



AVALIAÇÃO DO COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR (U) EM UM TROCADOR CASCO E TUBO: CONFIGURAÇÃO CO E CONTRACORRENTE

José Leocádio Neto, leoneto518@gmail.com¹
Lucas Elias da Silva Lucena, leelias13@gmail.com¹
Everton Santos, everton.ufcg@gmail.com¹
Alexsandro Oliveira, eng.alexsandroliveira@gmail.com¹

¹Centro Universitário Maurício de Nassau – AL, R. José de Alencar, 511 - Farol, Maceió - AL, 57051-565

Resumo. A troca térmica é um fenômeno de extrema importância para todos os ramos industriais, sendo este fenômeno conduzido por equipamentos denominados trocadores de calor. Os trocadores de calor podem apresentar configurações co e contracorrente sendo esta configuração importante para a definição do projeto dos trocadores de calor. Este trabalho tem por objetivo verificar o comportamento do Coeficiente Global de Transferência de Calor (U) em um trocador do tipo casco e tubo a medida que se varia a vazão da bomba para ambas as configurações estudadas. Foi possível observar que para a configuração co corrente U aumentou com o aumento do percentual de vazão da bomba, este comportamento não foi observado na configuração contracorrente que apresentou um comportamento oscilatório.

Palavras chave: Coeficiente Global. Trocador Casco e Tubo. Co Corrente. Contra Corrente

1. INTRODUÇÃO

O trocador de calor casco e tubo é considerado um dos tipos mais comuns utilizados nos processos industriais. Este tipo de trocador consiste em um casco com tamanhos diferentes que contém um número de tubos no interior. Os trocadores de calor casco e tubo caracterizam-se por serem fáceis de fabricar em diferentes tamanhos e configurações (Abd *et al.*, 2018; Mirzaei *et al.*, 2017). Ao projetar-se este tipo de trocador deve-se considerar uma série de fatores importantes a fim de maximizar sua eficiência e manter sua eficácia, destacando-se dentre eles os seguintes: Tipo de fluido e localização (casco ou tubo), seleção da temperatura nas correntes, limites de velocidades e pressões de operação no casco e no tubo, coeficientes de incrustação, números de passagens, comprimento de tubulação e material (Liu *et al.*, 2016; Edwards, 2008).

Bolmstedt (2002), sugere a realização de um estudo minucioso sobre os parâmetros de operações citados anteriormente. Em diversos casos na indústria, a configuração geométrica é a primeira a ser recomendada. Em um segundo momento, os valores teóricos de operação são ajustados de acordo com as especificações anteriormente definidas. Por fim, são realizados testes para verificar a eficiência do processo e em caso de necessidade ajustar quaisquer valores que desviaram do projeto inicial (Yang *et al.*, 2014).

Matematicamente, o modelo que representa o mecanismo de transferência de calor neste tipo de equipamento é composto por uma série de equações que relacionam as variáveis dependentes e independentes. Para conhecer o comportamento e para dimensionar um trocador de calor o coeficiente global de transferência de calor é essencial, pois é o fator determinante na capacidade de troca térmica (Incropera *et al.*, 2008).

Este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento do coeficiente global de transferência de calor (U) nas configurações co e contracorrente em um trocador de calor do tipo casco e tubo, este comportamento será observado através da variação da vazão do fluido quente.

2. METODOLOGIA

2.1. Subestação – Unidade de Serviço Base

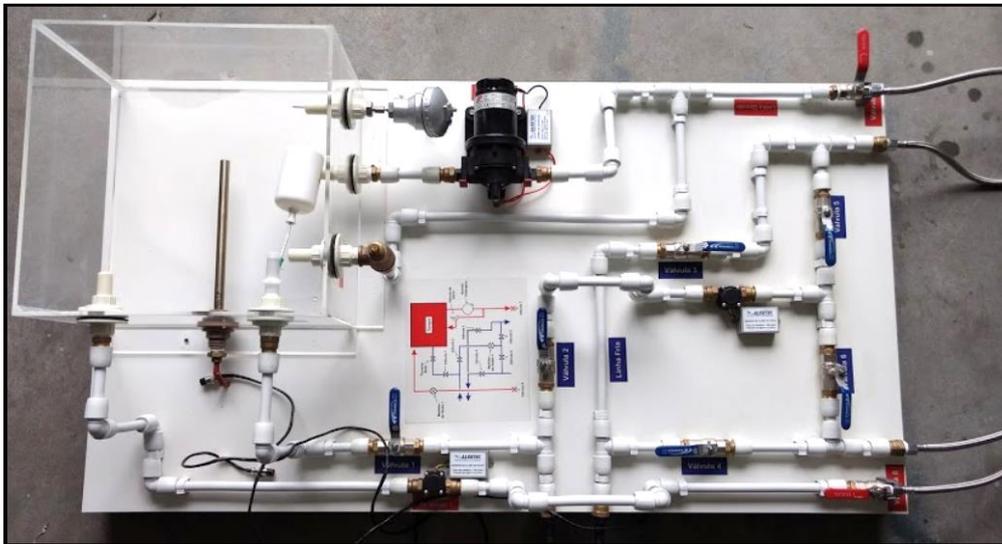
Os dados foram coletados através de uma bancada didática fornecida pela Algetec. O equipamento fornecido é composto por uma Subestação – Unidade de Serviço Base (Fig. 1) que é responsável pelo fornecimento do fluido frio, aquecimento do fluido quente e por seu bombeamento para os respectivos trocadores de calor.

A subestação contém um tanque de acrílico de 40 litros (por ser de acrílico, o aluno conseguirá perceber o fenômeno da convecção enquanto a resistência elétrica estiver ligada). Nele, a água é aquecida de forma controlada por um

resistência elétrica de potência igual a 3000 Watts. A temperatura desse ambiente é medida por um termopar, o qual envia as informações para a Unidade de Aquisição e Controle.

O bombeamento do fluido aquecido é realizado por uma bomba do tipo diafragma com capacidade de vazão máxima de 658,66 L/h e tensão de 12V. A bomba é controlada pela Unidade de Aquisição e Controle. Ela succiona a água do tanque e bombeia para os trocadores de calor. A água, após passar pelo trocador de calor, retorna ao tanque da subestação.

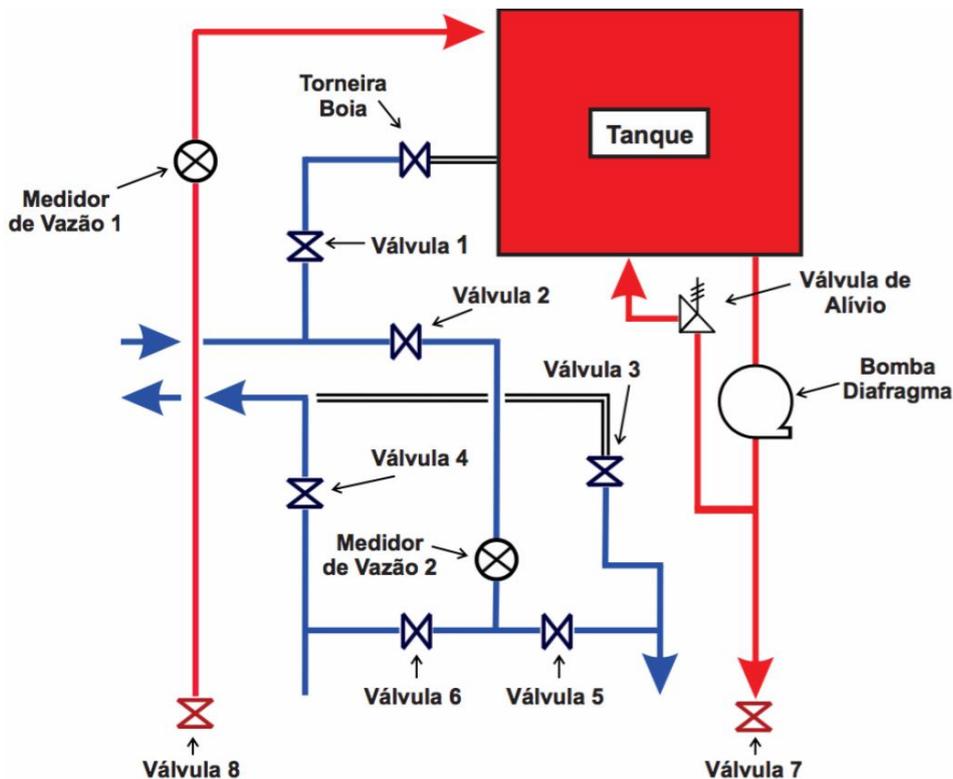
Figura 1. Subestação – Unidade de Serviço Base



A alimentação de água fria não passa pelo tanque de acrílico e é direcionada diretamente ao trocador estudado. Além do descrito acima, a subestação contém medidores de vazão do tipo turbina nas tubulações de água quente e fria. Os medidores enviam seus valores para a Unidade de Aquisição e Controle.

O diagrama a seguir (Fig. 2) ilustra o sistema hidráulico da subestação.

Figura 2. Diagrama representativo do sistema hidráulico referente a subestação



2.2. Trocador de calor casco e tubo

A Fig. 3 expõe o trocador de calor do tipo casco e tubo. O trocador casco e tubo é construído a partir de um conjunto de tubos internos (feixe de tubos) e um casco cilíndrico. Durante o seu funcionamento, a troca de calor ocorre entre o fluido contido nos tubos internos e o fluido contido no casco, sendo variada a vazão do fluido quente e mantida constante a variação do fluido frio.

Figura 3. Trocador de calor do tipo casco e tubo



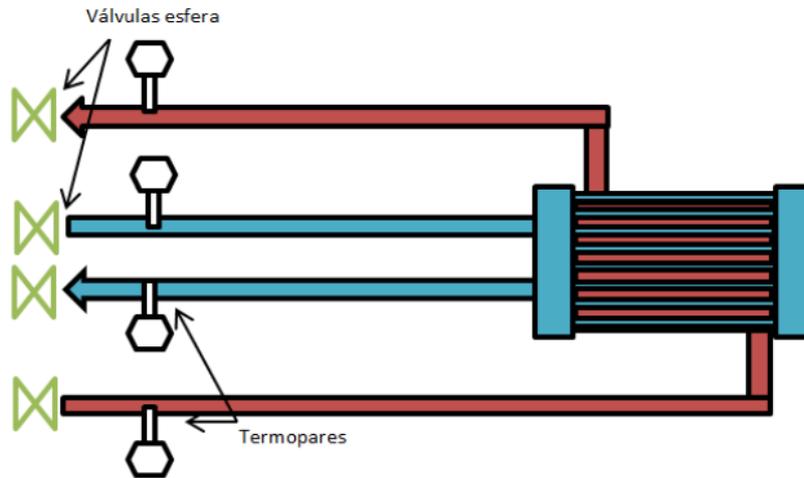
A Fig. 4 ilustra o trocador de calor estudado. O equipamento é constituído por um feixe tubular em cobre, tampas em ferro fundido, chicanas, espelhos em aço carbono e corpo em tubo DIN2440. Os tubos são mandrilhados nos espelhos e possuem 2 passes. Como principais características funcionais destacam-se uma área de troca térmica de $0,1 \text{ m}^2$, 3 chicanas, 14 tubos, vazão de fluido (para troca térmica) de 300 a 600 L/h, vazão de água (para 2 passes) de 1010 a 2520 L/h, sendo a variação do fluido aquecido entre 60 a 336 L/h e a vazão do fluido frio sendo constante a 708 L/h.

A temperatura de entrada do fluido quente varia entre 42 a 45°C, variando de acordo com o percentual de vazão utilizado pela bomba, enquanto a temperatura de entrada do fluido frio se mantém a 31,5°C. O diagrama do sistema hidráulico é mostrado na Fig. 5.

Figura 4. Ilustração do trocador de calor casco e tubo



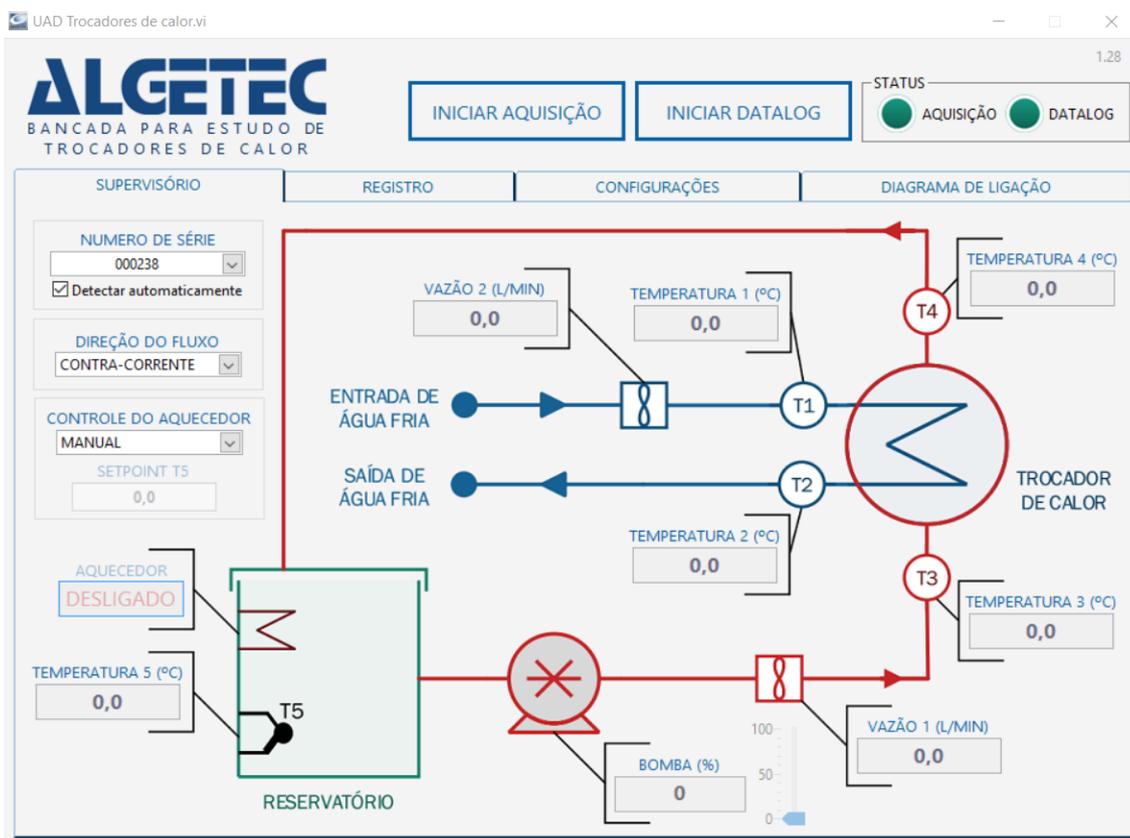
Figura 5. Diagrama do sistema hidráulico



2.3. Unidade de aquisição de dados e controle

A Fig. 6 mostra o supervisor do software (UAD Trocador de Calor 128e) fornecido pela Algetec. Na aba Supervisório são indicados instantaneamente os valores das temperaturas e das vazões. Além disso, é possível controlar por um simples clique o acionamento e desligamento do aquecedor, ajustar a vazão da bomba e selecionar a direção do fluxo (co ou contracorrente).

Figura 6. Supervisor do software



2.4. EQUAÇÕES GERAIS

Para o cálculo de (U) serão utilizadas as equações da taxa de transferência de calor, Eq. (1), através do método da diferença da temperatura média logarítmica, Eq. (2). A área do trocador de calor utilizada foi de 0.10 m² dado este fornecido pelo fabricante.

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{ml} \quad (1)$$

q – Taxa de transferência de calor.

U – Coeficiente global de transferência de calor.

A – Área do trocador de calor.

ΔT_{ml} – Diferença da temperatura média logarítmica.

$$\Delta T_{ml} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (2)$$

ΔT_1 e ΔT_2 – Diferenças de temperatura entre os dois fluidos na entrada e saída do trocador de calor.

Para a configuração co corrente.

$$\Delta T_1 = T_{q,ent} - T_{f,ent} \quad \Delta T_2 = T_{q,sai} - T_{f,sai}$$

Para a configuração contracorrente.

$$\Delta T_1 = T_{q,ent} - T_{f,sai} \quad \Delta T_2 = T_{q,sai} - T_{f,ent}$$

A diferença de temperatura média logarítmica é obtida pelo perfil real de temperatura dos fluidos ao longo do equipamento, sendo a representação exata da diferença de temperatura média entre os fluidos quente e frio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção serão calculados os valores dos coeficientes globais de transferência de calor (U) para as configurações co e contracorrente. A vazão do fluido quente será controlada via software com variação de vazão da bomba em termos percentuais. Para ambos os experimentos foi variada a vazão de 20 a 100%.

3.1. Configuração co corrente

Para o arranjo co corrente a configuração das válvulas segue como descrito (Ver Fig. 02):

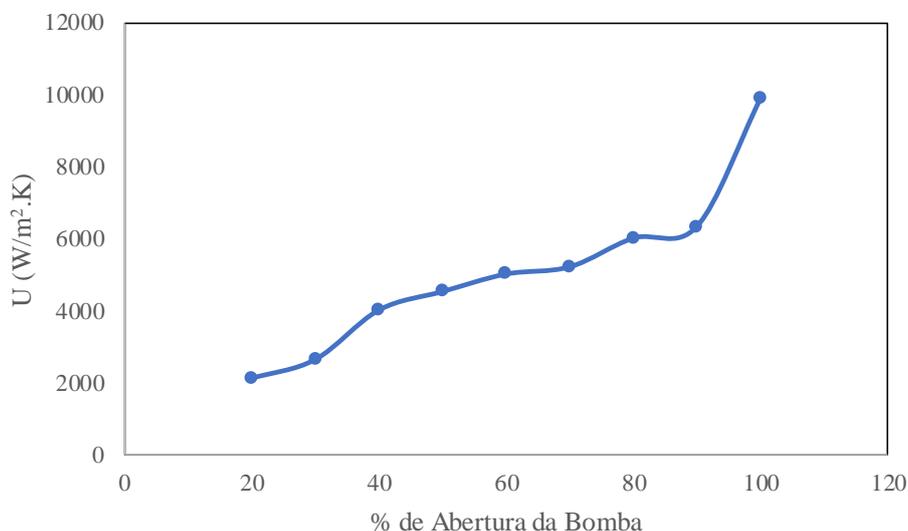
Fechadas: Válvulas 3 e 6.

Abertas: Válvulas 4, 5, 7 e 8.

A Figura 7 expõe o gráfico obtido do Coeficiente Global de Transferência de Calor em função da variação da porcentagem de abertura da válvula da bomba para a configuração co corrente.

Observa-se através da Figura 7 que o aumento da abertura da válvula da bomba ocasiona um aumento na vazão observada do fluido quente e um conseqüente acréscimo no valor do Coeficiente Global de Transferência de Calor. Observa-se um valor médio aproximado de $U = 5100 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

Figura 7. Coeficiente Global de Transferência de Calor em função do percentual da abertura da bomba, configuração co corrente



3.2. Configuração contracorrente

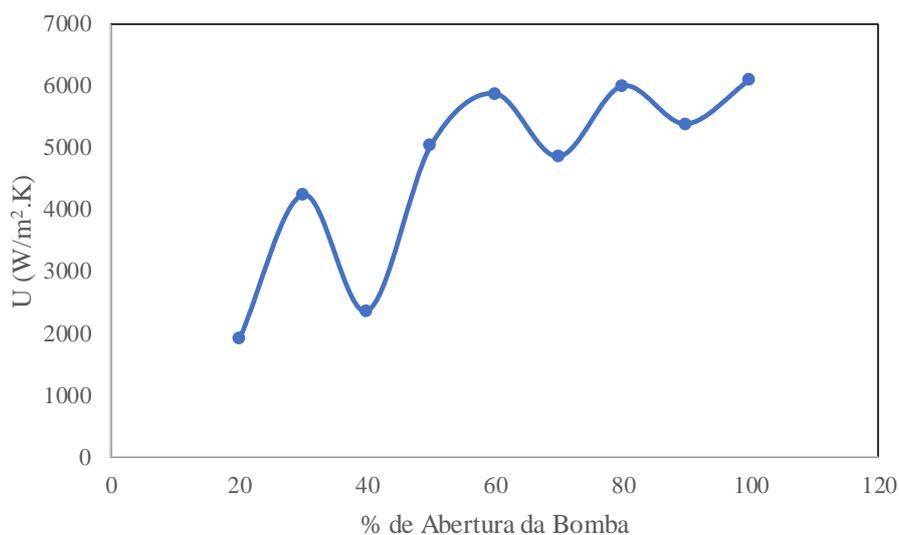
Para o arranjo co corrente a configuração das válvulas segue como descrito (Ver Fig. 02):

Fechadas: Válvulas 4 e 5.

Abertas: Válvulas 3, 6, 7 e 8.

De maneira similar a Figura 7 a Figura 8 apresenta o gráfico obtido do Coeficiente Global de Transferência de Calor em função da variação da porcentagem de abertura da válvula da bomba para a configuração contra corrente.

Figura 8. Coeficiente Global de Transferência de Calor em função do percentual da abertura da bomba, configuração contra corrente



A partir da análise da Figura 8 observa-se um comportamento oscilatório para o valor de U na configuração contracorrente, diferente do que foi observado para co corrente, em que U aumentava a medida que o percentual de vazão da bomba era também aumentado. Este fato pode estar associado a diferença de configuração em que as correntes dos fluidos quentes e frios estão submetidos. Observa-se um valor médio aproximado de $U = 4630 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$.

4. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos foi possível verificar como o Coeficiente Global de Transferência de Calor varia com o aumento da vazão do fluido quente, consequência esta observada a medida que a porcentagem da válvula da bomba era aberta. Observou-se que U variou de forma diferente nas duas configurações analisadas, em que, para a configuração co corrente, o coeficiente global apresentou comportamento de aumento com o acréscimo da vazão do fluido quente, já para a configuração contracorrente o comportamento foi oscilatório, fato este atribuído a diferença das configurações e de o trocador não ser adiabático.

Para o fluxo em contracorrente observou-se um valor de U menor que na configuração co corrente para a mesma área de troca térmica, fato este já esperado devido a ΔT_{ml} – Diferença da temperatura média logarítmica apresentar um maior valor em sentido de fluxos contra corrente.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao financiamento do Projeto de Iniciação Científica proporcionado pelo Centro Universitário Maurício de Nassau – AL.

6. REFERÊNCIAS

- Abd, A. Ali; Kareem, M. Q; Naji, S. Z. *Performance Analysis of Shell and Tube Heat Exchanger: Parametric. Case Studies in Thermal Engineering*, n. 12, p. 563-568, 2018.
- Bolmstedt, U. *Heat Exchangers*. Encyclopedia of Dairy Sciences, p. 1313-1321, 2002.
- Edwards, J. E. *Design and Rating Shell and Tube Heat Exchangers*. P & I Design Ltd, Middlesbrough, n. 29, p. 1-30, Ago 2008.
- L. Liu, N. Ding, J. Shi, N. Xu, W. Guo, C. Wu. *Failure Analysis of Tube to Tubesheet Welded Joints in a Shell Tube Heat Exchanger*. Eng Fail Anal, p. 32-40, 2016.
- M. Mirzaei, H. Hajabdollahi, H. *Multi-Objective Optimization of Shell and Tube Heat Exchanger by Constructal Theory*. Appl Therm Eng, n. 125, p. 9-19, 2017.
- Yang, J. F. A. *Optimization of Shell and Tube Heat Exchangers Conforming to TEMA Standards with Designs Motivated by Constructal Theory*. Energy Conversion and Management, v. 78, p. 468-476, Fev 2014.
- Incropera, Frank P. *Fundamentos de Transferência de Calor e Massa*. Rio de Janeiro, 2008.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.