

AVALIAÇÃO EM LABORATÓRIO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS EM MADEIRA

Marco A. Oliveira^{1*}, Sandra M. Silva², Jorge M. Branco³, Luís M. Bragança⁴ e Paulo B. Lourenço⁵

1: Departamento de Engenharia Civil
Escola de Engenharia
Universidade do Minho
4800-058 Guimarães

e-mail: a42879@alunos.uminho.pt, web: <http://www.civil.uminho.pt>

2, 4: C-TAC, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães
e-mail: sms@civil.uminho.pt, braganca@civil.uminho.pt web: <http://www.civil.uminho.pt/c-tac/>

3, 5: ISE, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 4800-058 Guimarães
e-mail: jbranco@civil.uminho.pt, pbl@civil.uminho.pt web: <http://www.isise.net>

Palavras-chave: Avaliação, Laboratório, Comportamento térmico, Soluções em madeira

Resumo. *O presente trabalho apresenta a avaliação do comportamento térmico de quatro soluções construtivas integralmente em madeira, recorrendo à previsão e análise experimental do seu desempenho térmico. Foram avaliadas quatro soluções construtivas representativas do mercado, três delas tendo por base troncos de madeira e uma outra do tipo entramado de madeira.*

As principais tipologias de habitações que se encontram no mercado são, essencialmente casas em painel e em troncos de madeira tratada. As casas de troncos possuem um aspeto mais rústico sendo usualmente utilizadas em ambientes de montanha, estas recorrem a ligações metálicas entre troncos e entre paredes, podendo ou não utilizar isolamento térmico colocado no interior da parede. As casas em painel são, geralmente, do tipo modular, o que permite uma rápida execução e posterior expansão. Aliadas a uma arquitetura moderna e cuidada, são difíceis de distinguir das casas em alvenaria.

O objetivo central do trabalho foi o de aumentar o conhecimento científico e técnico relativo ao comportamento térmico das soluções construtivas em madeira, colmatando a ausência de valores relativos ao coeficiente de transmissão térmica à disposição de técnicos e investigadores. Foi analisado o desempenho térmico destas soluções construtivas segundo a regulamentação térmica atual (RCCTE) [1], posteriormente estes resultados foram comparados com as soluções de construções mais comuns em Portugal.

A análise dos resultados experimentais obtidos permitiu verificar que os coeficientes de transmissão térmica destas soluções cumprem os requisitos mínimos. Sendo a solução com estrutura leve de madeira revestida com aglomerados e preenchida com lã-de-rocha a que apresenta melhor desempenho. Comparativamente com os sistemas construtivos mais comuns de paredes de alvenaria as soluções construtivas com estrutura de madeira apresentam um comportamento térmico superior.

1. INTRODUÇÃO

As soluções construtivas integralmente em madeira são comuns em países do centro e norte da Europa (Áustria, Finlândia, etc). Aí a construção tradicional recorre à madeira para as mais variadas aplicações estruturais e não estruturais. Em Portugal, apesar do renascer de algum interesse deste tipo de arquitetura, a utilização de soluções construtivas integralmente em madeira está ainda concentrada nas habitações unifamiliares. Nos últimos anos foram várias as empresas (ex. Rusticasa, Carmo, Jular e Portilame) que lançaram no mercado nacional, soluções habitacionais em madeira, na sua maioria, explorando o carácter ambiental da madeira através de soluções pré-fabricadas e modulares [2,15,16]. Os esforços técnicos desenvolvidos têm-se centrado no desenvolvimento das soluções construtivas e na verificação da estabilidade das mesmas. Os estudos existentes nesta matéria são escassos devido à complexidade da análise do comportamento térmico deste tipo de soluções leves aliado às características intrínsecas de um material natural, celular e não homogéneo como é a madeira.

Pretende-se com o presente trabalho avaliar o comportamento térmico de soluções construtivas em madeira, recorrendo à previsão e análise experimental do desempenho térmico de quatro soluções construtivas frequentemente utilizadas em Portugal, através da sua caracterização em laboratório. Na previsão do comportamento térmico das soluções construtivas foram utilizados os dados presentes no ITE50 [3]. Finalmente apresenta-se uma análise comparativa das soluções estudadas com soluções construtivas mais comuns (alvenaria) e soluções construtivas em aço leve (LSF).

2. ANÁLISE EXPERIMENTAL

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Física e Tecnologia das Construções do Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, no âmbito de uma dissertação de mestrado integrado [4] em colaboração com a empresa Rusticasa.

Os ensaios processaram-se seguindo a seguinte ordem de trabalhos:

1. Montagem dos provetes no pórtico da câmara de ensaios;
2. Aumento da temperatura ambiente interior da câmara com recurso a um equipamento de ar condicionado;
3. Colocação dos equipamentos de medição (fluxímetros e termopares) na superfície interior e exterior do provete conforme as singularidades que caracterizavam o provete (zona de junta, por exemplo). Na Figura 1 é apresentado o pormenor dos provetes de teste durante a análise, na qual se representa a direção do fluxo de calor considerado;
4. Recolha de dados relativos ao fluxo de calor e temperaturas superficiais;
5. Recolocação do equipamento de medição em locais do mesmo provete com singularidades equivalentes e recolha dos dados. Em cada provete foram realizadas três medições para cada tipo de singularidade;
6. Montagem do equipamento de medição em novo provete, realizando de novo o processo descrito anteriormente.



Figura 1. Provetes de teste com o equipamento de medição colocado e com a indicação do fluxo de calor considerado.

2.1. Soluções construtivas avaliadas

Os provetes de teste, com dimensões de 1,965m x 1,24m, foram especificamente concebidos, para esta análise, pela empresa Rusticasa, sendo montados simultaneamente no pórtico da câmara de testes do Laboratório de Física das Construções da Universidade do Minho. De forma a evitar perdas de calor entre os provetes e o pórtico foram entrepostos 15cm de isolamento em poliestireno extrudido (XPS) entre os dois.

O provete 1 corresponde a uma solução construtiva em tronco maciço de 16cm. Esta é uma solução construtiva simples, sem isolamento térmico constituída por troncos maciços de 16cm de espessura (Figura 2) em Pinho nórdico (*Pinus sylvestris*), compostos por quatro lamelas coladas lateralmente entre si.

O provete 2 (Figura 2 e Tabela 1), com 18cm de espessura, é uma solução construtiva constituída por um elemento estrutural principal em madeira que suporta o isolamento térmico e o revestimento interior em aglomerados de madeira. O revestimento exterior em troncos maciços de Pinho nórdico (*Pinus sylvestris*) com 7cm de espessura, também é fixo a esta estrutura interior.

O provete 3 (Figura 2 e Tabela 1), com 24cm de espessura, é semelhante ao provete 2, possui um elemento estrutural principal em madeira que suporta o isolamento térmico e o revestimento interior, também em aglomerados de madeira, sendo o revestimento exterior constituído por um tronco maciço de 12 cm de espessura constituído por três lamelas de Pinho nórdico (*Pinus sylvestris*) coladas entre si.

O provete 4 solução construtiva Clóvis (Figura 2 e Tabela 1), com 21,5cm de espessura, tem por base uma estrutura em madeira com 10 cm de espessura que serve de suporte estrutural com isolamento térmico no seu interior com 10 cm de espessura.

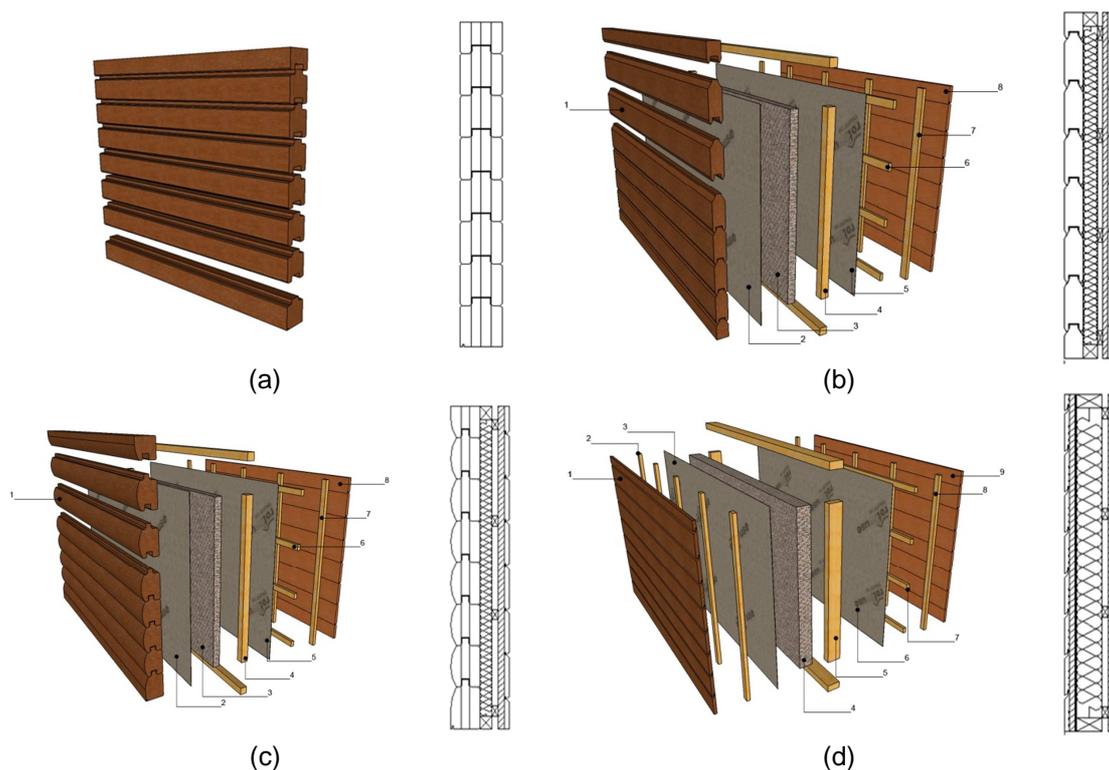


Figura 2. Principais características dos provetes. Vista explodida em 3d e corte construtivo do provete 1, tronco maciço de 16cm (a). Provete 2 Tronco maciço de 7cm (b). Provete 3 Tronco maciço de 12cm (c). Provete 4 Entramado de madeira (d).

Tabela 1. Constituição dos provetes (do exterior para o interior)

Provete	Componente	Espessura (mm)	Material
2	1	70	Tronco maciço em madeira
	2	-	Barreira pára vapor
	3	50	Lã de rocha (70kg/m ³)
	4	50	Estrutura em madeira
	5	-	Barreira pára vapor
	6	20	Ripa separadora horizontal (20x50mm)
	7	20	Ripa separadora vertical (20x50mm)
	8	20	Forro interior em aglomerados de madeira
3	1	120	Tronco maciço em madeira
	2	-	Barreira pára vapor
	3	50	Lã de rocha (70kg/m ³)
	4	50	Estrutura em madeira
	5	-	Barreira pára vapor
	6	25	Ripa separadora horizontal (25x40mm)
	7	25	Ripa separadora vertical (25x40mm)
	8	20	Forro interior em aglomerados de madeira

Tabela 1. Constituição dos provetes (do exterior para o interior) (continuação)

Provete	Componente	Espessura (mm)	Material
4	1	20	Forro exterior
	2	20	Ripa separadora vertical
	3	-	Barreira pára vapor
	4	100	Lã de rocha (30kg/m ³)
	5	100	Estrutura em madeira
	6	-	Barreira pára vapor
	7	25	Ripa separadora horizontal (25x40mm)
	8	25	Ripa separadora vertical (25x40mm)
	9	20	Forro interior em aglomerados de madeira

2.2. Procedimentos experimentais

Em todos os provetes, foram seleccionados 5 pontos, representativos das várias singularidades – pontos característicos - apresentadas por cada solução construtiva, identificando-os através de cores (ver exemplo da Tabela 2).

Tabela 2. Identificação dos pontos singulares de medição de cada provete

Provete	Ponto	Face exterior	Face interior
1	1	Corrente	Corrente
	2	Junta	Junta
2	1	Junta	Ripado horizontal e zona corrente
	2	Junta	Ripado horizontal, ripado vertical e junta
	3	Corrente	Ripado vertical e zona corrente
	4	Corrente	Corrente
	5	Junta	Ripado horizontal, ripado vertical e zona corrente
3	1	Ripado horizontal, ripado vertical e zona corrente	Corrente
	2	Ripado horizontal, ripado vertical e junta	Junta
	3	Ripado vertical e zona corrente	Corrente
	4	Corrente	Corrente
	5	Ripado horizontal e zona corrente	Corrente
4	1	Ripado horizontal, ripado vertical e zona corrente	Corrente
	2	Ripado horizontal, ripado vertical e junta	Corrente
	3	Ripado vertical e zona corrente	Corrente
	4	Ripado horizontal e junta	Corrente
	5	Corrente	Corrente

Para uma correta caracterização do coeficiente de transmissão térmica de um determinado provete foi necessário distribuir os fluxímetros pelos pontos singulares que caracterizam cada provete e recolher os dados relativos ao fluxo de calor e temperaturas superficiais interiores e exteriores,

referentes a um intervalo de tempo de medição de pelo menos 12 horas. Este processo foi repetido para 3 disposições diferentes dos fluxímetros pelos pontos singulares (Figura 3).

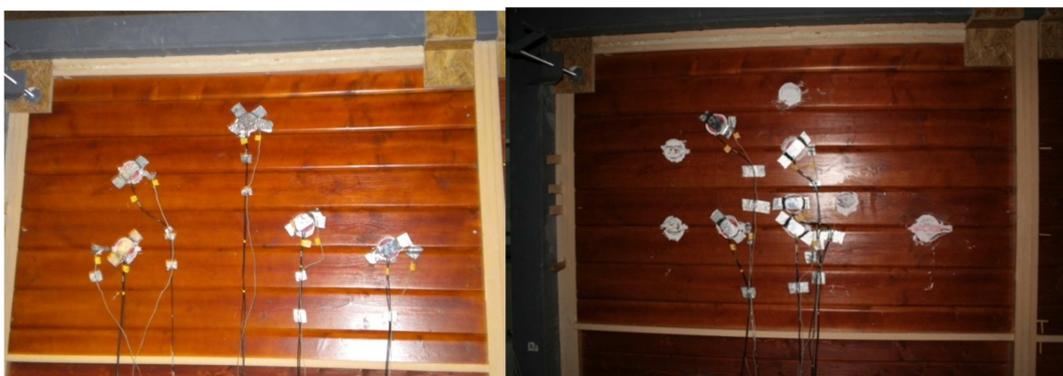


Figura 3. Exemplos de duas distribuições distintas dos fluxímetros pelos pontos singulares no caso do exemplo do provete 2.

Para que cada medição fosse considerada válida, foi necessário assegurar que o fluxo de calor estabilizava durante o período de medição considerado. De igual modo, a evolução das temperaturas superficiais nas faces do provete foram controladas a fim de precaver eventuais perdas de calor que comprometessem a integridade do ensaio.

O cálculo da resistência térmica superficial (R_e) é efetuado através da equação 1 de acordo com o estabelecido na norma ASTM C1155 - 95:2001 [5], para cada um dos pontos singulares dos provetes.

$$R_e = \frac{\sum_{k=1}^M \Delta T_{Sk}}{\sum_{k=1}^M q_{ik}} \quad (1)$$

Onde ΔT (°C) é a variação da temperatura superficial entre o interior e o exterior, q (W/m²) é o fluxo de calor medido e M é o intervalo de tempo.

Segundo a norma ASTM C1155 - 95:2001 [5], é necessário efetuar a verificação da convergência e da variância dos valores da resistência térmica. O ensaio é considerado válido se o teste de convergência (equação 2) apresentar valores inferiores a 0,1, e se o teste da variância (equação 3) se verificarem valores inferiores a 10%.

$$CR_n = \frac{R_e(t) - R_e(t - n)}{R_e(t)} \quad (2)$$

$$V(R_e) = \frac{s(R_e)}{Média(R_e)} \times 100 \quad (3)$$

Onde $s(R_e)$ é a variância da resistência térmica (R_e) calculada com $n-1$ graus de liberdade e n é o número de valores de R_e , com $n \geq 3$ [5].

Após a verificação dos pressupostos definidos na norma ASTM C1155 - 95:2001 [5] procedeu-se ao cálculo do coeficiente de transmissão térmica de cada um dos pontos característicos do provete.

O coeficiente de transmissão térmica do provete foi calculado considerando o peso relativo de cada singularidade - pontos característicos - na área total do provete, com base na média ponderada do coeficiente de transmissão térmica em função da área de cada singularidade, utilizando a equação 4.

$$U = \frac{\sum_{n=1}^n (A \times Un)}{\sum A} \quad (4)$$

Onde A (m^2) é a área de cada singularidade do provete e Un ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) é o coeficiente de transmissão térmica medido nessa singularidade.

No cálculo da área de influência de cada ponto de medição (singularidade), foram consideradas duas alternativas. Na primeira, o valor da área considerada correspondia apenas às zonas medidas (Figura 4a), na segunda, cada zona não medida foi considerada como igual à zona medida com características mais aproximadas (Figura 4b).

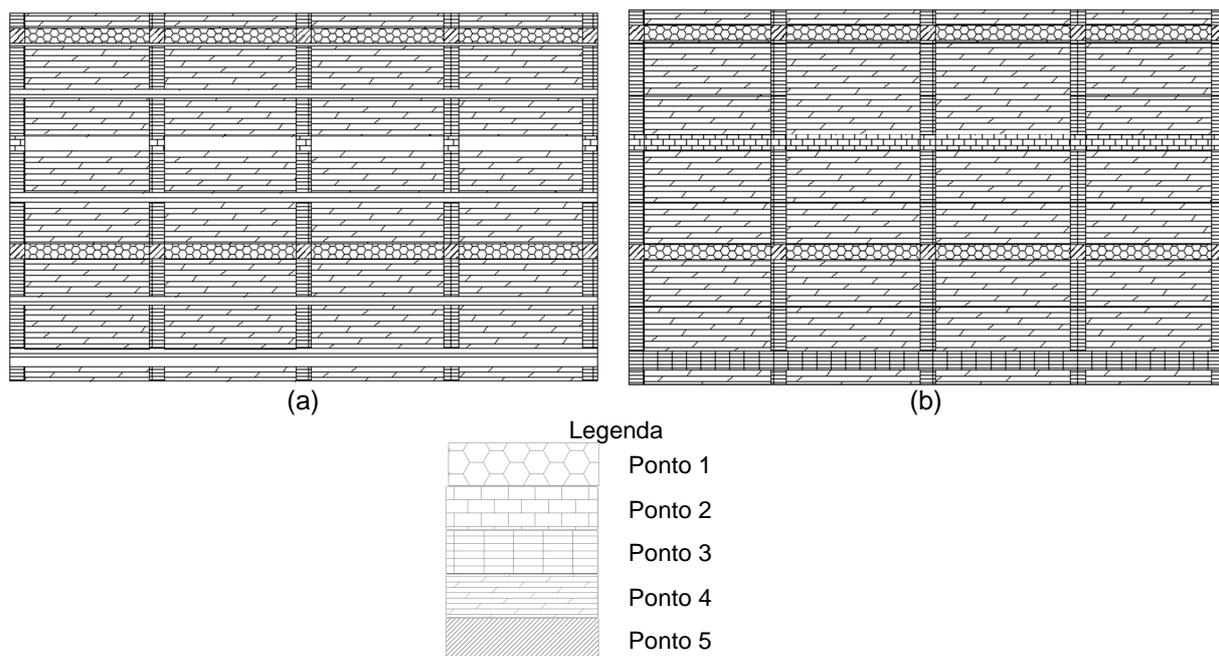


Figura 4. Distribuição de áreas de influência de cada ponto de medição no provete 2. Zonas medidas (a) e integrando as zonas não medidas na zona medida similar (b).

Para além da análise do desempenho térmico em laboratório foi também previsto o valor do coeficiente de transmissão térmica de cada um dos provetes (equação 5), tendo sido analisados os mesmos pontos singulares de cada um [3].

$$U = \frac{1}{R_{se} + \sum \frac{e}{\lambda} + R_{si}} \quad (5)$$

Como valores característicos dos materiais utilizaram-se os valores sugeridos pelo ITE-50:2006 [3]. Uma vez previsto o coeficiente de transmissão térmica para cada ponto foi estimado o coeficiente de transmissão térmica médio ponderado em função da área das singularidades de cada um dos provetes.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

3.1. Coeficiente de Transmissão Térmica medido em laboratório

Na tabela 3 estão apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica calculados para cada singularidade dos provetes analisada, obtido através da média aritmética das 3 resistências térmicas medidas.

Tabela 3. Coeficientes de transmissão térmica dos pontos característicos dos provetes ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

Provete	U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)				
	1	2	3	4	5
1	0.390	0.414	-	-	-
2	0,314	0,312	0,274	0,258	0,306
3	0,220	0,275	0,205	0,202	0,187
4	0,229	0,263	0,235	0,198	0,198

Uma rápida análise da tabela 3 permite concluir que os pontos medidos em zonas correntes apresentam valores do coeficiente de transmissão térmica inferiores e que os valores mais baixos foram medidos nas soluções construtivas com maior espessura.

Recorrendo à equação 4 para o cálculo da média ponderada, e considerando as duas possíveis distribuições de áreas consideradas (Figura 4), obteve-se o valor do coeficiente de transmissão térmica para cada uma das distribuições de áreas consideradas (tabela 4).

Tabela 4. Coeficiente de transmissão térmica calculado para as zonas medidas (a) e integrando as zonas não medidas na zona medida similar (b)

Provete		1	2	3	4
U ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)	a)	0,39	0,266	0,200	0,202
	b)	-	0,268	0,204	0,203

Esta análise foi realizada para todos os provetes, tendo-se verificado apenas pequenas diferenças no valor do coeficiente de transmissão térmico calculado para as duas distribuições de áreas (inferiores a 1%), concluindo-se assim que os pontos escolhidos para medição do coeficiente de transmissão térmica caracterizam corretamente o comportamento térmico dos vários provetes.

Os valores do coeficiente de transmissão térmica medidos mostram que a utilização destas soluções construtivas respeitam os requisitos mínimos relativos ao coeficiente de transmissão térmica para zonas opacas verticais definidos no RCCTE. Os valores medidos são inferiores aos valores do coeficiente de transmissão térmica de referência para todas as regiões climáticas, mesmo o Provete 1, que corresponde a um elemento simples sem isolamento térmico, com 16cm de espessura [1].

3.2. Comparação do coeficiente de transmissão térmica medido em laboratório e previsto

Na tabela 5 são apresentados os valores do coeficiente de transmissão térmica medidos em laboratório (U_m) e previstos (U_p) para cada um dos provetes.

Tabela 5. Coeficiente de transmissão térmica dos provetes, medido em laboratório (U_m) e previsto (U_p)

Provete	U_m	U_p
Provete 1	0,39	0,81
Provete 2	0,27	0,50
Provete 3	0,20	0,42
Provete 4	0,20	0,37

Como se pode observar através da análise da tabela 5 os valores previstos são significativamente superiores aos valores medidos (40 a 52%). Esta diferença prende-se, essencialmente, com o método de previsão que tem em conta o eventual envelhecimento dos materiais em condições normais de utilização [6,7,8].

Esta análise mostra que a previsão do desempenho térmico de soluções construtivas em madeira conduz a valores do coeficiente de transmissão térmica muito elevados quando comparados com os valores obtidos em laboratório. Esta situação é penalizadora para este tipo de soluções construtivas podendo ser um obstáculo à sua implementação no mercado.

3.3. Comparação do desempenho térmico de soluções construtivas

De forma a verificar as potencialidades das soluções construtivas em madeira o coeficiente de transmissão térmico destas soluções foi comparado com o das soluções construtivas utilizadas correntemente na construção em Portugal. Como base de comparação foram escolhidas algumas soluções construtivas representativas do mercado. As mais comuns em alvenaria de tijolo cerâmico vazado, duplas ou simples, com isolamento térmico na caixa-de-ar ou no exterior. Foi também escolhida para comparação uma solução construtiva concorrente das soluções construtivas em madeira, uma solução construtiva em aço leve (light steel frame – LSF) constituída por revestimento exterior em dupla camada de gesso cartonado, primeira camada de isolamento térmico, placa de cimento armado, estrutura metálica, segunda camada de isolamento térmico e revestimento interior em gesso cartonado [9].

Os valores do coeficiente de transmissão térmica considerados para as soluções construtivas em alvenaria de parede dupla e soluções construtivas simples em alvenaria de tijolo cerâmico com isolamento pelo exterior foram os presentes no ITE-50:2006 [3]. Os valores do coeficiente de transmissão térmica de paredes em aço leve (LSF) foram obtidos com base em catálogos de fornecedores [9].

Na tabela 6 são apresentados os coeficientes de transmissão térmica medidos em laboratório para as soluções construtivas em madeira avaliadas e para uma parede de alvenaria dupla de tijolo vazado com isolamento térmico na caixa-de-ar e para uma parede de alvenaria simples de tijolo vazado/furado com isolamento pelo exterior. São também apresentados na tabela 6 os valores do coeficiente de transmissão térmica de duas paredes com solução construtiva em aço leve (LSF).

Tabela 6. Coeficientes de transmissão térmica de soluções construtivas em madeira, alvenaria de tijolo cerâmico e aço leve (LSF) [3,9]

	Soluções construtivas em madeira				Paredes de alvenaria tijolo cerâmico vazado (cm)		LSF	
	Proвете				Duplas 11 + 15	Simples 22 a 24		
	1	2	3	4				
	Isolamento térmico							
	Lã de rocha			Lã de rocha	Poliestireno expandido	Lã de vidro + Lã de rocha		
	70 kg/m ³		30 kg/m ³	35-100 kg/m ³	15-20 kg/m ³		Interno+externo	
	Espessura do isolamento térmico (cm)							
	5	5	5	10	8	8	14+15	14+20
U (W/m ² .°C)	0,39	0,27	0,20	0,20	0,33	0,37	0,18	0,16
Espessura total (cm)	16	18	24	21,5	39	33 a 35	38	43

Através da análise da tabela 6 verifica-se que as soluções construtivas em madeira apresentam melhor desempenho térmico, no que respeita ao coeficiente de transmissão térmica, do que as soluções construtivas em alvenaria de tijolo cerâmico vazado. Para se obterem valores semelhantes do coeficiente de transmissão é necessário utilizar espessuras de isolamento bastante superiores aos utilizados nas soluções construtivas em madeira. No entanto, as soluções construtivas com estrutura em madeira são soluções construtivas leves possuindo uma massa inferior as soluções construtivas em alvenaria apresentando uma menor inércia térmica. Esta situação pode ser ultrapassada se a inércia térmica for assegurada por outros elementos construtivos, por exemplo pelas lajes de pavimento.

As soluções construtivas em aço leve (LSF) apresentam um comportamento térmico bastante semelhante, sendo até ligeiramente superior, ao das soluções construtivas com estrutura em madeira estudadas, mas, essa superioridade é obtida com o uso de isolamento térmico com quase o triplo da espessura do isolamento térmico utilizado nas soluções construtivas estudadas.

As soluções construtivas em aço leve (LSF) e as soluções construtivas em madeira são mais económicas que as soluções construtivas comuns. A sustentabilidade destas soluções é garantida (no caso da madeira) quando a madeira utilizada provém de florestas sustentáveis.

4. CONCLUSÕES

No estudo apresentado foi efetuada a análise do comportamento térmico, através da previsão e medição em laboratório do coeficiente de transmissão térmica, de quatro soluções construtivas em madeira, uma simples, sem isolamento térmico e três duplas, duas com revestimento em troncos maciços e uma com derivados de madeira.

Os valores medidos em laboratório foram comparados com os valores previstos para as mesmas soluções construtivas. Os valores do coeficiente de transmissão térmica das soluções construtivas em madeira medidos foram também comparados com os do coeficiente de transmissão térmica de

soluções construtivas em alvenaria de tijolo cerâmico e sem aço leve (LSF).

As soluções construtivas estudadas foram: uma solução construtiva simples em tronco maciço de 16cm de espessura; uma solução com revestimento exterior em tronco maciço de 7cm de espessura e estrutura interior com isolamento térmico com 5cm de espessura; uma solução construtiva com revestimento exterior em tronco maciço de 12cm de espessura e estrutura interior com isolamento térmico com 5cm de espessura; e uma solução construtiva Clóvis constituída por estrutura interior em madeira de suporte ao revestimento interior e exterior bem como do isolamento térmico que nesta solução tem 10cm de espessura.

A parede simples em tronco maciço de 16cm de espessura, sem isolamento, foi a solução construtiva que apresentou o valor para o coeficiente de transmissão térmica mais elevado dos quatro provetes em análise ($0,39 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$), em contra partida os valores mais baixos foram obtidos pelos provetes 3, revestimento exterior em tronco lamelado de 12cm de espessura e 5cm de isolamento térmico em lâ de rocha, e o provete 4 solução construtiva composta por um entramado de madeira e com 10cm de isolamento térmico em lâ de rocha ($0,20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$).

O estudo realizado mostrou que estas soluções construtivas cumprem os requisitos mínimos relativos ao coeficiente de transmissão térmica para zonas opacas verticais definidos no RCCTE [1]. Os valores medidos são inferiores aos valores do coeficiente de transmissão térmica de referência para todas as regiões climáticas, mesmo o elemento simples sem isolamento térmico.

Após a análise do desempenho térmico de soluções construtivas em madeira verificou-se que os valores dos coeficientes de transmissão térmica previstos quando comparados com os valores medidos em laboratório eram muito elevados (próximos do dobro). Sendo esta situação penalizadora para este tipo de soluções construtivas tornando-se um obstáculo à sua implementação no mercado. É assim, fundamental realizar estudos análogos a soluções construtivas que não as integralmente em madeira de forma a comprovar a sua eficiência e aumentar a confiança neste tipo de soluções.

Os resultados obtidos em laboratório revelam que as soluções construtivas com estrutura em madeira apresentam um comportamento térmico superior aos das soluções construtivas utilizadas correntemente na construção (alvenaria de tijolo cerâmico vazado) e que muito próximas das soluções construtivas em aço leve (LSF), podendo assim serem consideradas uma boa opção em termos de comportamento térmico.

Embora os resultados obtidos sejam bastante animadores, importa salientar que as soluções construtivas estudadas evidenciaram características específicas que devem ser tidas em consideração na conceção deste género de soluções. A inércia térmica deste tipo de soluções é inferior ao verificado nas soluções mais comuns (em alvenaria), a retração dos revestimentos interiores, a necessidade de manutenção periódica, o uso de madeiras ainda verdes na conceção de revestimentos e estruturas condiciona o comportamento deste tipo de soluções construtivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Decreto-Lei nº 80/2006 de 4 de Abril, Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE).
- [2] Sítios das empresas; Rusticasa, Jular, Portilame, Carmo.
- [3] Santos, C.A.P., Matias, L.M.C. (2006), Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios (ITE50).
- [4] Oliveira Marco A – Comportamento térmico de soluções construtivas com estrutura em madeira. Universidade do Minho: 2012. Tese de mestrado.
- [5] American Standard for Testing Materials (ASTM) – C1155 – 95 (2001), Standard Practice for Determining Thermal Resistance of Building Envelope Components from the In-Situ Data.
- [6] CEN - Building materials and products – Hygrothermal properties – Tabulated design values. Brussels: CEN, 2000 EN 12524.
- [7] CEN / ISO - Building materials and products – Procedures for determining declared and design thermal values. Brussels: CEN, 1999. EN ISO 10456.
- [8] CEN – Masonry and masonry products – Methods for determining design thermal values. Brussels: CEN, 2002 EN 1745.
- [9] Light Steel Frame Walls (2008) Knauf insulation.
- [10] EN 1946-1, (1999), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 1-Common criteria.
- [11] EN 1946-2, (1999), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 2- Measurements by guarded hot plate method.
- [12] EN 1946-3, (1999), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 3- Measurements by heat flow meter method.
- [13] EN 1946-4, (2000), Thermal performance of building products and components, Specific criteria for the assessment of laboratories measuring heat transfer properties, Part 4- Measurements by hot box methods
- [14] EN ISO 10211-1, (1995), Thermal bridges in building construction, Heat flows and surface temperatures, Part 1: General calculation methods.
- [15] British Gypsum Guide to Timber Frame Construction (1998), British Gypsum.
- [16] Twist, H and Lancashire, R. Timber frame construction 4th edition, TRADA technology Timber frame construction, (2008) CCB evolution.