

Determinação do U em construções



Termograma obtido em 14-08-2008, às 23h:39, com uma temperatura ambiente de 17,5 °C.

Título

Determinação do U em construções

Edição

Catim - centro de apoio tecnológico à indústria metalomecânica

Rua dos Plátanos, 197, 4100 Porto | tel. 226 159 000

catim@catim.pt | www.catim.pt

Autor

António Cardoso

Coordenação Técnica

Catim - centro de apoio tecnológico à indústria metalomecânica

Design gráfico e paginação

Iris Ferraz

Depósito Legal

313037/10

ISBN

978-972-98630-1-1

Junho de 2010

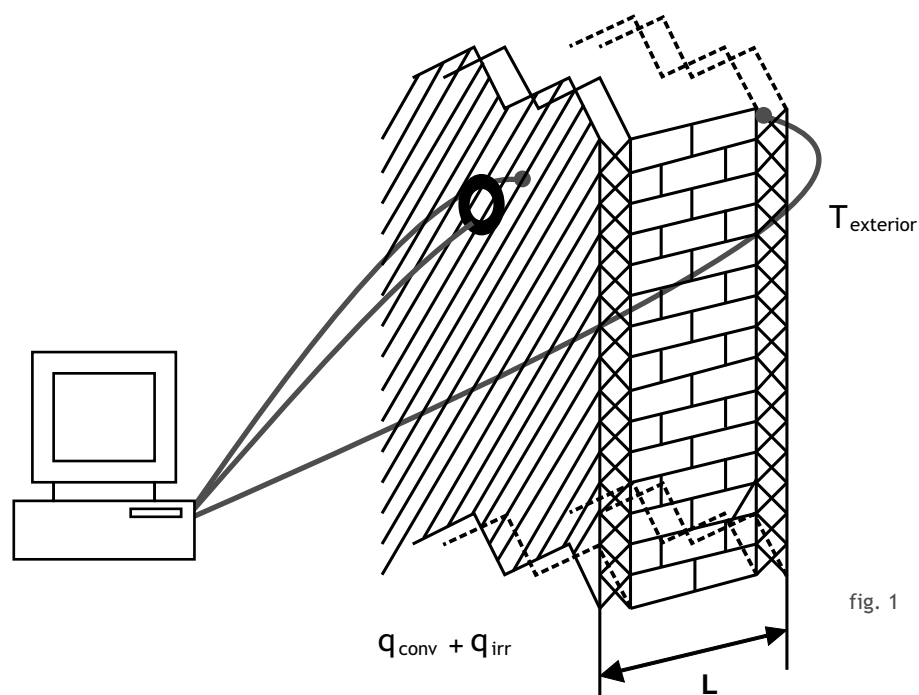
Determinação do U em construções

Os desafios colocados pelas alterações climáticas estão a ser uma fonte de pressão para modificarmos os nossos hábitos de consumo de energia. Cada vez mais é necessário saber quantificar as perdas de energia e como acontecem. Na construção já edificada, constata-se que o cálculo do U, coeficiente de transmissão térmica, é difícil de obter, porque na maior parte dos casos se desconhece de forma exacta a constituição das várias camadas que constituem a parede. A utilização de fluxímetros é um método moroso, que necessita de ser complementado com termómetros de contacto colocados nas superfícies interior e exterior da parede, e só vai caracterizar a parede na zona onde foi colocado. O método descrito nesta publicação recorre unicamente a imagens de termografia (termogramas) para obter todas as temperaturas necessárias ao cálculo do U e respectiva cartografia ao longo da parede. O modelo inerente ao método assume que o U é 0 (zero) em todas as direcções diferentes da normal à parede. A dificuldade em manter as paredes em regime permanente resulta no cálculo de um valor aproximado, sendo necessários mais estudos para avaliar a dimensão da incerteza da medição.

Método tradicional	06
Solução proposta	07
Modelo físico subjacente	07
Considerações técnicas e preparação	08
Registos das temperaturas	11
Aferição e cálculo de parâmetros	11
Cálculo das temperaturas reflectidas	11
Cálculo das temperaturas ambiente	11
Cálculo da emissividade	11
Cálculo das temperaturas da parede	12
Cálculo do U através dos fluxos	13
Por irradiação	13
Por convecção	13
Cálculo final	14
Construção do mapa de U's	14
Considerações finais	15
Bibliografia	16

Método tradicional

Para determinar o U' , colocam-se um fluxómetro na parede e dois sensores de temperatura, um de cada lado, em pontos justapostos; liga-se tudo a um “data-logger” e espera-se que o regime permanente seja atingido.



Pela fórmula

$$U = \frac{q}{T_{\text{parede}} - T_{\text{exterior}}} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

obtemos o U . Se soubermos o L'' , podemos obter o λ'''

$$\lambda = U \cdot L \text{ W} \cdot \text{m} / \text{m}^2 \cdot \text{K}$$

I Coeficiente de transmissão térmica, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

II Espessura da parede, m.

III Coeficiente de condutibilidade térmica, $\text{W} \cdot \text{m}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

A seguir, basta passarmos para a área de $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ contígua e repetimos o processo até que tenhamos a parede toda medida, com uma resolução de 100 cm^2 .

Solução proposta

Se aceitarmos que o desconhecimento do h^v pode ser colmatado pela majoração do valor dentro de determinados parâmetros, poderemos usar as câmaras de termografia para, duma forma rápida, passarmos a estimar o U , ou o λ , a menos do erro que provocamos, mas com a certeza de que o valor real será inferior ao calculado. O h depende de muitos factores, podendo a sua determinação com precisão ser complicada.

Modelo físico subjacente

Esta técnica pressupõe que o U tem valor zero em todas as direcções, excepto na perpendicular à superfície.

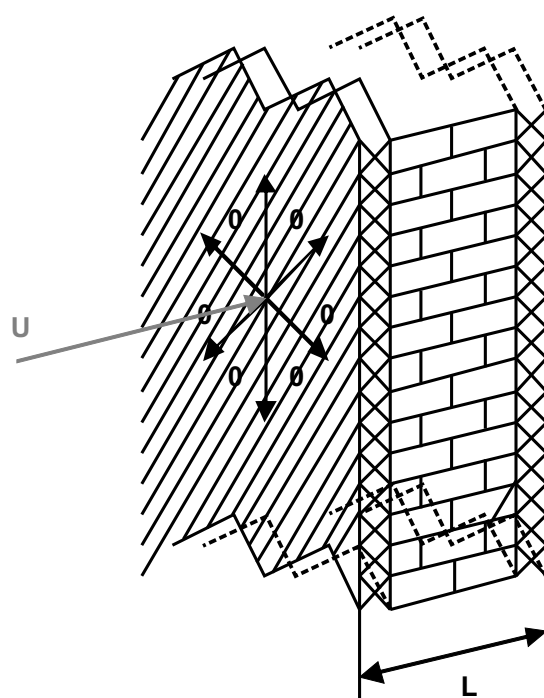


fig. 2

Considerações técnicas e preparação

Para chegarmos ao fim que nos propomos, temos de recolher os seguintes dados da parede (nos 2 lados) onde queremos determinar o U:

- as temperaturas reflectidas;
- as temperaturas ambientes;
- as emissividades das superfícies;
- as humidades relativas^V;
- as distâncias da câmara às superfícies;
- as temperaturas das superfícies.

Teremos também de ter a parede em equilíbrio térmico quando quisermos medir as temperaturas de superfície. Nestas condições, se as zonas de desconforto forem pouco extensas, as correntes de convecção livre quase não existem, ou são desprezíveis, já que o ar que estará em contacto com as paredes terá quase a mesma temperatura que estas. No entanto, usaremos para h um valor de $6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{\text{VI}}$. Não tomaremos em consideração a transferência de calor por condução, porque o ar, nestas condições, não reunirá as condições de fluido estável, $dp/dz > 1^{\text{VII}}$ (provavelmente, será 0 ou muito próximo).

V Para estas distâncias, podemos ignorá-las.

VI O valor proposto para gases à temperatura ambiente é entre $2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ e $25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (Incropera, DeWitt, *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 5.ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2003); usar-se-á o valor de $6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, proposto no curso “Level II Thermographer”, para o cálculo da potência da lâmpada escondida dentro de um cilindro com paredes lisas.

VII Derivada da massa específica em relação à altura.

Comecemos por preparar o reflector de temperatura^{viii}. Amarrotamos uma folha de alumínio (de cozinha) e esticamo-la, como se pode ver na fig. 3.



fig. 3

Numa zona onde não se verifique uma variação de temperatura (uma zona termicamente plana), coloca-se a folha de alumínio encostada na parede.



fig. 4

VIII ISO 18434-1:2008 - *Condition monitoring and diagnostics of machines - Thermography - Part 1: General procedures.*

Cola-se também um pedaço de fita isoladora na parede e aguardam-se 10 minutos para que esta fique à mesma temperatura. Para sabermos a temperatura ambiente, fazemos a mesma preparação, mas numa de folha de papel A4 que se coloca no meio da sala.

Regista-se um termograma com a folha de alumínio (reflector de temperatura) em grande plano, retiramos esta e, sem mudar o plano^{IX}, fazemos novo termograma da fita isoladora. Para medir a temperatura ambiente, repete-se o procedimento anterior sobre a folha de papel. Toma-se nota da humidade relativa e da distância da câmara à parede (ou à folha).

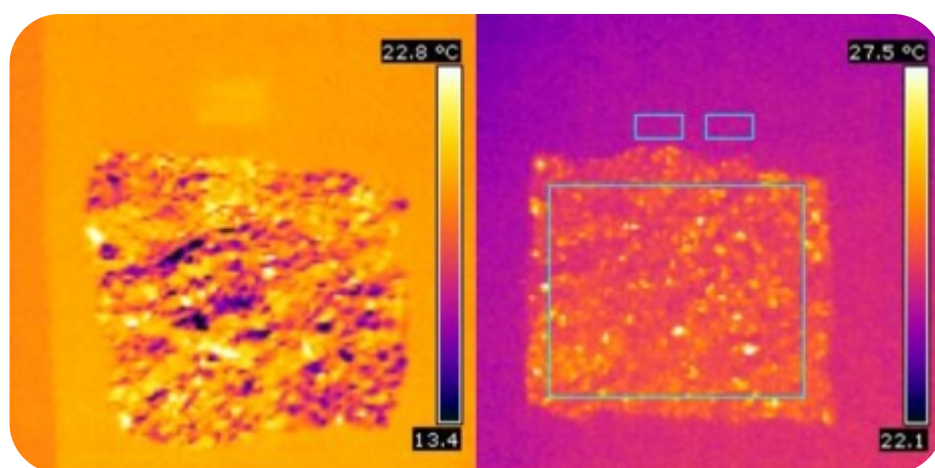


fig. 5^x

Do outro lado da parede repete-se o processo.

Resumo inicial

O método tradicional é exacto, mas é moroso.
A solução proposta é inovadora e menos trabalhosa.
Há compromissos a ter em conta.
O U, neste modelo, apenas tem expressão na perpendicular à parede.

IX Preferencialmente, usar um tripé para manter o enquadramento.

X Dois exemplos: à esquerda, uma parede com 0,6 de emissividade - a fita destaca-se; à direita, uma parede com a mesma emissividade - a fita não se destaca.

Registos das temperaturas

Atingido o equilíbrio térmico, registam-se 2 termogramas (com e sem folha de alumínio) de cada lado da parede, em pontos justapostos. Aliás, repete-se o processo anterior, desta vez, sem colocar fita isoladora, mas apenas a folha de alumínio.

No fim deste processo, devemos ter 12 termogramas executados.

Aferição e cálculo de parâmetros

Cálculo das temperaturas reflectidas

Com recurso ao QuickReport™^{XI}, começamos por alterar a emissividade para 1 nos primeiros termogramas, os que dispõem de folha de alumínio, e coloca-se uma “área” sobre a folha de alumínio; acertamos também a humidade relativa do ar, a distância à câmara e a temperatura ambiente^{XII}.

Cálculo das temperaturas ambiente

Nos segundos termogramas das folhas de papel coloca-se outra “área” sobre a fita isoladora. Acertam-se a distância, a humidade, a temperatura reflectida com o valor calculado no passo anterior e põe-se a emissividade para 0,95. As temperaturas médias destas “áreas” serão as “temperaturas ambiente” para os próximos termogramas.

Cálculo da emissividade

Obtidas as temperaturas reflectidas e ambiente de cada contexto, passamos para o cálculo das emissividades das paredes.

Nos segundos termogramas das fitas isoladoras sobre as paredes troca-se a emissividade para 0,95, colocam-se “áreas” sobre as fitas isoladoras e registam-se as suas temperaturas médias^{XIII}. Varia-se agora a emissividade no sentido contrário à diferença de temperatura entre a fita isoladora e as zonas adjacentes até que a temperatura na parede coincida com a da fita isoladora antes de se começar a variar a emissividade, se a temperatura reflectida for inferior às duas temperaturas medidas na parede e na fita isoladora. Proceder modo contrário, se esta for superior.

XI Flir Systems, Inc.

XII Nos termogramas da folha de papel negligenciaremos a temperatura ambiente, primeiro, por serem feitos a curta distância, segundo, porque será destes termogramas que sairão as ditas emissividades para usarmos nos outros.

XIII Para uma medição mais exacta, colocamos o termómetro junto a uma folha de papel A4 meio coberta por uma folha de alumínio e com um bocado de fita isoladora na metade descoberta e faz-se um termograma suplementar. Desta vez, coloca-se, também, uma “área” em cima da fita. Com o método descrito anteriormente, calcula-se a temperatura reflectida e varia-se a emissividade até que a temperatura média coincida com a do termómetro. De seguida, usaremos esse valor para aferir os outros 2 termogramas, em vez de usar 0,95 para a emissividade da fita isoladora.

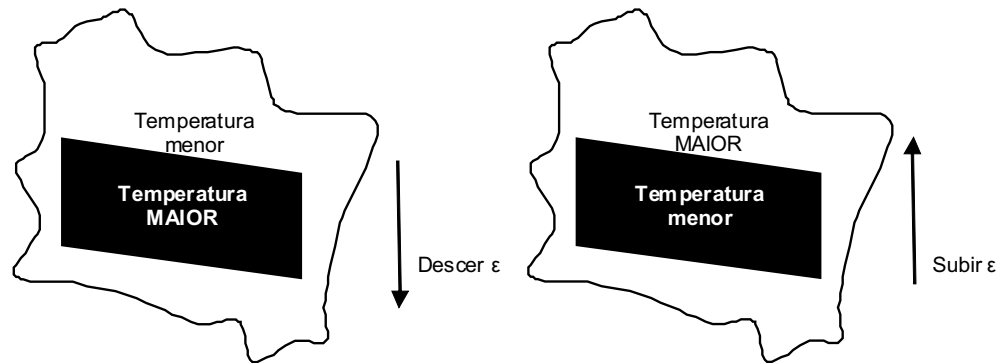


fig. 6

Este procedimento vai-nos permitir conhecer as emissividades e as temperaturas exactas nas duas faces das paredes^{XIV}.

Cálculo das temperaturas da parede

Nos termogramas das paredes, tal como na fase anterior, repete-se o processo até termos a temperatura reflectida calculada e alterada. Agora, com as emissividades calculadas na fase anterior, alteram-se estas para o valor calculado.

Neste momento, estamos em condições de determinar as densidades dos fluxos de calor resultantes por irradiação e por convecção, já que os termogramas da parede exibiram as temperaturas correctas.

Resumo dos cálculos e uso de cada termograma

Local	Propósito	Lado	Contexto	Resultado	Número
Folhas de papel	Cálculo	Interior	Folha de alumínio	Temperatura reflectida	1
			Fita isoladora	Temperatura ambiente	2
		Exterior	Folha de alumínio	Temperatura reflectida	3
			Fita isoladora	Temperatura ambiente	4
Paredes		Interior	Folha de alumínio	Temperatura reflectida	5
			Fita isoladora	Emissividade	6
		Exterior	Folha de alumínio	Temperatura reflectida	7
			Fita isoladora	Emissividade	8
	Interior	Folha de alumínio	Temperatura reflectida	9	
		Sem folha	Temperaturas da parede	10	
	Cálculo	Exterior	Folha de alumínio	Temperatura reflectida	11
	Sem folha		Temperaturas da parede	12	

XIV Quando as temperaturas reflectida, ambiente e das superfícies estiverem muito próximas (diferenças inferiores a 5 °C), as superfícies deverão ser aquecidas, ou arrefecidas; caso contrário, será impossível determinar as emissividades. Neste caso, devem-se fazer todos os termogramas à excepção do 6º e do 8º, aquecer ou arrefecer as paredes, conforme o caso, e, por fim, fazer o 6 e o 8 para determinar as emissividades.

Cálculo do U através dos fluxos

Por irradiação

Com a fórmula de transferência de calor entre duas superfícies paralelas e infinitas

$$q_{irr} = \frac{\sigma (T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \text{ W/m}^2 \quad \text{XV,}$$

iremos calcular o fluxo por irradiação, assumindo que a temperatura reflectida é fruto duma superfície fictícia, que irradia e se encontra na frente da parede, paralelamente a esta, em que σ é a constante de Stefan-Boltzmann [$5,670400 \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2\text{K}^4)$], ε a emissividade e T a temperatura em graus Kelvin.

Neste caso, a fórmula passa a ter este aspecto

$$q_{irr} = \frac{\sigma (T_{refl}^4 - T_{parede}^4)}{\frac{1}{\varepsilon_{parede}} + \frac{1}{1} - 1} \text{ W/m}^2$$

$$\Leftrightarrow$$

$$q_{irr} = \varepsilon_{parede} \sigma (T_{refl}^4 - T_{parede}^4) \text{ W/m}^2$$

forneendo o fluxo de calor por irradiação.

Cálculo das temperaturas ambiente

Com a fórmula seguinte calcularemos a fluxo de calor por convecção

$$q_{conv} = h(T_{\infty} - T_s) \text{ W/m}^2 \quad \text{XVI,}$$

Aplicada ao nosso caso, transforma-se em

$$q_{conv} = h(T_{amb} - T_{parede}) \text{ W/m}^2$$

forneendo o fluxo de calor por convecção^{XVII}.

XV Maldonado, Oliveira Fernandes, *Transferência de Calor*, 1980.

XVI Incropera, DeWitt, *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 5.ª edição, LTC, Rio de Janeiro, 2003.

XVII T_{amb} , T_{refl} e T_{parede} são, respectivamente, a temperatura ambiente, a temperatura reflectida e a temperatura da parede obtidas do mesmo lado, de preferência, no lado onde se verificam menores correntes de ar.

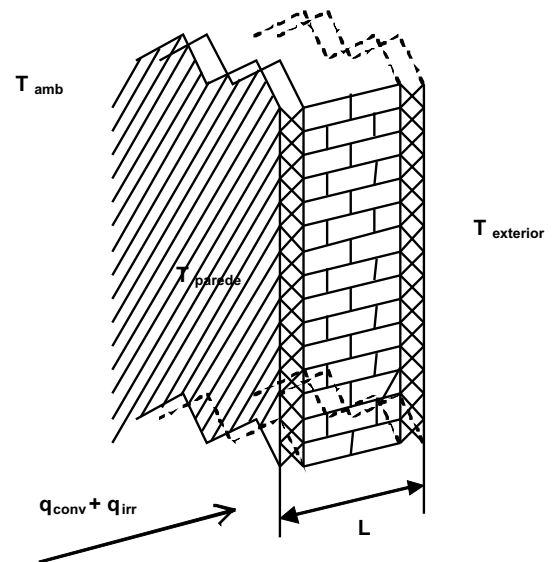
Cálculo final

Com alguma aritmética, chegámos finalmente ao U

$$U = \frac{q_{conv} + q_{irr}}{T_{parede} - T_{exterior}} W \cdot m / m^2 \cdot K$$

Sabida a espessura da parede, L, o λ

$$\lambda = \frac{q_{conv} + q_{irr}}{T_{parede} - T_{exterior}} \cdot L W \cdot m / m^2 \cdot K$$



Construção do mapa de U's

Para a construção de um mapa ajudará bastante se conseguirmos posicionar-nos “em espelho”^{XVIII} dos dois lados da parede. Caso contrário, teremos de redimensionar as imagens, para que cada pixel represente uma área igual, e realinhá-los.

Deste modo, depois de exportar para o Excel, teremos apenas de inverter^{XIX} as temperaturas nas linhas de uma das faces da parede e aplicar estas fórmulas. Por fim, seleccionar a área das fórmulas e construir um gráfico “3D-Surface”.

XVIII O mesmo enquadramento, a mesma distância, a mesma perspectiva, etc., mas em espelho.

XIX No termograma que decidimos pôr em espelho e após exportamos para o Excel, colocamos uma série na linha imediatamente a seguir ao mapa de temperaturas. Seleccionamos tudo, mapa e série, e fazemos uma ordenação descendente da esquerda para a direita pela última linha. Excel em inglês, Data -> Sort -> Options -> Sort left to right -> Ok -> Sort by <última linha> Descending -> Ok. EXCEL em Português, Dados -> Ordenar -> Opções -> Ordenar da esquerda para a direita -> Ok -> Ordenar por <última linha> Descendente -> Ok.

Considerações finais

Este documento não pretende ser exaustivo, mas antes ser um guia prático, para ajudar os demais “actores” no complicado panorama que é a aplicação do RCCTE em construções já edificadas e no acto de certificação energética final da edificação nova. As câmaras termográficas, por si só, permitem uma análise qualitativa. Com este protocolo ganhamos a capacidade de quantificar. Mais importante que saber onde estão os problemas é ter a capacidade de os resolver e garantir que tecnologias de ponta sejam uma mais-valia para o consumidor final.

Bibliografia

Maldonado, Oliveira Fernandes, *Transferência de Calor*, 1980.

Incropera, DeWitt, *Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa*, 5.^a edição, LTC, Rio de Janeiro, 2003.

ISO 18434-1:2008 *Condition monitoring and diagnostics of machines - Thermography - Part 1: General procedures*



centro de apoio tecnológico à indústria metalomecânica

Sede: Rua dos Plátanos, 197 4100-414 Porto, Portugal
tel. (+351) 226 159 000 . fax (+351) 226 159 035

Delegação: Estrada de Paço do Lumiar, 22 - Edifício Q 1649-038 Lisboa, Portugal
tel. (+351) 217 100 790 . fax (+351) 217 165 951

www.catim.pt catim@catim.pt

