

CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE SOLUÇÕES TRADICIONAIS DE PAREDES DO CENTRO HISTÓRICO DE VISEU

THERMAL CHARACTERIZATION OF TRADITIONAL WALLS OF THE HISTORICAL CITY CENTER OF VISEU

Ricardo M. S. F. Almeida

Instituto Politécnico de Viseu / CONSTRUCT-LFC
Dep. de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
ralmeida@estv.ipv.pt

Romeu Vicente, Eduardo Roque

RISCO, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro
romvic@ua.pt / eroque@ua.pt

Tiago Ferreira

ISISE, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho
tmferreira@civil.uminho.pt

João Negrão

Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra
jhnegrao@dec.uc.pt

José Mendes da Silva

LAETA-ADAI, Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Coimbra
raimundo@dec.uc.pt

RESUMO

A caracterização detalhada do edificado antigo deve ser uma ação fundamental de qualquer processo de reabilitação. O exercício de compatibilização entre as preocupações relacionadas com a preservação da identidade patrimonial dos edifícios e as atuais exigências de conforto e eficiência energética é um dos maiores desafios atuais da comunidade técnica ao qual é necessário dar uma resposta estratégica, técnica e ainda ao nível financeiro adequada na fase de conceção. No caso específico da reabilitação energética, conhecer com rigor as propriedades térmicas das soluções construtivas tradicionais é crucial, especialmente a resistência térmica, quando se trata de elementos opacos da envolvente externa dos edifícios. Essa determinação é, habitualmente, efetuada através de cálculo baseado nas propriedades tabeladas dos materiais. No entanto, quer devido à singularidade dos materiais de construção antigos e soluções construtivas encontrados em edifícios antigos, quer devido ao seu estado de conservação, essa quantificação pode conduzir a valores que não traduzem o desempenho térmico real dos elementos. Nesse sentido, os ensaios in-situ são fundamentais para uma avaliação mais rigorosa. Este trabalho apresenta uma metodologia para a medição in-situ da resistência térmica de elementos da envolvente, baseada no procedimento descrito na norma ISO 9869. A metodologia foi testada numa campanha de ensaios realizados num edifício do centro histórico de Viseu em que foram ensaiadas uma parede exterior de granito e uma parede interior de tabique.

Palavras-chave: Eficiência energética, ensaios in-situ, resistência térmica.

ABSTRACT

The detailed characterization of the old building stock should be a fundamental action of any rehabilitation or refurbishment process. The compatibility pursued between the preservation concern of the built heritage and its identity with the current requirements of comfort and energy efficiency is one of the greatest challenges that the technical community faces presently, which needs to be adequately tackled at a strategic, technical and financial level in the design phase. In the specific case of energy rehabilitation, knowing the thermal properties of traditional building solutions is crucial, especially thermal resistance, when it comes to opaque elements that compose the external envelope of buildings. This determination is usually calculated resorting to tabulated mean properties of the materials. However, either because of the uniqueness of the traditional construction materials and constructive solutions found in older buildings or because of their conservation status, such quantification can lead to values that do not reflect the actual thermal performance of the elements. Therefore, in-situ testing is fundamental for a more reliable assessment. This work presents a methodology for the in-situ measurement of the thermal resistance of external opaque elements based on the procedure described in ISO 9869. The methodology was tested in the scope of a testing campaign carried out in a building in the historical city centre of Viseu in which an exterior granite masonry wall and an interior lathwork wall were tested.

Keywords: Energy efficiency, in-situ test, thermal resistance.

1. INTRODUÇÃO

O setor dos edifícios é caracterizado por consumos energéticos elevados, sendo responsável por cerca de 40% do total da energia consumida na União Europeia, valor superior ao registado nos setores da indústria e dos transportes (BPIE- Buildings Performance Institute Europe, 2011).

O aumento do consumo de energia nos edifícios, aliado a um cenário de dependência energética também crescente, tornou a temática da eficiência energética e das estratégias de melhoria do desempenho energético prioritária em termos de políticas europeias. A Diretiva Europeia 2010/31/EU (2010), que inclui a revisão da EPBD (Energy Performance of Buildings Directive) original, é um reflexo dessas preocupações, aumentando as exigências impostas aos edifícios relativamente ao seu desempenho energético.

Por outro lado, na Europa, aproximadamente um quarto do edificado foi construído antes de 1950 (União Europeia, 2015). A juntar ao seu significado histórico e cultural, muitas vezes estes edifícios recebem infraestruturas públicas e outros serviços, cuja relevância para a comunidade é evidente. Muitas destas construções, no entanto, apresentam, claros sinais de degradação e níveis de qualidade do ambiente interior desajustados às exigências atuais. Adicionalmente, não é raro observar-se nestes edifícios uma utilização exaustiva de sistemas

de ar condicionado, como forma de compensar deficiências ao nível da sua envolvente no que se refere ao desempenho térmico e à estanquidade ao ar. Esta prática implica, obviamente, elevados custos quer ambientais, quer económicos.

A caracterização detalhada do edificado antigo deve ser uma ação fundamental de qualquer processo de reabilitação. O exercício de compatibilização entre as preocupações relacionadas com a preservação da identidade patrimonial dos edifícios e as atuais exigências de conforto e eficiência energética é um dos maiores desafios atuais da comunidade técnica ao qual é necessário dar uma resposta estratégica, técnica e financeira adequada na fase de conceção.

No caso específico da reabilitação energética, conhecer com rigor as propriedades térmicas das soluções construtivas tradicionais é crucial, especialmente a resistência térmica, quando se trata de elementos opacos da envolvente externa dos edifícios. Essa determinação é, habitualmente, efetuada através de cálculo baseado nas propriedades tabeladas dos materiais. No entanto, quer devido à singularidade dos materiais e soluções construtivas encontrados em edifícios antigos, quer devido ao seu estado de conservação, essa quantificação pode conduzir a valores que não traduzem o desempenho térmico real dos elementos. Nesse sentido, os ensaios “in-situ” são fundamentais para uma avaliação mais rigorosa.

2. METODOLOGIA PARA A DETERMINAÇÃO IN-SITU DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DE PAREDES

2.1. ENQUADRAMENTO

A resistência térmica de uma parede é o parâmetro mais importante para o seu desempenho térmico, sendo, portanto, fundamental, quando se pretende simular o desempenho energético de um edifício.

Em laboratório, os métodos de determinação da resistência térmica de elementos opacos estão perfeitamente estabilizados e fornecem informação fiável. Atualmente, o Guarded Hot Box (GHB) e o Calibrated Hot Box (CHB) são os métodos mais utilizados, estando os seus procedimentos definidos na norma ISO 8990 (1994). Os dois métodos pressupõem que as condições ambientais nas duas faces do provete são totalmente controladas, gerando-se, assim, um fluxo de calor estável (regime permanente) que garante a fiabilidade dos resultados.

No entanto, apesar da robustez e da reconhecida superioridade em termos de precisão das medições, a aplicabilidade in-situ destes métodos é muito reduzida ou mesmo nula (Meng, et al., 2017). Desta forma, é necessário recorrer a metodologias e técnicas de medição

diferentes para avaliar a resistência térmica de paredes em edifícios existentes.

A resistência térmica de elementos construtivos pode, atualmente, ser avaliada in-situ através de métodos destrutivos ou de métodos não destrutivos. Aos primeiros está associada uma destruição parcial ou total do elemento em estudo, sendo, portanto, a sua aplicação incompatível com um processo de reabilitação, estando limitada a situações em que o estado de degradação do elemento impede a sua recuperação. Os métodos não-destrutivos permitem ultrapassar esta limitação sem comprometer a precisão e fiabilidade dos resultados.

Várias metodologias para a avaliação da resistência térmica in-situ têm sido testadas recentemente. Num trabalho desenvolvido por Meng et al. (2015) concluiu-se que a maioria das medições in-situ utiliza o método Heat Flow Meter (HFM), apesar deste procedimento obrigar condições especiais em termos de gradientes de temperatura. Para além do método HFM, a termografia de infravermelhos (IRT) também é uma técnica bastante utilizada para avaliar o desempenho térmico dos elementos construtivos (Fokaides e Kalogirou, 2011; Albatici et al., 2015; Tejedor et al., 2017).

2.2. O MÉTODO HEAT FLOW METER (HFM)

O método HFM é reconhecido internacionalmente e amplamente utilizado entre a comunidade científica. A descrição e o modo de aplicação do método estão bem estabelecidos na norma ISO 9869 (2014). Esta norma estabelece os procedimentos necessários à determinação in-situ da resistência térmica de elementos construtivos planos, constituídos por camadas opacas perpendiculares ao fluxo de calor, em que os fluxos laterais são negligenciáveis. A norma contém indicações relativas a: (1) equipamento; (2) procedimentos para tratamento dos dados; (3) calibração e aplicação da instrumentação; (4) correção de erros sistemáticos; e (5) relatório de ensaio.

Apesar das óbvias vantagens deste método, que permite determinar as propriedades térmicas dos elementos sem necessidade de condicionar as condições de uso do edifício, vários estudos têm evidenciado algumas incertezas e dificuldades práticas de implementação do método com consequências na precisão das medições. De acordo com a literatura, os aspetos críticos são:

- o gradiente de temperatura entre as duas faces do elemento construtivo (Cesaratto et al., 2011; Desogus et al., 2011; Ficco et al., 2015);
- flutuações de temperatura durante o ensaio (Asdrubali et al., 2014; Ahmad et al., 2014);
- variações da pressão de vapor durante o ensaio (Ficco et al., 2015);

- e gradientes do fluxo de calor (Asdrubali et al., 2014).

Vários autores têm apresentado propostas no sentido de minimizar estes efeitos, limitando, assim, a incerteza associada ao ensaio (Cesaratto e De Carli, 2013; Evangelisti et al., 2015). A maioria destas propostas estão relacionadas com o posicionamento dos sensores e com a limitação do efeito das condições de fronteira (radiação solar, precipitação, vento, fontes de calor...) e dos pontos singulares (pontes térmicas, janelas, heterogeneidades nos elementos construtivos, zonas danificadas, teor de humidade dos materiais e outras singularidades).

Para garantir que o efeito da inércia térmica é devidamente contabilizado, o método HFM requer um período longo de medição, dependente da natureza do componente em estudo, das temperaturas interior e exterior e do método utilizado para a análise dos dados. A duração mínima do ensaio são 72 horas, se a temperatura for estável. Caso contrário, a duração do ensaio pode ultrapassar os 7 dias (ISO 9869, 2014).

Relativamente ao processamento dos dados recolhidos durante a medição, podem ser utilizados dois métodos: (1) o “método da média”; e (2) o “método dinâmico”. O primeiro é aplicável apenas quando se pode assumir um regime permanente de transferência de calor e, portanto, o efeito da inércia térmica não é relevante. O segundo método é utilizado quando as condições fronteira não são estáveis e, conseqüentemente, a hipótese de regime permanente não se verifica, como é o caso das situações em que o fluxo de calor é perturbado por flutuações da temperatura interior e/ou exterior. Nesta situação, o processamento dos dados das medições requer o uso de formulações mais complexas, sendo a sua utilização mais diminuta tendo em conta o volume de trabalho envolvido comparativamente ao “método da média” (Lucchi, 2017).

A aplicação do “método da média” pressupõe que as seguintes condições sejam cumpridas:

- o valor final da resistência térmica do elemento obtida no final do tempo de ensaio não se pode desviar mais do que $\pm 5\%$ do valor obtido 24 horas antes;
- o valor da resistência térmica do elemento considerando o primeiro período de análise não pode variar mais do que $\pm 5\%$ relativamente ao valor obtido considerando os dados do último período com a mesma duração (ambos os períodos tem a duração da parte inteira de $2.D_T/3$, onde D_T é a duração do ensaio em dias);
- a variação do calor armazenado no componente tem de ser inferior a 5% do calor que atravessa o componente durante o período de ensaio.

O cumprimento destas condições pode implicar longos períodos de medição, especialmente quando são avaliados elementos construtivos pesados, como é o caso de

algumas paredes de alvenaria de edifícios antigos. No entanto, o método HFM com tratamento dos dados através do “método da média” já foi aplicado com sucesso em vários edifícios históricos (Lucchi, 2017; Genova e Fatta, 2018). Para determinar o valor da resistência térmica do elemento construtivo, o método utiliza a seguinte formulação:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^N (T_{si_j} - T_{se_j})}{\sum_{j=1}^N q_j} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad [1]$$

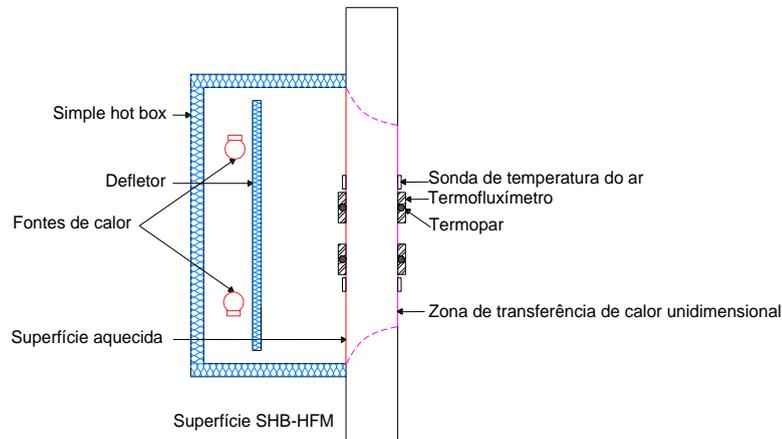
O valor da resistência térmica (R) é determinado com base na medição simultânea do fluxo de calor por unidade de área ($q = \Phi / A$) e do gradiente de temperatura entre as duas faces do elemento ($T_{si} - T_{se}$), em diferentes medições (j) (ISO 9869, 2014). N corresponde ao total de medições efetuadas durante o período de ensaio, sendo obrigatoriamente um múltiplo de 24 horas.

2.3. O MÉTODO SIMPLE HOT-BOX - HEAT FLOW METER (SHB-HFM)

O método SHB-HFM surgiu com o objetivo de minimizar as limitações do método HFM, criando condições estáveis de temperatura numa das faces do elemento construtivo através da utilização de uma Simple Hot-Box (SHB). Este método evita o recurso a equipamento de grandes dimensões como a tradicional Hot-Box ao mesmo tempo que reduz as flutuações de temperatura numa das superfícies do provete. O processamento dos dados obtidos durante a medição segue as mesmas regras aplicáveis ao método HFM. O método SHB-HFM para além de utilizar equipamento relativamente simples, facilmente transportável em zonas de grande densidade de construção e aplicável em compartimentos de dimensão reduzida.

A Figura 1 ilustra o princípio de funcionamento do método SHB-HFM. A instrumentação necessária é idêntica à do método HFM, diferenciando-se pela introdução da SHB (construída com material isolante) com um dispositivo para aquecimento no seu interior. Desta forma, consegue-se garantir um gradiente de temperatura entre as duas faces do elemento construtivo. Caso seja possível a instalação da SHB no lado exterior, pode ultrapassar-se as dificuldades inerentes à variação das condições climatéricas (Meng, 2015).

Figura 1: princípio de funcionamento do método SHB-HFM.



3. PAREDES TRADICIONAIS E CASO DE ESTUDO

3.1. ENQUADRAMENTO REGIONAL

A construção tradicional portuguesa apresenta diferentes tipologias construtivas de acordo com as técnicas construtivas locais, os materiais/recursos disponíveis e outras características próprias da região onde se insere. Por exemplo, o tipo de pedra usada para construir paredes exteriores estruturais está relacionado com a sua disponibilidade na região. Nesse sentido, três tipologias fundamentais podem ser identificadas: paredes de pedra, paredes de barro (argila) e paredes com estrutura de madeira.

As paredes exteriores de pedra foram amplamente utilizadas em edifícios até à década de 1960. As paredes exteriores são também muitas vezes referidas como “paredes mestras”, sendo reduzidas cerca de 10 cm em cada piso superior do edifício, até ao valor mínimo de 0,40 m. Na região de Viseu a pedra mais utilizada é o granito.

As paredes com estrutura de madeira incluem as paredes de “tabique”. As paredes simples de “tabique” são formadas por tábuas de madeira que são fixadas acima às vigas do teto e, abaixo, às vigas do pavimento ou ao chão. Subsequentemente, as ripas são fixadas na estrutura, com uma forma trapezoidal, de modo a permitir a retenção da argamassa. Em alguns casos, são usados elementos adicionais para trazer robustez ao elemento.

3.2. EDIFÍCIO CASO DE ESTUDO

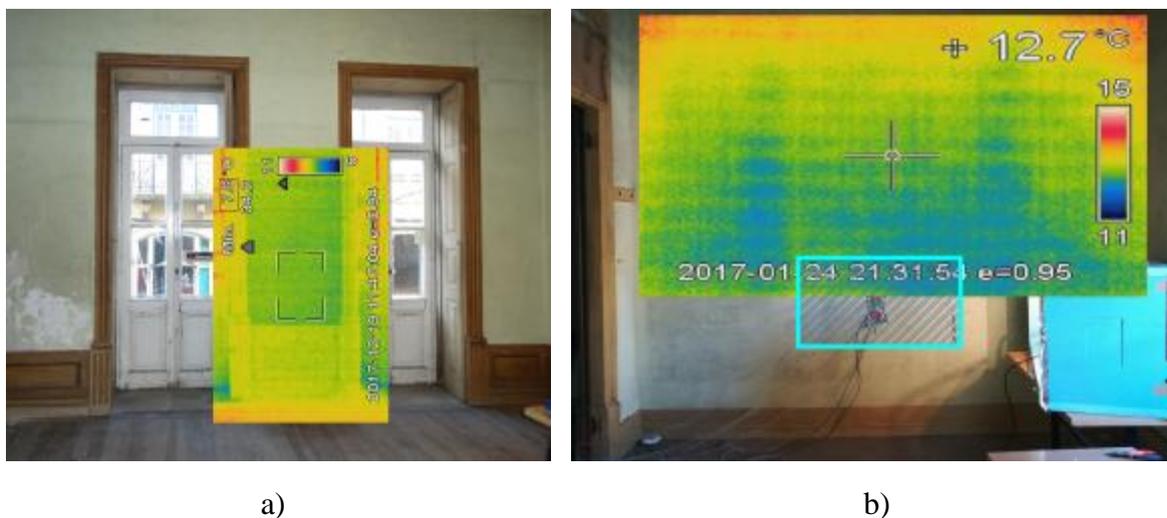
O edifício selecionado como caso de estudo situa-se no centro histórico de Viseu, com data de construção dos finais do século XIX ou início do século XX, com características típicas de construção burguesa da época.

É um edifício com paredes exteriores de alvenaria de pedra de granito, muito rasgadas por vão regulares, cobertura com estrutura de madeira sobre espaços de arrumo e também

zonas de desvão não utilizado. Toda a estrutura interior é de madeira. Os pisos têm estrutura dupla (apoio de soalho e suporte de teto) muito robusta e todas as paredes interiores são de tabique e têm a dupla função de compartimentação e de suporte dos pavimentos. São ainda estas paredes de tabique que separam os diversos ambientes, com diferentes usos, como é o caso do interior das habitações em relação à caixa de escadas. Estas paredes de tabique são em tudo semelhantes às que, noutros edifícios da mesma época, constituem a envolvente exterior de pisos elevados.

Para a aplicação do método SHB-HFM selecionaram-se uma parede exterior de alvenaria de pedra de granito e uma parede interior de tabique (Figura 2).

Figura 2: Casos de estudo: a) parede exterior de alvenaria de pedra de granito;
b) parede de “tabique”.



4. MATERIAIS E EQUIPAMENTO

4.1. A SIMPLE HOT-BOX

A SHB utilizada neste trabalho tem as dimensões internas de 1,5 m x 0,60 m x 0,65 m (C x L x A) e as suas paredes são em poliestireno extrudido (XPS) com 40 mm de espessura e condutibilidade térmica de $0.035 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$. No interior da SHB foram colocadas duas lâmpadas de 60 W, funcionando como fontes de calor internas. No perímetro de contato entre a SHB e o elemento em estudo foi utilizada uma fita vedante para reduzir o fluxo de ar, melhorando assim a estabilidade da temperatura no interior da caixa.

A Figura 3a) mostra a SHB. Para controlar o efeito da transferência de calor por radiação, foi introduzido um defletor (Figura 3b)) entre as fontes de calor e o elemento em estudo. A estrutura completa da SHB é ilustrada na Figura 3c).

Figura 3: a) envolvente exterior da SHB; b) defletor; c) SHB completa.

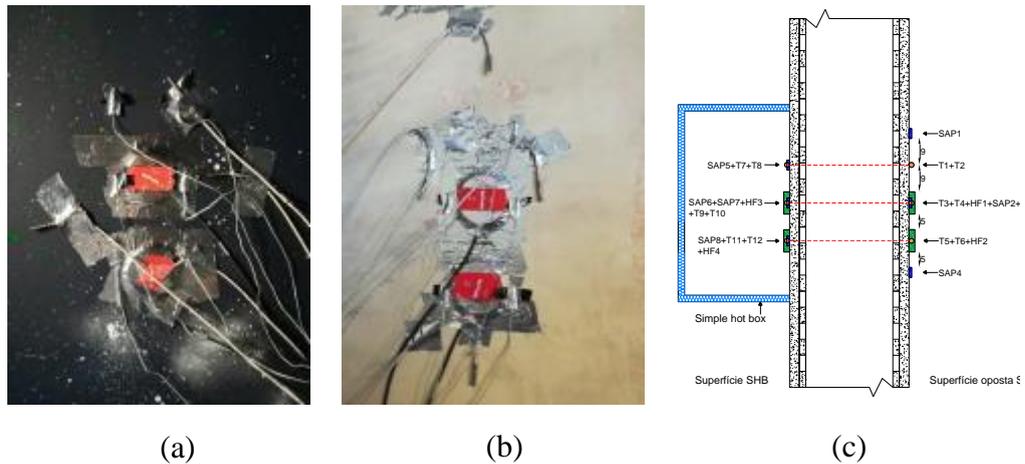


4.2. PROCEDIMENTO E EQUIPAMENTO

O procedimento de ensaio baseia-se na medição e registo em contínuo do fluxo de calor, da temperatura superficial nas duas faces do elemento em estudo e da temperatura do ar também nos dois lados do elemento. O registo foi feito através de um datalogger equipado com termofluxímetros, termopares e sondas de temperatura do ar. O intervalo de aquisição de dados foi de 1 minuto.

O equipamento utilizado incluiu: 4 termofluxímetros Hukseflux HFP01 (80 mm de diâmetro e 5,4 mm de espessura), com uma incerteza de calibração de $\pm 3\%$, de acordo com o fabricante, foram usados para medir os fluxos de calor; 2 conjuntos de 4 sensores de temperatura PT100 para medir a temperatura do ar perto da superfície do elemento; e 2 conjuntos de 6 termopares tipo T para a medição da temperatura superficial. Cada ponto de medição foi registado separadamente. A Figura 4 mostra o layout experimental.

Figura 4: layout da instrumentação (dimensões em cm): (a) superfície oposta à SHB; (b) superfície dentro da SHB; (c) representação esquemática.



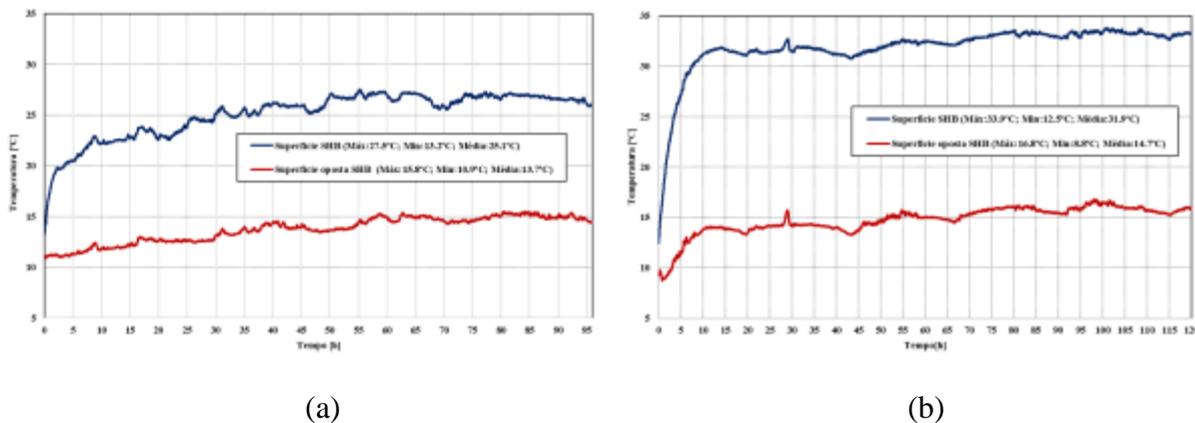
5. RESULTADOS

A Figura 5 mostra, para as duas paredes em estudo, a variação ao longo do ensaio da temperatura superficial no interior da SHB e na face oposta do elemento. Os resultados mostram que a utilização da SHB permitiu estabilizar as condições no seu interior e garantir um gradiente de temperatura compatível com as exigências regulamentares. Este efeito foi mais evidente na parede de tabique.

O ensaio na parede exterior de alvenaria de pedra de granito revelou-se mais complexo, perspetivando a necessidade de adaptação do protocolo de ensaio por forma a responder adequadamente ao comportamento térmico dos elementos que a constituem e também à sua geometria.

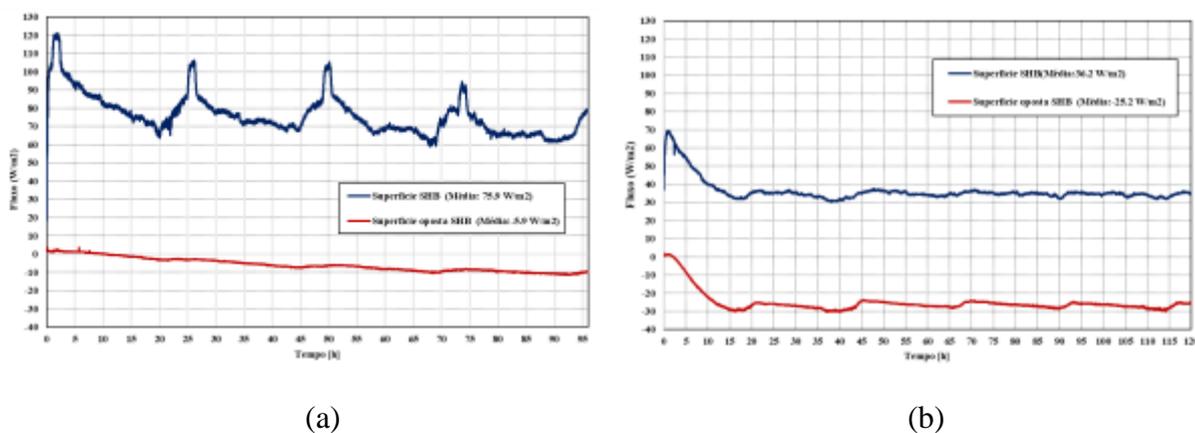
A norma ISO 9869 (2014) apresenta os procedimentos de cálculo para aplicação do método HFM em elementos construtivos planos, primariamente constituídos por camadas opacas perpendiculares à direção da propagação de calor e, mais relevante para a presente discussão, sem dissipação lateral de calor significativa. Como se pode observar na Figura 2 (a), a secção de parede de granito analisada é muito esbelta, e, adicionalmente, posicionada entre vãos envidraçados com um fraco comportamento térmico. Dado este panorama, foi notado após conclusão do ensaio que a dissipação lateral de calor assume uma magnitude que não é desprezável. Conclui-se, portanto, que os efeitos devido aos fluxos laterais condicionaram os resultados finais obtidos e que esta problemática necessita de ser considerada em ensaios futuros em circunstâncias semelhantes.

Figura 5: Variação da temperatura superficial durante o ensaio: (a) parede de granito;
(b) parede tabique.



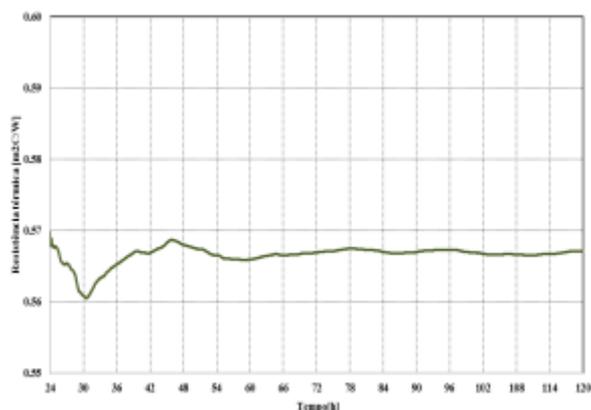
A Figura 6 mostra o registo do fluxo de calor nas duas faces do elemento. Observa-se que a estabilização do fluxo de calor é relativamente rápida (menos de 24 horas). Mais uma vez observa-se que os resultados são mais coerentes na parede de tabique.

Figura 6: Variação do fluxo de calor durante o ensaio: (a) parede de granito;
(b) parede tabique.

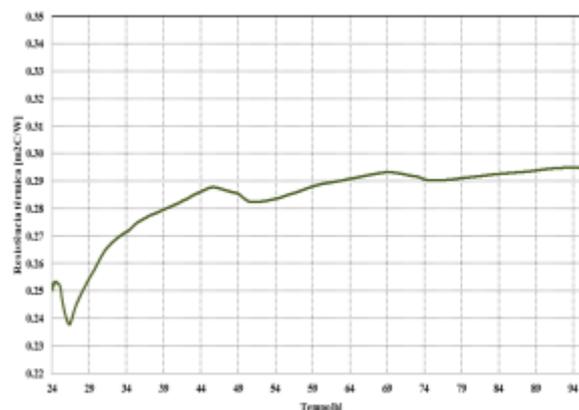


A Figura 7 mostra o valor da resistência térmica do elemento construtivo. A resistência térmica final obtida para a parede exterior de alvenaria de granito foi de $0.30 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$, enquanto para a parede de tabique o valor foi $0.57 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} \cdot \text{W}^{-1}$.

Figura 7: Variação da resistência térmica durante o ensaio: (a) parede de granito;
(b) parede tabique.



(a)



(b)

6. CONCLUSÕES

O equilíbrio entre a conservação da identidade histórica dos edifícios e os atuais requisitos de eficiência energética e de conforto interior é hoje um dos desafios mais complexos que os técnicos responsáveis pelas ações de reabilitação têm que enfrentar.

Este artigo apresenta uma discussão estruturada sobre as metodologias de medição in-situ da resistência térmica de elementos construtivos. A partir dessa síntese é feita a apresentação de uma metodologia inovadora, o método SHB-HFM, cujo princípio de aplicação é baseado no procedimento descrito na norma ISO 9869 (2014).

A metodologia foi testada num edifício do centro histórico da cidade de Viseu, tendo-se selecionado uma parede exterior de alvenaria de pedra de granito e uma parede interior de “tabique” como casos de estudo. Os resultados foram satisfatórios, tendo-se obtido um valor de $0.30 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$ para a resistência térmica da parede granito e de $0.57 \text{ m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{W}^{-1}$ para a parede de “tabique”.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao projeto “VISEU PATRIMÓNIO”, lançado pela Câmara Municipal de Viseu, e à VISEU NOVO - SRU - Sociedade de Reabilitação Urbana de Viseu SA.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHMAD, A., MASLEHUDDIN, M. E AL-HADHRAMI, L. M. (2014). **In situ measurement of thermal transmittance and thermal resistance of hollow reinforced precast concrete walls**. Energy and Buildings, 84, DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.07.048, pp. 132–141.
- ALBATICI, R., TONELLI, A. E CHIOGNA, M. (2015). **A comprehensive experimental approach for the validation of quantitative infrared thermography in the evaluation**

- of building thermal transmittance.** Applied Energy, 141, DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.12.035, pp. 218–228.
- ASDRUBALI, F., D’ALESSANDRO, F., BALDINELLI, G. E BIANCHI, F. (2014). **Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries: A case study.** Case Studies in Construction Materials, 1, DOI: 10.1016/j.cscm.2014.04.004, pp. 53–59.
- BPIE- Buildings Performance Institute Europe (2011). **Europe's Buildings under the Microscope – A country-by-country review of the energy performance of buildings,** Bruxelas, Bélgica.
- CESARATTO, P. G., DE CARLI, M. E MARINETTI, S. (2011). **Effect of different parameters on the in situ thermal conductance evaluation.** Energy and Buildings, 43, DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.03.021, pp. 1792–1801.
- CESARATTO, P. G. E DE CARLI, M. (2013). **A measuring campaign of thermal conductance in situ and possible impacts on net energy demand in buildings.** Energy and Buildings, 59, DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.08.036, pp. 29–36.
- DESOGUS, G., MURA, S. E RICCIU, R. (2011). **Comparing different approaches to in situ measurement of building components thermal resistance.** Energy and Buildings, 43, DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.05.025, pp. 2613–2620.
- DIRETIVA EUROPEIA 2010/31/EU (2010). **Directive of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast),** Bruxelas, Bélgica.
- EVANGELISTI, L., GUATTARI, C., GORI, P. E DE LIETO VOLLARO, R. (2015). **In situ thermal transmittance measurements for investigating differences between wall models and actual building performance.** Sustainability, 7, DOI: 10.3390/su70810388, pp. 10388–10398.
- FICCO, G., IANNETTA, F., IANNIELLO, E., D’AMBROSIO ALFANO, F. R. E DELL’ISOLA, M. (2015). **U-value in situ measurement for energy diagnosis of existing buildings.** Energy and Buildings, 104, DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.06.071, pp. 108–121.
- FOKAIDES, P. E KALOGIROU, S. (2011). **Application of infrared thermography for the determination of the overall heat transfer coefficient (U-Value) in building envelopes.** Applied Energy, 88, DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.05.014, pp. 4358–4365.
- GENOVA, E. E FATTA, G. (2018). **The thermal performances of historic masonry: in-situ measurements of thermal conductance on calcarenite stone walls in Palermo.** Energy and Buildings, 168, DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.03.009, pp. 363–373.
- ISO 8990 (1994). **Thermal Insulation – Determination of Steady-State Thermal Resistance and Related Properties – Calibrated and Guarded Hot Box,** International Standardization Organization, Genebra, Suíça.
- ISO 9869 (2014). **Thermal Insulation - Building Elements - In-situ Measurement of Thermal Resistance and Thermal Transmittance. Part 1: Heat Flow Meter Method,** International Standardization Organization, Genebra, Suíça.
- LUCCHI, E. (2017). **Thermal transmittance of historical brick masonries: A comparison among standard data, analytical calculation procedures, and in situ heat flow meter measurements.** Energy and Buildings, 134, DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.10.045, pp. 171–184.
- LUCCHI, E. (2017). **Thermal transmittance of historical stone masonries: A comparison among standard, calculated and measured data.** Energy and Buildings, 151, DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.07.002, pp. 393–405.
- MENG, X., GAO, Y., WANG, Y., YAN, B., ZHANG, W. E LONG, E. (2015). **Feasibility experiment on the simple hot box-heat flow meter method and the optimization based on simulation reproduction.** Applied Thermal Engineering, 83, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2015.03.010, pp. 48–56.

- MENG, X., LUO, T., GAO, Y., ZHANG, L., SHEN, Q. E LONG, E. (2017). **A new simple method to measure wall thermal transmittance in situ and its adaptability analysis.** Applied Thermal Engineering, 122, DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.05.074, pp. 747–757.
- TEJEDOR, B., CASALS, M., GANGOLELLS, M. E ROCA, X. (2017). **Quantitative internal infrared thermography for determining in-situ thermal behaviour of façades.** Energy and Buildings, 151, DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.06.040, pp. 187–197.
- UNIÃO EUROPEIA (2015). **Energy strategies and solutions for deep renovation of historic buildings,** Available at: https://cordis.europa.eu/programme/rcn/664681_en.html.