

## Desenvolvimento de uma Câmara Para Caracterização de Piezoresistores de Grafite com Temperatura Controlada

Carlos A. Valdiero<sup>a,\*</sup>, Luiz A. Rasia<sup>a</sup>, Antonio C. Valdiero<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil.  
e-mails: carlos\_valdiero@hotmail.com, rasia@unijui.edu.br, valdiero@unijui.edu.br

---

### Resumo

Este trabalho apresenta uma alternativa simples para controle de temperatura de uma câmara para caracterização térmica de sensores piezoresistivos de grafite. O controle é realizado por um microcontrolador com arquitetura RISC, o qual controla o aquecimento e resfriamento através de um módulo Peltier e sensores de temperatura. Para configuração do controle o trabalho apresenta uma Interface Homem Máquina e uma interface serial, esta última possibilita que a câmara seja utilizada como módulo individual. A lógica do controle consiste em ligar e desligar a célula Peltier sempre que a temperatura se distanciar da desejada, este sistema mostra uma precisão de 0,5 °C.

*Palavras-chave* - ATmega328P, Controle Temperatura, DS18B20, Módulo Peltier.

### 1. Introdução

Na caracterização de sensores piezoresistivos, há necessidade de um ambiente com temperatura controlada que possibilite os testes em diferentes temperaturas para análise de desempenho funcional dos dispositivos. Os dispositivos piezoresistivos apresentam resistência e sensibilidade alterada em função da temperatura. A literatura [1] – [4] mostra que a temperatura interfere nas propriedades físicas dos sensores piezoresistivos e no seu funcionamento e deve ser levada em conta no desenvolvimento prático dos elementos sensores.

Este trabalho tem como objetivo desenvolver o controle de temperatura de uma câmara para caracterização térmica de sensores piezoresistivos de grafite. O controle desenvolvido possibilita que a câmara possa ser operada de forma independente através de seu painel de controle ou como um módulo através da comunicação serial.

### 2. Câmara Térmica

Neste trabalho desenvolveu-se o controle de temperatura de uma câmara para a caracterização térmica de sensores piezoresistivos. Para confecção da câmara térmica foi utilizada uma caixa de isopor de 3L com espessura de parede de 20 mm, um módulo Peltier TEC1-12706, dois conjuntos de cooler e dissipador de calor, reaproveitados de computadores, sendo um para o lado externo e outro para o lado interno da câmara.

Ao passar uma corrente elétrica no módulo Peltier ocorre a troca térmica de uma face a outra da célula, ou seja, resfriando um lado e aquecendo o outro dependendo do sentido da corrente elétrica aplicada [2]. O módulo utilizado consegue gerar no máximo um diferencial de temperatura entre as

\* Autor em correspondência

duas faces de 66 °C, podendo ser alimentado de 0-14,4 volts e de 0-6 Amperes de acordo com seu datasheet.

Para o monitoramento da temperatura na câmara térmica e no ambiente externo foram utilizados dois sensores de temperatura digital DS18B20 com a resolução de 0,06 °C. A Fig. 1 ilustra o protótipo da câmara de temperatura desenvolvida.



**Fig. 1. Protótipo câmara de temperatura controlada.**

### **3. Lógica de Controle**

A lógica do controle desenvolvida consiste em identificar se o módulo Peltier deve aquecer ou esfriar e, em seguida, aciona-lo até que a temperatura interna se iguale a temperatura desejada. Assim o sistema de controle ao ser ativado faz uma comparação da temperatura externa e da temperatura desejada, identificando se deve aquecer ou esfriar para corrigir o ambiente interno da câmara. Após este passo o sistema aciona a célula Peltier sempre que a temperatura se afastar da desejada e desliga quando se aproxima, repetindo este ciclo sempre que necessário.

### **4. Interfaces de controle**

Para interação com o sistema, foi desenvolvida uma Interface Homem Máquina (IHM) com o dispositivo de saída do tipo display LCD 16x2, três botões reaproveitados de mouses para entrada de dados e um encapsulamento impresso com uma impressora 3D em ABS. Através desta interface

é possível visualizar a temperatura real da câmara e a desejada. Na interface também é possível mudar a temperatura desejada e ativar e desativar o sistema através de um menu. Além da IHM, a câmara térmica também pode ser configurada a partir da comunicação serial, funcionando como um módulo independente.

O controle do sistema é realizado por um microcontrolador ATmega328P. A programação foi desenvolvida através da IDE do Arduino, por ela possuir uma grande gama de bibliotecas e ser de fácil utilização. Na programação da comunicação com os sensores de temperatura DS18B20 e com display LCD 16x2 utilizou-se as bibliotecas OneWire.h e LiquidCrystal.h da IDE. A Fig. 2 mostra o desenho esquemático do protótipo.

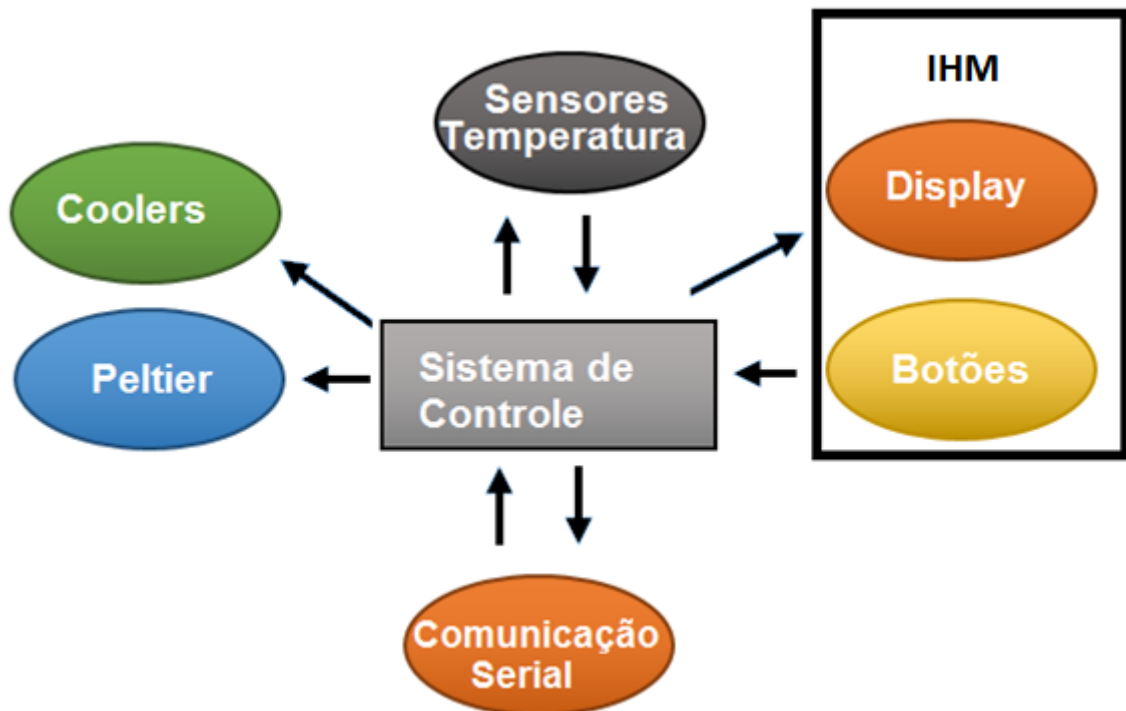


Fig. 2. Desenho esquemático do protótipo.

## 5. Resultados

Na análise do funcionamento do sistema foi configurado o controle para quatro temperaturas a partir da temperatura ambiente, sendo três acima da temperatura ambiente e uma abaixo. Como observado na Fig. 3, a utilização do Peltier obteve melhor precisão para resfriar com o sistema de controle proposto. Com exceção do controle para a temperatura de 35 °C, obteve-se uma variação de menos de 0,5 °C.

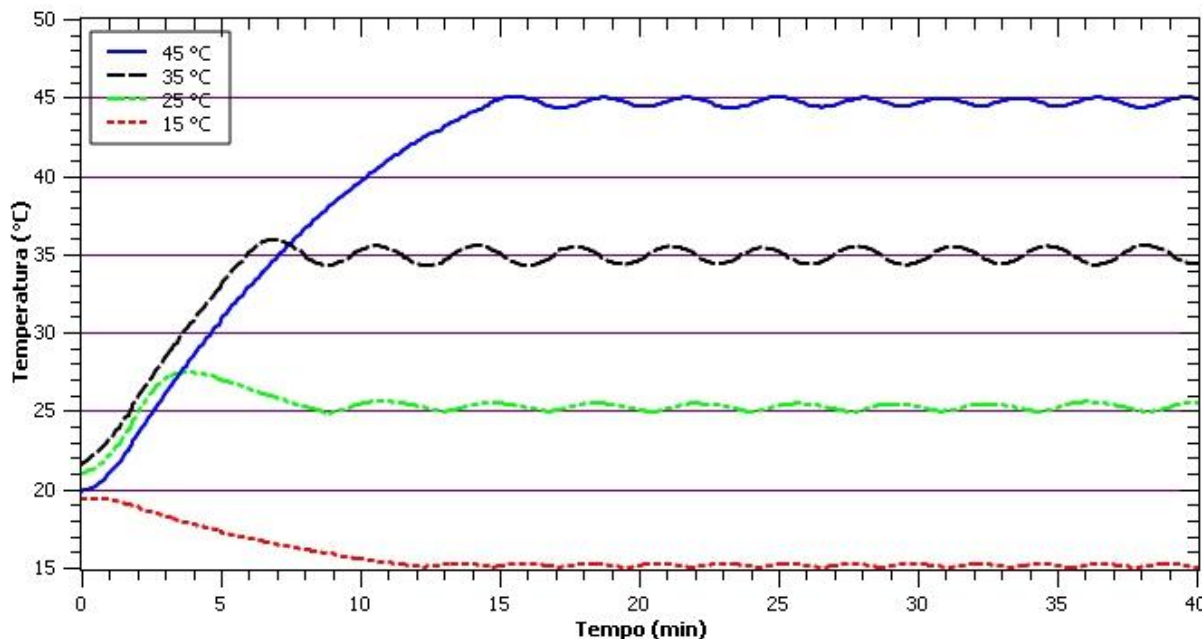


Fig. 3. Resultados obtidos com controle.

## 6. Conclusão

Os resultados obtidos foram satisfatórios para as necessidades de precisão de aproximadamente 0,5 °C, possibilitando controle da temperatura da câmara através de um controle simples e com a disponibilidade de uma interface de fácil uso para configuração por uma Interface Homem Máquina e por comunicação serial.

Com a utilização do protótipo desenvolvido, poderá ser realizado um trabalho futuro de caracterização do coeficiente de temperatura dos piezoresistores e o fator de sensibilidade de acordo com a temperatura de trabalho dos sensores piezoresistivos.

Para que a câmara térmica alcance temperaturas mais baixas no resfriamento, será necessário um dissipador de calor e um cooler apropriado para o lado externo, pois o utilizado não conseguiu esfriar o suficiente o lado quente para que o lado frio pudesse alcançar temperaturas mais baixa, chegando ao máximo 12,5 °C, enquanto o lado quente estava ultrapassando os 70 °C. A partir desse controle está sendo desenvolvido e testado um controle PID (Proporcional-Integrativo-Derivativo) utilizando PWM (Modulação por Largura de Pulso).

## Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil. Os autores também são agradecidos à FAPERGS, CNPq e UNIJUÍ pelas bolsas de iniciação científica e desenvolvimento tecnológico, à UNIJUÍ e ao FINEP pelo apoio na complementação do Núcleo de Inovação em Máquinas Automáticas e Servo Sistemas

(NIMASS), por meio da Chamada Pública MCTI/FINEP/CT-INFRA - PROINFRA - 02/2014 - Equipamentos Multiusuários, Ref.: 0141/16 (Protocolo Eletrônico: 124), com a liberação de recursos para compra de equipamentos para construção de protótipos para pesquisas de mestrado e doutorado

## Referencias

- [1] SCARTON, L. Desenvolvimento, Simulação Matemática e Caracterização de Dispositivos Sensores Piezoresistivos de Grafite. 2015. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul.
- [2] PRAVINCHANDRA, T. M. Peltier Cooling Module. 2015. Tese de Doutorado. PANDIT DEENDAYAL PETROLEUM UNIVERSITY.
- [3] VALDIERO, C. A. ; RASIA, L. A. ; VALDIERO, A. C. . Desenvolvimento experimental de equipamento de baixo custo para caracterização elétrica de elementos sensores de grafite. In: X Simposio Internacional de Ingeniería Industrial: Actualidad y Nuevas Tendencias, 2017, Oberá. Anais do SIIIAYNT2017. Oberá: Red Internacional de Investigadores en Ingeniería Industrial(REDI4), 2017. v. 1. p. 1106-1111.
- [4] BERKENBROCK, R.; RASIA, L. A.; GALLI, E. R.; VALDIERO, A. C.; SOUZA, J. P.; VALDIERO, C. A. Piezoresistive Graphite Sensors Encapsulated With Epoxy Resin Bisphenol A (BPA). AMERICAN JOURNAL OF ENGINEERING RESEARCH, v. 7, p. 148-154, 2018.