

GÜTHS, S. - Eng. Mecânica - UFSC
 PHILIPPI, P.C. - Eng. Mecânica - UFSC
 NIGOLAU, V.P. - Eng. Mecânica - UFSC
 LAMBERTS, R. - Eng. Civil - UFSC

Esse trabalho descreve um método experimental para a determinação da condutividade térmica e capacidade térmica de grandes amostras, utilizando um dispositivo de placa quente protegida os transdutores de fluxo de calor. Apresenta-se, alguns resultados obtidos na medição dessas propriedades para uma amostra de parafina Industrial, utilizando dois tipos de transdutores construídos em nosso laboratório. Apresenta-se uma forma de redução do tempo de experimentação.

A transient method for measuring heat capacity and thermal conductance of flat samples of building material is presented. Some experimental results are presented with the difficulties involved in the measurement procedure. A suitable method for producing the experimental time is also discussed.

1. INTRODUÇÃO

A racionalização do uso da energia no condicionamento térmico de edificações está associado ao conhecimento das propriedades térmicas dos materiais utilizados. A capacidade térmica de materiais é usualmente medida, utilizando-se pequenas amostras, por métodos calorimétricos. Um método transiente para determinar a capacidade e condutividade térmica de grandes amostras, utilizando um dispositivo com temperaturas fixas e transdutores de fluxo de calor foi apresentado por Wattiau (1978).

Esse trabalho descreve uma variante desse método, utilizando-se um dispositivo de placa quente protegida onde um processo de dissipação de calor é mantido constante. É um método mais simples, pois não requer sistemas de controle de temperatura.

O método de medição da capacidade térmica consiste em medir a energia total que um corpo necessita trocar para passar de um estado de equilíbrio térmico (estado 1) para um estado estacionário com gradiente térmico (estado 2), e, a variação da temperatura média da amostra entre esses dois estados.

Pela lei da conservação da energia

$$Q_{liq\ 1-2} = \int_1^2 \rho c T dV = \left[\int \rho c T dV \right]_2 - \left[\int \rho c T dV \right]_1$$

onde ρ é a densidade, c é o calor específico e T a temperatura, sendo todos referentes à cada volume infinitesimal dV da amostra.

No estado 1 têm-se um estado de equilíbrio térmico à T_1 ; então, considerando a amostra homogênea têm-se

$$\left[\int \rho c T dV \right]_1 = m c T_1$$

onde m é a massa da amostra.

No estado 2 têm-se um estado de gradiente estacionário, i.e., uma distribuição linear da temperatura. Considerando T_2 a temperatura na superfície superior da amostra (espessura = L) e T_1 a temperatura na superfície inferior da amostra pode-se escrever

$$T(x) = \frac{T_2 - T_1}{L} x + T_1$$

onde $T(x)$ é a distribuição de temperatura ao longo de uma amostra de espessura L orientado pelo eixo x .

Então,

$$\begin{aligned} \left[\int \rho c T dV \right] &= \rho c A \int_0^L T(x) dx = \rho c V \left(\frac{T_2 + T_1}{2} \right) \\ &= m c \bar{T}_2 \end{aligned}$$

onde \bar{T}_2 é a temperatura média da amostra no estado 2. A capacidade térmica (C) pode, então, ser representada por

$$C = \frac{Q_{liq\ 1-2}}{\bar{T}_2 - T_1}$$

A condutividade térmica é determinada no final da experimentação: no estado de gradiente térmico estacionário.

2. EXPERIMENTAÇÃO

O dispositivo de medição da capacidade e condutividade térmica é montado basicamente sobre um sistema de placa quente protegida (com área de $300 \times 300 \text{ mm}^2$) construída em nosso laboratório. O calor gerado na placa quente provém da dissipação de energia elétrica em uma resistência de Níquel-Cromo distribuída sobre uma placa de mica. As temperaturas são uniformizadas por duas placas de cobre dispostas uma em cada lado da placa de mica.

Para compensar as perdas de calor laterais, a placa aquecedora é dividida em um núcleo e em um anel externo. O núcleo e o anel possuem controle de potência independentes possibilitando a equalização, i.e., a igualdade de suas temperaturas.

As duas placas frias possuem serpentinas internas com passagem de água para refrigeração provindo de um tanque com capacidade de 15.000 l.

Esse dispositivo de medição de capacidade e condutividade térmica necessita de um par de transdutores de fluxo de calor (TFC). Inicialmente construiu-se em nosso laboratório um par de transdutores baseados em um modelo proposto por Guimarães (1986) (do tipo espira).

Duas espiras planas de fio de cobre cobrindo homogeneamente uma área de $100 \times 100 \text{ mm}^2$ são dispostas uma sobre cada lado de uma placa de acrílico com dimensões $300 \times 300 \times 4 \text{ mm}^2$. A resistência elétrica das espiras varia proporcionalmente com a temperatura. Ligadas então em uma ponte de Wheastone, a diferença de potencial de saída é diretamente proporcional à diferença de temperaturas nas faces do transdutor e, consequentemente, ao fluxo de calor que o atravessa.

Construiu-se os transdutores do tipo espira com as espiras de cobre nas mesmas dimensões da placa aquecedora central ($200 \times 200 \text{ mm}^2$). Depois de efetuar algumas medições da capacidade térmica, notou-se sensível dispersão dos resultados (v. tabela 2). A análise numérica do sistema (Güths 1989) mostrou que parte dessa incerteza é fruto da influência do anel aquecedor de proteção e das fugas laterais sobre o transdutor.

Então, devido à relativa complexidade de construção do transdutor tipo espira optou-se pela construção de mais um par de transdutores, baseados em um modelo (do tipo termopilha) proposto por Heard (1982), com uma menor área de medição ($100 \times 100 \text{ mm}^2$). Esse modelo utiliza uma termopilha para medir a diferença de temperatura através do corpo do transdutor.

A termopilha é formada enrolando-se um fio de constantan em uma placa plana de acrílico ($100 \times 100 \times 2,5 \text{ mm}$). Faz-se uma deposição eletroquímica de cobre sobre parte do fio de constantan de modo formar a termopilha.

Calibrou-se os transdutores utilizando o mesmo dispositivo de placa quente protegida, obtendo as seguintes curvas de calibrações:

TFC tipo espira	
N°1:	$q = 0,0140 * V - 67,03$
N°2:	$q = 0,0150 * V - 72,60$

TFC tipo termopilha	
N°1:	$q = 0,01492 * V - 0,0697$
N°2:	$q = 0,01535 * V - 0,0050$

onde q é o fluxo de calor (W/m^2) correspondente à uma tensão V (μV) gerada pelo TFC.

A amostra, com dimensões idênticas à placa quente, é colocada entre os dois transdutores de fluxo de calor conforme mostra a figura 1.

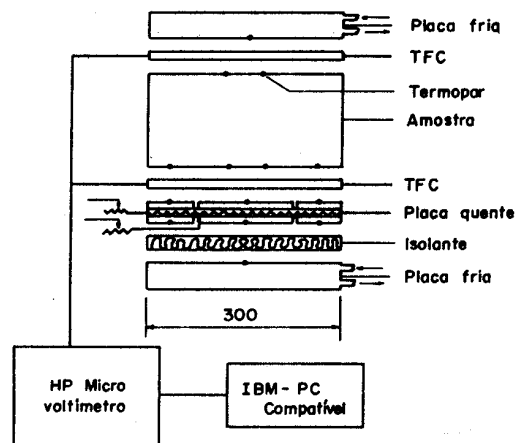


Figura 1 - Montagem experimental.

Nessa série de experimentos optou-se por uma amostra de parafina industrial. O motivo foi, além da possibilidade de comparação com as propriedades tabeladas, a facilidade de obtenção de uma amostra plana. Simplesmente usinou-se um bloco de parafina.

Ainda na figura 1 nota-se uma placa de acrílico entre a placa quente e a placa fria. A finalidade é evitar um curto circuito térmico. Para evitar a influência do meio ambiente, todo o sistema é isolado térmicamente com uma camada de 300 mm de poliestireno expandido. A temperatura do dispositivo foi monitorada por 16 termopares tipo T distribuídos conforme mostra a figura 1.

Como trata-se de um método transiente, os fluxos de calor e temperaturas devem ser registrados ao longo da experimentação. Utilizou-se, então, um sistema de aquisição de sinais marca HP acoplado a um micro computador tipo PC.

A experimentação propriamente dita inicia com a dissipação de uma potência elétrica constante na placa aquecedora central. A potência dissipada no anel de proteção é tal que sua temperatura média é idêntica a temperatura da placa aquecedora central. Fez-se esse controle manualmente. A experimentação é encerrada quando a variação da diferença dos fluxos de calor é menor que $0,02 \text{ W/m}^2/\text{min}$.

A figura 2 mostra uma curva característica dos fluxos de calor registrados pelos transdutores na medição da capacidade térmica de uma amostra de parafina.

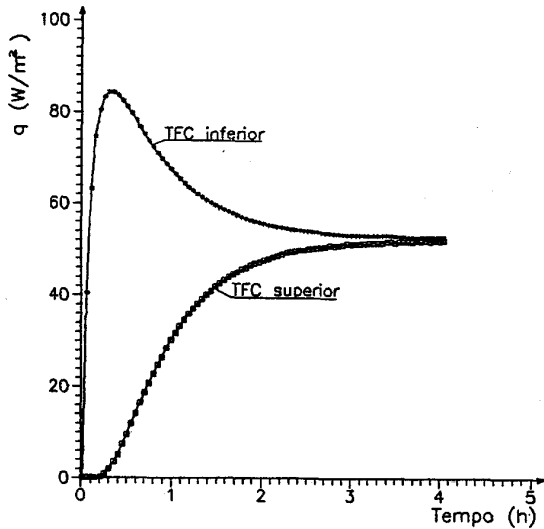


Figura 2. - Fluxos de calor (q) registrados pelos transdutores.

A área entre as duas curvas é exatamente a energia líquida ($Q_{liq 1-2}$) absorvida pela amostra e transdutores para passar de um estado à outro.

O parágrafo anterior contém uma afirmação importante: a energia medida é relativa à amostra e transdutores. Esse fato é demonstrado por Wattiau (1978) e constatado pela análise numérica desse processo apresentado por Güths (1989). Então, no cálculo da capacidade térmica da amostra deve ser diminuída a parcela referente aos transdutores.

Mediu-se a capacidade térmica dos transdutores de uma forma semelhante à descrita até aqui. Simplesmente realizou-se a experimentação sem a amostra, apenas com o par de transdutores. A figura 3 mostra os fluxos de calor registrados pelo par de transdutores tipo espira.

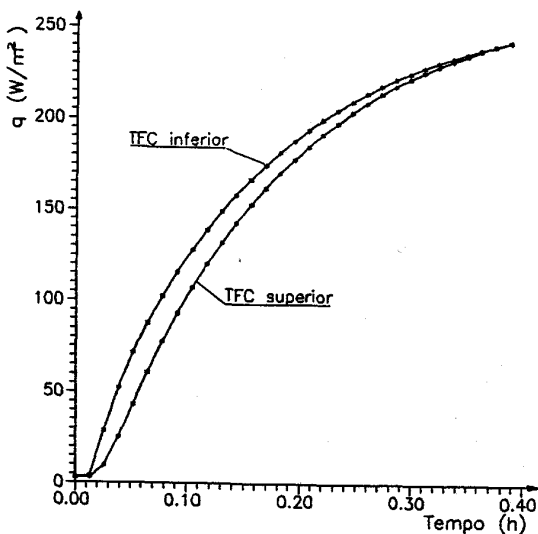


Figura 3. - Fluxos de calor (q) registrados pelos transdutores.

A tabela 1 mostra valores da capacidade térmica medidos para os pares de transdutores tipo espira e tipo termopilha.

Tabela 1. - Capacidade térmica dos pares de transdutores de fluxo de calor.

Tipo do transdutor de fluxo de calor	Capacidade térmica (J/K)
TFC tipo espira	11.400 ± 1.300
TFC tipo termopilha	3.000 ± 150

Nota-se que a capacidade térmica do TFC tipo espira é muito maior que a capacidade térmica do TFC tipo termopilha. De fato, construiu-se o TFC tipo espira com uma chapa de acrílico um pouco mais espessa, além das espiras serem construídas com uma grande quantidade de fios de cobre (aproximadamente 300 m, fio AWG 38).

A tabela 2 mostra valores do calor específico e condutividade térmica de amostras de parafina com 40 e 60 mm de espessura medidos por transdutores dos tipos espira e termopilha. Foram feitos em torno de 20 experimentações para cada resultado apresentado.

Tabela 2. - Calor específico e condutividade térmica da parafina industrial.

Espessura da amostra (mm)	tipo do transdutor	Calor Específico (J/KgK)	Condutividade Térmica (J/mK)
60	espira	2050 ± 350	0,23 ± 0,02
40	espira	2000 ± 250	0,23 ± 0,01
40	termopilha	2080 ± 50	0,230 ± 0,006

Nota-se um sensível decréscimo da dispersão dos resultados quando utilizado amostra com menor espessura. De fato, isso está em concordância com a análise numérica do sistema (Güths 1989). Amostras com grandes espessuras estão sujeitas à maiores influências do meio ambiente na forma de fugas laterais.

A construção do TFC tipo termopilha com uma menor área de medição foi seguramente fator preponderante da diminuição da dispersão dos resultados.

Não se encontrou valores tabelados confiáveis para a comparação com os valores das propriedades medidas da parafina industrial. Então os valores indicados como incertezas de medições, na verdade somente são erros aleatórios para um nível de confiabilidade de 95%.

3. REDUÇÃO DO TEMPO DE EXPERIMENTAÇÃO

Existem possibilidades de reduzir do tempo de experimentação, que gira em torno de 5 horas para amostras do tipo que foram descritas no item anterior. O uso de dispositivo controlador de temperatura na placa quente acelera o alcance do regime de gradiente estacionário. Tem como desvantagem a complexidade e alto custo do sistema.

Um artifício que pode ser utilizado é o cálculo das propriedades (condutividade e capacidade térmica) ao longo da experimentação.

A figura 4 mostra os erros na avaliação da condutividade e capacidade térmica em relação aos valores determinados no final da experimentação.

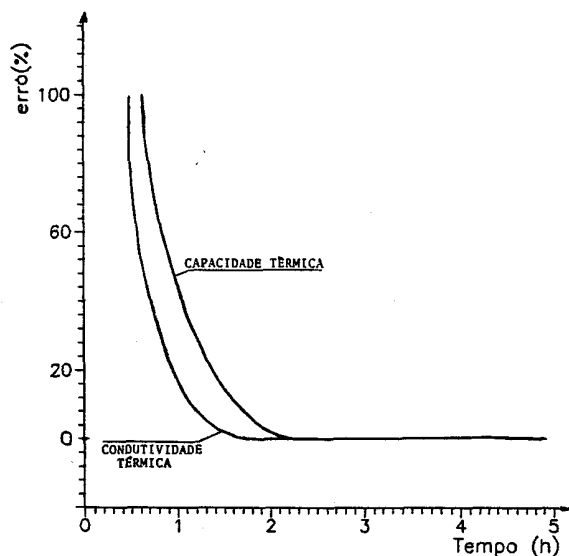


Figura 4. - Erros nas avaliações da condutividade e capacidade térmica ao longo da experimentação.

Atinge-se um patamar de erro desprezível antes da metade do tempo normal de medição.

4. CONCLUSÃO

Esse método de medição de capacidade térmica e calor específico mostrou-se eficaz e de relativa simplicidade. A confiabilidade dos transdutores de fluxo de calor é fator determinante da incerteza do método. Os transdutores do tipo espira causaram uma maior incerteza nas medições (13%), em relação aos resultados obtidos quando utilizados os transdutores tipo termopilha (2,5%). Fato devido, especialmente, à utilização de uma maior área de medição do fluxo de calor.

Há a possibilidade de redução do tempo de experimentação, (menos da metade do tempo normal) sem aumentar significativamente a incerteza de medição.

Estamos construindo em nosso laboratório uma nova placa quente protegida, mais precisa, esperando recalibrar os transdutores e melhorar os resultados obtidos.

5. BIBLIOGRAFIA

- 1-Wattiau, F., Contribution a l'Etude Theorique Exp. Ech. Therm., These de Docteur., Univ. Lille, França, 1978.
- 2-Guimarães, G., Transd. de Fluxo de Calor. Dis. Mestrado UFSC, Florianópolis, 1986.
- 3-Güths, S., A Transient. Method Measuring Thermal Prop. Building Materials, Proc. of Heat and Mass Transfer, Yugoslávia, 1989.
- 4-Heard, C.L., Design and Use Low-cost Heat Flux Plates, Rev. Building. and Environment., Inglaterra, 1982.