



Modelagem matemática de sistema de medição de temperatura por radiação infravermelha aplicado à medição de difusividade térmica.

Cláudio Junio Martins Vicente¹, Luciana Capanema Silva Carneiro², Ricardo Alberto Neto Ferreira³, Odair Miranda⁴, Pablo Andrade Grossi⁵, Denise das Mercês Camarano⁶

^{1,2,3,4,5,6} Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
Comissão Nacional de Energia Nuclear
Av. Presidente Antônio Carlos 6627
Campus da UFMG-Pampulha-Caixa Postal 941
31.161-970-Belo Horizonte-Minas Gerais-Brazil

vicentecjm@gmail.com; lucsc@hotmail.com; ranf@cdtn.br; pabloag@cdtn.br; dmc@cdtn.br

Resumo: A determinação de propriedades termofísicas de materiais pelo método do Flash depende fundamentalmente da medição de um transiente de temperatura. Nesta medição o mensurando é variável, caracterizando assim um processo dinâmico de medição de temperatura. O efeito dinâmico devido à inércia do sistema de medição de temperatura é significativo em relação à dinâmica do transiente medido. Este trabalho apresenta o sistema e a modelagem matemática desenvolvida para a medição da temperatura por radiação infravermelha acoplado ao sistema para medição de difusividade térmica utilizando o método Flash. Em lugar de adquirir os termômetros de radiação infravermelha disponíveis no mercado, com características que contemplam aplicações industriais abrangentes, o que eleva o seu custo, o sistema desenvolvido tem ampla faixa de aplicação e seus parâmetros se adequam às características requeridas para esta medição específica. Inicialmente, é apresentada uma análise teórica do princípio da termometria por radiação infravermelha para o desenvolvimento da modelagem matemática em plataforma LabVIEW. Como resultado é apresentada a simulação de um sinal elétrico gerado pelo detector e convertido em sinal em temperatura, onde foram consideradas as correções necessárias entre o caminho óptico do mensurando ao detector.

Palavras chave: Termômetro de radiação infravermelha, método Flash Laser, Difusividade térmica.

1. INTRODUÇÃO

A determinação da difusividade pelo método Flash Laser (1 a 4) é baseada na variação da temperatura na face oposta de uma pequena amostra cilíndrica de pequena espessura, resultado de um curto pulso de energia incidindo na face frontal desta. O resultado do aumento da temperatura na face oposta da amostra é obtido de um termograma, a partir do qual a difusividade térmica é calculada em função da espessura da amostra L e do $t_{1/2}$, que corresponde ao tempo requerido para a face oposta atingir a metade da variação

máxima da temperatura. Atualmente, o Laboratório de Medição de Propriedades Termofísicas (LMPT) do centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) conta com um sistema de medição de temperatura composto de um termômetro de radiação infravermelha com tempo de resposta da ordem de 120 ms, que é significativo em relação à dinâmica do processo. O aprimoramento do método de medição através do desenvolvimento de um sistema de medição de temperatura por radiação infravermelha com tempo de resposta da ordem de microssegundos e ampla faixa de medição tornou-se prioritário para melhorar a qualidade dos resultados. Este trabalho apresenta o termômetro de radiação infravermelho de baixa inércia térmica desenvolvido para medição de difusividade térmica, que consiste de um detector de HgTeCd, um sistema óptico e de uma placa multifuncional para a aquisição e conversão do sinal. Para o processamento do sinal, correções e conversão do sinal elétrico para temperatura foi desenvolvido um programa computacional em plataforma LabVIEW.

Objetiva-se o desenvolvimento de um sistema de medição de temperatura com baixo tempo de resposta acoplado ao sistema para a medição de difusividade térmica pelo método Flash Laser, possibilitando a determinação, de forma prática, rápida e confiável, do histórico da temperatura com o tempo.

2. MODELAGEM MATEMÁTICA

A figura 1 apresenta o diagrama esquemático do sistema de medição de temperatura que consistindo de um detector de HgTeCd e de um sistema óptico. A aquisição e conversão do sinal é feita por meio uma placa multifuncional acoplada a um microcomputador para o processamento do sinal na plataforma LabVIEW.

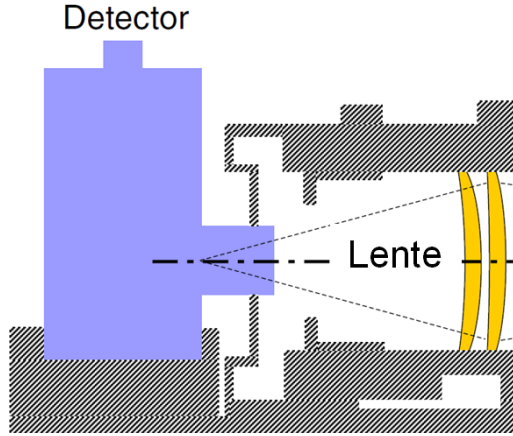


Figura 1. Diagrama esquemático do sistema de medição de temperatura.

A distribuição espectral da radiação térmica de um radiador ideal, aquele que absorve toda radiação incidente e que também emite a maior quantidade de energia do que qualquer outro corpo é descrita pela lei de Planck como (5):

$$M_{\lambda}(T) = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5 \cdot (e^{\frac{hc}{\lambda k T}} - 1)} \quad (1)$$

Onde M_{λ} é a radiância espectral em $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$, T é a temperatura do radiador ideal em K, λ é o comprimento de onda em μm , h é a constante de Planck em J·s, c é a velocidade da luz no vácuo em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ e k é a constante de Boltzmann em $\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$.

O sinal elétrico correspondente à radiação emitida de um corpo negro, $S_{bb}(T_{bb})$, pode ser descrito por (5):

$$S_{bb}(T_{bb}) = g \cdot \frac{R^* \cdot A_d \cdot \tau_0}{4 \cdot F^2 + 1} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M(T_{bb}, \lambda) \cdot s(\lambda) \cdot d\lambda. \quad (2)$$

Onde g é o ganho do amplificador do circuito eletrônico, R^* é a sensibilidade espectral (ou responsividade) do detector dado em $\text{V} \cdot \text{W}^{-1}$, A_d é a área do detector em cm^2 , F corresponde a razão entre a distância focal da lente e o seu diâmetro, λ_1 e λ_2 são os limites da faixa espectral do detector em μm , $M(T, \lambda)$ é a radiância espectral na temperatura T em um dado comprimento de onda λ ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \mu\text{m}^{-1}$), τ_0 é a transmitância da lente utilizada e $s(\lambda)$ é a função de detectividade espectral relativa do detector.

O sinal de medição, $S_r(T)$ relacionado com a temperatura de objeto qualquer pode ser expresso por (6):

$$S_r = \frac{\varepsilon \tau S_{obj}(T) + (1 - \varepsilon) \tau S_{ref}(T_{ref}) + (1 - \tau) S_{env}(T_{env}) - (1 - \tau) S_{opt}(T_{opt}) - S_{det}(T_{det})}{S_{env}(T_{env}) - (1 - \tau) S_{opt}(T_{opt}) - S_{det}(T_{det})} \quad (3)$$

Onde $S_{obj}(T)$ é o sinal elétrico correspondente à radiação emitida pelo objeto, ε é a emissividade efetiva do objeto real e τ é a transmissividade efetiva da atmosfera. $S_{ref}(T_{ref})$ é o sinal elétrico correspondente à radiação refletiva dos objetos ao redor, $S_{env}(T_{env})$ é o sinal correspondente à radiação emitida (ou absorvida) pelo ambiente entre o objeto e o detector. $S_{opt}(T_{opt})$ é o sinal elétrico correspondente à

radiação emitida pelos componentes ópticos e $S_{det}(T_{det})$ é o sinal elétrico correspondente à radiação emitida pelo próprio detector.

A temperatura do objeto T_{out} é calculada com base no valor determinado do sinal corrigido $S_r(T)$ convertido em temperatura utilizando os dados da calibração.

3. RESULTADOS

A modelagem matemática desenvolvida foi implementada utilizando a plataforma LabVIEW dividida em 2 partes. A primeira parte está relacionada com a entrada dos dados e com o processamento do sinal real, sendo aplicadas as correções de acordo com as equações descritas anteriormente (fig. 2 e 3). A segunda parte está relacionada com a conversão do sinal elétrico corrigido para temperatura, considerando os dados da calibração do sistema. O programa gera uma tela contendo o gráfico do sinal em temperatura ao longo do tempo (fig 4).

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado um novo sistema para medição de temperatura com baixo tempo de resposta acoplado ao sistema para medição de difusividade térmica utilizando o método Flash. A modelagem matemática foi desenvolvida e implementada em plataforma LabVIEW para o processamento do sinal, correção e conversão do sinal elétrico corrigido para temperatura.

Os resultados mostram grande potencial para aplicação em sistemas de imagens térmicas utilizados em termovisores, de custo relativamente baixo e de exatidão adequada em função das características requeridas para sistemas de medição específicos com baixa inércia térmica e ampla faixa de medição.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelo suporte financeiro à pesquisa.

REFERÊNCIAS

- [1] Parker, W. J.; Jenkins, R. J.; Butler, C. P., Abbott, G. L., "Flash method of determining thermal diffusivity, heat capacity and thermal conductivity", Journal of Applied Physics, 32, pp.1679-1684 (1961).
- [2] ASTM-E-1461-07, "Standard test method for thermal diffusivity of solids by the flash method", Annual book of ASTM standards, 14.02, pp.1-11, (2007).
- [3] Heckman, R. C., "Finite pulse-time and heat-loss effects in pulse thermal diffusivity measurements", Journal of Applied Physics, 44, pp.1455-1460 (1973).
- [4] Taylor, R. E.; Cape, J. A., "Finite pulse-time effects in the flash diffusivity technique", Applied Physics Letters, 5, pp.212-213 (1964).
- [5] Cape, J. A.; Lehman, G. W., "Temperature and Finite Pulse-Time Effects in the Flash Method for Measuring Thermal Diffusivity", Journal of Applied Physics, 34,

pp.1909-1913 (1963).

[6] Chrzanowski, K., Non-Contact Thermometry - Measurement Errors, Research & Development Treatises, vol. 7, Polish Chapter of SPIE, Warsaw, 2001.

[7] Vendt, R.; Juurma, M.; Jaanson, P.; Vabson, V.; Kübarsepp, T.; Noorma, M., "Effects of Environmental

Conditions on the Performance of Thermal Imagers", Int. J. Thermophys, 32, pp. 247-257 (2011).

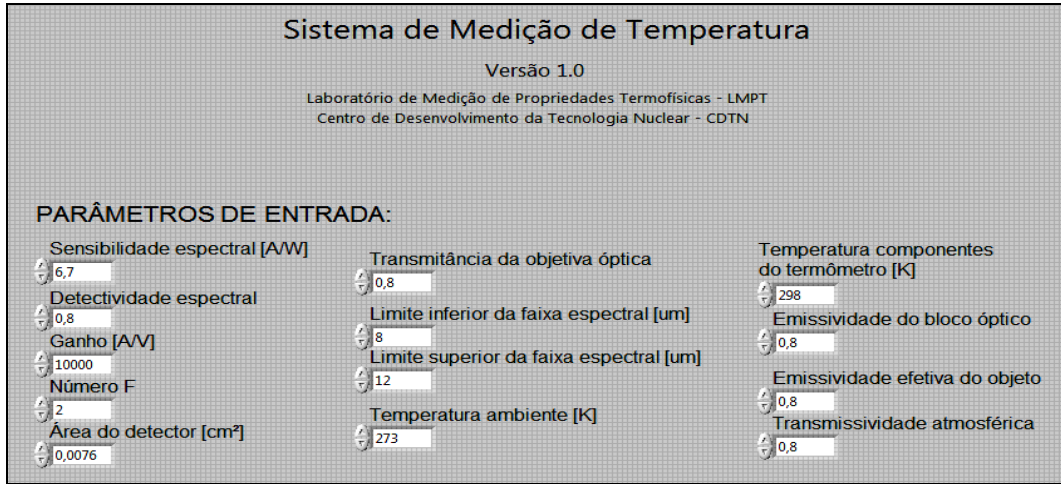


Figura 2. Tela inicial do programa para a inserção dos dados de entrada.

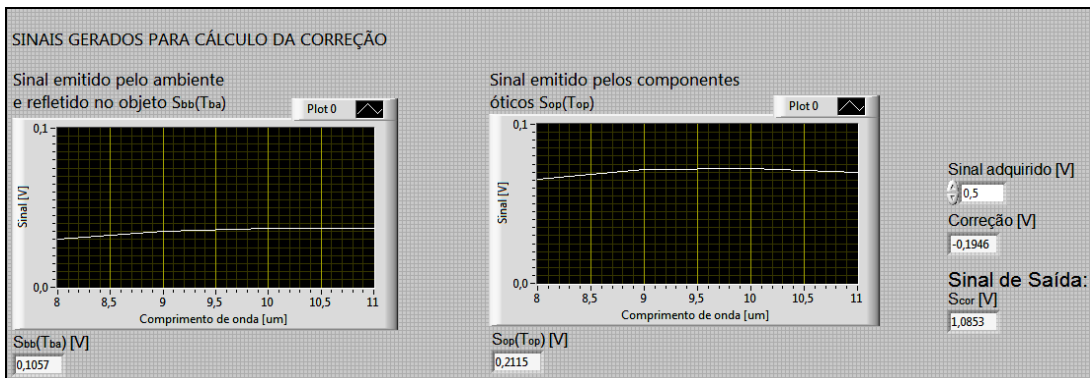


Figura 3. Tela do programa apresentado o sinal gerado para correção devido a temperatura ambiente e aos componentes óticos.

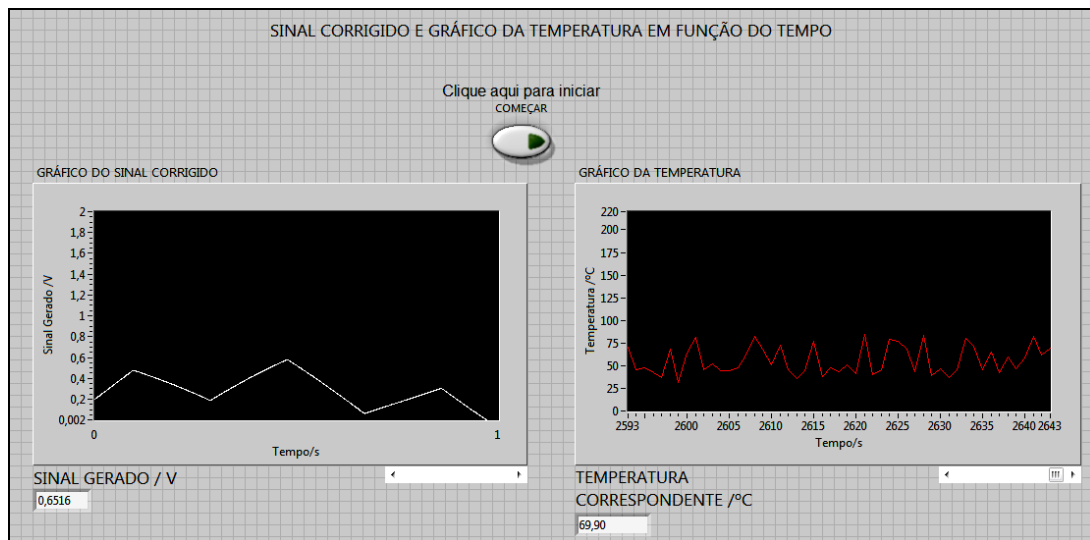


Figura 4. Tela do programa apresentando o sinal elétrico corrigido e o sinal correspondente em temperatura.