



Sistema de monitoramento de temperatura por ultrassom

P C Andrade^{1*}, S L Vieira²

¹Feec, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil

²IF, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Brasil

*patcapatricia@gmail.com

Descrição, Motivação e Objetivos. Medir a temperatura de um material é muito importante, pois a temperatura está intimamente relacionada às propriedades do material. Na medicina o monitoramento térmico deve ser feito durante tratamentos de patologias empregando técnicas de hipertermia. Assim, garantindo que as células anormais sejam danificadas e as células saudáveis permaneçam sem danos. Várias técnicas têm sido usadas, como termopares e sondas guiadas por fibras ópticas, contudo são técnicas invasivas. Por outro lado, a termometria por radiação infravermelha é uma opção para sondar temperatura de forma não invasiva. Porém, possui imprecisão de medição devido à emissividade e reflexão da radiação por outras fontes de calor e além de se limitar a pequenas profundidades. A ressonância magnética é uma técnica de termometria extensivamente explorada no meio clínico. No entanto, não é compatível com certos materiais, como metais e por apresentar alto custo. Por sua vez, a técnica de termometria por ultrassom se destaca por ser capaz de sondar materiais espessos. Possui uma elevada sensibilidade à temperatura, é uma técnica não destrutiva, não invasiva e não ionizante (DOI: [10.1143/JJAP.47.3894](https://doi.org/10.1143/JJAP.47.3894)). Nesse estudo, um dos objetivos foi desenvolver uma rotina computacional de processamento de sinais ultrassônicos para quantificar a temperatura interna de materiais submetidos a uma fonte de calor. Além desse, foi desenvolvida uma sub-rotina para realizar a comunicação em tempo real com um osciloscópio e com um sistema de termometria por termopares.

Métodos. O princípio de medição de temperatura por ultrassom (TUS) baseia-se na dependência da temperatura com a velocidade de propagação das ondas de ultrassom através do meio. A distribuição de temperatura pode ser estimada por meio da resolução da equação de difusão, tendo-se condições de contorno bem definidas. Sendo a equação de difusão uma equação diferencial parcial de primeira ordem no tempo e segunda ordem no espaço é necessário obter uma condição inicial (temperatura inicial do material) e duas condições de contorno (temperatura nas duas extremidades do material). A condição inicial e uma das condições de contorno são obtidas com um sistema de termometria por termopares (TTP). Na faixa de temperatura estudada, a velocidade do som é linear com a temperatura. Assim, a condição de contorno da superfície submetida a uma fonte de calor é obtida pela Eq. (1),

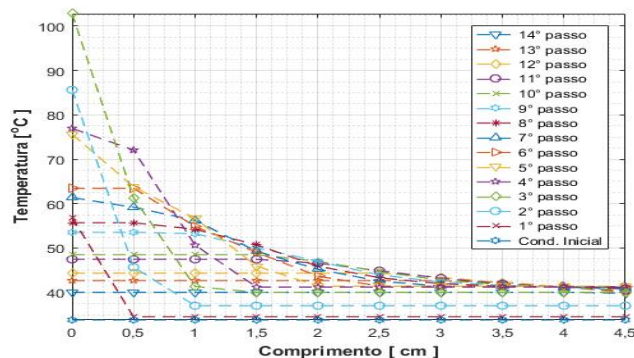
$$T_1^{n+1} = \frac{t_L^{n+1} - t_L^n}{\xi \Delta x} + T_1^n + T_N^n - T_N^{n+1} + 2 \sum_{i=2}^{N-1} (T_i^n - T_i^{n+1}) \quad (1)$$

em que t_L^n e t_L^{n+1} são os tempos de trânsito médios nos passos temporais n e $n+1$, respectivamente, i e n são índices correspondentes às coordenadas espaciais e temporais, respectivamente. N o número total de pontos espaciais da rede, Δx é o intervalo espacial na rede e ξ é uma constante obtida experimentalmente. Esses tempos são obtidos por meio do processamento do sinal ultrassônico que percorre o material. Assim, o método consiste na realização de medições empregando ultrassom pulso/eco e uma análise inversa acoplada com um

cálculo unidimensional de diferenças finitas (DOI: 10.1143/JJAP.51.07GB01). A velocidade do som foi avaliada em um bloco de alumínio, e posteriormente em *phantom* de gelatina.

Resultados. Tanto o bloco de alumínio, quanto o *phantom* de gelatina apresentaram linearidade entre a velocidade ultrassônica e temperatura. Dessa maneira, torna-se possível empregar o algoritmo computacional para monitoramento da temperatura desses materiais. No entanto, o uso desse sistema de termometria não se restringe apenas a materiais que apresentam resposta linear da velocidade com a temperatura. Outros tipos de respostas podem ser incorporados no algoritmo. Isso pode ser realizado alterando-se a Eq. (1) para o novo tipo de resposta esperada, para um dado material. Nesse estudo, o sistema de termometria por ultrassom (TUS) foi testado somente em metal, tipo alumínio estrutural. O processo de aquecimento e resfriamento do alumínio pode ser observado na Figura 1. O processo de aquecimento da superfície a uma temperatura de 102,8°C demandou cerca de 31,54 s. Enquanto o tempo para o resfriamento da mesma, uma temperatura de 39,8°C foi de 137,70 s. O perfil do resfriamento condiz com obtido em literatura.

Figura 1. Perfis da temperatura ao longo do comprimento do bloco sob regime de aquecimento e resfriamento para cada passo temporal no bloco de alumínio.



A partir do ajuste linear e do método dos mínimos quadrados obteve-se durante o aquecimento um coeficiente de determinação de 0,97 entre o perfil da curva de aquecimento fornecido pelo TUS e pelo TTP. E durante o resfriamento os perfis das curvas das duas técnicas tiveram correlação de 98%.

Discussão e Conclusões. A metodologia apresentada foi relevante dentro do contexto laboratorial para estimativa de temperatura interna de materiais aquecidos. A técnica TUS propiciou dados precisos comparados aos obtidos pela técnica TTP, apresentando concordância maior que 96%. Posteriormente, pretende-se realizar estudos com *phantoms*, além de desenvolver esse sistema de termometria empregando dispositivos portáteis para uso em campo e ambientes diversos.

Agradecimentos. A Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), edital 05/2012, num. 10267001199 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), edital MCTI/CNPq 14/2014, num. 46229820140 pelo apoio financeiro e pela bolsa de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da EMC/UFG.

Palavras-chave. Ultrassom; Termometria; Monitoramento; Temperatura; Processamento de Sinais.