

# INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA NA AQUISIÇÃO DE IMAGEM INFRAVERMELHA NA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS USANDO O MODELO SIMPLES DE CONDUÇÃO DE CALOR

L. L. Beretta, [lucasberetta@id.uff.br](mailto:lucasberetta@id.uff.br)

Laboratório de Mecânica Teórica e Aplicada. Laboratório de Opto-Mecânica. Universidade Federal Fluminense. Rua Passo da Pátria, 156, São Domingos, Niterói, RJ, Brasil.

**RESUMO:** O propósito deste artigo é analisar a influência da distância entre uma câmera infravermelha e a amostra em teste, na estimativa de parâmetros, usando o modelo simples de condução de calor em uma aleta. O principal parâmetro de interesse no modelo atualmente adotado é o número de Biot, que combina a condutividade do material, o coeficiente de transferência de calor por convecção e parâmetros geométricos. Além de analisar a influência da distância de aquisição de imagem a partir da amostra, um método para minimizar o erro associado com a aquisição de imagens com distância menor do que a distância focal da câmera é proposto. A metodologia consiste em subtrair o desvio da média da temperatura em um estado em regime permanente a partir dos resultados de testes atuais. Diferentes distâncias foram empregadas e foi observado o desvio em um estado sem aquecimento, como estimativas de números de Biot com e sem a correção proposta são apresentados e comparados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Termografia, Parâmetro Biot, Campos de Temperatura

**ABSTRACT:** *The purpose of this article is to analyze the influence of the distance between an infrared thermography camera used and the sample under test, on parameter estimation, using a simple fin heat conduction model. The main parameter of interest in the currently adopted model is the Biot number, which combined the conductivity of the material, the convective heat transfer coefficient and geometric parameters.*

*Besides analyzing the influence of the image acquisition distance from the sample, a method for minimizing the error associated with acquiring images with distance smaller than the focal distance of the camera is proposed. The methodology consists on subtracting the deviation from the average temperature in a unheated state from the actual test results. Different distances were employed and the observed deviation in a unheated state as well as estimates for Biot numbers with and without the proposed correction are presented and compared.*

**KEYWORDS:** *Thermography, Biot Parameter, Temperature fields*

## INTRODUÇÃO

A nanotecnologia é considerada por muitos como uma nova fase da Revolução Industrial e tem sido, ao longo dos anos, utilizada como uma importante ferramenta para a pesquisa e desenvolvimento de diferentes áreas, consistindo na manipulação da matéria em escala atômica e molecular. Existem várias dimensões para a sua aplicação, que variam da medicina à indústria de computadores.

Um dos benefícios da nanotecnologia é a redução no tamanho dos diversos dispositivos, como telefones celulares e computadores. Mas este benefício é associado com um grande impedimento a novos desenvolvimentos: a dissipação do calor, que pode ser quantificada pela sua condutividade térmica. (Knupp, 2010.)

A condutividade térmica pode ser determinada por meio da técnica de fluxo de calor isolado através de um equipamento (LaserComp Fox-50), no qual a propriedade é medida por determinação do fluxo de calor entre as superfícies da amostra, que é colocado entre duas placas de temperatura constante. Mas também, a condutividade térmica pode ser medida através da Termografia infravermelha, cuja técnica permite a formação de imagens térmicas e medição de

temperatura do objeto, através da radiação infravermelha de superfície da amostra (Naveira Cota, 2009). Em um estudo recente (Telles, 2014), verificou-se uma distorção no campo da temperatura da amostra, devido ao fato de que distância focal da lente utilizada era maior do que a distância entre a câmara e a amostra em teste.

O objetivo deste artigo é propor um método para minimizar o erro associado com a aquisição de imagens com a distância menor que a distância focal da câmera utilizada, analisando a influência da distância na aquisição de imagens a partir da amostra.

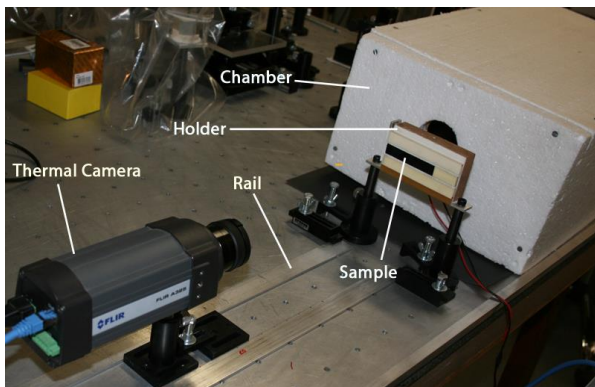
## METODOLOGIA

### Procedimento experimental

O objetivo desta experiência é analisar a influência da distância entre a câmera e a amostra, estimando o parâmetro adimensional Biot (Bi) para cada distância em teste. Também queremos analisar, a partir das imagens capturadas pela câmera térmica, o processo de subtração de campos de temperatura ao longo de uma barra de acrílico (amostra), em que o aquecimento ocorre em um dos seus extremos. A escolha do acrílico para o teste foi feita por ser um material de propriedades térmicas conhecidas.

As imagens foram capturadas com a câmera térmica fabricada pela FLIR, modelo A325G, cuja distância focal é de 200 mm. A amostra foi posicionada para ficar perpendicular à câmara através de um apoio, e esse apoio é composto de material isolante de calor. Uma placa termoeletrônica, cuja operação ocorre de acordo com o efeito de Peltier, fornece o de fluxo de calor constante e este calor é fornecido a um dos extremos da amostra.

O dispositivo experimental da amostra (Sample) é constituído por uma câmara térmica (Thermal Camera), uma placa térmica, uma câmara de proteção fabricada por um material de isolamento térmico (Chamber), um suporte para a amostra (sample) e um trilho de alumínio (Rail). A Fig. 1 mostra o aparato experimental que foi utilizado nesta experiência para estimar o parâmetro Biot.



**Figura 1.** A montagem experimental para estimar a condutividade térmica

A metodologia para estimar o parâmetro Biot consiste em subtrair o desvio da temperatura média em um estado em regime permanente a partir dos resultados de testes atuais. Este parâmetro Biot estimado é chamado de "Biot corrigido". Neste artigo, o Biot corrigido foi dividido em dois casos: no primeiro, foram analisadas as temperaturas médias nos primeiros 540 quadros, com cada quadro sendo capturado a cada 0,12 s. Assim, foi estimado o Biot corrigido ( $Bi_1$ ). O segundo é o caso em que foram analisadas as temperaturas médias e esta foi suavizada por um polinômio do quinto grau. Assim, estimou-se o Biot corrigido ( $Bi_2$ ). O parâmetro Biot não corrigido ( $Bi_0$ ) é a situação em que não houve a subtração do desvio da temperatura média em um estado em regime permanente. Com a ajuda de um trilho de alumínio, a distância a partir da câmera térmica para a amostra foi variando de 65 mm a 300 mm, de modo que as imagens foram capturadas com distâncias menores e iguais do que a distância focal da lente usada, que é 200 mm. As estimativas para os números de Biot com e sem a correção proposta serão apresentados posteriormente.

#### Equações governantes

Nesta montagem experimental, a superfície lateral direita da amostra é isotérmica a uma temperatura igual à temperatura do ar ( $T_\infty$ ). A superfície frontal está em

contato com o ar, submetido à troca de calor por convecção e radiação com o mesmo. As outras superfícies da amostra são isoladas termicamente. A barra em questão é considerada um prisma que compreende um material homogêneo, com uma condutividade térmica constante. Portanto, o problema de transferência de calor pode ser resolvido um problema de transferência de calor em uma aleta simples.

Assim, definindo as variáveis adimensionais:

$$\xi = \frac{x}{a} \quad (1)$$

$$\theta = \frac{T - T_\infty}{T_b - T_\infty} \quad (2)$$

sendo ( $T_b$ ) a temperatura da superfície do lado esquerdo da barra prismática, ( $T_\infty$ ) é a temperatura na superfície do lado direito da barra prismática, ( $a$ ) é o comprimento da barra prismática, e ( $x$ ) é o comprimento da área de campo da temperatura examinados em pixel.

A equação para a transferência de calor em uma aleta axial é escrito da seguinte forma:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} - \frac{m^2(T - T_\infty)}{a} = 0 \quad (3)$$

$$T(0) = T_b \quad (4)$$

$$T(L) = T_\infty \quad (5)$$

Onde,

$$m^2 = \frac{Bi}{\gamma^2}$$

$$Bi = \frac{h_\infty c}{k}$$

$$\gamma = \frac{c}{a}$$

em que  $k$  é a condutividade térmica da amostra,  $h_\infty$  é o coeficiente de troca de calor por convecção entre o ar e a superfície frontal da barra de prismática,  $T_b$  é a temperatura da superfície do lado esquerdo da barra de prismática,  $T_\infty$  é a temperatura de superfície direita da barra prismática e  $Bi$  é o número de Biot,  $a$  é o comprimento da barra prismática, e  $c$  é a espessura da barra prismática.

Assim, a equação de condução de calor é reescrita como:

$$\frac{d^2 \theta}{d\xi^2} - m^2 \theta = 0, \text{ para } 0 \leq \xi \leq 1$$

$$\theta = 1, \text{ em } \xi = 0$$

$$\theta = 0, \text{ em } \xi = 1$$

cuja solução é:

$$\theta(\xi) = \frac{\sinh(m(1-\xi))}{\sinh(m)}$$

O problema da transferência de calor em um modelo clássico de aleta é válido para o número de Biot inferior a 0.1, desde que o gradiente de temperatura na seção transversal da aleta seja assumido desprezível.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

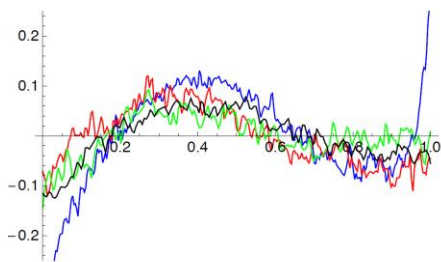
Na Tab. 1, pode-se ver a variação do parâmetro de Biot acordo com algumas distâncias, e a correção efetuada nas imagens.

**Tabela 1.** As estimativas para os números de Biot com e sem a correção proposta

$D(mm)$	$Bi_0$	$Bi_1$	$Bi_2$
065 mm	0.085	0.100	0.100
085 mm	0.101	0.116	0.100
105 mm	0.105	0.113	0.113
125 mm	0.097	0.107	0.107
145 mm	0.077	0.082	0.083
165 mm	0.071	0.075	0.075
185 mm	0.075	0.080	0.080
200 mm	0.065	-0.340	0.074
250 mm	0.073	0.079	0.079
300 mm	0.086	0.091	0.091

## CONCLUSÃO

A Fig. 2 mostra o desvio da temperatura calculada a partir do valor médio para um estado em regime permanente. Como pode ser visto, há um decréscimo nos desvios quando a distância aumenta, conforme o esperado. Sendo  $T^a$  a média das temperaturas, temos o gráfico  $T^a \times \xi$ .



**Figura 2.** O desvio da temperatura média para as distâncias em teste

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer o apoio financeiro concedido pela FAPERJ, à Universidade Federal Fluminense e aos Professores Luiz Carlos Nunes da Silva e Leandro Alcoforado Sphaeir pelo apoio e ajuda fornecida neste artigo.

## REFERÊNCIAS

- Knupp, D.C., 2010. Análise Teórico-Experimental de Transferência de Calor em Nanocompósitos via Transformação Integral e Termografia por Infravermelho. Tese de Mestrado, COPPE - UFRJ.
- Naveira Cotta, C.P., 2009. Problemas Inversos de Condução de Calor em meio Heterogêneos: Análise Teórico-Experimental via Transformação Integral, Inferência Bayesiana e Termografia por Infravermelho. Tese de Doutorado, COPPE-UFRJ.
- Telles, M.C.O., 2014. Análise de um Experimento para a Estimativa da Condutividade Térmica através da Termografia usando o Modelo de Aleta. Trabalho de Conclusão de Curso, ENGENHARIA MECÂNICA - UFF.

## DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

O autor é o único responsável por este artigo.