

# As paredes de tabique em Viseu – Detalhes construtivos e caracterização material

## Tabique walls in Viseu – Constructive details and material characterization

José Padrão  
João Miranda Guedes  
Jorge Pinto  
António Arêde

### Resumo

Este documento dá a conhecer a pesquisa realizada em torno das paredes de tabique do património edificado da cidade de Viseu. Aproveitando uma campanha de inspeção que envolveu 10 edifícios do seu centro histórico, foram criadas bases de dados com as características dos elementos constituintes destas paredes tradicionais e analisados pormenores construtivos que se revelaram da maior importância para a compreensão do comportamento global destes elementos. A recolha de amostras de elementos de madeira, de argamassa e de ligadores metálicos permitiu ainda realizar ensaios laboratoriais para determinação das suas propriedades físicas e mecânicas. O artigo constitui, por isso, um importante elemento de consulta para quem pretende conhecer as características das paredes de tabique e intervir em ações de reabilitação/conservação de edifícios que utilizam estes elementos construtivos, bastante comuns nas construções antigas em Portugal.

### Abstract

This document presents the research done on the tabique walls of the built heritage of the city of Viseu, Portugal, which included an inspection campaign on 10 buildings located at the historic centre of this city. It allowed creating databases with the constituent elements and construction details of these traditional timber walls, which gave guidance to understand the overall behaviour of these elements. The collection of timber, mortar and metal connectors' samples allowed carrying out laboratory tests to determine their physical and mechanical properties. Therefore, this article constitutes an important element of consultation for those who want to know the characteristics of the tabique walls and intervene in buildings that use these construction elements, which are quite common in the Portuguese old buildings.

Palavras-chave: Paredes de tabique / Pormenores construtivos / Madeira / Argamassa / Ligadores metálicos / Caracterização material

Keywords: Tabique walls / Constructive details / Timber / Mortar / Metallic connectors / Material characterization

## José Padrão

Professor Adjunto  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu  
Viseu, Portugal  
jpadrao@estgv.ipv.pt

## João Miranda Guedes

Professor Associado  
Departamento de Engenharia Civil da Faculdade  
de Engenharia da Universidade do Porto  
Porto, Portugal

## Jorge Pinto

Professor Auxiliar  
Escola de Ciências e Tecnologia da Universidade  
de Trás-os-Montes e Alto Douro  
Vila Real, Portugal

## António Arêde

Professor Associado  
Departamento de Engenharia Civil da Faculdade  
de Engenharia da Universidade do Porto  
Porto, Portugal

## Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

## Legal notice

*The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.*

PADRÃO, J. [et al.] – As paredes de tabique em Viseu – Detalhes construtivos e caracterização material. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 14. ISSN 2183-8488. (novembro 2020) 71-84.

## 1 Introdução

É uma ideia comumente aceite, mesmo por alguns especialistas ligados à indústria da construção, que as paredes de tabique (PT), constituídas por um esqueleto de tábuas e prumos de madeira sobre o qual é pregado um ripado horizontal (também de madeira) que recebe a argamassa de enchimento e acabamento, funcionam como paredes secundárias, sem qualquer função estrutural, ou capacidade portante significativa. Embora surjam em fachadas, estas paredes, que existem na maioria dos edifícios antigos em Portugal, encontram-se preferencialmente no interior das construções, funcionando como paredes divisórias.

Tomando como ponto de partida a investigação realizada em 10 edifícios situados no centro histórico de Viseu (Figura 1), e que se consideram representativos da arquitetura vernácula desta região, constatou-se que as PT faziam parte da sua estrutura resistente, assumindo um papel relevante no seu comportamento estrutural. Esta investigação permitiu ainda efetuar a caracterização detalhada dos diferentes elementos construtivos por, à data da sua realização, estes edifícios estarem a ser sujeitos a obras profundas de reabilitação que, em alguns casos, envolveram a sua demolição total ou parcial.



Figura 1 Localização dos edifícios estudados

O objetivo deste documento é apresentar a informação e os resultados da análise efetuada nesta investigação relacionada com as PT, e que incluem dados como: a localização no edifício, a geometria, os materiais empregues e algumas das suas propriedades mecânicas, bem como detalhes construtivos que ajudam a compreender a importância e o papel destas paredes no comportamento estrutural global destes edifícios. Conhecer bem os materiais e os processos construtivos utilizados na sua construção é a melhor forma de evitar intervenções de reabilitação desadequadas e/ou desproporcionadas [1].

A investigação existente sobre as PT ainda é relativamente limitada. No entanto, dentro dos objetivos deste artigo, destaca-se o trabalho realizado na UTAD (Vila Real, Portugal), focado na caracterização geométrica e material de edifícios localizados no Nordeste de Portugal ([2], [3], [4] e [5]), e no Instituto Politécnico de Viseu, que, aos aspetos anteriormente citados, acrescentou o estudo dos pormenores construtivos do património edificado na região de Viseu ([6], [7] e [8]).

## 2 Caracterização das paredes de tabique

A construção da PT envolvia a utilização de materiais distintos, com diferente comportamento mecânico, durabilidade, etc.: (i) madeira maciça em tábuas, prumos e ripas, (ii) argamassa no enchimento e acabamento das paredes e (iii) ligadores metálicos. Em regra, estes materiais eram obtidos na região, o que tornava este processo muito dependente dos recursos naturais locais e do nível de conhecimento dos construtores, entre outros fatores (Figura 2). As PT podem ser classificadas como paredes de tabuado simples ou duplo, em função do número de camadas de tábuas justapostas: verticais, ou verticais e diagonais.

A investigação que suportou este trabalho mostrou que o sistema construtivo das PT sofreu evoluções ao longo do tempo que abrangeram os três materiais anteriormente referidos. Este facto permite, por exemplo, situar as construções dos edifícios em épocas distintas. O Quadro 1 evidencia as principais diferenças evolutivas detetadas, enquadradas em dois sistemas construtivos designados como “mais antigo” e “mais recente”.

A partir de levantamentos efetuados, identificaram-se diferentes tipologias construtivas de PT. No Quadro 2 apresentam-se as quatro tipologias mais comuns observadas nos edifícios investigados, acompanhadas por uma breve descrição e uma fotografia de referência. Na campanha de inspeção foi possível proceder à medição dos elementos de madeira em mais de 1100 locais distintos das PT.

No Quadro 3 apresentam-se os valores médios das dimensões dos elementos de madeira estudados, em função das tipologias construtivas indicadas no Quadro 1. Utiliza-se a nomenclatura apresentada na Figura 3. A tipologia mais antiga (T1S) abarca as construções edificadas até metade do século XIX. A tipologia T2S (evolução da T1S) compreende construções entre meados e

finais do século XIX, embora existam exemplos desta tipologia em construções do século XX edificadas com menores recursos financeiros. As tipologias mais recentes (T3S e T4D) correspondem a construções realizadas entre o final do século XIX e o século XX.



Figura 2 Fatores que influenciam a tipologia e a construção de PT, adaptado de [9]

Nas PT simples, observa-se uma clara diferença entre a tipologia T1S (de construção mais antiga) e as restantes. Na T1S, as tábuas verticais são de secção aproximadamente quadrada e apresentam um grande espaçamento; as ripas são mais largas e encontram-se mais espaçadas. Entre as tipologias T2S e T3S não há diferenças

Quadro 1 Diferenças entre sistemas construtivos (as designações maior e menor, referem-se à comparação dos dois sistemas apontados)

Sistema construtivo mais antigo	Sistema construtivo mais recente
<b>Elementos de madeira</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>As tábuas verticais têm menor largura e disposição idêntica aos montantes das paredes de frontal. Apresentam um espaçamento maior.</li> <li>As ripas apresentam uma largura maior e um maior espaçamento. Têm secção retangular.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>As tábuas verticais têm uma largura bastante superior à sua espessura. Apresentam um espaçamento menor.</li> <li>As ripas têm uma largura menor e um espaçamento menor. Têm secção retangular ou trapezoidal (a mais usual).</li> </ul>
Nota: as PT mais recentes apresentam uma escolha mais cuidada dos elementos utilizados (secções mais homogéneas, sobretudo nas PT de melhor construção).	
<b>Argamassas</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Argamassas terrosas com partículas (pedras, restos de construção, etc.) de maior dimensão.</li> <li>Utilização de elementos de origem vegetal, como a palha, para melhoria da coesão.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Argamassas terrosas mais homogéneas.</li> <li>Utilização de cal como elemento de melhoria da coesão.</li> </ul>
<b>Ligadores metálicos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de ligadores em aço forjado, fabricados em pequenas oficinas locais.</li> <li>Ligadores com secção variável.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Utilização de ligadores em aço com baixa percentagem de carbono, fabricados industrialmente.</li> <li>Ligadores com secção constante.</li> </ul>

Nota: Entende-se por ligador metálico todo e qualquer elemento metálico (prego, cavilha, chapa, etc.) utilizado na ligação entre os elementos de madeira constituintes de uma PT, entre PT distintas e entre PT e as paredes de alvenaria ou elementos da estrutura do pavimento e/ou da cobertura. Neste contexto, entende-se por cavilha um prego de maior dimensão.

**Quadro 2** Classificação das PT segundo a sua tipologia construtiva

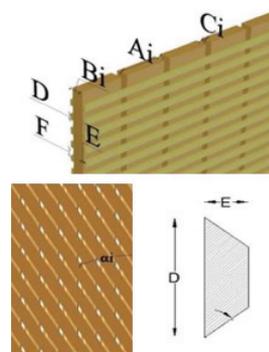
T1S	T2S
<p>PT simples, associada a uma época de construção mais antiga. Os elementos de madeira principais são prumos posicionados verticalmente. As ripas têm secção transversal aproximadamente retangular. Prumos e ripas são aplicados com grande afastamento.</p> 	<p>PT simples constituída por tábuas (principalmente costaneiras) verticais de secção transversal bastante irregular. É uma evolução da tipologia T1S (os prumos passam a tábuas que apresentam menor afastamento), mas de construção pouco cuidada. As ripas têm secção transversal retangular.</p> 
T3S	T4D
<p>PT simples, típica de uma construção mais recente. É constituída por tábuas verticais e por ripas previamente aparelhadas; a secção transversal das tábuas é tipicamente retangular e das ripas trapezoidal.</p> 	<p>PT duplo, associada a uma época de construção mais recente. É constituída por uma camada de tábuas verticais justaposta e pregada a uma camada de tábuas dispostas na diagonal; a secção das tábuas é retangular e das ripas trapezoidal.</p> 

**Quadro 3** Dimensão das tábuas de madeira, por tipologia construtiva (ver Figura 3)

Tipologia construtiva	Comparação por tipologia construtiva									
	Tábuas verticais (cm)						Ripas (cm)			
	A1	A2	B1	B2	C1	C2	$\alpha$ (°)	D	E	F
Paredes de Tabique Simples										
T1S	8,3	–	6,8	–	24,0	–	–	5,7	1,2	6,4
T2S	14,8	–	4,8	–	4,7	–	–	3,3	1,1	4,5
T3S	15,0	–	5,4	–	3,4	–	–	3,8	1,2	4,6
Paredes de Tabique Duplo										
T4D	18,0	21,3	5,7	3,4	2,6	2,5	31,21	3,4	1,4	3,8

tão significativas. Tendencialmente, as tábuas verticais da T3S têm maior espessura e encontram-se ligeiramente mais espaçadas do que as da tipologia T2S. As PT duplo, quando comparadas com as simples, apresentam tábuas verticais de maior largura e uma das tábuas é tendencialmente mais espessa que a outra. Verifica-se que o espaçamento, quer das tábuas verticais, quer das ripas, é menor do que nas PT simples.

O Quadro 4 apresenta a época de construção, o n.º pisos acima do solo, bem como o tipo de informação recolhida em cada um dos 10 edifícios analisados.



- Legenda:
- $A_i$  Largura das tábuas da camada  $i$ ;
  - $B_i$  Espessura das tábuas da camada  $i$ ;
  - $C_i$  Folga entre as tábuas da camada  $i$ ;
  - $D$  Largura da face exterior da ripa;
  - $E$  Espessura da ripa;
  - $F$  Espaçamento entre ripas;
  - $\alpha$  Ângulo das tábuas com o plano vertical.

**Figura 3** Nomenclatura utilizada na medição das tábuas de madeira das PT no Quadro 3

**Quadro 4** Dados sobre os edifícios inspeccionados

Edifícios	Período estimado de construção (*)	N.º pisos acima do solo	Tipologia das PT (**)	Informação recolhida
Edifício 1 <sup>(a)</sup>	Início Século XX	3 + sótão acessível	T2S, T3S e T4D	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos.
Edifício 2	Século XVI	2 + sótão acessível	T1S e T2S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos.
Edifício 3	Século XIX	4	T2S e T3S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos; – Recolha de amostras para caracterização experimental das suas propriedades; – Recolha de tramos de PT para ensaios laboratoriais.
Edifício 4	Século XIX	3	T2S e T3S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos; – Recolha de amostras para caracterização experimental das suas propriedades.
Edifício 5 <sup>(a)</sup>	Início Século XX	2	T3S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos.
Edifício 6	Século XIX	3	T2S, T3S e T4D	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos.
Edifício 7 <sup>(a)</sup>	Século XVIII	2	T1S, T2S e T3S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos.
Edifício 8	Século XIX	4	T2S, T3S e T4D	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos; – Recolha de amostras para caracterização experimental das suas propriedades.
Edifício 9 <sup>(a)</sup>	Século XV	3	T1S e T2S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos.
Edifício 10	Século XIX e início século XX	3 + sótão acessível	T2S e T3S	– Levantamento geométrico; – Pormenores construtivos; – Recolha de amostras para caracterização experimental das suas propriedades.

(\*) Informação estimada com base em dados fornecidos pelo proprietário

(\*\*) Ver Quadro 2

<sup>(a)</sup> Edifício de grande área de implantação (e.g. palácio, edifício público) e pé-direito elevado (>3,40m)

Outra característica singular do sistema construtivo das PT simples da região de Viseu é a inclusão de tábuas diagonais no plano da camada de tábuas verticais. O levantamento realizado mostrou que 33% das PT interiores (em 97 exemplares analisados) e 40 % das PT exteriores (em 30 exemplares analisados) apresentavam essas tábuas diagonais que intercetam as tábuas verticais e interrompem a sua continuidade em altura.

A análise destas PT simples apontou para que a utilização das tábuas diagonais fosse uma alternativa construtiva à ausência de ligação destas paredes a outros elementos estruturais principais dos edifícios (como por exemplo as paredes de alvenaria de granito). Tinham como finalidade aumentar a estabilidade da construção para impulsos ou movimentos horizontais. Foram encontradas diferentes disposições construtivas organizadas em 4 grupos principais: diagonais simples, diagonais duplas, diagonais em

tesoura e, nos casos em que existiam combinações das situações anteriores, diagonais compostas, que se ilustram nas Figura 4a a 4d. A configuração mais comum correspondeu à colocação da tábua diagonal a partir da base da parede junto a uma das extremidades (em cerca de 80% das paredes inspeccionadas, a tábua diagonal tem início no primeiro metro de desenvolvimento da parede), inclinada, em média, de um ângulo de 24º com a direção vertical, sendo ligada no topo aos frechais. As tábuas verticais eram colocadas posteriormente, sendo interrompidas pela passagem da diagonal, e ligavam-se a esta através de ligadores metálicos (pregos).

Note-se que no caso das PT duplo (T4D), as diagonais constituem uma camada de tábuas autónoma, justaposta e pregada à camada de tábuas verticais, dotando estas paredes de maior rigidez horizontal no seu plano, quando comparada com a das PT simples, mesmo quando contêm tábuas diagonais.



a) Exemplo de diagonais simples



b) Exemplo de diagonais duplas



c) Exemplo de diagonais em tesoura



d) Exemplo de diagonais compostas

**Figura 4** Disposições construtivas das tábuas diagonais

### 3 Detalhes construtivos

As ligações entre os diversos elementos de madeira que integram as PT, bem como entre as PT e os restantes elementos estruturais do edifício, assumem um papel fundamental no comportamento estrutural global da construção. A boa compreensão do existente é fundamental para a construção de modelos de análise fiáveis a utilizar em eventuais verificações do comportamento estrutural. É por isso importante olhar com atenção para os elementos que efetivam essas ligações. Assim, na ligação entre as tábuas verticais e as ripas, entre as tábuas e os frechais (superior e inferior, ao nível dos pisos), entre os elementos da PT e os elementos secundários (como os rodapés, as ombreiras, etc.) e entre PT distintas eram utilizados ligadores metálicos sob a forma de pregos e cavilhas. Na ligação entre as PT e as paredes de alvenaria de pedra (no caso de Viseu, granito) utilizavam-se ligadores sob a forma de chapas metálicas, que eram chumbadas na alvenaria e pregadas nas PT.

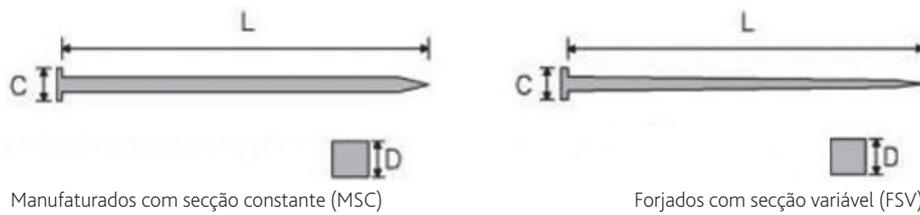
#### 3.1 Ligação através de pregos e cavilhas

A análise dos pregos e cavilhas utilizados nas paredes de tabique mostra ter existido uma evolução no tipo de ligadores metálicos utilizados, tanto na forma como no seu fabrico. Nos edifícios de construção mais antiga, os pregos tinham secção retangular variável e eram fabricados por forjadores locais (Figura 5a). Os de construção mais recente tinham secção retangular ou circular constante e eram produzidos em fábrica (Figura 5b).

Através de uma campanha de inspeção em 3 edifícios do centro histórico de Viseu, foram recolhidas 149 amostras de ligadores metálicos. O Quadro 5 associa a tipologia e dimensão dos pregos e cavilhas à sua função. Os ligadores foram divididos entre aqueles que eram forjados (secção variável) e os que eram manufacturados (secção constante).

O reconhecimento do papel das PT como elementos fundamentais, integrantes da estrutura resistente dos edifícios antigos pode ser

**Quadro 5** Dimensão dos ligadores metálicos (pregos / cavilhas)



Tipo de ligação	Edifício	N.º de Amostras	Tipologia	Dimensões – Valores médios (mm)		
				Comprimento (L)	Cabeça Ligador (C)	Seção transversal (D)
L1	Ed 3	14	MSC	24,2	2,2	1,0
L2	Ed 3	9	FSV	88,3	12,2	4,8*
L3	Ed 3	28	MSC	45,8	5,6	2,3
	Ed 8	11	MSC	59,6	7,1	3,8
	Ed 9	11	MSC	46,6	5,2	2,4
L4	Ed 9	10	MSC	89,6	7,1	3,6
L5	Ed 9	9	MSC	66,6	6,7	3,0
L6	Ed 9	9	MSC	81,4	6,7	3,3
L7	Ed 3	9	FSV	86,9	6,2	4,2*
	Ed 8	18	FSV	96,7	11,9	6,4*
	Ed 9	9	MSC	109,1	7,8	4,1
L8	Ed 9	3	MSC	152,2	10,4	5,4
L9	Ed 8	4	FSV	72,9	18,6	5,9*
L10	Ed 3	5	FSV	171,8	16,8	8,7*

\* secção média

- Ligação L1 Nas tábuas das PT para melhorar a adesão com a argamassa de revestimento
- Ligação L2 Nas tábuas das PT exteriores para fixação de elementos cerâmicos de revestimento
- Ligação L3 Entre as tábuas verticais e as ripas
- Ligação L4 Entre as tábuas verticais e elementos secundários (rodapés, etc.) de maior espessura
- Ligação L5 Entre as tábuas verticais e elementos secundários (rodapés, etc.) de menor espessura
- Ligação L6 Entre as tábuas verticais e as ombreiras
- Ligação L7 Entre as tábuas verticais e os frechais
- Ligação L8 Entre PT perpendiculares entre si
- Ligação L9 Na fixação das chapas metálicas às tábuas verticais, na ligação entre PT e parede alvenaria
- Ligação L10 Entre vigas de pavimento e os frechais

avaliado nos pormenores construtivos observados nos edifícios investigados, nomeadamente na ligação entre as tábuas verticais e entre estas tábuas e os frechais situados no topo e que efetuam a transição entre a estrutura do pavimento superior e as PT. Os frechais apresentam várias formas, como se observa na Figura 6, e as ligações são efetivadas através de ligadores metálicos, pregos, como se indica no Quadro 5 (Ligação L7).

A tipologia mais comum é a que apresenta um frechal com um sulco contínuo, central, ao longo de toda a parede (Figura 6a). Também foram encontrados casos em que o sulco é pontual, ou seja, existe apenas no alinhamento das tábuas verticais (Figura 6b). Por norma, estes sulcos apresentam uma largura ligeiramente superior à espessura das tábuas verticais. Habitualmente, a ligação era



**Figura 5** Evolução dos pregos/cavilhas, utilizados: a) em PT antigas e b) em PT mais recentes



a)



b)



c)



d)

**Figura 6** Ligação entre as tábuas verticais e os frechais (topo superior): a) com sulco contínuo; b) com sulco pontual; c) de secção retangular e d) com sulco lateral



a)



b)

**Figura 7** Ligação entre a estrutura resistente de um pavimento e os frechais: com vigas a) acopladas ao frechal ou b) totalmente apoiadas sobre o frechal

reforçada com a colocação de pregos na perpendicular à direção das tábuas. Também foram encontradas situações em que os frechais não apresentavam rasgos centrais: a sua secção era retangular sem rasgos (Figura 6c), ou tinham um sulco lateral (Figura 6d). No primeiro caso a pregagem era realizada na diagonal e no segundo na perpendicular à direção das tábuas verticais. Por regra, em todas as tipologias utilizavam-se 1 a 2 pregos por tábua vertical, em função da sua largura e qualidade de execução.

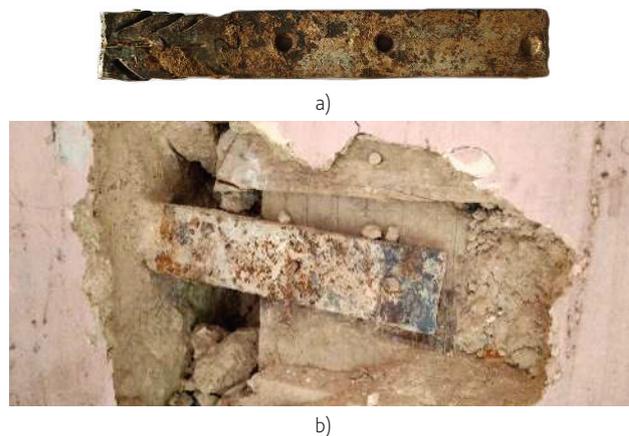
Também se verificou existir alguma diversidade de soluções construtivas na ligação entre a estrutura do pavimento e os elementos verticais resistentes. Na Figura 7a) observa-se uma situação em que as vigas principais do pavimento foram adaptadas por forma a garantir o encaixe na viga de frechal, que neste caso não apresenta uma secção retangular. No segundo caso (Figura 7b), as vigas de pavimento estão apoiadas sobre a viga de frechal; neste caso, algumas vigas eram contínuas e outras interrompiam em cima da PT, mostrando claramente o papel estrutural destas paredes.

Nas ligações entre PT ortogonais também foram observadas situações muito diversas. Em alguns casos (estima-se que em paredes de importância secundária) não existia qualquer ligação entre as tábuas verticais; em contraponto, observaram-se situações em que existiam cavilhas de grande dimensão (ver Quadro 5 – Ligação L8), sendo usados 3 ou 4 ligadores metálicos distribuídos pela altura total da parede (com espaçamentos iguais, entre 0,5 e 1,0 m).

### 3.2 Ligação através de chapas metálicas

Na ligação entre as PT interiores e as paredes em alvenaria de granito também foram encontradas duas tipologias alternativas: ou não existia qualquer ligação física, ou essa ligação era efetuada através de chapas metálicas retangulares (Figura 8b) que eram colocadas em ambas as faces das PT (em construções de pior qualidade era colocada apenas uma). Do lado da parede de alvenaria a chapa era fixada com chumbo (observe-se os sulcos na chapa que entrava na parede para permitir uma melhor adesão (Figura 8a)). O comprimento da entrega da chapa na parede de alvenaria corresponde a cerca de 30% do seu comprimento total. Do lado das PT as chapas tinham 2 ou 3 orifícios e a ligação era

efetuada através da pregagem de conetores na perpendicular às tábuas verticais. Observou-se a existência de 1 ou 2 chapas por ligação. Quando existia apenas um ligador metálico, em regra estava colocado a uma distância compreendida entre 35% a 50% do pé direito do edifício em relação à base. Quando existiam dois ligadores, localizavam-se aos terços do pé direito. Nos casos analisados, todos os conetores metálicos eram em aço forjado.



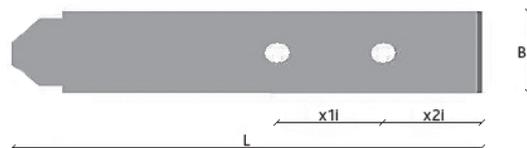
**Figura 8** Ligação entre PT e paredes de alvenaria: a) chapa metálica; b) pormenor construtivo

Nalgumas ligações entre PT ortogonais observou-se o uso de chapas (retangulares ou em forma de cantoneira) com orifícios (3 ou 4 por chapa) para permitir a sua fixação às tábuas através de pregos.

O Quadro 6 apresenta as dimensões médias das chapas metálicas de ligação de 12 PT às paredes de alvenaria, do edifício 6. Em três destas paredes existiam duas chapas e nas restantes apenas uma, tendo-se analisado no total 15 chapas metálicas. A tipologia apresentada no Quadro 6 é a mais comum encontrada no total dos 10 edifícios inspecionados.

Constatou-se que as PT que possuíam este tipo de ligação às paredes de alvenaria exteriores não continham tábuas diagonais, crendo-se que o uso destas tábuas poderia constituir uma alternativa à utilização de ligadores metálicos.

**Quadro 6** Dimensão média das chapas metálicas de ligação entre PT e paredes de alvenaria



Dimensões - Valores médios (mm)						
Tipo de ligação	N.º de Amostras	Comprimento (L)	Largura (B)	Espessura da chapa	Distância entre furos (x1i)	Distância entre furos e bordo (x2i)
Chapas de ligação	15	163	37	6	52	21

## 4 Caracterização experimental das propriedades dos materiais

Após a caracterização geométrica e construtiva das PT, procedeu-se à recolha de amostras dos seus materiais constituintes: madeira, argamassa e ligadores metálicos, com o objetivo de caracterizar algumas das suas principais propriedades mecânicas.

### 4.1 Elementos de madeira

Os elementos de madeira presentes nas PT constituem o seu "esqueleto" sendo determinantes para o seu comportamento estrutural.

Deste modo, o primeiro dado a obter foi a espécie de madeira utilizada na construção das PT estudadas. Após a observação macro e microscópica dos cortes histológicos realizados, constatou-se que a espécie mais comum era o pinho bravo (*Pinus pinaster Aiton.*), embora, pontualmente, se tenham encontrado alguns elementos de madeira de castanho (*Castanea sativa Mill.*). Trata-se de duas espécies de árvores muito comuns da região.

Em seguida foi realizada uma campanha de ensaios mecânicos no Laboratório de Mecânica da Madeira, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu (ESTGV) para conhecer as propriedades físicas e mecânicas da madeira, nomeadamente ensaios: à flexão estática (Figura 9a), à dureza (pelo método de Chalais-Meudon) e à compressão axial (direção paralela às fibras) (Figura 9b). As amostras foram preparadas de acordo com as normas de referência ([10], [11] e [12]). Foram ensaiados 55 provetes à flexão estática, 104 à compressão axial (direção paralela às fibras) e 36 à dureza superficial.

O Quadro 7 apresenta os valores obtidos nos ensaios laboratoriais. Os resultados são apresentados para as duas espécies de madeira encontradas: *Pinus pinaster Aiton.* (P) e *Castanea sativa Mill.* (C).

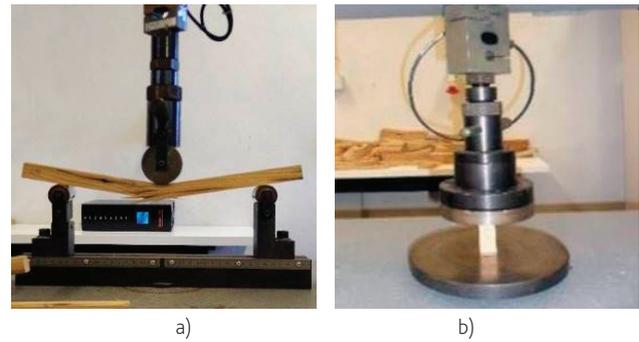


Figura 9 Ensaio laboratorial em elementos de madeira: a) flexão estática; b) compressão axial

### 4.2 Argamassas de enchimento e revestimento

Nas PT, a argamassa é considerada um elemento secundário, com funções de enchimento e de revestimento. No entanto, não se deve menosprezar o seu papel, uma vez que, para além de servir como material base de acabamento, protege a estrutura de madeira.

Com o intuito de caracterizar este material, foram realizados no Laboratório de Materiais de Construção da ESTGV os seguintes ensaios: análise granulométrica, plasticidade, composição química e mineralógica elementar (método da calcinação e ensaio do ácido) e SEM/EDS (microscopia eletrónica de varrimento e análise química), todos de acordo com as normas em vigor ([13] e [14]).

A Figura 10 apresenta as curvas granulométricas de argamassas provenientes de dois edifícios situados no centro urbano de Viseu: o edifício 3 e o edifício 4. Constata-se que ambas as curvas são extensas (as dimensões das partículas estão compreendidas entre 0,001 e 10 mm) e bastante semelhantes, o que pode significar que

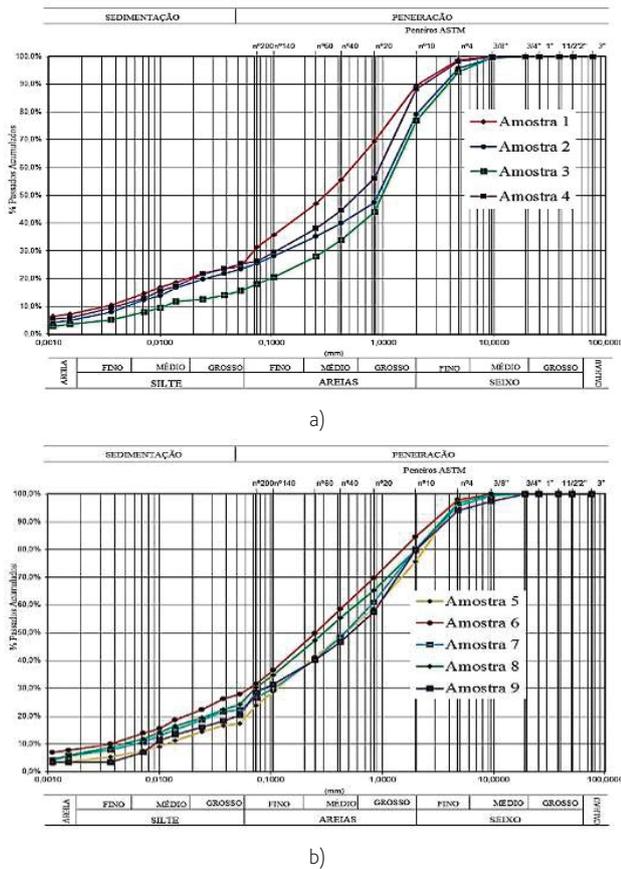
Quadro 7 Valores experimentais obtidos nos ensaios aos elementos de madeira

Tipo de ensaio	Grandeza	Valores médios		Desvio padrão		Coeficiente de variação (%)	
		P	C	P	C	P	C
Flexão estática	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	95,2	122,6	14,3	18,0	15,1	14,7
	Deslocamento (mm)	15,7	13,2	4,3	2,9	27,4	21,8
Compressão axial (paralela às fibras)	Tensão de rotura (N/mm <sup>2</sup> )	40,0	46,1	3,6	5,9	8,9	12,8
	Deslocamento (mm)	6,7	3,6	2,0	0,6	29,2	16,5
Dureza (C.M.)	Profundidade (mm)	1,1	1,29	0,1	0,2	10,6	12,8
	Dureza (N)	44,5	24,5	11,8	7,8	26,4	31,8

P Pinho bravo (*Pinus pinaster Aiton.*)

C Castanho (*Castanea sativa Mill.*)

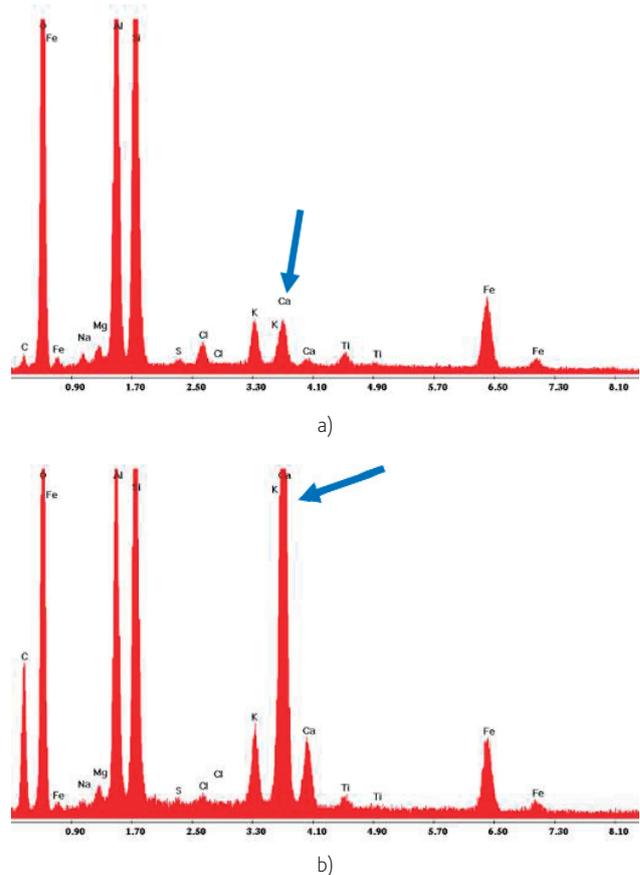
a origem geográfica do material utilizado na sua composição (terra) seja a mesma.



**Figura 10** Curvas granulométricas das amostras de argamassa pertencentes ao a) edifício 3 e b) edifício 4

A análise SEM/EDS foi realizada na Unidade de Microscopia Eletrónica e de Varrimento da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, em 6 amostras de argamassa, provenientes dos mesmos edifícios. Revelou-se fundamental na definição da composição química elementar do material ensaiado. A Figura 11 apresenta os resultados em duas das amostras analisadas. Como se pode observar, a composição química elementar do material ensaiado é diferente, sobretudo no que se refere à presença de cálcio (Ca). A amostra da Figura 11a), com uma percentagem de cálcio menor, na ordem dos 4%, é característica de um material terroso, normalmente associado aos edifícios de construção mais antiga. O material desfaz-se muito facilmente e a coesão era melhorada com a inclusão de elementos vegetais, como a palha seca.

Pelo contrário, a amostra da Figura 11b) apresenta uma percentagem de cálcio de 32%. Isto significa que ao material terroso foi adicionado um ligante hidráulico (por exemplo a cal apagada). A designação adotada nesta situação é argamassa terrosa bastarda. Nestes casos, o material de enchimento é mais duro e torna-se difícil desfazê-lo com a pressão dos dedos. É característico de argamassas de edifícios de construção mais recente.



**Figura 11** Espectros tipo obtidos através da análise SEM/EDS em amostras de argamassa a) sem cálcio e b) com cálcio

### 4.3 Ligadores metálicos

Como já foi descrito no ponto 3, os ligadores metálicos são essenciais, uma vez que são responsáveis pela conexão entre os diversos elementos das PT e entre estas e os outros elementos resistentes dos edifícios.

Aproveitando a recolha de diversas amostras, foram realizados dois ensaios mecânicos: tração e microdureza de Vickers, e procedeu-se à sua análise metalográfica.

As amostras foram retiradas cuidadosamente das PT com o objetivo de não serem submetidas a tensões de flexão. Em geral, apresentavam uma ligeira corrosão superficial, sem perda de secção efetiva. Os ensaios decorreram no Laboratório de Resistência dos Materiais da ESTGV.

Para a realização dos ensaios (de acordo com [15]) foram selecionadas amostras de maior dimensão (cavilhas e chapas metálicas), por se adequarem melhor à execução dos ensaios. De facto, a amarração das amostras para evitar o escorregamento nas amarras (especialmente das cavilhas que, pela sua dimensão e geometria, eram difíceis de maquinar) foi o maior desafio na realização desta campanha de ensaios.

No Quadro 8 apresenta-se os resultados obtidos no ensaio à tração para os ligadores metálicos, em que:  $A$  é a área da secção ensaiada,  $F_{max}$  é o valor da força máxima obtida,  $U_{max}$  e o deslocamento e a extensão correspondentes a  $F_{max}$ , respetivamente, e  $f_{max}$  é a máxima tensão de tração obtida.

**Quadro 8** Resultados obtidos no ensaio à tração dos ligadores metálicos tipo FSV

Edifício / Amostra	$A$ (mm <sup>2</sup> )	$F_{max}$ (kN)	$U_{max}$ (mm)	$\varepsilon$ (mm/mm)	$f_{max}$ (N/mm <sup>2</sup> )
<b>Chapas metálicas</b> Edifícios 3 e 8					
1	67,2	25,73	13,96	0,20	382,90
2	61,5	23,05	3,77	0,08	374,86
3	73,7	24,46	11,40	0,25	331,75
4	59,4	19,14	8,96	0,21	322,23
5	171,0	79,92	12,40	0,30	467,35
6	86,4	33,96	8,00	0,15	393,05
7	98,0	51,54	9,56	0,19	526,18
8	52,0	18,71	3,66	0,07	359,72
9	93,2	41,72	12,76	0,22	447,81
10	62,8	24,07	11,71	0,17	383,53
Valor médio					398,94
COV (%)					15,92%
<b>Pregos / Cavilhas</b> Edifício 3					
1	23,8	8,69	1,90	0,04	365,85
2	46,9	16,46	4,06	0,09	351,18
3	25,6	8,53	9,43	0,47	333,47
4	29,2	11,37	9,50	0,16	389,78
5	39,7	14,37	8,26	0,29	362,23
6	29,6	9,98	7,03	0,20	348,80
7	27,0	9,43	5,66	0,12	348,67
<b>Edifício 8</b>					
1	27,5	8,63	0,31	0,01	313,85
2	41,0	15,87	10,86	0,13	387,57
3	25,5	8,61	6,56	0,12	337,57
4	68,1	23,07	15,80	0,41	339,02
5	16,0	5,68	11,96	0,22	354,86
6	60,8	28,24	10,63	0,29	464,50
7	37,8	12,67	1,29	0,04	335,42
Valor médio					359,48
COV (%)					10,16%

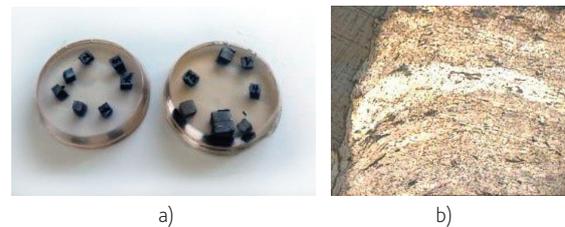
COV Coeficiente de variação

O ensaio de microdureza de Vickers foi realizado de acordo com os procedimentos preconizados em [16]. As amostras foram obtidas a partir de pregos/cavilhas retirados do edifício 3. Todas as amostras eram de ligadores fabricados por um processo de forja. Em cada amostra foram realizadas 10 indentações: 5 em zonas sem inclusões e 5 com inclusões, segundo a secção transversal do ligador. Os resultados obtidos estão indicados no Quadro 9 e resultam da média dos valores obtidos.

**Quadro 9** Resultados obtidos no ensaio de microdureza de Vickers (HV 10)

HV 10	Amostras (valores médios)							Média	Desvio Padrão	COV (%)
	1	2	3	4	5	6	7			
Sem inclusões	161	160	145	124	169	131	158	150	16	10,43
Com inclusões	168	175	132	137	179	139	169	157	18	11,75

A presença de inclusões nas amostras poderá explicar algumas diferenças pontuais nos resultados. A este facto não deverá ser alheia a circunstância do material ensaiado apresentar, quer neste ensaio, quer no ensaio à tração, uma grande heterogeneidade, visível pela presença de zonas mais escuras (inclusões), como se pode verificar na Figura 12b). Em relação à análise micro estrutural, cujas amostras foram preparadas de acordo com [17] (Figura 12a), foi possível observar que apresentam um tamanho de grão idêntico. Também foi observada a presença das duas fases do processo de fabrico, a ferrite e a perlite, o que permite concluir que estamos na presença de aço forjado.



**Figura 12** Análise micro estrutural: a) preparação das amostras e b) superfície da amostra

## 5 Considerações finais

Portugal possui um vasto património edificado com paredes de tabique (PT). A partir de meados do século XX, com a industrialização da construção e o aparecimento do betão armado como o principal material utilizado em elementos estruturais, as PT foram progressivamente desaparecendo.

Através de uma campanha de inspeção em 10 edifícios que se consideram representativos dos sistemas construtivos característicos da região de Viseu, foi possível criar tipologias de PT e associar-lhes grandezas, nomeadamente dimensões e espaçamentos médios dos elementos de madeira e características particulares, como a existência de elementos de madeira diagonais.

A análise dos resultados obtidos permitiu ainda apontar diversos fatores que se interrelacionam e podem justificar as diferentes características encontradas nas PT e aos quais se associa uma maior ou menor qualidade construtiva destes elementos: o acesso e qualidade dos materiais de construção, a época de construção, o conhecimento empírico do construtor e a capacidade financeira do dono de obra. Por outro lado, essa mesma análise permitiu concluir que as PT existentes nos edifícios situados em Viseu fazem parte da estrutura resistente dos edifícios, funcionando, por exemplo, como elementos de suporte dos pavimentos (Figura 7). Para além disso, a forma como se interligam entre si e com os restantes elementos da estrutura (pavimentos e coberturas em madeira maciça e paredes de alvenaria resistente), promove o comportamento em caixa destas construções (“*box behaviour*”) necessário para garantir o adequado comportamento estrutural destes edifícios.

A análise dos elementos e materiais constituintes das PT e os ensaios de caracterização experimental realizados a cada um dos materiais (a partir de uma amostragem significativa de exemplares) permitiram obter informação relevante sobre estes elementos construtivos. Os elementos de madeira que formam a estrutura resistente principal das PT são, fundamentalmente, de madeira de pinho bravo (*Pinus pinaster Aiton.*). Nas situações em que os edifícios sofreram obras de manutenção regulares, ou que foi evitada a entrada de água no interior dos edifícios, a madeira conservou quase na íntegra as suas características físicas e mecânicas; destaca-se neste ponto o papel primordial do material de enchimento e revestimento (argamassa) como camada de proteção da estrutura de madeira das PT.

Relativamente à argamassa, os ensaios mostram que apresenta uma curva granulométrica extensa e é geralmente constituída por um material terroso. Foram encontrados na sua composição resíduos de compostos de cálcio e de matéria orgânica, com diferentes percentagens, permitindo diferenciar épocas de construção, nomeadamente identificar argamassas mais recentes pela maior percentagem de cal presente na mistura. Por outro lado, os ligadores metálicos apresentam uma grande variabilidade geométrica, relacionada com o local onde se encontravam aplicados. Os ensaios laboratoriais permitiram caracterizar o material como sendo uma liga metálica de aço forjado. O ensaio de tração e de Vickers mostrou existir uma grande variabilidade nos resultados, a que não é alheio o seu processo de fabrico.

Finalmente, acredita-se que os dados geométricos, os pormenores construtivos e os resultados experimentais relacionados com as PT que se apresentam neste artigo constituem informação importante para os investigadores e os profissionais na área da intervenção/reabilitação de edifícios antigos, contribuindo para a melhoria do conhecimento sobre este sistema construtivo tão presente na grande maioria das construções mais antigas (anteriores à massificação do uso de betão armado) em Portugal.

A investigação sobre PT prossegue, nomeadamente com a realização de novas campanhas de ensaio *in situ* e em laboratório que permitem melhorar o conhecimento existente sobre o comportamento estrutural global destes elementos [18], [19] e [20]. Só assim se poderá promover a reabilitação eficiente, e de forma economicamente viável, das PT através de intervenções adequadas, mitigando o risco de se perderem estes elementos integrantes e fundamentais do património edificado antigo em Portugal.

## Referências

- [1] ICOMOS – International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage. (2003). Recommendations for the analysis, conservation and structural restoration of architectural heritage. Edited by International Scientific Committee for Analysis and Restoration of Structures of Architectural Heritage of ICOMOS. Paris: ICOMOS.
- [2] Carvalho J. *et al.* (2008) – Construções em Tabique na região de Trás-os-Montes e Alto Douro. CINPAR 2008 – 4th International Conference on Structural Defects and Repair. Civil Engineering Department – University of Aveiro, Portugal. 25-28 June 2008. Editors: Humberto Varum, Francisco Carvalho, Anibal Costa, Alexandre Bertini, Petr Stepánek. ISBN: 978-989-95695-3-9.
- [3] Cepeda A. *et al.* (2010) – Tabique construction in Alto Tâmega. Book of abstracts of the 1st International Conference on Structures and Architecture (ICSA2010). Ed. Paulo Cruz. CRC Press, Taylor & Francis Group. London, UK. ISBN 978-0-415-49249-2. pp. 397-398.
- [4] Martinho J. *et al.* (2010) – Study of the traditional tabique construction in the Alto Tâmega region. The Sustainable World. Editor: 250 C.A: Brebbia. WIT Press 2011. WIT eLibrary. British Library – ISBN: 978-1-84564-504-5 – ISSN 1746-448X (print) – ISSN: 1743-3541 (online). pp.299-307.
- [5] Pinto J. *et al.* (2010) – Characterization of Traditional Tabique Constructions in Douro North Valley Region. Journal WSEAS Transactions on Environment and Development, ISSN 1790-5079, 2, pp. 105-114.
- [6] Padrão, J.; Pinto, R. (2014) – Caracterização Experimental das paredes de tabique do centro histórico de Viseu. CINPAR2014 - X Congresso Internacional sobre Patologia y Recuperación de Estructuras, junho 4-6, 2014, Santiago do Chile, Chile.
- [7] Pinto, R.; Padrão J. (2014) – Structural characterization of “tabique” walls from the historic centre of Viseu, 9th IMC – International Masonry Conference, Guimarães, Portugal, July 4-9.
- [8] Padrão, J. *et al.* (2016) – A contribution for tabique walls characterization. Proceedings of the 7th International Conference on Safety and Durability of Structures, ICOSADOS 2016. UTAD, Portugal, May 10-12, 2016.
- [9] Graham, T. (2003) – “Wattle and Daub: Craft, Conservation and Wiltshire Case Study”. Dissertação para obtenção de grau mestrado em Science in the Conservation of Historic Building. Universidade de Bath. Department of Architecture and Civil Engineering. [online] [disponível na Internet via [www.url: http://www.tonygraham.co.uk/house\\_repair/wattle\\_daub/WD.html](http://www.tonygraham.co.uk/house_repair/wattle_daub/WD.html)]. Consultado em 16 de março de 2020.
- [10] NP 617 (1973) – Madeiras – Determinação da dureza. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.
- [11] NP 618 (1973) – Madeiras – Ensaio de compressão axial. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.
- [12] NP 619 (1973). Madeiras – Ensaio de flexão estática. Lisboa: IGPAI – repartição de normalização.
- [13] E 196 (1966) – Solos – Análise granulométrica. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- [14] NP 143 (1969) – Solos – Determinação dos limites de consistência. Lisboa: Instituto Português da Qualidade.

- [15] NP EN 10002-1. (1990) – Materiais metálicos: ensaio de tração: parte 1 – método de ensaio (à temperatura ambiente). Instituto Português da Qualidade. Lisboa.
- [16] NP 711. (1968). Metais. Ensaio de dureza Vickers. Portaria n.º 23 589 de 6 de setembro de 1968. Portugal.
- [17] NP 1467. (1977) – Aços e Ferros Fundidos – Preparação de provetes para metalografia. Portaria n.º 321/77, junho. Portugal.
- [18] Padrão J. *et al.* (2019) – Experimental Characterization of Mechanical Behaviour of Existing Tabique Walls Under Compressive and Shear Loading. In: Aguilar R., Torrealva D., Moreira S., Pando M.A., Ramos L.F. (eds) Structural Analysis of Historical Constructions. RILEM Bookseries, vol 18. Springer, Cham; [https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3\\_61](https://doi.org/10.1007/978-3-319-99441-3_61).
- [19] Amorim M. *et al.* (2019) – Avaliação experimental do comportamento mecânico de paredes de tabique. Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas, Série III N° 10, pp. 51-62, LNEC, Lisbon, Portugal. ISSN 2183-8488
- [20] Amorim, M. *et al.* (2018) – Experimental assessment of in-plane mechanical behavior of tabique walls. International Journal of Architectural Heritage, 12:4, 516-532; <https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1442514>.