



ESTUDO DO CONTROLE DE TEMPERATURA DE FLUIDOS POR MEIO DE MICROCONTROLADORES

Narco Afonso Ravazzoli Maciejewski¹ (PIBIC/CNPq-UNIOESTE), Huei Diana Lee¹ (Orientadora), Moacir Fontequê Júnior¹, Claudio Saddy Rodrigues Coy², Feng Chung Wu^{1,2} e-mail: hueidianalee@gmail.com.

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná/Centro de Engenharia e Ciências Exatas/Laboratório de Bioinformática. ²Universidade Estadual de Campinas/Faculdade de Ciências Médicas/Programa de Pós Graduação em Ciências da Cirurgia.

Área: Ciências Exatas e da Terra. **Sub-área:** Ciência da Computação.
Palavras-chave: termodinâmica, modelos matemáticos, célula de Peltier.

Resumo:

Este trabalho apresenta o estudo e a análise da capacidade dos modelos matemáticos polinomial e exponencial na representação do comportamento do controle da temperatura, de aquecimento e de resfriamento, de acordo com o tempo por meio de células de Peltier. Para isso, a fundamentação foi baseada nos efeitos termodinâmicos de Peltier e Seebeck, e o parâmetro analisado representado pelo coeficiente de determinação (R^2). As comparações entre as médias de R^2 referentes às curvas de controle de temperatura, tanto do aquecimento quanto do resfriamento, apresentaram diferença estatisticamente significativa para $p\text{-valor} < 0,0001$ e $p\text{-valor} = 0,0001$, respectivamente. Por meio dos resultados concluiu-se que, o modelo matemático polinomial foi o mais adequado, pois os ajustes aproximaram-se de modo mais fidedigno em relação aos fenômenos termodinâmicos avaliados.

Introdução

As células de Peltier, quando utilizadas em controle da temperatura, apresentam características importantes como baixa emissão de ruído e de vibração, elevado período de durabilidade de uso, reduzida dimensão e não emissão de gases. Em algumas aplicações, essas características são altamente desejáveis, como aquelas voltadas para a área médica. Essas células realizam efeito termoelétrico de transformação da energia elétrica em térmica, denominado efeito Peltier e, de modo inverso, encontra-se o efeito Seebeck, o qual é utilizado em sensores de temperatura [1].

O efeito Peltier ocorre quando a corrente elétrica circula pela junção de dois materiais diferentes, acarretando na origem de gradiente de temperatura na área de união dos materiais. Nesse efeito, a diferença de temperatura entre as faces da célula de Peltier e, conseqüentemente, a quantidade de calor transferida é proporcional à corrente elétrica [2].

Sob esse escopo, o presente trabalho tem como objetivo estudar e analisar os modelos matemáticos anteriormente descritos para o controle da temperatura de fluidos por meio da célula de Peltier.

Materiais e Métodos

Os principais equipamentos utilizados neste trabalho foram:

- Um computador Acer 5733-6410, um multímetro, um sensor de temperatura LM35, uma placa de potência e uma fonte regulável;
- Uma placa de prototipação (microcontrolador MSP430F169 - *Texas Instruments*);
- Duas cubas - uma em alumínio e outra em acrílico, com isolamento térmico em isopor, três dissipadores externos, três dissipadores internos e três células de Peltier, sendo duas de modelo 12715 e uma de modelo 12710.

O procedimento experimental é apresentado na Figura 1.

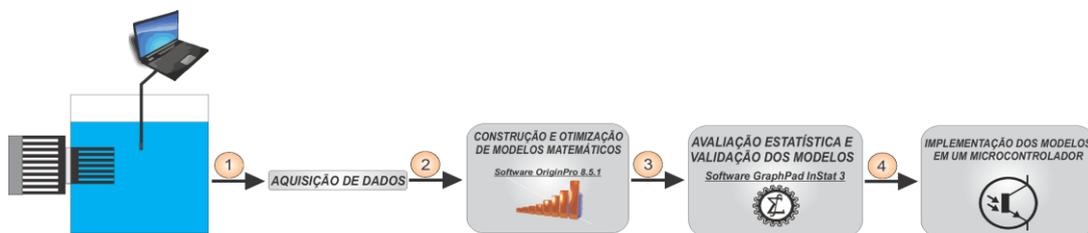


Figura 1 – Procedimento Experimental (Etapas 1, 2, 3 e 4).

Etapa 1 - Montagem do Ambiente de Experimentação e Aquisição de Dados: foram preparadas as cubas de aquecimento e de resfriamento com uma e duas células de Peltier, respectivamente. Cada pastilha foi posicionada, individualmente, com um dissipador interno ao recipiente contendo o fluido água, e um dissipador acoplado externamente ao recipiente e em contato com o cooler. Um sensor de temperatura foi posicionado no centro espacial dos recipientes para auxiliar a coleta de valores de temperatura, a cada 30 segundos, intervalo esse de tempo previamente determinado. Esse sensor foi conectado ao microcontrolador da placa de prototipação que realizou a



conversão de tensão, gerada pelo sensor, em temperatura na proporção de 10 unidades de tensão, em milivolts, para a unidade de temperatura, em graus Celsius. Após a conversão, os valores de tempo e de temperatura eram enviados ao display pelo microcontrolador, cuja coleta era realizada de modo automático. Os experimentos foram repetidos, integralmente, por 15 vezes e de acordo com o mesmo protocolo, ou seja, iniciaram-se com a presença de água à temperatura de 21° Celsius e aquecimento até 60° Celsius e, depois, iniciando-se, novamente, em 21° Celsius a água com resfriamento até atingir 4° Celsius. Após esses procedimentos, originaram-se 15 curvas do período de aquecimento e 15 curvas do período de resfriamento. Com isso, cada curva determinada pelo protocolo experimental era submetida a ajustes por meio dos modelos matemáticos polinomial e exponencial e os coeficientes de determinação eram calculados.

Etapa 2 - Construção e Otimização de Modelos Matemáticos: os modelos de temperatura em função do tempo estudados foram o polinomial e o exponencial e ambos os métodos de ajuste de curvas construídos e otimizados utilizando o software *OriginPro 8.5*.¹

Etapa 3 - Avaliação Estatística e Validação dos Modelos: as curvas geradas pelos modelos matemáticos foram analisadas por meio do coeficiente de determinação (R^2). Os R^2 foram comparados usando o teste estatístico Wilcoxon para dados pareados e respeitando a fixação do nível de significância de 95%.

Etapa 4 - Implementação do Modelo em Microcontrolador: o modelo que apresentou melhor performance será utilizado para a implementação do algoritmo de controle do microcontrolador.

Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados as médias e os desvios padrão para os R^2 provenientes dos ajustes dos modelos matemáticos, polinomial e exponencial, para as curvas de aquecimento e de resfriamento.

¹ <http://www.originlab.com/>



Tabela 1 - Valores de médias e de desvios padrão dos R^2 determinados pelos modelos matemáticos nas curvas de aquecimento e de resfriamento.

	Polinomial		Exponencial	
	Aquecimento	Resfriamento	Aquecimento	Resfriamento
Média	0,9995	0,9973	0,9967	0,9820
Desvio Padrão	0,0003	0,0012	0,0014	0,0057

As comparações entre as médias de R^2 referentes às curvas de controle de temperatura, tanto do aquecimento quanto do resfriamento, apresentaram diferença estatisticamente significativa para p -valor $< 0,0001$ e p -valor = $0,0001$, respectivamente. Assim sendo, o modelo matemático polinomial alcançou resultado mais adequado, pois os ajustes aproximaram-se de modo mais fidedigno em relação aos comportamentos térmicos modelados, apresentando R^2 mais próximo de um, quando relacionado ao modelo de ajuste exponencial. Este aspecto pode ser explicado pelo fato do método polinomial utilizar cinco parâmetros na equação de ajuste enquanto o exponencial, três parâmetros, pois a maior quantidade de parâmetros permite ajustar de modo mais exato o fenômeno a ser representado.

Conclusões

De acordo com os resultados, neste trabalho, concluiu-se que o modelo polinomial foi o mais adequado para ajustar as curvas temperatura em função do tempo. Assim, os modelos polinomiais para aquecimento e resfriamento se mostraram confiáveis e serão implementados em um sistema baseado em microcontrolador para aplicações na área médica.

Agradecimentos

Ao Conselho Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq – pela concessão de bolsa de iniciação científica.

Referências

- [1] Wylen, G. V. *Fundamentos da termodinâmica*. Ed.: Edgard Blücher Ltda. (4ª ed.). São Paulo, 2009.
- [2] Çengel, Y. A.; Ghajar, A. J. *Transferência de calor e massa*. Ed.: Mcgraw-Hill (4ª ed.). São Paulo, 2012.