

## **DESENVOLVIMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR DIDÁTICO BASEADO EM ARDUINO**

THAÍS INÊS MARQUES DE SOUZA<sup>1\*</sup>, SIDNEY PEREIRA <sup>2</sup>; JOCILANE PEREIRA DE OLIVEIRA <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFMG, Montes Claros-MG, thais\_marquess@hotmail.com

<sup>2</sup>Professor Dr. do curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, UFMG, Montes Claros-MG, sidney@ica.ufmg.br

<sup>3</sup>Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFMG, Montes Claros-MG, jocilanepereira20@hotmail.com

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016  
29 de agosto a 2 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

**RESUMO:** O desenvolvimento de módulos didáticos permite a aplicação dos seus conhecimentos teóricos facilitando a sua compreensão e contribuindo para a busca de melhorias para os processos. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um trocador de calor didático baseado na plataforma Arduino que possa permitir a compreensão do funcionamento do mesmo e a sua eficiência. Para o seu desenvolvimento foi utilizado um trocador duplo tubo com fluxo contracorrente com quatro sensores de temperatura DS18B20 acoplados nas entradas e saídas dos fluxos. Os sensores estavam vinculados a plataforma Arduino que por sua vez estava interligada ao computador. Através da plataforma era feito a determinação das variáveis fixadas, sendo elas a área, vazão e capacidade calorífica do fluido em questão. O teste experimental foi realizado utilizando água quente e água fria e duas bombas com as vazões determinadas manualmente. Os resultados mostraram que o sistema é mais eficiente quando submetidos a maior temperatura associada com uma menor vazão. Pode concluir que o sistema desenvolvido é uma alternativa para fins de estudos do seu funcionamento e verificação das variáveis que podem afetar a transferência de calor.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino, instrumentação, sensor de temperatura, transferência de calor.

### **DEVELOPMENT OF A HEAT EXCHANGER DIDACTIC BASED ON ARDUINO**

**ABSTRACT:** The development of educational modules allows the application of their theoretical knowledge facilitating their understanding and contributing to the search for improvements to the processes. Therefore, this study aimed to develop a didactic heat exchanger based on the Arduino platform that would enable the understanding of the functioning of the same and its efficiency. For its development we used a double exchanger tube with countercurrent flow with four DS18B20 temperature sensors fitted at inputs and outputs of flows. The sensors were linked to the Arduino platform which in turn was connected to the computer. Through the platform was made to determine the fixed variables, as follows area, flow and heat capacity of the fluid in question. The experimental test was performed using hot water and cold water and two pumps with flow rates determined manually. The results showed that the system is more efficient when subjected to higher temperature associated with a less flow. It can be concluded that the system developed is an alternative for studies of its operation and verification purposes of the variables that can affect heat transfer.

**KEYWORDS:** Education, instrumentation, temperature sensor, heat transfer.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria tem mostrado bastante interesse e procura de modos que possa otimizar os processos ocasionando a necessidade de aprimoramento de técnicas e elaboração de produtos mais eficientes. Diante disso, a evolução da engenharia proporcionou o desenvolvimento de diversos componentes para serem aplicados nos controladores e equipamentos associados com uma maior variedade e sofisticação de sistemas de controle a fim de obter uma redução do custo da automação (Esteves, 2009).

Uma área de grande aplicabilidade dessa automação é a área térmica. Perussi (2010) ressalta que dentro desta área pode-se destacar os trocadores de calor que são responsáveis por grande parte da mesma e tem sido muito utilizado em relação à pesquisa e desenvolvimento.

A área de aplicação desses trocadores é bastante ampla, sendo utilizado desde equipamentos domésticos até ao uso em processos industriais complexos. Podendo ser aplicado de forma direta, aquecer ou resfriar um produto ou de forma indireta, nos condensadores e evaporadores (Perussi, 2010).

O trocador de calor é um equipamento responsável pela realização da troca térmica entre dois fluidos que se encontram em condições de temperaturas distintas e separados por uma parede sólida (Incropera et al., 2007). Este deve proporcionar uma máxima transferência de calor, o que permite que o lado quente possa perder o máximo de carga térmica enquanto que o lado frio absorva efetivamente (Sobrinho, 2014).

De acordo Incropera et al. (2007), os trocadores de calor podem ser classificados em função tanto do tipo de escoamento quanto ao tipo de sua construção. Esteves (2009) salienta que os trocadores de casco e tubos são os mais utilizados por permitirem seu funcionamento sob quaisquer condições operacionais. Sendo o trocador duplo tubo considerado como o mais simples e de maior facilidade de manutenção, usado geralmente para aplicações de pequena capacidade.

Com essa gama de variedade de equipamento, o desenvolvimento de módulo didático é de grande importância e interesse, pois permite que o aluno possa desenvolver seu espírito científico e prática profissional, consolidando seus conhecimentos além de tentar solucionar alguns impasses a fim de otimizar o processo (Pinheiro, 2007).

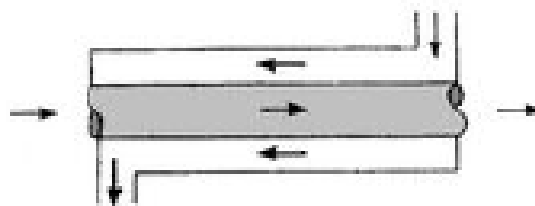
Diante disso, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um trocador de calor didático baseado na plataforma Arduino que possa permitir a compreensão do funcionamento do mesmo e a sua eficiência.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, Campus Montes Claros – MG. Foi utilizado um sistema baseado na plataforma Arduino.

O trocador utilizado neste trabalho foi um trocador de calor duplo tubo ou bitubular (Figura 1), com comprimento total de 25 cm e com um fluxo contrário, também denominado de contracorrente, caracterizada pelo escoamento em sentido oposto dos dois fluidos. Segundo Perussi (2010), esse tipo de escoamento permite uma maior variação de temperatura favorecendo a obtenção da taxa máxima de transferência e, conseqüentemente, maior eficiência.

Figura 1. Trocador de calor de fluxo contracorrente.



Fonte: Perussi (2010).

Para o controle do processo foram utilizados quatro sensores de temperatura DS18B20 acoplados nas entradas e saídas do fluido a fim de verificar, precisamente, a troca realizada pelo decréscimo da temperatura. Esse sensor apresenta um comportamento linear o que dispensa a necessidade de calibração e além disso proporciona uma boa precisão. Conforme descrito na sua datasheet, é possível efetuar leituras dentro de uma faixa de de  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ , com precisão de até  $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para as temperaturas de até  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  e a sua comunicação ocorre por apenas um cabo, o que torna medidas mais precisas por estar, praticamente, imune a ruídos de medição (Maxim, 2008).

Os sensores estavam vinculados a plataforma Arduino que por sua vez estava interligada ao computador. Através da plataforma era feito a determinação das variáveis fixadas, sendo elas a área, vazão e capacidade calorífica do fluido em questão.

O Arduino exerce a função de alimentar eletricamente os sensores, recebendo a leitura da temperatura e informando-a em tempo real e calculando a sua eficiência. Ele permite a monitoração, tanto de variáveis analógicas como digitais, e o controle de processos permitindo a sua automatização.

Para verificação do sistema desenvolvido foram utilizadas água quente e água fria, duas bombas com as vazões determinadas manualmente por duas fontes de tensão para controle dos motores acionadores destas. Os sensores foram dispostos dentro de um pequeno cilindro de aço inox nas entradas e na saída, para minimizar a chance de erro nas leituras e evitar vazamentos. Os cálculos da eficiência foram realizados de acordo descrito por Both et al. (2011).

A fim de verificar diversas situações, foram feitas variações na temperatura e na vazão, permitindo a visualização de todos os fatores que poderiam interferir como também o funcionamento do trocador de calor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O experimento permitiu a alteração de todas as variáveis de forma a contribuir para a compreensão do equipamento aplicando os fundamentos teóricos. Verificou-se as condições de trabalho necessário para garantir o seu melhor desempenho.

Realizou-se algumas alterações nas condições de funcionamento, tais como o aumento da temperatura da água quente e o resfriamento da água fria, líquido refrigerante, para obtenção de melhor eficiência.

A obtenção dos dados de temperatura ocorreu de forma precisa sendo possível a identificação de pequenas alterações quando ocorridas. Alguns dos dados de temperatura e eficiência obtidas encontram-se na Tabela 1, o que permite a verificação do funcionamento do sistema e um baixo resfriamento do fluido.

Tabela 1. Dados obtidos para diferença de temperatura e eficiência em relação a vazão.

Vazão ( Ls <sup>-1</sup> )	TQ entrada (°C)	TQ saída (°C)	$\Delta T$ quente (°C)	Eficiência (%)
0,5	89,56	77,75	11,81	17,81
0,5	90,81	78,62	12,19	18,04
0,5	92,12	77,87	14,25	20,71
1,0	88,87	80,87	8,37	11,89
1,0	90,44	81,81	8,13	11,34
1,0	91,44	83,06	8,38	11,56

Pode observar que a diferença de temperatura do fluido principal foi maior quando este estava em uma menor vazão, o que permitiu um melhor resfriamento. Para tanto, o equipamento mostrou-se mais eficiente quando submetido a uma menor vazão e para temperaturas mais alta.

A área de contato para realização da troca é uma variável que pode influenciar na sua eficiência, pois quanto maior for a área para ocorrer a troca de calor mais eficiente essa troca será, uma vez que para as temperaturas utilizadas a sua área foi bastante pequena. Both et al. (2011) diz que além do tamanho o material do trocador também influencia na sua eficiência, sendo recomendado a utilização de material que apresente um elevado coeficiente de condutibilidade térmica como exemplo o cobre. Outro aspecto que pode ter interferido é a questão da perda de carga durante a troca.

## CONCLUSÃO

O equipamento desenvolvido não apresentou eficiência satisfatória para ser aplicado em processos industriais. No entanto, é uma alternativa para fins de estudos do seu funcionamento e verificação das variáveis que podem afetar a transferência de calor.

## REFERÊNCIAS

- Both, J. F.; Vargas, L. M.; Silveira, M. D. Construção e operação de um trocador de calor para resfriamento de mosto de cerveja. 21 p. Trabalho final (Disciplina de Medições Térmicas). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011.
- Esteves, A. C. Estudo comparativo do desempenho de um modelo fenomenológico e de um modelo físico aplicado a um trocador de calor. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos

- Químicos e Bioquímicos), Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia. São Caetano do Sul. 2009.
- Incropera, F. P. et al. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7. ed. New York: John Wiley & Sons, 2007.
- Perussi, R. Análise do desempenho de trocadores de calor de fluxo cruzado por simulação numérica. 138 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Departamento de Engenharia Mecânica. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. 2010.
- Pinheiro, P. C. C. Aula prática sobre trocadores de calor: bancada e guia de aula. In: XXXV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. COBENGE' 2007, Curitiba, Anais... Curitiba, 2007.
- Sobrinho, G. T. Simulador de um trocador de calor placa para um sistema de resfriamento de um reator de pesquisa. 112 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Nuclear). Instituto de Engenharia Nuclear da Comissão Nacional de Energia Nuclear. Rio de Janeiro. 2014.
- Maxim. "DS18B20 Programmable Resolution 1-wire Digital Thermometer", 04/2008. Disponível em: <http://www.maxim-ic.com/>. Acesso em: 02 de julho de 2016.