



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE POLÍMEROS USANDO O MÉTODO DO FIO QUENTE**

**Daniel Alves Gravena, [daniel.gravena@gmail.com](mailto:daniel.gravena@gmail.com)**

**Luís Felipe dos Santos Carollo, [felipecarollo@yahoo.com.br](mailto:felipecarollo@yahoo.com.br)**

**Sandro Metrevelle Marcondes de Lima e Silva, [metrevel@unifei.edu.br](mailto:metrevel@unifei.edu.br)**

Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Instituto de Engenharia Mecânica – IEM, Laboratório de Transferência de Calor – LabTC, Av. BPS, 1303, Bairro Pinheirinho, CEP 37500-903, Caixa Postal 50, Itajubá, MG, Brasil.

**Resumo:** *Vários métodos são utilizados para determinação da condutividade e difusividade térmica e recentemente, os métodos transientes de troca de calor têm sido os preferidos na determinação das propriedades térmicas. Porém, muitos destes métodos conseguem determinar com precisão apenas uma propriedade. Além disso, possuem restrições referentes ao custo elevado do aparato experimental e ao longo tempo de aquisição. Desta forma, deve-se buscar soluções mais viáveis para realizar a medição destas propriedades. Apresenta-se neste trabalho o Método do Fio Quente utilizado para obter a condutividade e difusividade térmica de uma amostra de Policloreto de Vinila (PVC) e Nylon. O diferencial deste trabalho refere-se ao fato da sonda possuir pequenas dimensões para o diâmetro e comprimento, possibilitando a utilização de amostras com dimensões reduzidas, além de apresentar um novo dispositivo para fixar os componentes inseridos na sonda. Neste método é possível determinar simultaneamente, a partir do mesmo transiente térmico experimental, a condutividade e a difusividade térmica. Este método se baseia na passagem de uma corrente contínua através de um fio de resistência, gerando calor. Este calor aquece uma sonda que está inserida em uma amostra de um polímero e por consequência ocorrerá dissipação do mesmo. Para medir a variação de temperatura no interior da amostra, utiliza-se um termopar tipo K. A condutividade térmica é calculada através do transiente de temperatura gerado pela fonte de calor ideal, infinitamente longa e fina no meio material finito. Para determinar a difusividade térmica utiliza-se técnicas de otimização na minimização de uma função erro, definida pelo quadrado da diferença entre a temperatura experimental e a numérica. A temperatura numérica é obtida pela solução da equação da difusão unidimensional em coordenadas cilíndricas. Para isso foi utilizado o método de diferenças finitas com formulação explícita. Os resultados estimados para as propriedades apresentaram boa concordância com a literatura.*

**Palavras-chave:** *condutividade térmica, difusividade térmica, estimativa simultânea, condução de calor e otimização.*

### **1. INTRODUÇÃO**

O desenvolvimento de novos materiais tem sido uma área de pesquisa intensa e tem recebido uma demanda tecnológica crescente. Pode-se citar, por exemplo, o uso destes materiais em aplicações de isolamento térmico, onde se tem a necessidade de minimizar a transferência de calor entre dois sistemas físicos ou onde é necessário o alcance da máxima eficiência da transferência de calor. Entretanto, para o uso destes materiais em processos é necessária a determinação de sua condutividade térmica,  $\lambda$  e de sua difusividade térmica,  $\alpha$ . A condutividade térmica ostenta um papel importante na confiabilidade dos materiais em inúmeras aplicações. Pode-se citar, por exemplo, a necessidade de pequenos valores de condutividade térmica quando se tem por objetivo a diminuição das perdas de calor. É esta propriedade que demarca o grau da temperatura de trabalho do material, tornando-se importante na transferência de calor transiente. Outra propriedade importante em problemas de calor transiente é a difusividade térmica, que pode ser caracterizada como a velocidade na qual o calor se propaga através de um material, ou seja, é a capacidade de conduzir a energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la. Assim, deve-se identificar e estabelecer um campo térmico na amostra investigada e isso é realizado através do desenvolvimento de métodos. Desta forma pode-se obter as propriedades desses materiais comparando-se os dados teóricos com os experimentais obtidos pelo método. Dentre os diversos métodos, destacam-se três utilizados frequentemente. O Método Flash desenvolvido por Parker *et al.* (1961) que é empregado na determinação da difusividade térmica. Esta técnica consiste da aplicação de um pulso de calor radiante de grande intensidade e de pequena duração imposto em uma superfície da amostra analisada, e com base no tempo necessário para que a temperatura na face oposta atinja o valor máximo, torna-se possível a obtenção da difusividade térmica. Vários trabalhos fazem uso deste método, sendo citados Eriksson *et al.* (2002) em silicato fundido

e Santos *et al.* (2004), determinando difusividade térmica de dez polímeros. O Método da Placa Quente Protegida (ASTM, 1997) que é muito utilizado na determinação de  $\lambda$  de materiais isolantes, pois é considerado por inúmeros pesquisadores como Wulf *et al.* (2005) e Lima *et al.* (2008), entre outros, o método mais preciso e confiável. Neste método a amostra em forma de placa plana, homogênea, isotrópica é colocada entre uma placa quente e uma placa fria em condições tais que o fluxo de calor que atravessa a área central da amostra é unidirecional. Nas condições de regime permanente, a condutividade térmica é calculada pela medição do fluxo de calor e do gradiente médio de temperatura na amostra. O Método do Fio Quente é um método absoluto, direto e não estacionário descrito primeiramente por Schieirmacher (1888). Sua primeira aplicação prática foi reportada por Van der Held e Van Drunen (1949), na determinação da condutividade térmica de líquidos.

Blackwell (1954), através do uso do método, desenvolveu o modelo matemático usado para a determinação da condutividade e difusividade térmica de rochas em campo. Blackwell apresentou uma solução analítica aproximada para tempos pequenos e outra para tempos longos. A solução para o modelo simplificado para tempos longos ficou sendo conhecida por determinar a condutividade térmica de maneira simples. O valor da condutividade é determinado a partir do coeficiente linear da função resposta da sonda com o logaritmo do tempo, que para tempos longos é uma reta.

Haupin (1960) utilizou pela primeira vez a técnica do fio quente na determinação da condutividade térmica de materiais cerâmicos. Mais recentemente, Fujii *et al.* (1994) propôs um método chamado de “método do fio quente curto transiente”, que pode ser usado para medir a condutividade e a difusividade térmica de líquidos simultaneamente. A sonda usada nesse método era um fio de platina muito curto comparado ao método do fio quente convencional. Com esse fio quente curto, pôde-se medir a condutividade e difusividade térmica de muitos tipos de líquidos, como polímeros derretidos (Zhang *et al.*, 2002), carbonatos fundidos (Zhang *et al.*, 2002) e refrigerantes alternativos (Tomimura *et al.*, 2004). Na determinação das propriedades dos carbonatos fundidos, a sonda de platina teve que ser revestida com um filme de alumina ( $Al_2O_3$ ) de forma a prevenir a corrosão e a corrente de fuga, pois carbonatos fundidos são geralmente altamente corrosivos e condutores elétricos.

Yamasue *et al.* (1999) desenvolveu o método do fio-quente não estacionário para medir as propriedades de metais fundidos, onde mercúrio e chumbo líquidos foram utilizados primeiramente. Posteriormente, a condutividade térmica do silicone e do germânio, ambos na fase líquida, foi determinada com sucesso.

O Método do Fio Quente pode ser realizado com a inserção de uma sonda cilíndrica, no centro axial da amostra que se deseja medir. A sonda tem a função de dissipar calor por efeito Joule e medir a temperatura no interior da amostra. Teoricamente, o fio quente é considerado como uma fonte de calor ideal, infinitamente longo e fino, o qual é circundado infinitamente pelo material cujas propriedades térmicas se deseja determinar. Ao passar uma corrente elétrica constante pelo fio, uma taxa constante de calor no tempo e no comprimento da amostra será liberada e se propagará pelo material. Essa propagação num meio infinito gera, no material, um campo transiente de temperaturas. Uma dificuldade encontrada neste método está relacionada à utilização de materiais metálicos, devido à alta resistência de contato entre a sonda e a amostra, visto que é muito difícil eliminar os interstícios de ar presente na montagem. Pesquisadores tem aprimorado esta técnica no intuito de determinar as propriedades de outros materiais. Cita-se, por exemplo, Nahor *et al.* (2003) que otimizaram a posição do fio quente para encontrar a condutividade de alimentos e Adjali e Laurent (2007) que propuseram uma modificação na metodologia para determinar a condutividade de uma mistura de água-ágar gel variando a temperatura.

Dos trabalhos citados acima, é possível perceber que em alguns a determinação das propriedades ocorre para apenas uma propriedade, e em outros há a dificuldade em determinar estas propriedades de forma simultânea. Assim, é proposto neste trabalho, utilizar o Método do Fio Quente para determinar simultaneamente, a condutividade e a difusividade térmica, através de um mesmo experimento. A condutividade térmica é calculada através do transiente de temperatura gerado por uma fonte de calor ideal, infinitamente longa e fina num meio material finito. Enquanto, a difusividade térmica é estimada através da minimização de uma função erro quadrática utilizando-se a técnica da Seção Áurea. Esta função é baseada na diferença entre a temperatura experimental e numérica, onde a temperatura numérica é obtida pela solução da equação da difusão de calor em coordenadas cilíndricas, utilizando o método das diferenças finitas com formulação explícita.

O objetivo deste trabalho é usar o Método do Fio Quente com uma sonda de dimensões reduzidas, possibilitando o uso de corpos de prova menores, para determinar a condutividade e difusividade térmica de forma simultânea para materiais poliméricos.

## 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. Determinação da Condutividade Térmica, $\lambda$ .

A sonda linear é um instrumento simples, utilizada na determinação da condutividade e da difusividade térmica de materiais isolantes. A sonda consiste em um tubo fino de metal que possui em seu interior uma resistência de aquecimento e um termopar, o qual irá medir a temperatura ao longo de um período. O procedimento padrão de determinação das propriedades termofísicas é referenciado pela norma ASTM D5334 (1995), possuindo como base matemática o Método Clássico da Sonda Linear, apresentado por Blackwell (1954).

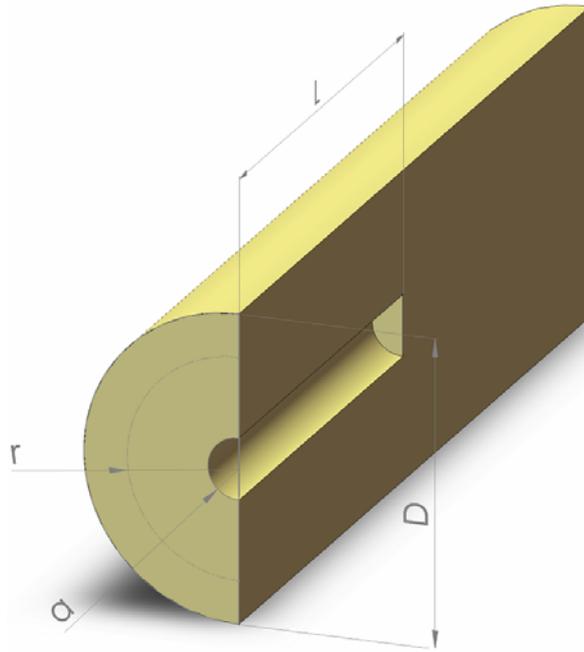


Figura 1. Detalhes da amostra.

O método supõe uma fonte linear, imersa em um meio finito (isotrópico e homogêneo) e com temperatura inicial igual a  $T_0$ . Assim, a equação básica para o processo de transferência de calor é:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad 0 \leq r \leq R, t > 0 \quad (1)$$

com a seguinte condição inicial Eq. (2) e as condições de contorno, Eq. (3) e Eq. (4):

$$T = T_0 \quad \text{para } r \geq 0, t = 0 \quad (2)$$

$$-2 \cdot \pi \cdot r \cdot \lambda \frac{\partial T}{\partial r} = q = cte \quad \text{para } r = a \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad \text{para } r = D/2 \quad (4)$$

onde:  $\alpha$  e  $\lambda$  são, respectivamente, a difusividade e a condutividade térmica do material a ser analisado e  $q$  é a potência dissipada por unidade de comprimento da fonte linear. A partir da solução da Eq. (1), é possível concluir que em um gráfico de  $\Delta T$  em função de  $\ln(t)$ , tem-se uma região linear cujo coeficiente angular é  $m = q/4\pi\lambda$ , para tempos longos. Essa região linear usada para o cálculo da condutividade térmica sempre será a região intermediária do experimento, logo a condutividade térmica da amostra pode ser expressa na forma:

$$\lambda = \frac{q}{4\pi m} \quad (5)$$

A potência dissipada por unidade de comprimento da sonda,  $q$ , considerada constante, é dada por:

$$q = \frac{R \cdot I^2}{L} \quad (6)$$

onde  $I$  é a corrente elétrica aplicada na sonda linear,  $R$  é a resistência elétrica do fio no interior da sonda e  $L$  é o comprimento do fio de resistência dentro da sonda.

## 2.2. Determinação da Difusividade Térmica, $\alpha$ .

Determinada a condutividade térmica pela Eq. (5), obtém-se  $\alpha$  minimizando a função objetivo baseada no erro quadrático entre a temperatura experimental e a numérica. A temperatura numérica é obtida através da solução da

equação da difusão unidimensional, utilizando o método de diferenças finitas com formulação explícita. Logo, o valor de  $\alpha$  é o valor ótimo que minimiza a Eq. (7):

$$F = \sum_{i=1}^{N_{pt}} [Y_i - T_i]^2 \quad (7)$$

onde  $i$  é o contador de pontos,  $N_{pt}$  é o número total de pontos,  $Y$  é a temperatura experimental e  $T$  é a temperatura numérica.

A minimização desta equação foi realizada utilizando a técnica de otimização Seção Áurea (Vanderplaats, 2005). Esta técnica foi escolhida devido suas vantagens: facilidade de se obter o mínimo, máximo ou zero de uma função conhecida, as funções não precisam possuir derivadas contínuas (função unimodal) e, a taxa de convergência para o método é conhecida.

### 3. MONTAGEM EXPERIMENTAL

#### 3.1. Descrição da Sonda Linear

Apresenta-se na Fig. 2, os detalhes da sonda linear de aço inox com 30,50 mm de comprimento e 1,27 mm de diâmetro. O fato da sonda utilizada possuir pequenas dimensões é a grande vantagem deste trabalho quando comparado aos outros. A desvantagem de utilizar sondas com maior diâmetro é a necessidade de se utilizar amostras maiores, dificultando o manuseio e aumentando o custo da bancada. Outro diferencial do método utilizado é a confecção de um dispositivo que fixa os componentes inseridos na sonda, garantindo o posicionamento ideal dos mesmos, permitindo fácil manuseio de todo o aparato entre ensaios, demonstrado pela Fig. 3.

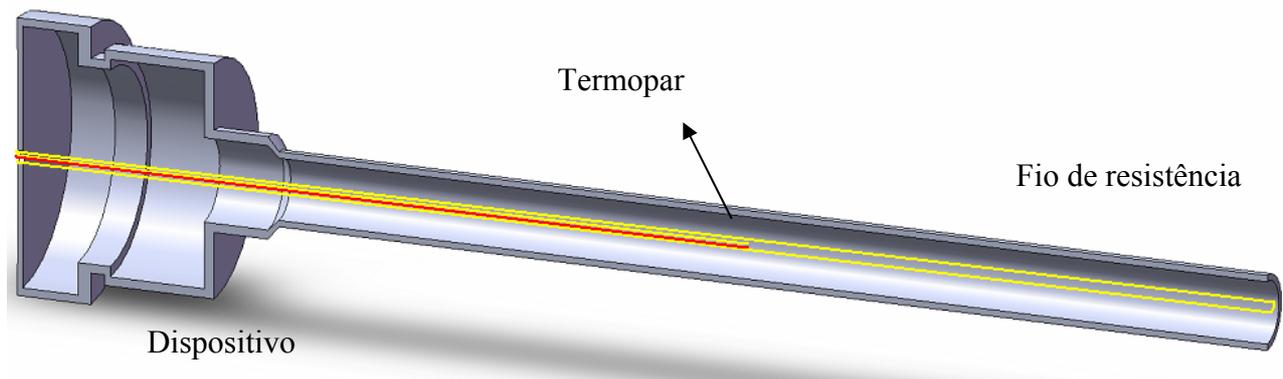


Figura 2. Detalhes da sonda.

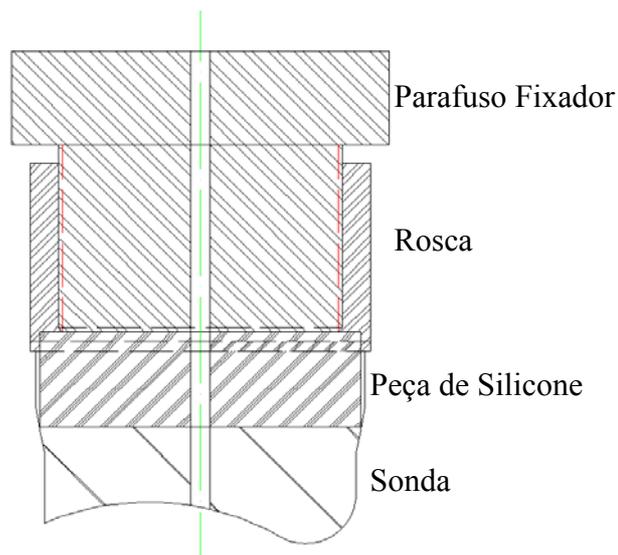


Figura 3. Dispositivo em corte longitudinal.

O método baseia-se na colocação de um termopar até o meio da sonda e um fio de resistência, que deve fazer o contorno interno da mesma. Passando-se uma corrente elétrica pelo fio de resistência, ocorre uma dissipação de calor que se propagará para o material, um meio finito, gerando um campo transiente de temperaturas. Para evitar a perda de calor por convecção e diminuir a resistência de contato entre a parede interna da sonda e os componentes, utiliza-se pasta térmica de cobre para preencher os interstícios de ar. Cabe ressaltar que a sonda deve possuir uma relação entre o comprimento e o diâmetro (o comprimento deve ser no mínimo 20 vezes o diâmetro), garantindo que o fluxo de calor seja radial e unidirecional (Beck *et al.*, 1992).

Na realidade, a fonte teórica linear é aproximada por uma resistência elétrica fina e o sólido infinito é substituído por uma amostra finita. Desta forma, percebe-se que o tempo mínimo utilizado para o cálculo da condutividade e da difusividade térmica fica limitado pela capacidade térmica do fio e pela resistência de contato entre o fio e a amostra, enquanto que o tempo máximo é limitado pelo tamanho finito da amostra. Assim, utiliza-se a região intermediária, demonstrada pela Fig. 3, para o cálculo dessas propriedades térmicas no método do fio quente, pois esta apresenta o mesmo comportamento para as curvas experimental e numérica. Além deste cuidado, deve-se adotar alguns procedimentos para assegurar a confiabilidade e precisão dos resultados: 1º utilizar uma resistência elétrica fina, que se aproxime o máximo possível da fonte de calor linear teórica; 2º assegurar o melhor contato possível entre ambas as amostras e o fio quente, reduzindo assim os efeitos da resistência de contato; 3º não considerar, para efeito de cálculo, o trecho inicial da curva, eliminando assim os efeitos de contato térmico entre a resistência elétrica e o material da amostra; e 4º limitar o tempo de ensaio para assegurar que o tamanho finito da amostra não afete as temperaturas medidas.

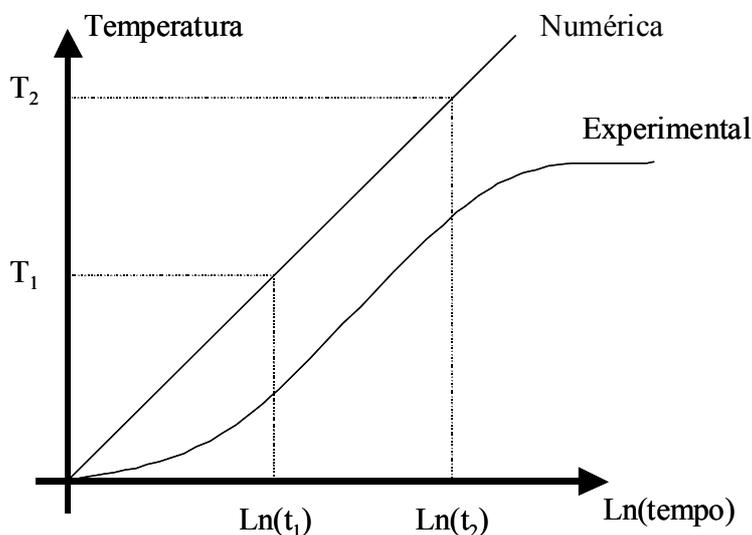


Figura 3. Comparação entre as temperaturas experimental e numérica.

### 3.2. Descrição da Bancada

A bancada utilizada para determinar as propriedades do PVC e do Nylon está representada pela Fig. 4. O cilindro de PVC e Nylon possuem as mesmas dimensões: 50,00 mm de diâmetro e 100,00 mm de comprimento. O fio que gera o calor possui resistência de  $8,25 \Omega$  e as seguintes dimensões: 61,00 mm de comprimento e 0,23 mm de diâmetro. Este fio é ligado a uma fonte de alimentação digital INSTRUTEMP ST – 305D, para fornecer a potência necessária. Os valores de corrente e tensão aplicados foram medidos pelos multímetros Instrutherm MD-380 e Minipa ET-2042C previamente calibrados para obter com precisão a potência gerada no interior da amostra. Devido à resistência de contato e presença de interstícios de ar entre a sonda, o fio de resistência e o termopar, foi necessário aplicar a pasta térmica de cobre WURTH CU 800. A grande vantagem desta pasta refere-se a sua alta condutividade térmica. Para ajudar a garantir um fluxo unidirecional e eliminar grande parte da convecção causada pela circulação do ar no ambiente, isolou-se a montagem com lã de vidro e borracha. As temperaturas foram coletadas através de termopares do tipo K (40AWG), para medir a temperatura internamente, e tipo T (30AWG) na porção exterior da amostra, soldados por descarga capacitiva e calibrados usando um banho calibrador de temperatura Marconi MA 184 com uma resolução de  $\pm 0,01 \text{ }^\circ\text{C}$ . Estes termopares foram conectados a aquisição de dados Agilent 34980A controlada por um micro computador. Visando obter melhores resultados, todos os experimentos foram realizados com a temperatura da sala controlada.

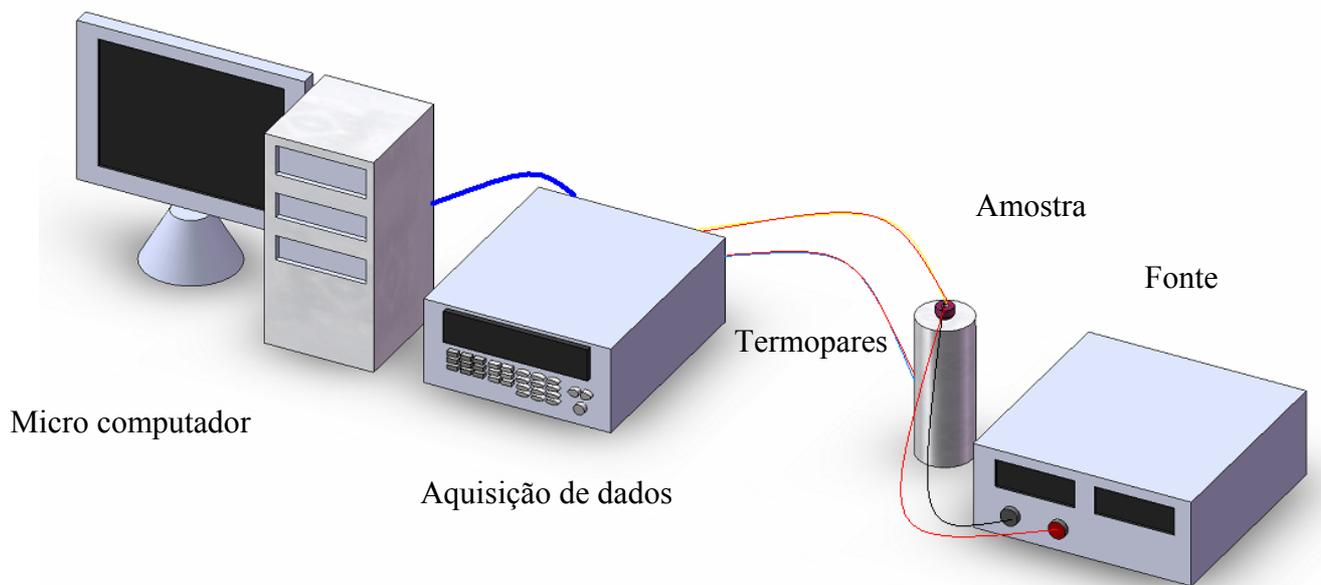


Figura 4. Esquema da bancada experimental utilizada.

#### 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

##### 4.1. Policloreto de Vinila (PVC)

Realizou-se 10 experimentos para a amostra de PVC. Cada experimento teve uma duração média de 160 segundos, sendo que os dados foram coletados em intervalos de 0,1 segundo. A potência gerada foi calculada através do valor de corrente aplicada, obtido pelo multímetro, e da resistência do fio, sendo respectivamente, 0,14A e 8,25  $\Omega$ . O fluxo de calor foi imposto durante 60 s.

Deve-se ressaltar que, para realizar a determinação das propriedades, os dados coletados no início e no fim do experimento foram descartados conforme discutido anteriormente. Desta forma, apenas os pontos que se encontram na faixa intermediária da curva foram utilizados. Esses pontos podem ser visualizados pela Fig. 5, gráfico da temperatura versus logaritmo neperiano do tempo, e constituem o intervalo de 2 a 4 segundos na escala logarítmica, o que equivale ao intervalo de 7 a 54 segundos do tempo total do experimento.

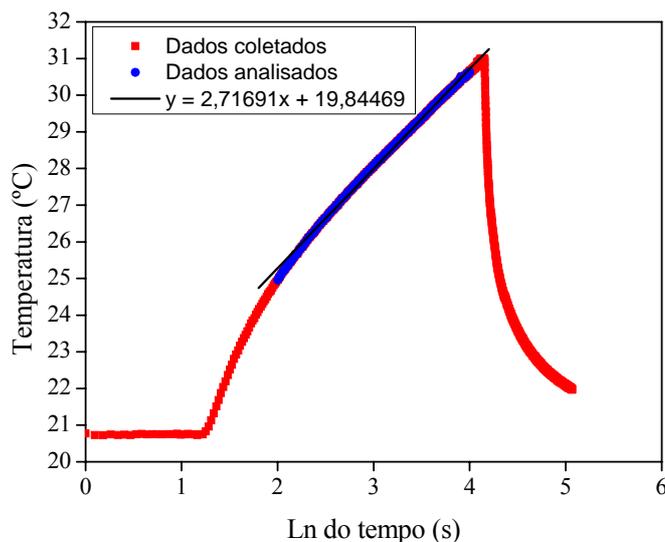


Figura 5. Distribuição de temperatura para o PVC.

A Tabela 1 apresenta as propriedades, condutividade e difusividade térmica, para o PVC. Além disso, apresenta-se uma comparação aos valores de referência (Lima e Silva *et al.*, 2003).

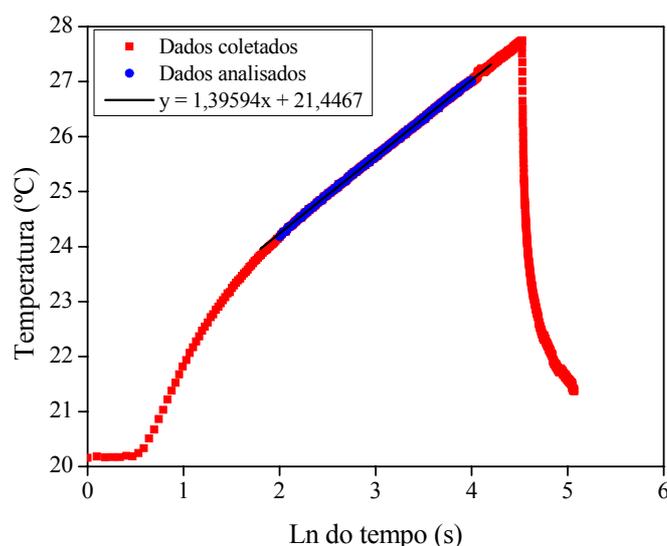
**Tabela 1. Valores das propriedades térmicas obtidas para o policloreto de vinila (PVC).**

Propriedade	Média	Referência	Desvio Padrão	Diferença (%)
$\lambda$ (W/m.K)	0,157	0,156	$\pm 0,002$	0,641
$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	$1,341 \times 10^{-7}$	$1,318 \times 10^{-7}$	$\pm 0,018 \times 10^{-7}$	1,745

Realizando uma análise apurada dos valores estimados pelos experimentos em questão, torna-se nítido o fato de que o trabalho obteve êxito na determinação da condutividade e difusividade térmica do Policloreto de Vinila (PVC). Esta conclusão pôde ser estabelecida visto que se encontrou um baixo desvio padrão, uma diferença menor que 5 % quando comparado ao valor fornecido pela literatura, e por fim, apresentou ótima repetibilidade, demonstrando que a bancada experimental é confiável.

#### 4.2. Nylon

Este tópico é destinado à análise dos resultados encontrados para o Nylon. 10 experimentos foram realizados de forma similar ao PVC. O tempo total do ensaio foi cerca de 160 segundos, porém somente no intervalo de 2 a 4 segundos, considerando a escala logarítmica, as propriedades foram estimadas. O fluxo de calor foi gerado empregando-se uma corrente de 0,14 A ao fio de resistência de 8,25  $\Omega$  e as temperaturas foram coletadas no intervalo de 0,1 s. O fluxo gerado foi aplicado num intervalo de 90 s. A Figura 6 apresenta os pontos utilizados na determinação de  $\lambda$  e  $\alpha$ .

**Figura 6. Distribuição de temperatura para o Nylon.**

Os resultados obtidos para o Nylon podem ser visualizados na Tabela 2. Esta tabela apresenta as propriedades determinadas comparadas aos valores de referência (Santos *et al.*, 2004).

**Tabela 2. Valores das propriedades térmicas obtidas para o Nylon.**

Propriedade	Média	Referência	Desvio Padrão	Diferença (%)
$\lambda$ (W/m.K)	0,305	0,302	$\pm 0,004$	0,993
$\alpha$ (m <sup>2</sup> /s)	$1,497 \times 10^{-7}$	$1,473 \times 10^{-7}$	$\pm 0,047 \times 10^{-7}$	1,629

De maneira semelhante ao PVC, os valores encontrados para o Nylon apresentaram erros menores que 2% e pequenos desvios padrão quando comparados aos valores da literatura, conferindo à montagem experimental, confiabilidade e precisão na determinação das propriedades.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho as propriedades termofísicas condutividade e a difusividade térmica do PVC e do Nylon foram obtidas usando o método do fio quente. Estes valores obtidos estão de acordo com os valores disponíveis na literatura. Um diferencial deste trabalho foi a utilização de uma sonda de dimensões reduzidas que apresentou resultados satisfatórios, visto que transferiu para a amostra praticamente todo o calor gerado, possibilitando uma maior precisão na determinação das propriedades. Além de permitir manusear o aparato com grande facilidade entre a realização dos experimentos. Para trabalhos futuros, propõe-se a análise de outros materiais e também determinar estas propriedades levando em conta o efeito da temperatura.

## 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, FAPEMIG e CAPES pelo suporte financeiro e a FAPEMIG pela bolsa de iniciação científica.

## 7. REFERÊNCIAS

- Adjali, M. H., Laurent, M. (2007), "Thermal Conductivity Estimation in Non-linear Problems", *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 50, pp. 4623-4628.
- ASTM C177 (1997), "Standard Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Guarded-Hot-Plate Apparatus".
- ASTM D5334 (1995), "Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle Probe Procedure".
- Beck, J. V., Cole, K. D., Haji-Sheikh, A., Litkouhi, B. (1992), "Heat Conduction Using Green's Functions", Hemisphere Publishing Corporation, Washington D. C, USA.
- Blackwell, J. H. (1954), "A Transient Flow Method for Determination of Thermal Constants for Insulating Materials in Bulk", *Journal of Applied Physics*, Vol. 25, pp. 137-144.
- Eriksson, R., Hayashi, M., Seetharaman, S. (2002), "Thermal Diffusivity Measurements of Liquid Silicate Melts", The 16<sup>th</sup> European Conference on Thermophysical Properties, ECTP2002, London, UK.
- Fujii, M., Zhang, X., Fujiwara S., Tomimura, T., Imaishi, N., (1994), "Simultaneous Estimation of Thermal Conductivity and Diffusivity with a Transient Short Hot Wire Method", *The Reports of Institute of Advanced Material Study Kyushu University*, Vol. 8, N° 1, pp. 99-105.
- Haupt, W. E. (1960), "Hot Wire Method for Rapid Determination of Thermal Conductivity", *American Ceramic Society Bulletin*, Vol. 39, pp. 139-141.
- Lima e Silva, S. M. M., Ong, T. H., Guimarães, G. (2003), "Thermal Properties Estimation of Polymers Using Only One Active Surface", *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Vol. 25, N° 1, pp. 9-14.
- Lima, G. M., Carollo, L. F. S., Lima e Silva, A. L. F., Güths, S., Lima e Silva, S. M. M. (2008), "Determinação da Condutividade pelo Método da Placa Quente Protegida", V Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - CONEM2008, Salvador, Bahia, Brasil.
- Nahor, H. B., Scheerlinck, N., Van Impe, J. F., Nicolaï, B. M. (2003), "Optimization of the Temperature Sensor Position in a Hot Wire Probe Set up for Estimation of the Thermal Properties of Foods Using Optimal Experimental Design", *Journal of Food Engineering*, Vol. 57, pp. 103-110.
- Parker, W. J., Jenkins, R. J., Butler, C. P., Abbot, G. L. (1961), "Flash Method of Determining Thermal Diffusivity, Heat Capacity and Thermal Conductivity", *Journal of Applied Physics*, Vol. 32, N° 9, pp. 1679-1684.
- Santos, W. N., Gregório Filho, R., Mummery, P. E, Wallwork, A. (2004), "Método de Fio Quente na Determinação das Propriedades Térmicas de Polímeros", *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, Vol. 14, N° 5, pp. 354-359.
- Schleichner, A. L. (1888), "Wiedemann Ann Phys", Vol. 34, pp.38.
- Tomimura, T., Maki, S., Zhang X., Fujii, M., (2004), "Measurements of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Alternative Refrigerants in Liquid Phase with a Transient Short Hot Wire Method", *Heat Transfer - Asian Research*, Vol. 36, N° 8, pp. 540-552.
- Van Der Held, E. F. M., Van Druenen, F. G. (1949), "Physics", Vol. 15, pp. 865.
- Vanderplaats, G. N. (2005), "Numerical Optimization Techniques for Engineering Design", McGraw-Hill, New York, USA, pp. 465.
- Wulf, R., Barth, G., Gross, U. (2005), "Intercomparison of Insulation Thermal Conductivities Measured by Various Methods", The 17<sup>th</sup> European Conference on Thermophysical Properties, ECTP2005, Bratislava, Slovak Republic.
- Yamasue, E., Susa, M., Fukuyama, H., Nagata, K. (1999), "Deviation from Wiedemann-Franz Law for Thermal Conductivity of liquid Tin and Lead at Elevated Temperature", Kyoto University, Yoshida-Honmachi, Sakyo-ku, Kyoto, 606-8501, Japan.
- Zhang X., Wicaksono, H., Fujiwara S., Fujii, M. (2002), "Accurate Measurements of Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Molten Carbonates", *High Temperature - High Pressures*, Vol. 34, pp. 617-625.

Zhang, X., Hendro, W., Fujii, M., Tomimura, T., Imaishi, N. (2002), "Measurements of the Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity of Polymer Melts with the Short Hot Wire Method", International Journal of Thermophysics, Vol. 23, Nº 4, pp. 1077-1090.

## **8. DIREITOS AUTORAIS**

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.



COMPROMETIDA COM A PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO  
DA ENGENHARIA E DAS CIÊNCIAS MECÂNICAS

**VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA**  
**VI NATIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**  
**18 a 21 de agosto de 2010 – Campina Grande – Paraíba - Brasil**  
**August 18 – 21, 2010 – Campina Grande – Paraíba – Brazil**

## **THERMAL CHARACTERIZATION OF POLYMERS USING THE HOT WIRE METHOD**

**Daniel Alves Gravena, [daniel.gravena@gmail.com](mailto:daniel.gravena@gmail.com)**

**Luis Felipe dos Santos Carollo, [felipecarollo@yahoo.com.br](mailto:felipecarollo@yahoo.com.br)**

**Sandro Metrevelle Marcondes de Lima e Silva, [metrevel@unifei.edu.br](mailto:metrevel@unifei.edu.br)**

Federal University of Itajubá – UNIFEI, Institute of Mechanical Engineering – IEM, Heat Transfer Laboratory – LabTC, BPS Av., 1303, Pinheirinho District, ZIP code 37500-903, Box-Postal 50, Itajubá, MG, Brazil.

***Abstract:** Several methods are used to determine thermal conductivity and thermal diffusivity, and recently, transient heat transfer has been preferred in the determination of thermal properties. However, many of these methods can accurately determine only one property. Moreover, they have limitations related to the high cost of the experimental apparatus and the long acquisition time. Thus, one should seek viable solutions to accomplish the measurement of these properties. In this work the Hot Wire Method is used to obtain the thermal conductivity and diffusivity of Polyvinyl Chloride (PVC) and Nylon samples. The differential of this study is the fact that the probe has small dimensions for the diameter and length, allowing the use of samples with reduced dimensions, and presents a new device to fasten the components inserted into the probe. This method can simultaneously determine, from the same experiment, thermal conductivity and diffusivity. This method is based on passing a current through a resistance wire, generating heat. This heat warms a tube that is inserted in a sample of a polymer and consequently the dissipation happens. To measure the temperature variation within the sample, it is used a type K thermocouple. The thermal conductivity is calculated by using the transient temperature generated by the ideal heat source, infinitely long and thin in a finite sample. To determine the thermal diffusivity is used optimization techniques to minimize an error function, defined by the square of the temperature difference between the experimental and numerical. The numerical temperature is obtained by the solution of a one-dimensional diffusion equation in cylindrical coordinates, using the finite difference method with explicit formulation. The estimated results for the properties were in good agreement with literature.*

***Keywords:** thermal conductivity, thermal diffusivity, simultaneous estimation, heat conduction and optimization.*