

# PROJETO DE UM TROCADOR DE CALOR TIPO CASCO E TUBOS

## DESIGN OF A SHELL AND TUBE HEAT EXCHANGER

<sup>1</sup>GOMES, Matheus Henrique da Silva; <sup>2</sup>FUKUHA, Giovanna Harumi;  
<sup>3</sup>RIBEIRO, Fernando Sabino Fonteque.

<sup>1a3</sup>Departamento de Engenharia – Centro Universitário das Faculdades  
Integradas de Ourinhos-Unifio/FEMM

### RESUMO

Trocadores de calor são equipamentos amplamente aplicados em processos que pretendem crescer ou reduzir a temperatura de dado fluido, sendo apresentados em diversas configurações e modelos. Baseados em cálculos específicos que levam em consideração a troca térmica por convecção entre os fluidos de trabalho, os trocadores de calor vêm sendo projetados de acordo com a utilização, considerando as condições de trabalho e os materiais a serem aplicados. Em especial, o trocador de calor do tipo casco e tubos apresenta uma configuração que se adequa a fluidos líquidos e gasosos, apresentando rendimento satisfatório em suas aplicações. Tendo em vista esses dados, esse trabalho apresenta um pré-projeto acerca de um trocador do tipo casco e tubos compacto e com rendimento capaz de reduzir a água da fonte quente em 10 °C. Os resultados matemáticos mostram que, dentro das especificações e dos componente selecionados, é possível a elaboração deste equipamento, sendo previamente elaborado um projeto digital.

**Palavras-chave:** Trocador Casco e Tubos, Temperatura, Troca Térmica.

### ABSTRACT

Heat exchangers are equipment widely applied in processes that aim to increase or reduce the temperature of a given fluid, being presented in different configurations and models. Based on specific calculations that take into account the thermal exchange by convection between the working fluids, the heat exchangers are designed according to their use, considering the working conditions and the materials to be applied. In particular, the shell and tube heat exchanger presents a configuration that is suitable for liquid and gaseous fluids, presenting significant performance in its applications. Taking these data into account, this work presents a pre-project on a compact shell-and-tube exchanger with a performance capable of reducing hot spring water by 10 °C. The mathematical results show that, within the specifications and selected components, it is possible to create this equipment, with a digital project being previously prepared.

**Keywords:** Shell and tubes, Temperature, Heat exchange.

### INTRODUÇÃO

O efeito de troca de calor entre dois fluidos que estão a temperaturas diferentes e se encontram separados por uma parede sólida é observado em muitas áreas da engenharia (Moran *et al.*, 2011). O dispositivo utilizado para permitir essa troca em determinados parâmetros é o trocador de calor, que são geralmente classificados em função da configuração do seu escoamento e da maneira como é construído (Moran

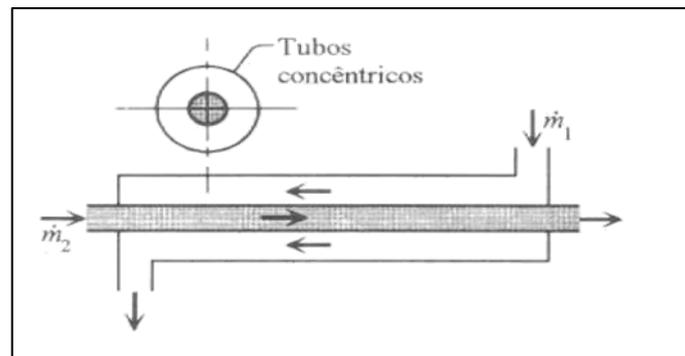
*et al.*, 2011). Observamos então os principais modelos, sendo eles o trocador de calor de tubos concêntrico (que pode ter os fluxos paralelos ou contracorrente) e o trocador de calor tipo casco e tubos, muito utilizado em processos industriais (Moran *et al.*, 2011).

Segundo Ganghis (2009) o correto dimensionamento desse componente é diretamente ligado ao aproveitamento energético de um sistema, fato esse de grande importância no cenário industrial atual, onde os sistemas térmicos com maior eficiência fazem uso de diferentes tipos de trocadores de calor, minimizando as perdas irreversíveis no sistema. Os trocadores de calor são designados por termos correspondentes às modificações que realizam nas condições de temperatura ou estado físico do fluido de processo, através deste critério, os trocadores de calor são classificados como resfriador, refrigerador, condensador, aquecedor, vaporizador e evaporador.

Trocadores tipo casco e tubo são equipamentos constituídos basicamente por um feixe de tubos envolvidos por um casco, normalmente cilíndricos, circulando um dos fluídos externamente ao feixe e o outro pelo interior dos tubos (Ganghis,2009; Trocalor, 2014). Segundo as definições estabelecidas, os trocadores de calor podem ser:

Trocador de calor tipo tubo duplo: apresentando melhor rendimento em arranjos de escoamento contracorrente, este tipo de trocador se apresenta como sendo de fácil construção, pois apresenta elementos de simples construção, fácil manutenção, instalação e limpeza (Moran *et al.*, 2011), como pode ser observado na Figura 1.

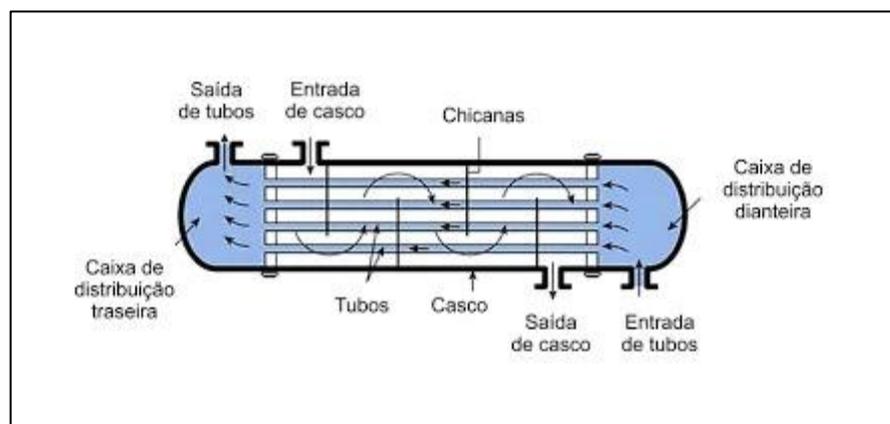
**Figura 1** - Trocador de Calor tipo tubo duplo.



**Fonte:** Ganghis (2009).

Trocador de calor tipo casco e tubos: apresenta um casco com múltiplos tubos e escoamento em apenas um passe simultâneo entre esses tubos (Moran *et al.*, 2011). São utilizadas chicanas no tubo externo afim de aumentar a troca de calor por convecção (Moran *et al.*, 2011), como pode ser visto na Figura 2:

**Figura 2** - Trocador de calor tipo casco e tubos.



**Fonte:** Ganghis (2009).

Para esse trabalho, propõe-se o dimensionamento inicial, bem como a seleção de componentes e a realização de um projeto digital para a futura fabricação de um protótipo de trocador de calor do tipo casco e tubos. A condição de trabalho desejada é a redução de temperatura de 40°C para 30°C, utilizando água como fluido de trabalho.

## METODOLOGIA

Para este projeto, foi proposta uma situação em que se deseja resfriar água de 40°C para 30°C por meio de um trocador de calor do tipo casco tubos ou um trocador de tubo duplo, com a aplicação de 3 reservatórios, sendo um para a fonte quente, um para água proveniente da fonte quente resfriada e o último para a fonte fria, que nesse caso também será a água. Nesse contexto, será aplicada uma bomba na fonte quente, instalada após o trocador de calor, e uma bomba para fonte fria.

Este projeto consistirá em uma etapa inicial, contemplada neste trabalho, que apresentará a seleção prévia dos componentes bem como o dimensionamento do equipamento a ser elaborado futuramente.

A termos de referência para cálculo, serão adotados tubos de alumínio, apresentando coeficiente de condutividade térmica de 235 W/m.K (Moran *et al.*, 2011).

Para a montagem futura do equipamento, os demais itens, como mangueiras, válvulas, bombas e reservatórios, serão determinados a partir da facilidade de acesso e custo benefício, mantendo as especificações necessárias ao projeto, como diâmetro, vazão, etc. Visando a aferição da temperatura, será necessário o uso de 5 termômetros no sistema para devida comprovação da troca térmica.

Os itens selecionados para este projeto estão contidos no Quadro 1

**Quadro 1** - Lista de itens a serem aplicados

MATERIAS	QUANTIDADE
Mangueiras de Silicone	3 m
Resistência Elétrica	1
Bomba para a Fonte Quente	1
Bomba para a Fonte Fria	1
Conexões e Adaptadores	4
Reservatórios para Fonte Quente e Fria	2
Tubo de Alumínio	8 m

Para o externo do trocador, devido ao polímero apresentar um baixo coeficiente de condução térmica, evitando a troca térmica com o ambiente, a proposta é a aplicação de um tubo de acrílico de 150mm de diâmetro. A determinação dos itens apresentados no Quadro 1 é contemplada abaixo:

Mangueiras de Silicone: O uso de mangueiras de silicone se deve pela sua flexibilidade e baixo custo. A flexibilidade mostra-se necessária pelo fato da mobilidade do trocador, possibilitando a relocação dos componentes em posições estratégicas.

Resistência elétrica: De acordo com o proposto, o devido aquecimento da fonte quente foi realizado através de uma resistência elétrica. Tal componente se mostrou eficaz nos testes realizados, que comprovaram que sua utilização aliada a um agitador, ambos fixados nos reservatórios aumentaria a eficiência térmica.

Bomba para a fonte quente: Para a fonte quente foi escolhida uma bomba de combustível automotiva, por ser uma bomba de deslocamento positivo e apresentar uma vazão baixa, estável e com uma ótima pressão de recalque, atingindo 6 BAR.

Bomba para a fonte fria: A necessidade de uma bomba de maior vazão na fonte fria e possibilidade de alteração na mesma, fez com que a escolha de uma bomba centrífuga aplicável a lavadoras residenciais fosse adotada, juntamente a uma válvula na sucção que permite a variação adequada na vazão.

Conexões e Adaptadores: As conexões e adaptadores foram determinadas de acordo com a necessidade dos componentes. Como critério, foram adotadas conexões e adaptadores plásticos, devido ao custo e ao rendimento satisfatório.

Reservatórios fonte quente, fonte fria e de recalque: Os reservatórios de armazenamento da água serão tambores de plástico com capacidade de 50L para a fonte fria, para garantir o abastecimento do trocador e permitir maior período de testes sem necessitar reabastecer. Para a fonte quente, o uso de um reservatório de 20L é ideal, para garantir que a água seja aquecida rapidamente.

Tubo de alumínio: Foi escolhido tubo de alumínio de parede fina (0,25mm), material este que apresenta um bom coeficiente de condução térmica, favorecendo a troca de calor entre o fluido quente e o frio com mais eficiência.

De acordo com Beer (2012), temos para o alumínio uma tensão de escoamento (E) de 69 MPa e uma tensão de ruptura de 290 MPa. Para a dada aplicação, a pressão na tubulação não ultrapassará 0,6 MPa, indicando que o material está superdimensionado e não apresentará risco quanto a sua aplicação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Dimensionamento do Trocador

Os parâmetros apresentados para o fluido quente eram de 40° C na entrada e saída de 30° C. Segundo Moran *et al.* (2011), o calor específico para água nas dadas condições é de 4180 J/Kg.K. Os dados de vazão foram obtidos através de medições. Assim, apresenta-se as condições de trabalho do trocador:

Fluido quente

$$C_{ph} = 4180 \text{ J/Kg.K}$$

$$\dot{m}_h = 47 \cdot 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

$$T_{ih} = 40 \text{ °C}$$

$$T_{oh} = 30 \text{ °C}$$

Fluido frio

$$T_{ic} = 25 \text{ °C}$$

$$\dot{m}_c = 1,14 \text{ Kg/s}$$

$$C_{pc} = 4180 \text{ J/Kg.K}$$

Onde:

$C_{ph}$  : calor específico da fonte quente;

$\dot{m}_h$  : vazão mássica da fonte quente;

$T_{ih}$  : temperatura de entrada da fonte quente;

$T_{oh}$  : temperatura de saída da fonte quente;

$T_{ic}$  : temperatura de entrada da fonte fria;

$\dot{m}_c$  : vazão mássica da fonte fria;

$C_{pc}$  : calor específico da fonte fria;

Aplicamos a Equação 1 (Moran *et al.*, 2011) para o balanço de energia:

$$q = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde:

$q$ : taxa de transferência de calor;

De acordo com a Equação 1, determinamos que será necessária uma troca térmica de **1964,6 W**. Aplicando a Equação 1 na fonte fria, obtivemos uma temperatura de saída de **25,4°C**.

Conhecendo a temperatura final, podemos utilizar a Equação 2 (Moran *et al.*, 2011) da taxa de transferência de calor por convecção:

$$q = U \cdot A \cdot \Delta T_{lm}, \quad (2)$$

Onde:

$U$ : coeficiente global de troca térmica;

$A$ : área necessária para troca térmica;

$\Delta T_{lm}$ ; média logarítmica da diferença de temperatura;

Antes, porém deve-se calcular a média logarítmica da diferença de temperatura, através da Equação 3 (Moran *et al.*, 2011):

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln\left(\frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}\right)} \quad (3)$$

Obtendo 8,96° C para a média logarítmica da diferença de temperatura. Para o cálculo do coeficiente global de troca térmica, aplicamos a Equação 4 (Moran *et al.*, 2011);

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_c} + \frac{1}{h_h}} \quad (4)$$

Onde:

$h_c$ : coeficiente de transferência de calor por convecção da fonte fria;

$h_h$ : coeficiente de transferência de calor por convecção da fonte quente;

Para a determinação dos coeficientes de transferência por convecção, utilizamos a Equação 5 (Moran *et al.*, 2011) para a determinação do tipo de escoamento, a Equação 6 (Moran *et al.*, 2011) para a determinação do número de Nusselt e pôr fim a Equação 7 (Moran *et al.*, 2011) para encontrar o coeficiente.

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D\mu} \quad (5)$$

Onde:

$Re$ : número de Reynolds;

$\dot{m}$ : vazão mássica;

$D$ : diâmetro do conduto;

$\mu$ : viscosidade dinâmica;

$$Nu = 0,023 Re^{4/5} Pr^{0,3} \quad (6)$$

Onde:

$Nu$ : Número de Nusselt;

$Pr$ : Número de Prandt;

$$h = \frac{Nu k}{D} \quad (7)$$

Onde:

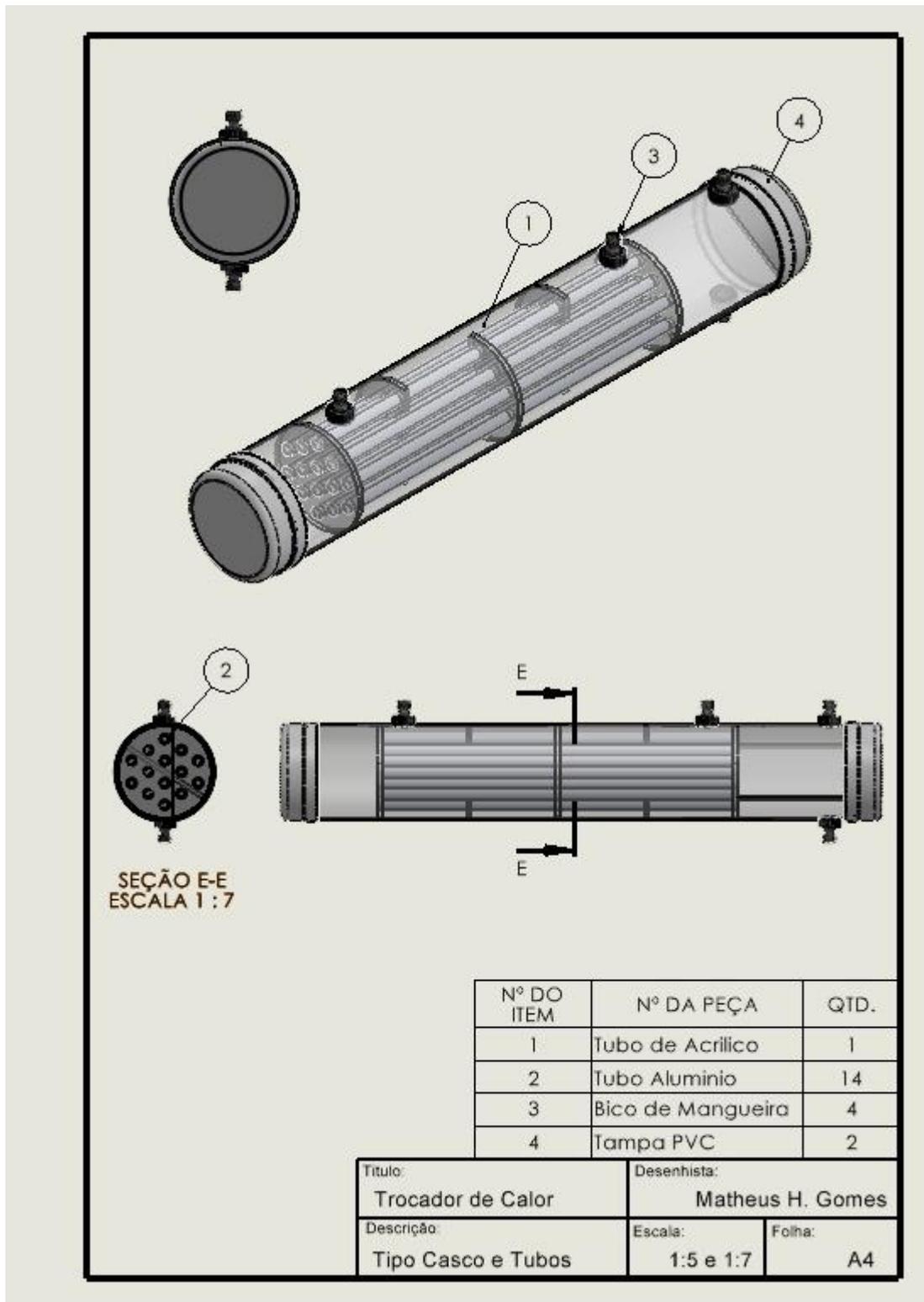
$k$ : Coeficiente de condutividade térmica;

Aplicando as equações dadas, obtemos um coeficiente de troca térmica global de **161,32 W/m<sup>2</sup>.K**. Com isso, aplicando a Equação 2, obtemos uma área necessária para a troca térmica de **1,36 m<sup>2</sup>**.

Em vista de se obter um melhor rendimento para trocador, optamos pelo uso da chicanas. Segundo Donald Kern (1999), chicanas ou defletores são usadas para induzir a turbulência na parte externa dos tubos, produzindo um escoamento turbulento do fluido através da carcaça, perpendicularmente aos eixos dos tubos.

Aplicando as chicanas ao conjunto, espera-se um melhor rendimento ao trocador de calor, sendo aferido posteriormente com a elaboração do protótipo. A disposição dos tubos e das chicanas, bem como a localização e indicação das entradas e saídas dos fluidos será apresentada na Figura 3, realizada no software Solidworks.

**Figura 3** - Disposição dos tubos e das chicanas, com localização e indicação das entradas e saídas dos fluidos.



## CONCLUSÕES

Através deste trabalho, foi possível apresentar a elaboração de um trocador de calor do tipo casco e tubos, seguindo o critério de que o mesmo fosse capaz de reduzir a temperatura do fluido de trabalho, nesse caso água, de 40°C para 30°C. Para a especificação dos componentes, pesquisas acerca da disponibilidade de equipamentos foram realizadas, prezando pelo baixo custo e funcionalidade do equipamento. Encontrados esses dados, foram definidos alguns critérios básicos para o pré-projeto, como por exemplo os diâmetros de tubos a disposição e as vazões das bombas disponíveis. Seguindo esses critérios, foram definidas a área ideal para o trocador e o projeto, visando um produto compacto, mas que ao mesmo tempo atendesse as especificações. A análise dos materiais a serem utilizados foi um ponto de grande importância, possibilitando a criação de um esboço no software SolidWorks sobre o formato ideal, dimensões finais, disposições de tubos, chicanas, espelhos e conexões, de forma a facilitar a compreensão e a criação do projeto.

Como sequência a este trabalho, será realizada a construção de um protótipo, visando comparar o funcionamento do trocador de calor com os dados apresentados nos cálculos.

## REFERÊNCIAS

BEER, F., JOHNSTON, E. R. **Resistência dos Materiais**. Editora Macron Books, São Paulo, 2012.

GANGHIS, D. **Trocadores de Calor**: Apostila referente à disciplina de Transferência de Calor, CEFET/BA, 2009. Disponível em: <[http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TC\\_Transfer%C3%Aancia%20de%20Calor/Apostila%20de%20Trocadores%20de%20Calor.doc](http://www.ifba.edu.br/professores/diogenesgaghis/TC_Transfer%C3%Aancia%20de%20Calor/Apostila%20de%20Trocadores%20de%20Calor.doc)>, acesso em 06/09/2014.

KERN, Donald Q. **Processos de Transmissão de Calor**. Editora Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1980.

MORAN, M. J.; SHAPIRO, H. N.; MUNSON, B. R.; DEWITT, D. P. **Introdução à Engenharia de Sistemas Térmicos: Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor**. Editora LTC, Rio de Janeiro, 2011.

TROCALOR. **Trocador de Calor Shell and Tube**. 2014. Disponível em: <<http://www.trocalor.com.br/p-trocador-shell-and-tube.php>>, acesso 06/09/2014.