

Caracterização das paredes de alvenaria da vila de Tentúgal

Characterization of masonry walls in the Tentúgal village

Paulo B. Lourenço
Professor Associado
Universidade do Minho
Guimarães

Filipe Pagaimo
Mestre em Engenharia Civil
Universidade de Coimbra
Coimbra

Eduardo Júlio
Professor Auxiliar
Universidade de Coimbra
Coimbra

RESUMO

Existe hoje um interesse renovado na reabilitação das construções tradicionais, construídas usualmente com paredes de alvenaria e pavimentos / coberturas em madeira. A reabilitação das construções antigas exige conhecimento específico e a caracterização dos materiais e tecnologias existentes. Na ausência de estudos que permitam obter este conhecimento, as intervenções irão constituir uma perda do valor cultural e da autenticidade do património nacional construído. O presente trabalho insere-se numa estratégia que pretende contribuir para o conhecimento do comportamento mecânico das construções antigas nacionais. Desta forma, apresenta-se um levantamento das tipologias das paredes de alvenaria na vila de Tentúgal, bem como uma proposta para base de dados e metodologia de levantamento e tratamento de informação. Apresenta-se ainda a caracterização mecânica das paredes, com macacos planos, e da pedra calcária que as constitui, com recurso ao ensaio de carotes. Comprova-se que as propriedades mecânicas das paredes são controladas pelo aparelho da alvenaria e pela argamassa.

ABSTRACT

Today, there is a renewed interest in the rehabilitation of traditional buildings, composed usually with masonry walls and timber floors / roofs. Nevertheless, the rehabilitation of old buildings requires specific knowledge and the characterization of existing materials and technologies. In the absence of studies that contribute to this knowledge, the interventions will probably result in a loss of the cultural value and authenticity of the built heritage. The present paper is part of an attempt to increase the knowledge of the mechanical behaviour of traditional old buildings in Portugal. Therefore, the paper presents a survey of the wall typologies in the Tentúgal village, as well as a proposal for a database and a methodology for survey and data processing. The mechanical characterization of the walls, using flat-jack testing, and the limestone of the walls, using cores removed locally, is also addressed. It is observed that the mechanical properties of the walls are mostly controlled by the masonry bond and by the mortar.

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, apenas recentemente começou a surgir a consciência pública da necessidade de proteger o património arquitectónico e urbano. A combinação do desinteresse da sociedade e do governo com as condições económicas das pessoas que se mantiveram nos centros históricos conduziu a uma situação de degradação profunda de diversas construções antigas. Neste âmbito, o Conselho Internacional de Monumentos e Sítios (ICOMOS) já havia redigido a carta internacional para a salvaguarda das cidades históricas em Outubro de 1987, procurando promover políticas de preservação de centros e quarteirões históricos, ameaçados pela degradação, divisão e mesmo destruição devida ao tipo de urbanização que surgiu na era industrial, pretendendo assim contrariar perdas irreversíveis de carácter cultural, social e mesmo económico.

Por outro lado, assistiu-se a um rápido desenvolvimento dos novos materiais e técnicas de construção que se

afastam da prática tradicional, bem como descobertas científicas que colocam à disposição novos métodos a todos os intervenientes na defesa do património. Esta realidade introduz aspectos decisivos na divisão entre a arte de construção e a ciência da conservação e restauro, que salientam a dimensão e carácter próprios da conservação dos centros históricos e que demonstram a dificuldade de respeitar o património sem formação e conhecimento específicos. Os conhecimentos necessários cobrem uma variedade muito abrangente de áreas, muitas das quais não estão incluídas na formação actualmente leccionada a engenheiros civis e arquitectos, os profissionais usualmente mais envolvidos na conservação.

Como consequência da referida falta de formação, destaque-se a introdução de uma estrutura reticulada de betão armado no interior de um edifício antigo, preservando apenas as paredes exteriores (independentemente da sua necessidade e adequabilidade). A intervenção correcta deve, regra geral, considerar o edifício no seu todo, sendo essencial que os engenheiros e arquitectos estejam sensibilizados para o facto de

utilização de edifícios históricos ter de ser conciliada com a preservação das suas características e estrutura originais, Binda (2001). Neste âmbito, o presente artigo pretende contribuir para o aumento do conhecimento sobre os materiais tradicionais portugueses.

No sentido de contribuir para a preservação dos centros históricos, adoptou-se a vila de Tentúgal como caso de estudo. Esta vila localiza-se junto da estrada N111, no trajecto Coimbra – Figueira da Foz. A vila de Tentúgal tem uma história rica, aparecendo referenciada pela primeira vez no ano de 980 e tendo recebido foral em 1108, o que prova a importância que detinha nesses tempos. A vila começou a entrar em decadência no final do século XVIII, julga-se que devido ao assoreamento dos campos banhados pelo rio Mondego Conceição(1992). Sobre este caso de estudo foi realizado um levantamento da tipologia das paredes de alvenaria, detalhando-se uma proposta de base de dados e de metodologia para processamento da informação recolhida, tendo ainda sido realizado um estudo de caracterização mecânica das paredes de alvenaria, com recurso a ensaios com macacos-planos e a

ensaios em carotes extraídas dos blocos de pedra existentes no local.

2. LEVANTAMENTO DO EDIFICADO E ANÁLISE DAS PAREDES

Tendo em vista caracterizar as paredes de alvenaria, foram considerados doze edifícios de Tentúgal (Figura 1) aos quais foi possível, em geral, o acesso integral. Relativamente aos critérios de selecção dos edifícios, procuraram-se os que apresentassem paredes de alvenaria com secção transversal vertical exposta, como resultado de ruína, demolição, alteração, etc., permitindo uma recolha completa de dados que possibilitasse posterior análise. Esta condicionante limitou o número de casos observáveis e conduziu a uma amostra enviesada para edifícios devolutos, com deterioração moderada a elevada. Tendo em vista definir uma metodologia sistemática de levantamento foi desenvolvida uma base de dados em Microsoft Access®, que inclui as características físicas de alguns edifícios e das respectivas alvenarias.



Fig. 1– Localização dos diversos edifícios observados na vila de Tentúgal

2.1. Estrutura da base de dados

A base de dados e respectiva estrutura constituem uma tentativa de sistematização a nível nacional, definida com base nos estudos anteriores de Anzani et al. (2001), GNDT (s.d.) e Casella (2003), esperando-se que possa constituir um embrião de outros trabalhos, permitindo correlacionar dados novos ou existentes, bem como elaborar estatísticas e análises comparadas dos parâmetros relevantes para as tipologias mais frequentes.

A base de dados é composta por nove tabelas interrelacionadas a preencher no campo com recurso a um PDA (Figura 2). O utilizador não preenche os campos directamente nas tabelas, respondendo antes a quatro

formulários, apresentados na Figura 3. As opções de preenchimento e informações mais detalhadas estão disponíveis em Pagaimo (2004).

2.2. Análise da amostra

Os edifícios analisados permitiram tirar as conclusões que se apresentam seguidamente. Salienta-se o facto da amostra ser muito reduzida, pelo que os resultados devem ser encarados com alguma reserva.

Os edifícios analisados possuem um número de pisos reduzido (17% com um piso, 66% com 2 pisos e 17% com 3 pisos), o que indicia o facto da vila ter perdido importância muito cedo e não ter existido incentivo à

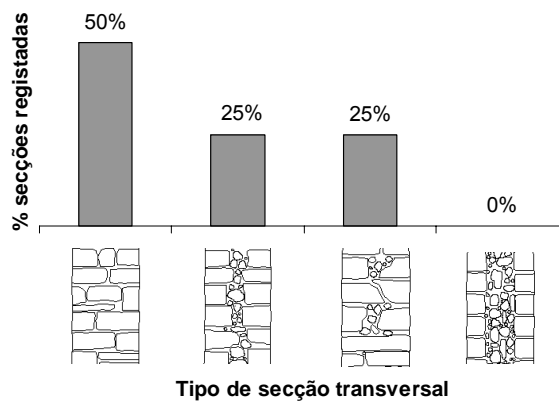
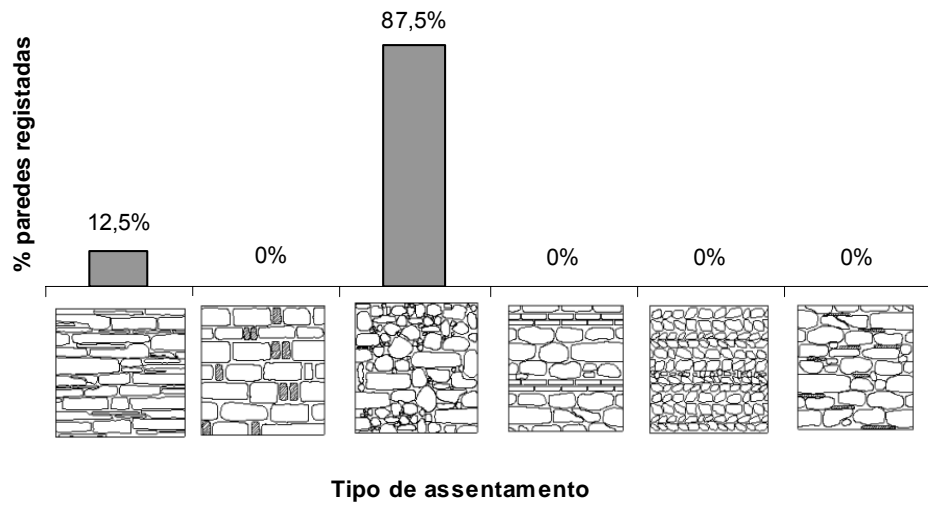
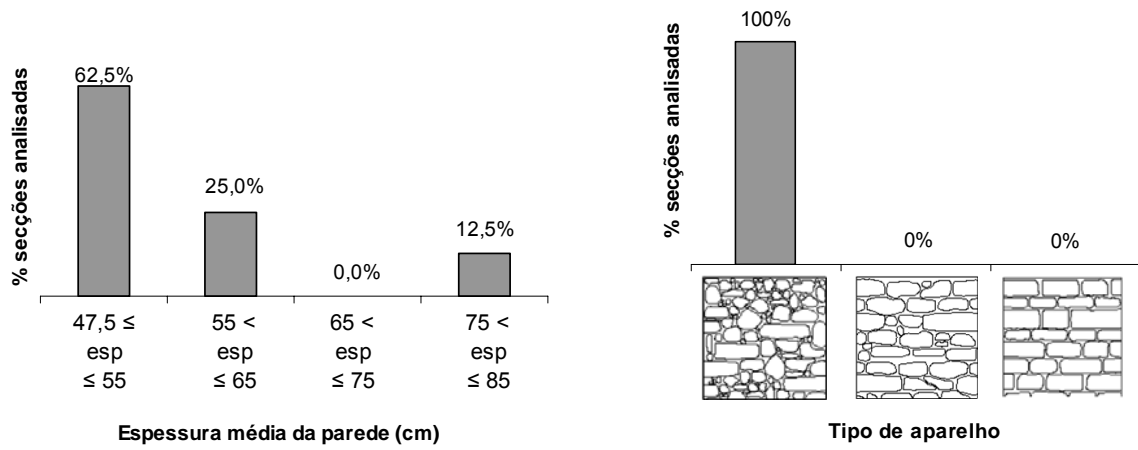


Fig. 4– Síntese dos resultados obtidos para as paredes

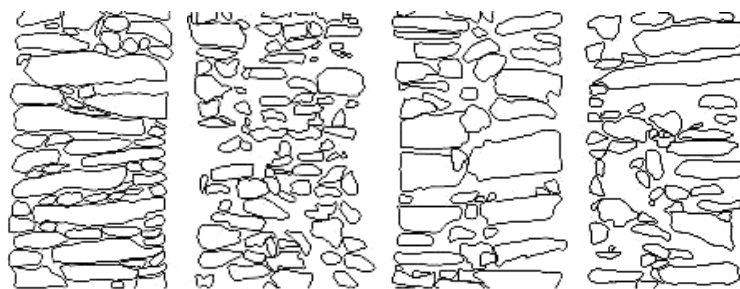


Fig. 5– Exemplos típicos do aspecto das secções transversais das paredes

Foram ainda efectuados ensaios de compressão em provetes extraídos de blocos de pedra provenientes da Igreja da Misericórdia de Tentúgal. Estes blocos são do calcário usualmente denominado por Pedra de Ançã, localidade próxima da vila de Tentúgal, material utilizado na maior parte nas alvenarias locais. Os ensaios realizados procuraram determinar, para além da tensão de rotura e módulo de elasticidade deste componente da alvenaria, a influência da humidade na resistência da pedra e a relação entre as propriedades mecânicas da pedra e da alvenaria.

3.1. Ensaios com macacos-planos nas paredes

Os ensaios com macacos-planos estão normalizados desde o início dos anos 90, ver Lourenço e Gregorczyk (2000) e Roque (2002), e consistem na introdução de um macaco plano num rasgo horizontal aberto na alvenaria (idealmente numa junta de argamassa), Figura 6.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6– Ensaio com macacos-planos: (a) ensaio duplo; (b) tipos de macacos utilizados; (c) cortadora a gasolina

Os macacos podem ser de diferentes formas e são constituídos por uma almofada metálica delgada, com um registo de entrada e outro de saída que permite a pressurização de óleo no interior. Os ensaios podem ser simples, utilizando-se um macaco para medir o estado de tensão instalado, ou duplos, sendo necessários dois macacos para medir o módulo de elasticidade e a resistência. No caso de ensaios duplos é essencial utilizar macacos rectangulares, Lourenço e Gregorczyk (2000).

De uma forma sistematizada, descreve-se brevemente o procedimento adoptado para os ensaios:

1. Calibrar os macacos, determinando a relação entre a pressão aplicada pelo macaco e a medida no manómetro da bomba, permitindo ter em consideração a rigidez do macaco plano à deformação e o atrito do sistema hidráulico;

2. Definir o posicionamento dos rasgos na parede, garantindo um afastamento não inferior a 60cm entre as extremidades destes e as aberturas ou extremidades das paredes, e entre outro macaco plano. Os rasgos deverão ainda permitir que o macaco faça contacto com dois ou mais blocos de pedra;

3. Colar miras para o ensaio simples acima e abaixo do rasgo, procurando-se assegurar que os pontos que constituem cada alinhamento vertical serão dispostos simetricamente e adoptando um afastamento entre miras de 20cm. Colocar as miras para o ensaio duplo na zona definida para o ensaio entre cada par de macacos;

4. Colocar cerca de três a quatro alinhamentos verticais de miras cumprindo o afastamento mínimo de 5cm das extremidades das ranhuras. Saliente-se que o valor do módulo de elasticidade da alvenaria é usualmente sobrestimado em cerca de 15% em consequência das condições fronteiras;

5. Efectuar as medições das posições iniciais nas miras antes de se efectuar o rasgo para o ensaio simples;

6. Proceder à abertura do rasgo para o ensaio simples e colocar o macaco na ranhura com chapas de regularização da superfície de contacto entre o macaco e as faces do rasgo;

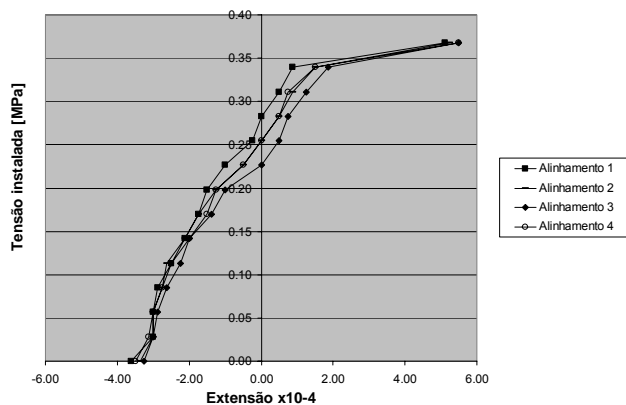
7. Efectuar o ajuste final do macaco ao rasgo com a aplicação de uma pressão aproximadamente equivalente a 50% da tensão local estimada na parede. Adoptar incrementos de pressão de 0,05 MPa e, para cada incremento de tensão, efectuar 3 leituras consecutivas da distância entre as miras de cada alinhamento. Ultrapassados os valores medidos para as posições iniciais, pode-se suspender o ensaio e despressurizar o macaco;

8. No caso de ensaios duplos, proceder à abertura do segundo rasgo e limpeza do mesmo;

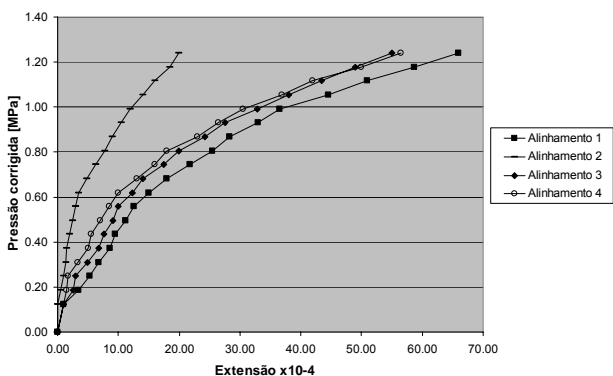
9. Introduzir o segundo macaco e pressurizar os dois macacos em simultâneo com incrementos de pressão de 0,10 MPa. Os incrementos serão aplicados até ocorrer rotura da alvenaria, que se manifesta pela ausência de reacção à aplicação de pressão no macaco.

Neste trabalho, foram realizados quatro ensaios simples e oito ensaios duplos. A Figura 7 ilustra resultados típicos dos ensaios em termos de gráficos tensões vs.

deformações. Os ensaios simples conduziram a valores das tensões instaladas na ordem dos 0,2 MPa. Os ensaios duplos conduziram a valores para o módulo de elasticidade E de 0,3 GPa e para a resistência à compressão f_m de 1,0 MPa. Estes valores poderão servir de base, na inexistência de mais informação, para futuras intervenções em construções similares no Centro e Sul do país, sugerindo-se a adopção de um valor característico de 70% do valor médio da resistência à compressão ($f_k = 0,7$ MPa), tal como proposto no Eurocódigo 8. Refira-se a propósito que, no caso de construções em alvenaria de xisto no Norte do país, foram encontrados resultados de $E = 1,0$ GPa e $f_k = 0,5$ MPa, ver Roque (2002).



(a)



(b)

Fig. 7– Resultados típicos dos ensaios com macacos-planos, em termos de tensões vs. extensões: (a) ensaio simples; (b) ensaio duplo

3.2. Ensaio na pedra de Ançã

Os ensaios de caracterização mecânica da pedra de Ançã submetida a compressão uniaxial foram realizados em carotes obtidas de três blocos de pedra resultantes de uma demolição antiga. A dimensão dos blocos existentes condicionou a forma e dimensão dos provetes, optando-se por provetes de base circular com 35 mm de diâmetro e uma relação base/altura unitária, de acordo com a EN 1926 (2000). Procurou-se ainda estudar a variação da resistência com o teor de humidade, procedendo-se a ensaios em condições secas e saturadas. No 1º caso, os provetes foram secos à temperatura de $(70+5)^{\circ}\text{C}$, até massa constante. Considera-se que foi atingida a massa constante quando a diferença entre duas pesagens sucessivas efectuadas com intervalo de $(24+2)$ h não for superior a 0,1% da massa do

proвете. Após secagem, e antes do ensaio, os provetes foram armazenados à temperatura de $(20+5)^{\circ}\text{C}$ até ser atingido o equilíbrio térmico, após o qual foram ensaiados dentro das 24 horas seguintes. Os provetes saturados foram mergulhados num recipiente de água à temperatura constante de $(20+5)^{\circ}\text{C}$, até manterem a massa constante entre pesagens sucessivas (intervalo idêntico ao adoptado para provetes secos $24+2$ h).

No total foram ensaios 33 provetes secos e 27 provetes saturados. Os valores da resistência à compressão dos provetes foram corrigidos de acordo com as recomendações da norma ASTM C 39-96 (1996), para provetes de betão nos quais a relação entre a altura e o diâmetro seja inferior a 1,8. Os valores médios obtidos estão indicados na Tabela 1, verificando-se que o módulo de elasticidade não é sensível ao teor de humidade enquanto que a resistência à compressão sofre uma redução de 30%. Adicionalmente verifica-se que o módulo de elasticidade da pedra é muito baixo, obtendo-se uma relação entre o módulo de elasticidade e a resistência à compressão dada por $E = 47f_c$ e $E = 62f_c$, no caso de provetes secos e saturados, respectivamente.

Finalmente, em comparação com os resultados obtidos para a alvenaria, verifica-se que: (a) o valor médio obtido para o módulo de elasticidade da alvenaria é cerca de 12% do valor obtido para a pedra de Ançã; (b) a resistência média à compressão da alvenaria é cerca de 2% do valor obtido para provetes secos de pedra de Ançã. Desta forma, confirma-se que a resposta deste género de alvenaria é, essencialmente, controlada pela argamassa e aparelho, e não pela pedra utilizada.

4. CONCLUSÕES

No presente trabalho, pretenderam-se introduzir elementos de apoio ao projectista que intervém no património histórico, em particular nas estruturas de alvenaria resistente das edificações antigas, inseridas no património corrente dos centros históricos. Para esse efeito criou-se uma base de dados com as características tipológicas das alvenarias da vila de Tentúgal, completada com a caracterização mecânica das mesmas através de ensaios experimentais.

Os edifícios analisados possuem um número de pisos reduzido (entre 1 a 3 pisos). A alvenaria é de pedra calcária de dimensão da ordem dos 0,20 m e forma irregular ou do tipo laje. As juntas são de argamassa de barro e cal com de espessura de 0,02 m ou superior. As paredes têm espessura entre 0,45 e 0,90 cm, com aparelho irregular. As paredes são de um pano único ou de dois panos, sem vazios significativos e representando a argamassa cerca de 40% da secção transversal.

A utilização de macacos planos permitiu determinar um módulo de elasticidade de 0,3 GPa e uma resistência característica à compressão de 0,7 MPa. Da comparação dos resultados com os ensaios com macacos planos e com a pedra, comprova-se que as propriedades mecânicas deste género de alvenaria são controladas pela argamassa e pelo aparelho e não pela pedra utilizada. A tensão instalada nas

paredes é cerca de 0,2 MPa, o que sugere um coeficiente de segurança de 3,5 para as acções verticais nas condições actuais. Caso as acções verticais sejam aumentadas e majoradas da forma habitual, é razoável esperar um coeficiente de segurança da ordem dos 2,0, o que se poderá provavelmente considerar aceitável para estruturas deste género. No caso de se verificar a necessidade de reforçar paredes de alvenaria nas condições apresentadas, recomenda-se a consulta às soluções-tipo apresentadas em Roque e Lourenço (2003).



(a)



(b)



(c)

Fig. 8– Ensaios de caracterização mecânica da pedra: (a) extracção de provetes de um dos blocos de pedra; (b) conjunto de provetes antes de serem serrados e rectificadas; (c) rectificação dos provetes

Quadro I – Resultados dos ensaios de caracterização mecânica da pedra de Ançã. Os valores dentro de parêntesis indicam o coeficiente de variação obtido na amostra total)

	Secos	Saturados
E (GPa)	2,49 (2,36 (7%)
f_c (MPa)	52,9	37,9

5. REFERÊNCIAS

- Anzani, A.; Baronio, G.; Binda, L., 2001 - “Multiple Leaf Stone Masonry as a Composite: The Role of Materials on its Behavior and Repair” in *Studies on the Mechanical Behaviour of Masonry and Masonry Structures – Selected papers 1975-2000 – Vol. IV*, p. 1473-1508.
- ASTM, 1991 – “In situ measurement of masonry deformability properties using the flatjack method”, *ASTM Standard C 1197-91*.
- ASTM, 1996. “Standard Test method for compressive strength of cylindrical concrete specimens”, *ASTM Standard C 39-96*.
- Binda, L., 2001 - “The Rehabilitation and Reuse of Historic Masonry Buildings in Italy and Europe” in *Studies on the Mechanical Behavior of Masonry and Masonry Structures – Selected papers 1975-2000 – Vol. I*, p. 205-213.
- Casella, G., 2003 - *Gramáticas de Pedra. Levantamento de Tipologias de Construção Muraria*, Centro Regional de Artes Tradicionais.
- Conceição, A.S., 1992 - *Terras de Montemor-o-Velho*, Câmara Municipal de Montemor-o-Velho.
- GNDT (Grupo Nazionale per la Difesa dai Terramoti), (s.d) - *Danno sismico e vulnerabilità delle chiese dell’Umbria*. CD-ROM, Itália
- IPQ, NP EN 1926, 2000 - *Métodos de ensaio para pedra natural. Determinação da resistência à compressão*.
- Lourenço, P.B.; Gregorczyk, P., 2000 - “Review on Flat-Jack Testing”, *Engenharia Civil*, Vol. 9, Universidade do Minho, p. 35-50. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- Pagaimo, F., 2004 - *Caracterização morfológica e mecânica de alvenarias antigas: Caso de estudo da vila histórica de Tentúgal*. Tese de Mestrado, Universidade de Coimbra. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- RILEM, LUM.D.3, 1990. *In situ strength/ elasticity tests on masonry based on the flat jack*.
- Roque, J., 2002 - *Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria*. Tese de Mestrado, Universidade do Minho. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.
- Roque, J.; Lourenço, P.B., 2003 - “Técnicas de intervenção estrutural em paredes antigas de alvenaria”, *Construção Magazine*, Vol. 7, p. 4-10. Disponível em www.civil.uminho.pt/masonry.