensões até à rotura, em algumas faces dos provetes Ma e Mc, cujos resultados estão apresentados nas Figs. 10 e 11. Tal esteve relacionado com o nível de danos existente nas faces dos provetes de alvenaria, ainda antes de se atingir o ponto limite. De acordo com o que foi visualizado durante os ensaios, o problema esteve relacionado com a rotação/destacamento das pedras dessas faces, impedindo os registos nos transdutores lineares de deslocamento até ao final do ensaio, tal como é possível observar na fotografia da Fig. 11.

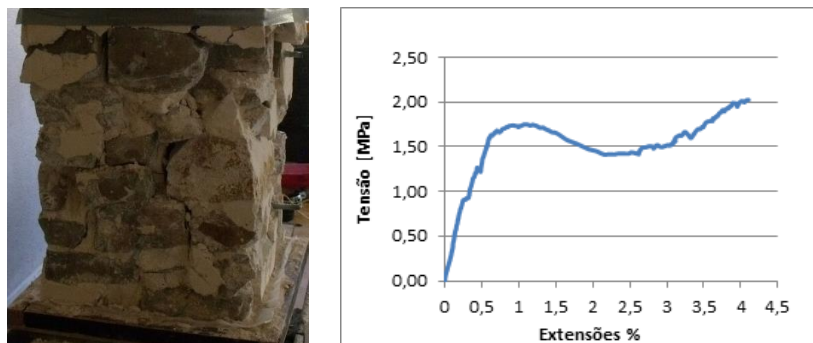


Figura 10. Resultados obtidos no provete de alvenaria Ma.

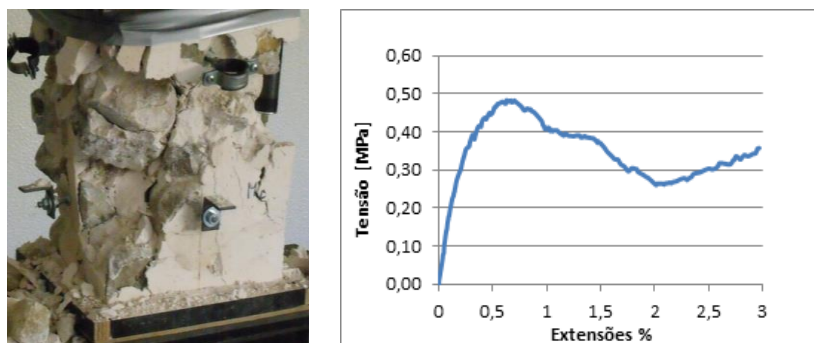


Figura 11. Resultados obtidos no provete de alvenaria Mc.

O valor máximo da tensão de compressão do provete Ma foi de 2,02 MPa. O módulo de elasticidade foi calculado para uma tensão igual a 1/3 do valor da tensão de rotura do provete de alvenaria, de acordo com a norma NP EN 1052-1:2002 [23], obtendo-se um módulo de elasticidade de 0,38 GPa. No provete Mc foi obtida uma tensão de rotura à compressão de 0,48 MPa e um módulo de elasticidade de 0,20 GPa. Em relação aos provetes de alvenaria Mb e Md, foram obtidos, respetivamente, valores de tensão de rotura de 0,72 MPa e de 0,47 MPa.

A relação obtida entre o índice de forma médio das unidades de alvenaria de cada provete e a correspondente tensão de rotura está apresentada na Fig. 12.

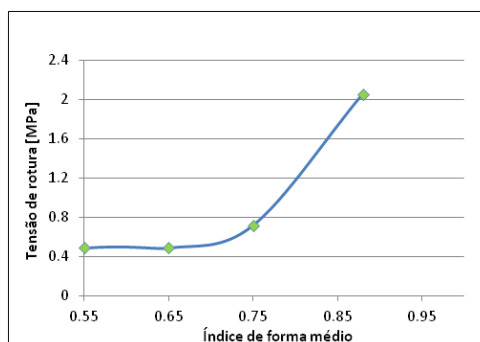


Figura 12. Relação entre o índice de forma médio dos provetes e as tensões de rotura.

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Os ensaios realizados às pedras calcárias existentes no Algarve revelaram que estas podem possuir a resistência equivalente a um betão de alta resistência. A resistência das paredes de alvenaria poderá resultar da geometria das pedras, da forma como estas estão dispostas nas paredes e parece ser condicionada por fenómenos de instabilidade local e global.

A realização dos ensaios evidenciou a grande dificuldade em captar os gráficos das relações entre as extensões e as tensões até à rotura completa dos provetes de alvenaria ensaiados, quando os transdutores lineares de deslocamento são colocados no terço central dos provetes.

Da observação do gráfico da Fig. 12, é possível constatar que entre o provete Md (I_f médio de 0,55) e o provete Mc (I_f médio de 0,65), não se verifica qualquer subida significativa de tensão de rotura. Contudo, a partir do provete Mb (I_f médio de 0,75) a tensão de rotura sobe significativamente, com crescimento, aparentemente, exponencial. É importante realçar que as argamassas apresentavam resistências da mesma ordem de grandeza, à data dos ensaios em cada murete, sendo os respetivos traço e quantidades também idênticos.

Dos gráficos obtidos entre as extensões e as tensões (Figs. 10 e 11), foi possível constatar um comportamento global tipo "snap-through", pois foi possível observar que, após a ultrapassagem do primeiro ponto limite, a que se seguiu o amolecimento do material (provavelmente associado à plastificação da argamassa de assentamento das pedras), o provetes voltavam a ganhar rigidez e resistência novamente (provavelmente associado ao rearranjo das ligações entre as pedras). Em alguns ensaios, foi audível a rotura de algumas pedras (confirmada após inspeção visual posterior) antes de se verificar um incremento da resistência.

O murete Ma, com um índice de forma médio de 0,88 apresentou a maior tensão de rotura, o que era espectável, atendendo à maior área de contacto entre pedras, oferecendo consequentemente uma maior resistência.

Quando comparados os módulos de elasticidade obtidos *in-situ* com macacos planos, e os obtidos dos ensaios laboratoriais, é possível concluir que o provete Ma apresenta os valores mais próximos dos obtidos *in-situ*, o que está de acordo com a inspeção visual da alvenaria da construção ensaiada, constituída por pedras calcárias de resistência semelhante e indiciando um elevado índice de forma médio.

Tendo por base os ensaios realizados, é possível concluir que a resistência à rotura e o módulo de elasticidade das paredes de alvenaria tradicional existente no Algarve, provavelmente são muito condicionadas pelo índice médio de forma das pedras usadas na sua construção.

Assim, os resultados apontam para que seja recomendável que as futuras avaliações da vulnerabilidade deste tipo de construção Algarvia tenham em conta o fator de forma. Neste contexto, também será desejável que se realize, no futuro, um estudo específico sobre as tipologias típicas existentes no Algarve, no que diz respeito ao índice de forma médio das unidades de alvenaria. Será desejável que esse estudo contemple a realização de ensaios *in-situ*, com macacos planos e a realização de ensaios laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- [1] Chester, D.K.; Chester, O.K. – "The impact of eighteenth century earthquakes on the Algarve region, southern Portugal", *The Geographical Journal*, Vol. 176 (4), 2010, p. 350–370.

- [2] Costa, A.; Seabra, C.; Nunes, S. – "O que nos diz a história", em *1755 - Terramoto no Algarve* Ed. por A. Costa, M.C. Abreu (Eds.), Centro Ciência Viva do Algarve, Faro, 2005, p. 13-152.
- [3] Miranda, M.; Carrilho, F. – *45 anos do sismo de 28 de fevereiro de 1969*, 2014, p. 1-17.
- [4] Costa, A.A.; Arêde, A.; Costa, A.; Oliveira, C.S. – "In situ cyclic tests on existing stone masonry walls and strengthening solutions", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 40 (4), 2011, p. 449-471. 10.1002/eqe.1046
- [5] Costa, A.; Arêde, A.; Costa, A.; Oliveira, C. – "Out-of-plane behaviour of existing stone masonry buildings: experimental evaluation", *Bull Earthquake Eng*, Vol. 10 (1), 2012, p. 93-111. 10.1007/s10518-011-9332-9
- [6] Costa, A. – "Determination of mechanical properties of traditional masonry walls in dwellings of Faial Island, Azores", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 31 (7), 2002, p. 1361-1382. 10.1002/eqe.167
- [7] Lourenço, P.; Avila, L.; Vasconcelos, G.; Alves, J.P.; Mendes, N.; Costa, A. – "Experimental investigation on the seismic performance of masonry buildings using shaking table testing", *Bull Earthquake Eng*, Vol. 11 (4), 2013, p. 1157-1190. 10.1007/s10518-012-9410-7
- [8] Costa, A.A.; Arêde, A.; Costa, A.C.; Penna, A.; Costa, A. – "Out-of-plane behaviour of a full scale stone masonry façade. Part 2: shaking table tests", *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, Vol. 42 (14), 2013, p. 2097-2111. 10.1002/eqe.2314
- [9] Oliveira, D.V.; Lourenço, P.B. – "Experimental behaviour of three-leaf stone masonry walls", *Proceedings da Heritage protection : construction aspect : proceedings of the Conference and Brokerage Event the Construction Aspects of Built Heritage Protection.*, Dubrovnik, Croatia, 2006, p. 355-362.
- [10] Milosevic, J.; Gago, A.S.; Lopes, M.; Bento, R. – "Experimental assessment of shear strength parameters on rubble stone masonry specimens", *Construction and Building Materials*, Vol. 47 (0), 2013, p. 1372-1380. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.06.036>
- [11] Barros, R.S.; Oliveira, D.V.; Varum, H.; Alves, C.A.S.; Camões, A. – "Experimental characterization of physical and mechanical properties of schist from Portugal", *Construction and Building Materials*, Vol. 50 (0), 2014, p. 617-630. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.10.008>
- [12] Roque, J.C.A.; Lourenço, P.B. – "Caracterização mecânica de paredes antigas de alvenaria : um caso de estudo no centro histórico de Bragança", *Engenharia Civil*, Vol. 17, 2003, p. 31-42.
- [13] Almeida, C.; Guedes, J.P.; Arêde, A.; Costa, C.Q.; Costa, A. – "Physical characterization and compression tests of one leaf stone masonry walls", *Construction and Building*

Materials, Vol. 30 (0), 2012, p. 188-197.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.11.043>

- [14] Simões, A.; Gago, A.; Lopes, M.; Bento, R. – "Characterization of old masonry walls: flat-jack method", Proceedings da 15th World Conference on Earthquake Engineering, SPES, Lisbon, 2012, p. 1-10, paper 2438.
- [15] CEN – *EN 1998-3: 2005. Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings.*, Comité Européen de Normalisation, Brussels, 2005.
- [16] ASTM – *Standard C 1531-Standard Test Methods for In Situ Measurement Of Masonry Mortar Joint Shear Strength Index1*, ASTM international, West Conshohocken, United States, 2003.
- [17] ASTM – *Standard C1196 - Standard test method for In situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flatjack measurements*, ASTM International, West Conshohocken, United States, 2004.
- [18] RILEM – "RILEM recommendation MDT. D.5—in-situ stress-strain behaviour tests based on the flat jack", *Mat. Struct.*, Vol. 37 (7), 2004, p. 497-501. 10.1007/BF02481589
- [19] RILEM – "RILEM recommendation MDT. D. 4: In-situ stress tests based on the flat jack", *Mat. Struct.*, Vol. 37 (7), 2004, p. 491-496. 10.1007/BF02481588
- [20] ASTM – *Standard C1197 - Standard test method for in situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method*, ASTM International, West Conshohocken, United States, 2004.
- [21] Pacheco-Torgal, F.; Faria, J.; Jalali, S. – "Some considerations about the use of lime–cement mortars for building conservation purposes in Portugal: A reprehensible option or a lesser evil?", *Construction and Building Materials*, Vol. 30 (0), 2012, p. 488-494. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.003>
- [22] Veiga, M.R. – "Argamassas para revestimento de paredes de edifícios antigos. Características e campo de aplicação de algumas formulações correntes", Proceedings da 3º ENCORE - Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, 2003, p. 1-10.
- [23] IPQ – *NP EN 1052-1. Método de ensaio para alvenaria. Parte 1: Determinação da resistência à compressão*, Instituto Português da Qualidade, Caparica, Portugal, 2002.