

Caracterização Mecânica de Paredes Antigas de Alvenaria. Um Caso de Estudo no Centro Histórico de Bragança.

João C. Almendra Roque ¹

*Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior de Tecnologia,
Departamento de Mecânica Aplicada
Campus de Santa Apolónia, Apartado 134, 5301-857 Bragança, Portugal*

Paulo B. Lourenço ²

*Universidade do Minho, Departamento de Engenharia Civil
Azurém, P – 4800-058 Guimarães, Portugal*

RESUMO

Este artigo refere algumas técnicas, de carácter não-destrutivo, actualmente disponíveis, para a caracterização *in-situ* do estado das alvenarias antigas do ponto de vista mecânico-estrutural. Faz-se a análise e comentários dos resultados da sua aplicação num edifício antigo, com paredes estruturais em alvenaria de pedra, inserido no Centro Histórico de Bragança.

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de intervenção em estruturas antigas de alvenaria parece cada vez mais urgente para a conservação e reabilitação do nosso património cultural e arquitectónico. Em meios urbanos, onde a pressão imobiliária é mais intensa, aliado à necessidade de preservação de valores patrimoniais (se for o caso), associa-se, frequentemente, a necessidade de rentabilizar readaptando a utilização de edifícios antigos a novos desempenhos.

Particularmente em estruturas antigas, atendendo à sua fragilidade, as intervenções pressupõem rigor, minúcia e formação técnica específica na elaboração de um rigoroso estudo de diagnóstico de suporte à tomada de decisões sobre as metodologias e técnicas a adoptar.

Do ponto de vista da reabilitação estrutural este estudo não deve fazer-se sem contemplar um conjunto de inspecções de avaliação estrutural e a caracterização tipológica e mecânica das alvenarias envolvidas. Com efeito, o desempenho estrutural das alvenarias está muito dependente das características da secção das paredes (simples ou compostas, grau de imbrincamento, etc.) e dos materiais (dimensões das unidades, percentagem de vazios, estado de degradação, etc.) [Roque, 2002].

¹ Assistente do 2º triénio

² Professor Associado

2. O CENTRO HISTÓRICO DE BRAGANÇA.

O Centro Histórico de Bragança é caracterizado por duas grandes áreas, zona I e zona II, de acordo com a classificação do Gabinete Técnico Local.

A zona I, a mais antiga, é circunscrita pelas muralhas e envolve o núcleo urbano vulgarmente designado por “Cidadela” (Figura 2.1).

Nesta zona predominam ruas estreitas e sinuosas, ladeadas por habitações com tipologias semelhantes, que terminam, por vezes, em pequenas praças ou largos. Os edifícios de piso único ou de dois pisos, com fachadas lisas e de construção pobre, apresentam-se, na generalidade, muito degradados, com fracas condições de habitabilidade, abandonados ou habitados por população maioritariamente idosa.

Os materiais predominantes na construção das paredes são fundamentalmente a pedra irregular (de xisto, ou, menos vulgar, de granito) e o barro e, nalguns casos, paredes de tabique fasquiado ou não-fasquiado. Os pavimentos e as coberturas são em estrutura de madeira.

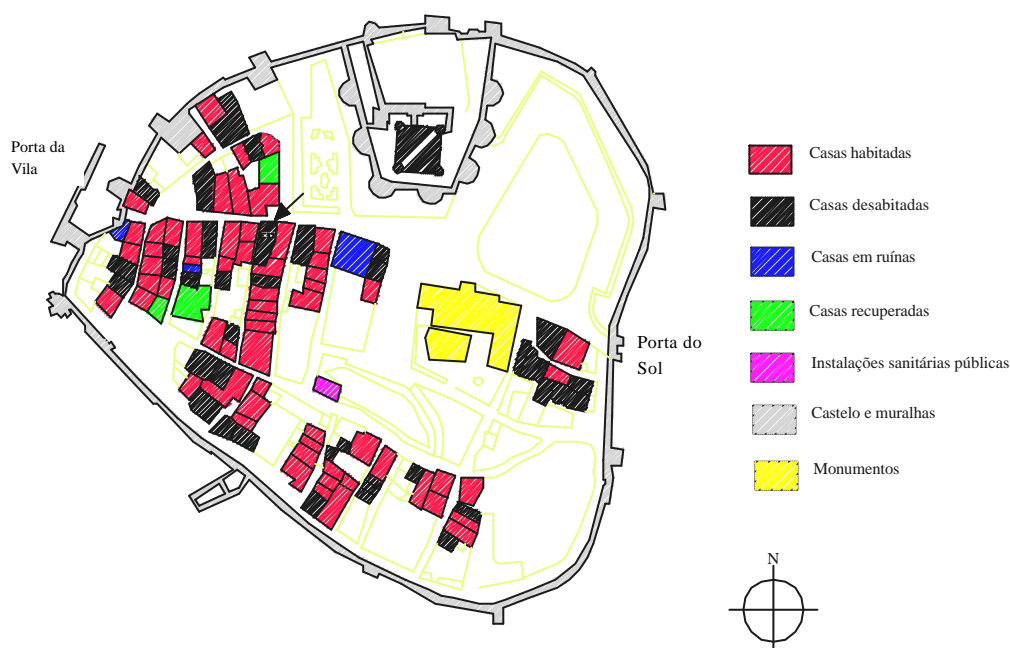


Figura 2.1 - Mapa da zona I do Centro Histórico de Bragança - “A Cidadela” [Luso, 2002].

Extra-muros, nos arrabaldes da zona I, desenvolve-se a zona II, mais recente e com características urbanas e das construções representativas de maior poder económico.

O caso de estudo, objecto deste trabalho, é constituído por uma habitação (com o número de porta 26) localizada na “Cidadela” e com disposição em gaveto. É delimitada a nascente e a sul pela habitação contígua, por paredes geminadas, com a qual partilha a testa do quarteirão e a poente pela estreita rua “Duque D. Teodósio I”.

A habitação está devoluta e é, neste momento, propriedade da Câmara Municipal de Bragança. Vem designada nos anexos ao plano de pormenor daquela zona histórica, referentes à caracterização das edificações, por “edifício E35” (ver localização na Figura 2.1). A habitação está caracterizada como arquitectura vernacular, com interesse, existindo a necessidade de realizar a sua recuperação de acordo com o grau de intervenção aí prescrito:

“Conservação genérica do exterior do imóvel com possibilidade de remodelação controlada, preservando obrigatoriamente as fachadas de qualidade”.

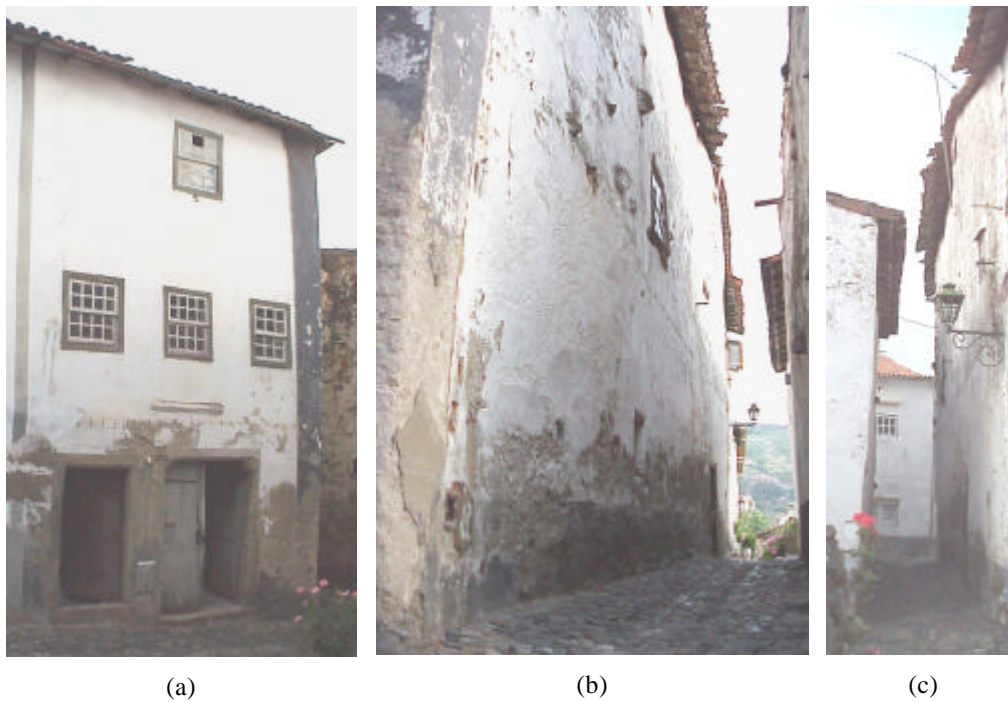


Figura 2.2 - Aspecto exterior das fachadas do edifício (caso de estudo): (a) fachada principal; (b) fachada lateral (vista N-S); (c) fachada lateral (vista S-N).

Não se conhecem quaisquer registos históricos relativos à data da construção desta habitação, à sua concepção original ou a, eventuais, intervenções e alterações posteriores. A julgar pelos estudos arqueológicos que decorreram durante a elaboração do presente trabalho, com levantamento do soalho do rés-do-chão para escavações, é provável que a habitação date da época do aparecimento da Cidadela (séc. XII). Aliás, na zona circunscrita às muralhas, a generalidade das edificações, com excepção dos monumentos históricos mais importantes, como a “Domus Municipalis”, a Igreja de Santa Maria e o Castelo, não se conhecem documentos que permitam precisar a data da sua construção.

A habitação tem uma configuração em planta essencialmente rectangular e é constituída por três pisos, o rés-do-chão e dois pisos elevados.

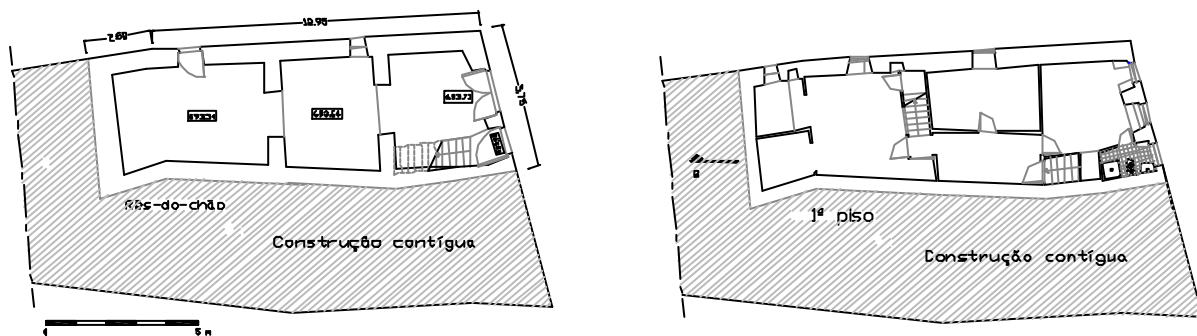


Figura 2.3 – Configuração em planta (rés-do-chão e 1º piso elevado)

A estrutura é constituída por paredes mestras em alvenaria de pedra irregular (xisto), rebocadas, e por pavimentos e cobertura em madeira. As aberturas dos vãos são reforçadas com padieiras de madeira. A espessura das paredes varia dos 0.75 m na base até aos 0.50 m no topo com redução da secção ao nível dos pavimentos. A estrutura dos pavimentos, em madeira, é constituída por um reticulado ortogonal de vigas, formando vigas principais e secundárias. As vigas principais apoiam sobre as paredes de empena. Os soalhos de madeira estão assentes em vigas secundárias transversais às vigas principais. As escadas de acesso entre pisos são também em madeira.

A cobertura, sem asnas, é constituída por vigas principais apoiadas nas paredes de empena, sem qualquer travamento.

As paredes divisórias interiores são de alvenaria de pedra, no rés-do-chão, e de tabique, não-fasquiado no 1º piso e fasquiado no 2º piso. O estado de conservação geral da estrutura, evidenciado por um conjunto de patologias que se distribuem de forma generalizada por toda a construção, é deficiente. As paredes apresentam deformações excessivas e um conjunto de fendas de espessura variável, algumas sintomáticas de separação entre paredes ortogonais. Desta forma parece justificada a necessidade de uma avaliação da integridade estrutural e a caracterização mecânica da alvenaria das paredes.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ALVENARIA

Com o objectivo de caracterizar a alvenaria das paredes estruturais foram abertas no paramento interior da parede de empena, através da remoção do reboco, quatro janelas com cerca de 1.20 x 1.20 m² cada. Conforme se representa esquematicamente na Figura 3.1, duas janelas localizam-se no rés-do-chão e duas janelas localizam-se no primeiro andar.

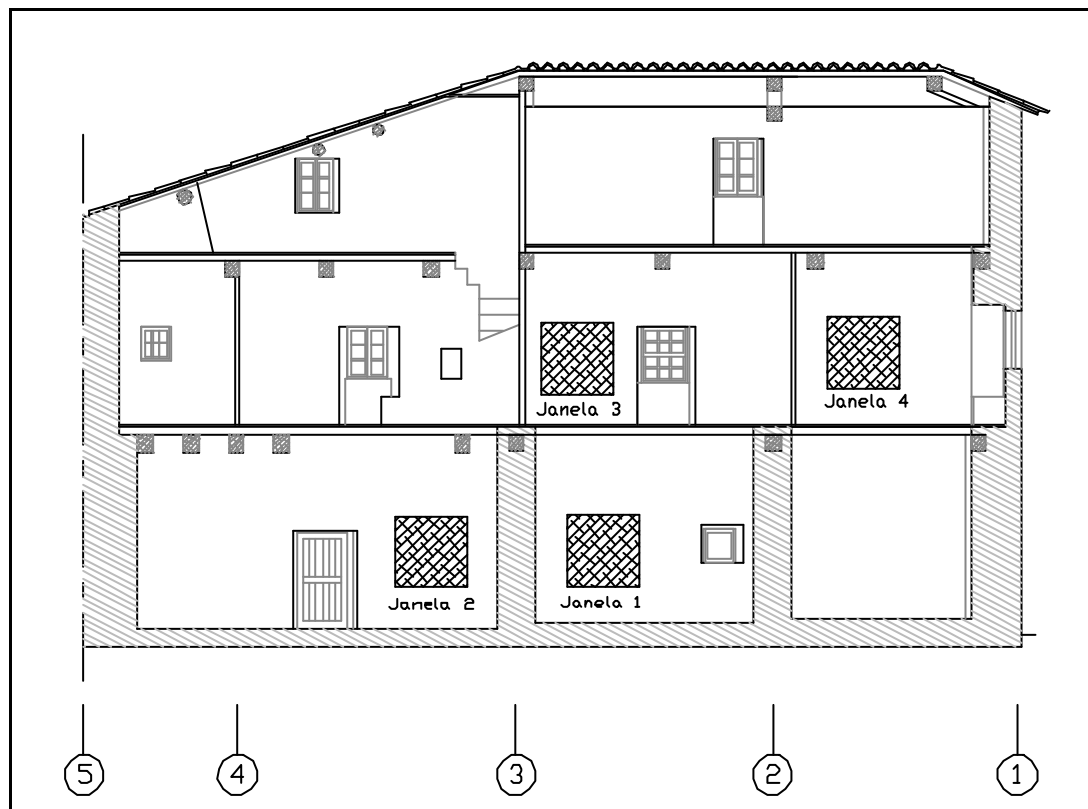


Figura 3.1 – Corte longitudinal do edifício. Localização das janelas realizadas no reboco na parede de empena (face interior).

O reboco interior, com a espessura total aproximada de 3.5 cm é constituído por uma camada (aparentemente original) de regularização da face da alvenaria, composta por restos de pedaços cerâmicos aglutinados com argila e posteriores camadas de reboco com argamassa de cal, sendo notórias várias camadas posteriores de reboco e pintura. O reboco está em razoável estado de conservação, apesar de afectado pela fendilhação estrutural, e confere protecção à desagregação da argila das juntas.

A inspecção visual das janelas abertas parece identificar alvenaria de pedra ordinária, muito irregular, em forma e dimensão (pequena a média), aglutinada com barro. As juntas, muito irregulares, aparecem com pequenas pedras auxiliares de assentamento ou de enchimento. Contudo a qualidade aparente da alvenaria nas diferentes janelas parece distinta. Na janela 4 é visível a incorporação de barrote de madeira, provável sinal de construção pobre que aproveitava todos os materiais disponíveis (Figura 3.2).

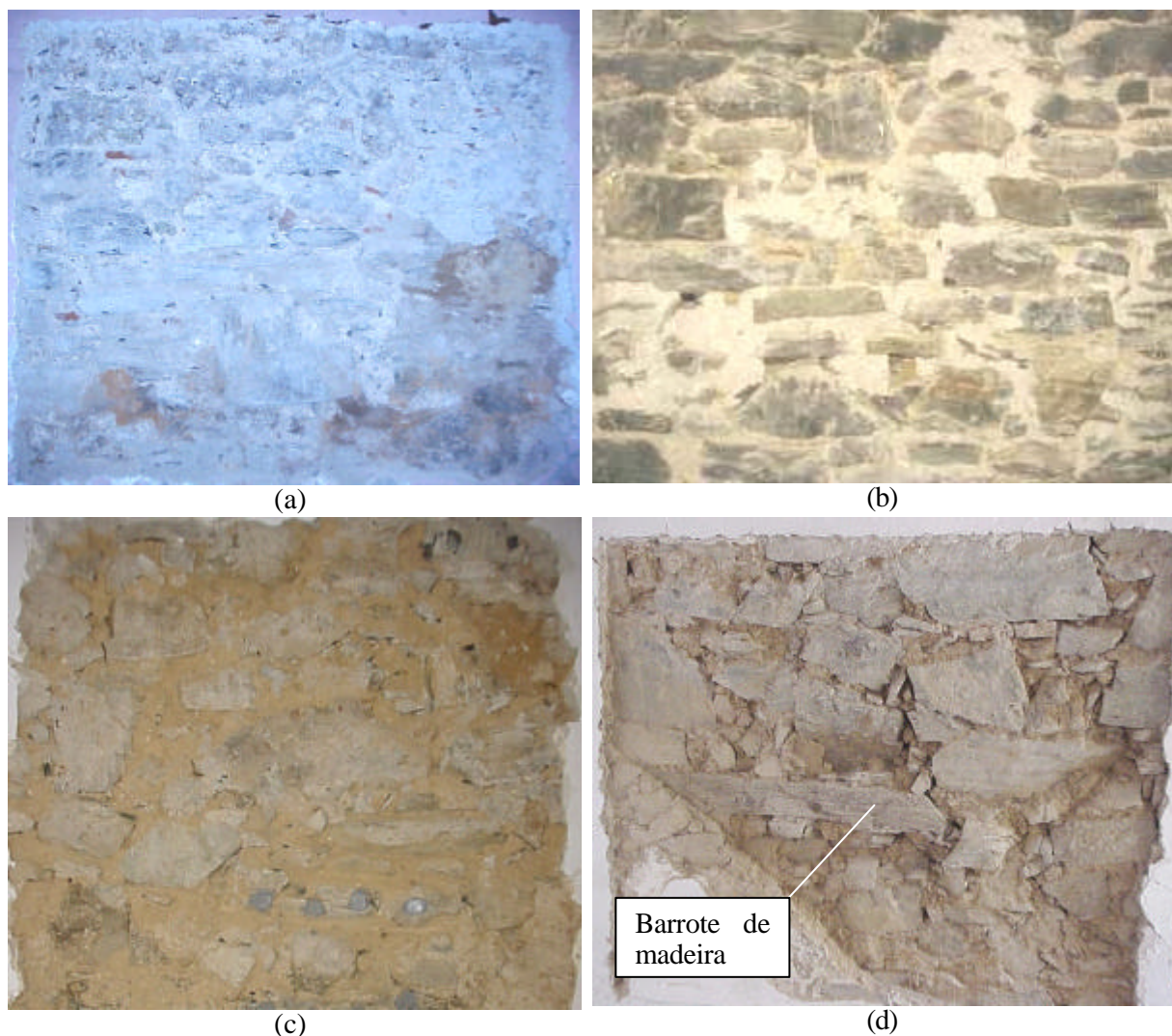


Figura 3.2 - Aspecto da alvenaria das paredes: (a) e (b) janelas 1 e 2 (rés-do-chão); (c) e (d) janelas 3 e 4 (1º andar).

As paredes do rés-do-chão, com excepção da zona entre os eixos 1 e 2, apresentam melhor estado de conservação geral que as dos pisos elevados. Entre os eixos 4 e 5 (janela 2), a alvenaria, mais regular, aparenta melhor qualidade construtiva. É possível, embora não se

tenham encontrado vestígios que confirmem esta hipótese, que esta zona tenha sido executada posteriormente numa extensão à habitação original.

A dimensão das pedras, face à espessura das paredes, e o aspecto das ombreiras, sem lancis, caso da porta existente entre o eixo 3 e o eixo 4, fazem prever que se trate de alvenaria de dois paramentos.

3.1. Inspeção com Câmara Boroscópica

Complementarmente à simples inspeção visual, foram realizadas inspeções visuais com auxílio de câmara boroscópica em todas as janelas, excepto na janela 4, e em outras localizações como junto dos apoios das vigas na fachada lateral. Para o efeito, na janela 1 foram efectuados dois furos, com 12 mm de diâmetro e 60 cm de profundidade. Nos restantes casos, aproveitou-se a existência de fendas, furos ou folgas nas juntas.

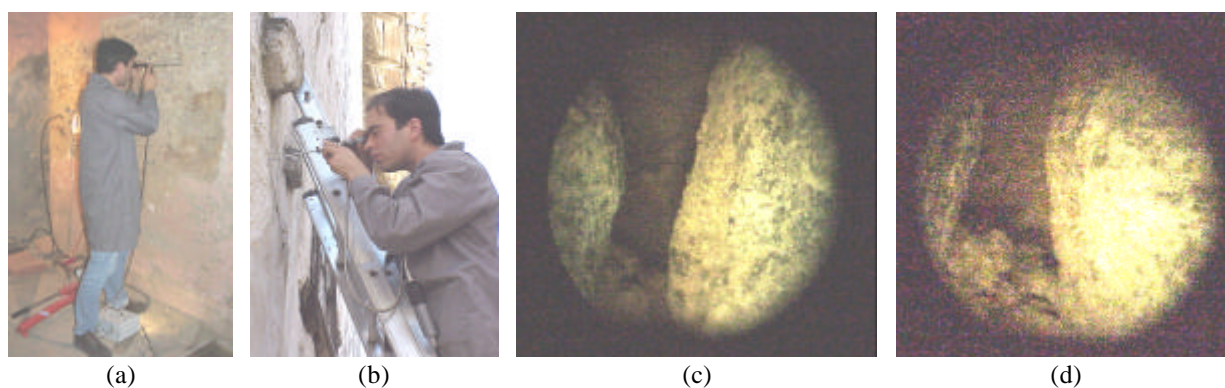


Figura 3.3 - Inspeção com câmara boroscópica: (a) janela 1; (b) exterior; (c) e (d): aspecto típico das observações: vazios e elementos desligados.

O resultado das observações não permitiu identificar paramentos distintos na secção, mas confirmou a existência de uma grande percentagem de vazios interiores, alguns de grandes dimensões, e um elevado estado de desagregação material (Figura 3.3-c e Figura 3.3-d). A especial incidência destes fenómenos na zona central das paredes parece confirmar a presença de alvenaria de dois paramentos com fraco imbrincamento entre si.

3.2. Inspeção com Macacos Planos

Os ensaios com macacos planos constituem uma versátil e poderosa técnica, de carácter essencialmente não-destrutivo, que permite determinar, *in-situ*, o estado de tensão local instalado numa parede (ensaio de **macacos planos simples**), bem como estimar o módulo de elasticidade e a capacidade resistente à compressão da sua alvenaria (ensaio de **macacos planos duplos**).

O princípio do ensaio com macacos planos simples, em paredes de alvenaria, baseia-se na eliminação local das tensões instaladas na parede, com a abertura de um rasgo horizontal, seguida pela compensação das tensões aliviadas através da pressurização controlada do macaco plano instalado no rasgo efectuado. Estes procedimentos são antecidos pelo registo da distância entre pontos de referência, dispostos perpendicularmente, acima e abaixo, à orientação da ranhura (Figura 3.4).

Existem diferentes configurações geométricas de macacos planos. Neste trabalho foram utilizados macacos rectangulares de 10.2×40.6 cm e 0.38 cm de espessura .

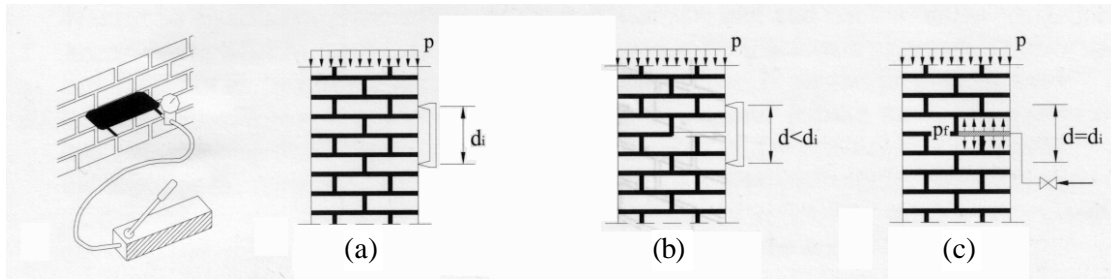


Figura 3.4 - Fases do ensaio com macacos planos simples ($p_f = p$ quando $d = d_i$) [Lourenço & Gregorczyk, 2000]: (a) registo da distância inicial entre miras; (b) registo da distância entre miras, após abertura do rasgo; (c) introdução e pressurização do macaco plano.

A inspeção com macacos planos duplos difere, relativamente à de macacos planos simples, nos procedimentos do ensaio. Agora, são utilizados dois macacos planos inseridos em dois rasgos horizontais paralelos (Figura 3.5). Desta forma, a parede compreendida entre as rasgos é “isolada” da alvenaria envolvente formando um “provete” que se admite sob estado de tensão nulo. Os pontos de referência (miras), para controlo do ensaio, estão localizados na alvenaria compreendida entre os rasgos.

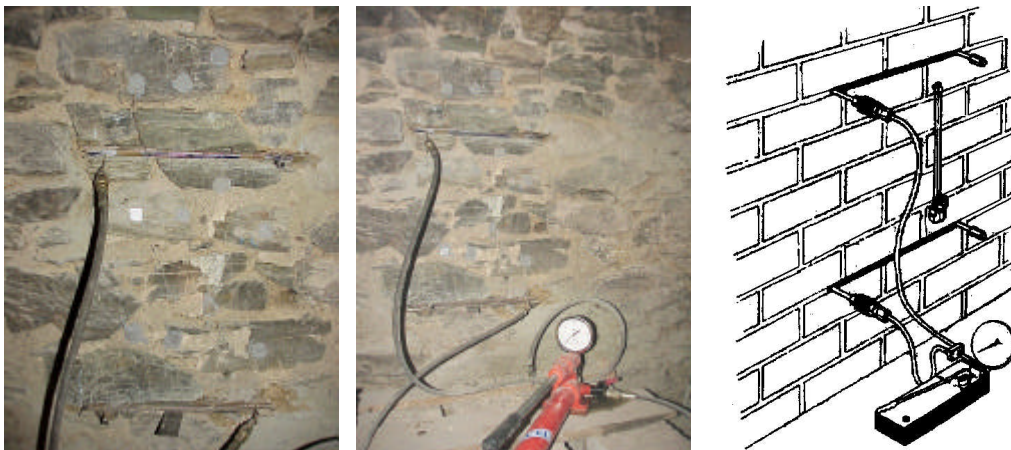


Figura 3.5 - Aspecto da disposição do equipamento num ensaio de macacos planos duplos.

Estes ensaios estão normalizados de acordo as normas da ASTM [1991], respectivamente, C1196 e C1197, e baseiam-se nas seguintes hipóteses:

- o estado de tensão local é de compressão uniforme;
- a alvenaria à volta do rasgo é homogénea;
- a alvenaria deforma-se simetricamente em relação ao rasgo;
- a tensão aplicada pelos macacos à alvenaria é uniforme;
- a alvenaria deve estar em regime elástico, isto é, os valores de tensão estimados devem, quando comparados com os da resistência à compressão, assegurar que a alvenaria está em regime elástico.

Macacos Planos Simples

A localização para a realização dos ensaios foi de difícil escolha, devido à configuração irregular da alvenaria, . A ausência de juntas horizontais regulares dificultou a abertura de rasgos planos (com a geometria dos macacos), seja pela fraca coesão dos

enchimentos de barro e pequenas pedras, que facilmente se desagregavam, seja pela necessidade de cortar as unidades de pedra intersectadas pelo rasgo.

A configuração irregular das faces do paramento também afectou a distribuição das miras de referência, coladas sobre a face de pedras, para controlo dos movimentos da parede (Figura 3.6-b). Para a colagem das miras de referência procedeu-se à prévia limpeza das superfícies com uma trincha e utilizou-se uma cola epoxídica rápida. Após a secagem da cola, procedeu-se ao registo das distâncias entre miras, por fiada, utilizando para o efeito um comparador de fendas com a precisão real de uma milésima de milímetro (Figura 3.6-a).

Os rasgos foram abertos através da remoção de argila e do corte e perfuração de unidades de pedra com recurso a uma máquina de corte de disco rotativo apropriado, berbequim eléctrico com broca de 12 mm de diâmetro e, ainda, ao auxílio de um escopro largo (“talhadeira”) e maceta.

Após a abertura e limpeza dos rasgos procedeu-se à introdução do macaco plano, rectangular (406 x 102 mm² de área e 3.8 mm de espessura) inserido entre duas chapas-almofada metálicas rectangulares com 2 mm de espessura. Para melhorar o ajuste do macaco às irregularidades do rasgo utilizaram-se também chapas de aço de menores dimensões [ASTM, 1991].

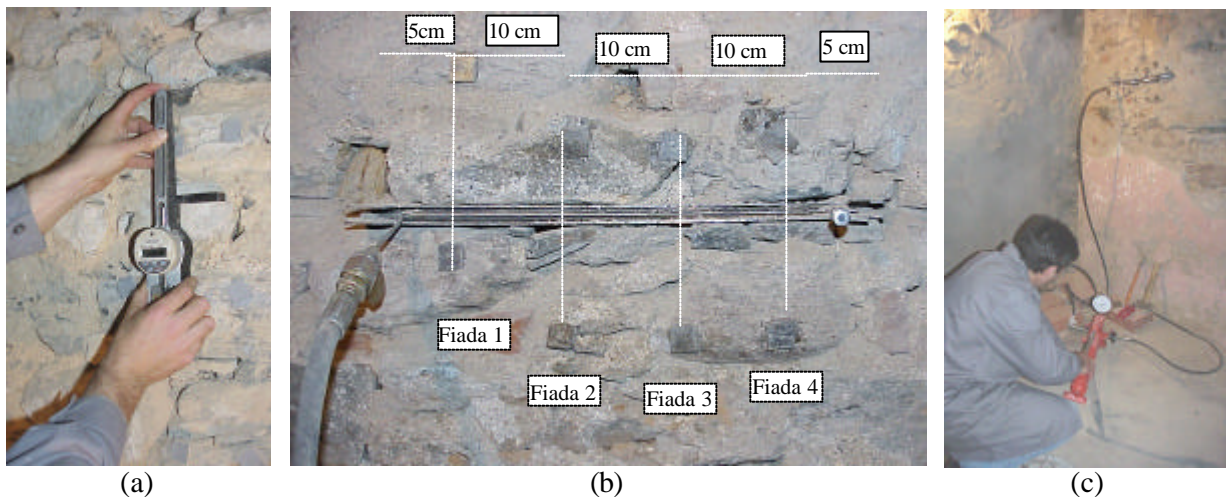


Figura 3.6 -Alguns aspectos da realização dos ensaios de macacos planos: (a) controlo de distâncias de referência; (b) disposição do macaco plano na ranhura; (c) pressurização do macaco.

Antes de se proceder ao ensaio propriamente dito, foi efectuado um ajuste final do macaco, e respectivas almofadas metálicas, ao rasgo com a aplicação de uma pressão aproximadamente equivalente a 50% da tensão local estimada na parede (cerca de 0.12 MPa). Verificaram-se com frequência, face à fraca coesão da parede, movimentos de afastamento relativo entre as miras de algumas fiadas após a introdução das chapas de ajustamento dos macacos aos rasgos. Este resultado é evidente nos gráficos deslocamento relativo-posição da fiada, a seguir apresentadas.

Foram então realizados dois ensaios por rasgo. Em cada ensaio efectuaram-se 8 incrementos sucessivos de 0.05 MPa, ensaiando assim valores de tensão acima e abaixo da tensão esperada. Para cada incremento de tensão fez-se o registo, em 3 leituras consecutivas, da distância entre as miras de cada fiada (Figura 3.6).

Os valores da tensão instalada na parede foram, posteriormente, estimados utilizando a seguinte relação:

$$s_{\text{parede}} = K_m \cdot K_a \cdot p$$

onde:

K_m - factor de calibração que tem em consideração a rigidez do macaco plano à deformação e o atrito do sistema hidráulico;

K_a - razão entre a área de contacto do macaco plano e a área do rasgo;

p - pressão lida no manómetro dos macacos planos.

A prévia calibração dos macacos conduziu aos seguintes factores de calibração dos macacos planos:

Macaco plano 1: $K_{m1} = 0.80$

Macaco plano 2: $K_{m2} = 0.78$

Para facilitar a determinação da razão (K_a) entre a área de contacto do macaco plano e a área da ranhura, foi interposto, entre os macacos e as chapas metálicas de protecção, papel químico envolto em folhas de papel branco.

Na estimativa da tensão instalada na parede, adoptam-se para as acções os seguintes valores:

p. p. da cobertura = 0.2 kN/m^2

p. p. dos pavimentos = 0.2 kN/m^2

p. p. da parede = 18 kN/m^3

sobrecarga de utilização = 1.5 kN/m^2

Consideraram-se duas situações, uma correspondente ao estado actual, com a casa devoluta, apenas sob a acção do peso próprio, e outra correspondente à habitação em serviço, designada por PP+SC (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Valores de tensão previstos para cada uma das janelas

Localização	Peso Próprio [MPa]	PP+SC [MPa]
Janelas 1 e 2	0.12	0.13
Janelas 3 e 4	0.07	0.074

Resultados da Inspeção com Macacos Planos Simples

Alguns resultados obtidos parecem não ser representativos do comportamento da parede, pois afastam-se significativamente dos restantes. Presumivelmente, a origem destes fenómenos prende-se com assimetrias locais de rigidez relativa da alvenaria e/ou com condições de deficiente ajuste dos macacos aos rasgos. Este parece ser o caso dos resultados da fiada 4, nas janelas 1 e 3, e da fiada 1 e fiada 4 na janela 2. Na janela 4 não foi possível a realização de ensaios com macacos planos em virtude da fraca coesão e da fragilidade apresentada inviabilizar a abertura de rasgos.

A análise dos resultados permite concluir, como era expectável, que face à heterogeneidade material e morfológica, a distribuição de tensões aplicadas na secção da parede não é uniforme. No entanto, os valores médios da tensão instalada que parecem restituir a distância inicial entre miras resumem-se na Figura 3.7, reproduzindo bem os valores esperados da Tabela 3.1.

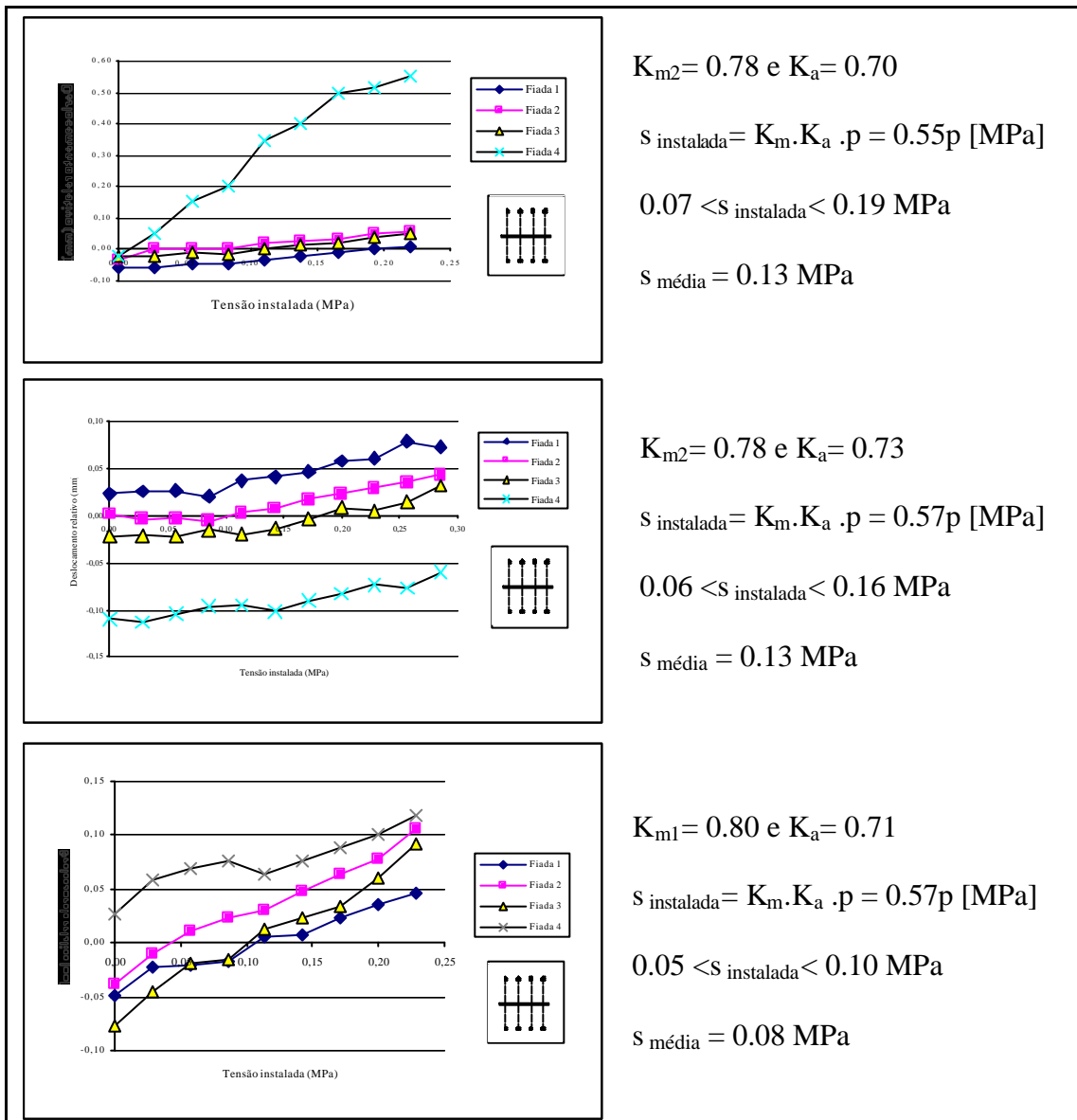


Figura 3.7- Andamento dos deslocamentos relativos entre miras em função da tensão instalada (valores corrigidos) na janela 1, 2 e 3.

Macacos Planos Duplos

Os procedimentos e dificuldades de ensaio com macacos duplos foram idênticos aos referidos para os ensaios com macacos simples.

Os ensaios de macacos duplos realizaram-se com incrementos sucessivos de pressão até ocorrer a rotura da alvenaria (manifestada pela ausência de reacção à aplicação de tensão no macaco). As relações tensões-extensões obtidas dos ensaios (valores de tensão corrigidos), que se representam na Figura 3.8 permitem estimar dois parâmetros mecânicos da alvenaria: (i) o módulo de elasticidade; (ii) a tensão de rotura à compressão.

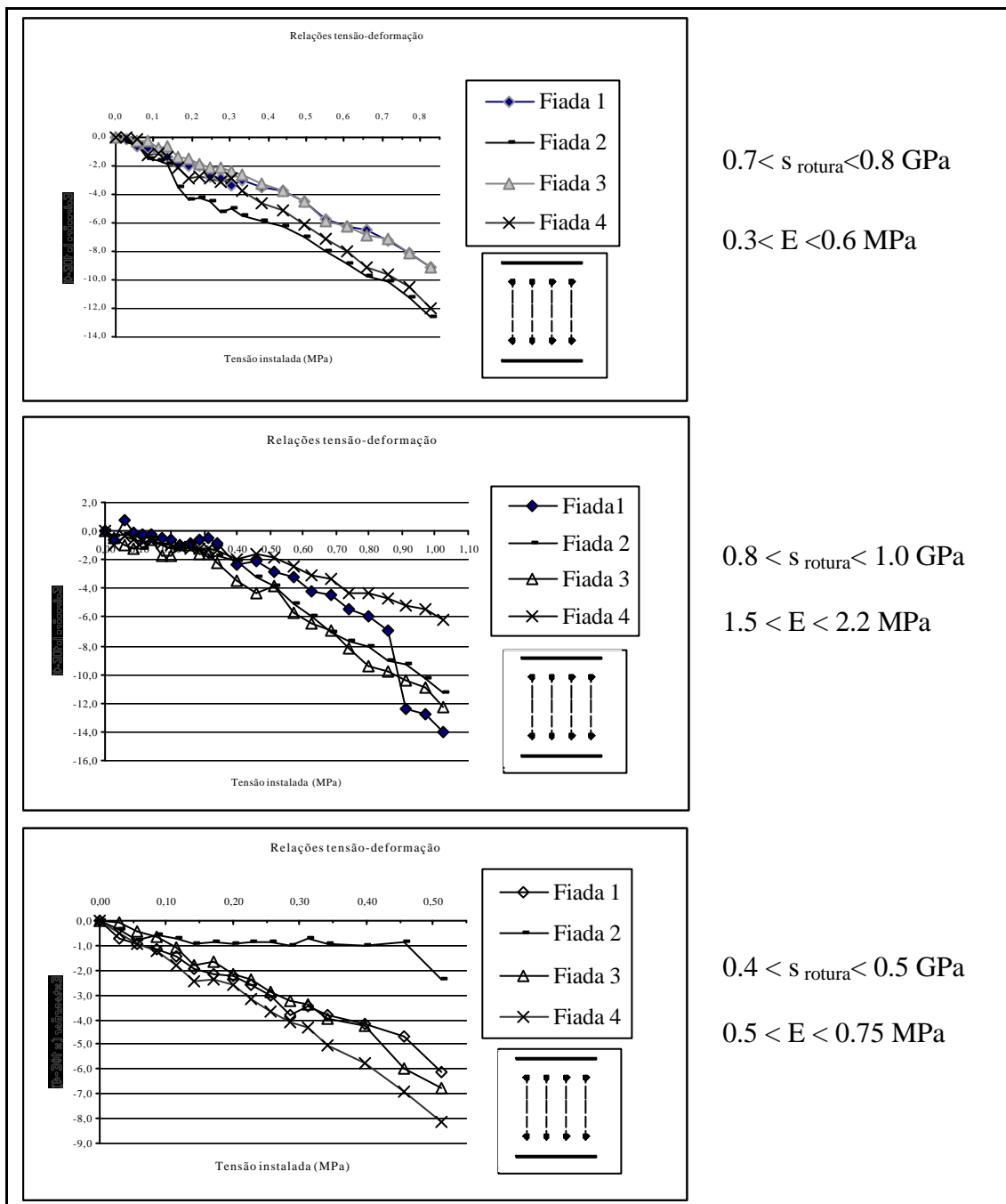


Figura 3.8 - Relações tensões-extensões da alvenaria avaliadas na janela 1, 2 e 3.

Tabela 3.2 –Resumo das propriedades mecânicas estimadas para a alvenaria

Localização	Tensão prevista [MPa]	Tensão média medida [MPa]	Tensão de rotura [MPa]	Módulo de elasticidade[GPa]
Janela 1	0.12	0.13	0.70 - 0.80	0.30 - 0.60
Janela 2	0.12	0.13	0.80 - 1.00	1.50 - 2.20
Janela 3	0.07	0.09	0.40 - 0.50	0.50 - 0.75
Janela 4	0.07	*	*	*
Valores médios	-	-	0.7	1.0

* Não se realizaram ensaios com macacos planos.

4. CONCLUSÕES

As tensões instaladas, estimadas com os ensaios de macacos planos simples, são da ordem dos valores previstos. A semelhança entre as tensões estimadas e as tensões medidas é um bom indício de que a distribuição de tensões na secção é aproximadamente uniforme.

Relativamente às características mecânicas da alvenaria, a análise dos resultados permite confirmar aquilo que a inspecção visual parecia prever. Com efeito, a alvenaria da janela 2, apresenta melhores propriedades que os outros casos inspeccionados.

Os valores de tensão instalados são moderados face às características mecânicas evidenciadas pela alvenaria das paredes. Com efeito, os valores estimados para a tensão de rotura permitem concluir que a capacidade resistente da alvenaria à compressão, é, sob a acção do peso próprio, cinco a oito vezes superior aos valores da tensão instalada. A segurança da alvenaria das paredes, como material, para tensões verticais parece assim estar assegurada.

Por último, na ausência de melhor informação, os resultados obtidos neste estudo devem constituir uma referência para futuras intervenções nesta zona do Centro Histórico de Bragança. Refere-se ainda que, a obtenção de valores mais representativos, para aquelas características mecânicas, exige uma campanha experimental mais abrangente, que extravasa o âmbito do presente estudo.

5. REFERÊNCIAS

ASTM, “In-situ compressive stress within solid unit masonry estimated using flat-jack method”. ASTM Standard C 1196-91, 1991.

ASTM, “In-situ measurement of masonry deformability properties using flat-jack method”. ASTM Standard C 1197-91, 1991.

Lourenço, P., Gregorczyk, P., “Review on Flat-Jack Testing”. Engenharia Civil, nº 9, Guimarães, pp. 39-50, 2000.

Luso, E., “Contribuição para Intervenções no Centro Histórico de Bragança”, Tese de mestrado, Universidade do Minho, 2002.

Roque, J. A., “Reabilitação Estrutural de Paredes Antigas de Alvenaria”. Tese de mestrado, Universidade do Minho, Setembro 2002.