

DIMENSIONAMENTO DE UM TROCADOR DE CALOR APLICADO A PRODUÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL

Thales Silva Ferreira (UNIFACID) E-mail: thalesfr00@gmail.com

Jose Weliton Nogueira Junior (UNIFACID) E-mail: jose.wnjunior@professores.facid.edu.br

Francisco Rafael Campos de Macedo E-mail: francisco.macedo@professores.facid.edu.br

Rômulo Ribeiro Magalhães de Sousa (UFPI) e-mail: romulorms@gmail.com

Thercio Henrique de Carvalho Costa (UFRN) e-mail: thercioc@gmail.com

Resumo: Os trocadores de calor são equipamentos desenvolvidos com o intuito de realizar a troca de energia térmica entre dois fluidos que inicialmente se encontram com diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida que permite a transferência de calor. O presente trabalho mostra o dimensionamento de um trocador de calor para resfriamento do mosto após fervura no processo de fabricação de cerveja artesanal, baseado no processo produtivo informado na receita da cerveja Weiss. A escolha do tipo de construção do trocador de calor e seu dimensionamento foram os principais temas abordados no decorrer do trabalho. Para auxiliar nos resultados foi utilizado um algoritmo elaborado no programa Microsoft Excel 2016, e foi realizado a modelagem no Inventor 2018. O sistema dimensionado obteve uma diferença de temperatura média logarítmica (DTML) de 33,93°C, com coeficiente global e transferência de calor de 412,4013 W/m²K obtendo uma efetividade de 69,23%. O trocador de calor dimensionado possui um comprimento total de 30m, área de troca de 4,92m² e atende as aplicações sugeridas neste estudo.

Palavras-chave: Cerveja, mosto, troca de energia térmica.

-sizing A HEAT EXCHANGER APPLIED TO ARTISANAL BEER PRODUCTION

Abstract: Heat exchangers are equipment developed in order to exchange thermal energy between two fluids that initially have different temperatures and are separated by a solid wall that allows heat transfer. The present work demonstrate the design of a heat exchanger for cooling the wort after boiling in the craft beer manufacturing process, based on the production process informed in the Weiss beer recipe. The choice of the type of construction of the heat exchanger and its dimensioning were the main topics addressed in the course of the work. To assist in the results, an algorithm developed in the Microsoft Excel 2016 program was used, and the modeling was carried out in Inventor 2018. The dimensioned system obtained a logarithmic mean temperature difference (DTML) of 33.93°C, with global coefficient and transfer of heat of 412.4013 W/m²K obtaining an effectiveness of 69.23%. The dimensioned heat exchanger has a total length of 30m, an exchange area of 4.92m² and meets the applications suggested in this study.

Keywords: Beer, must, thermal energy exchange.

1. Introdução

A cerveja é bebida alcoólicas mais popular e mais consumida no mundo. Estima-se que a descoberta da bebida ocorreu durante a Idade da Pedra, na região do Crescente Fértil, situada no local conhecido atualmente como Oriente Médio. Tendo como hipótese que os precários armazenamentos de cereais como o trigo e a cevada não evitavam o contato dos grãos com a água, acarretando na sua germinação. Era realizado o cozimento destes grãos para consumi-los em formato de sopa. Durante o processo de cozimento, os grãos germinados liberavam açúcares que posteriormente fermentavam de forma natural, gerando álcool e CO₂. Mesmo que de forma acidental, estas foram às primeiras versões de cerveja experimentadas pelo ser humano (STANDAGE, 2005). O nome cerveja, do latim cerevisia, deriva de Ceres, a deusa da colheita e da fertilidade, e vis, força (MORADO, 2009).

Atualmente o processo de fabricação da cerveja se inicia-se com a produção do mosto, que consiste em aquecer a água a uma temperatura de 70°C, em seguida adiciona-se o malte e adjuntos já moídos, essa etapa é denominada de mosturação, a temperatura da água nessa etapa pode variar de acordo com o tipo de cerveja a ser produzido, sendo a temperatura média entre 65,5 °C e 72 °C. De acordo com Palmer (2006) a temperatura ideal para a adição do malte é de 5,5 °C a 8,5 °C acima da temperatura recomendada para mosturação. O tempo indicado para conversão do amido contido no grão em açúcar fermentável varia de 60 a 90 minutos. Ao final do processo se obtém um líquido denso e turvo, esse líquido é denominado mosto. Esse método é considerado o mais simples e utilizado na produção dos mostos.

Após se obter o mosto, o mesmo é aquecido até a sua fervura, visando esterilização e a extração dos componentes amargos, é durante esse processo que adiciona-se o lúpulo. Esse processo tem a duração média de 60 a 90 minutos, com esse tempo pode variar dependendo do equipamento ou o tipo de cerveja a ser produzida. No final desse processo é admissível apenas 10% de perda do mosto por evaporação. (HORNSEY, 2002).

Após o processo de fervura o mosto pode atingir temperaturas que variam entre 70 a 90 °C, dessa forma é necessário resfriá-lo para que possa adicionar a levedura sem o risco de ocorrer a inativação das células vivas contidas na substância (VOGEL, 2003).

Dentro do processo de produção a água além de ser utilizada como matéria prima principal para produção da cerveja, ela também é utilizada em outra etapa do processo de fabricação como no resfriamento do mosto. Esta etapa consiste em transferir o calor do mosto pós-fervura para a água, com a finalidade de resfriar a mistura. Conforme dados fornecidos pelos fabricantes de fermento, mostos de cerveja tipo Lager são usualmente resfriados para 18 ± 2 °C e os de tipo Ale são resfriados para 25 ± 2 °C, antes da adição da levedura (PINTO et al. 2016).

Esse processo de resfriamento do mosto é realizado utilizando um trocador de calor, equipamento desenvolvido com o intuito de transferir energia térmica entre dois fluidos que inicialmente se encontram com diferentes temperaturas e separados por uma parede sólida que permite a transferência de calor. A engenharia faz amplo uso dos trocadores de calor nas diversas aplicações industriais, pode ser utilizado com o objetivo de aquecer o ambiente ou para o condicionamento de ar, para a produção de potência, na recuperação de calor em processos diversos, entre outras aplicações (INCROPERA et al., 2014).

Existem diversos tipos de trocadores de calor, esses equipamentos são classificados de acordo com o meio de transferência de calor adotado e a disposição dos fluidos, como também o grau de compactação da superfície, tipo de escoamento de fluido, construção da área de troca térmica e mecanismo de transferência. (CENGEL,2012).

1.2 Objetivos gerais

Estudar e aplicar método de dimensionamento de um sistema de trocador de calor para o resfriamento do mosto na produção artesanal de cerveja.

1.3 Objetivos específicos

- a) Aplicação dos métodos estudados em transferência de calor e massa;
- b) Entendimento do processo de produção de cerveja em nível de pequeno porte;
- c) Dimensionamento de um trocador de calor tipo tubo duplo para o resfriamento do mosto;

2. Metodologia

2.1 Escolha do tipo do trocador de calor

É durante a fase de dimensionamento do projeto que se determina a área de transferência térmica do troca de calor, juntamente como o número de tubos, diâmetro e comprimento dos tubos, além do tipo de configuração a ser adotado no equipamento.

Foi escolhido o trocador de calor de tubos concêntricos, também conhecidos como duplo tubo, por ser um equipamento de construção simples. Sua construção consiste em acoplar dois tubos de forma concêntrica, onde no tubo interno escoam o fluido a ser resfriado, e no tubo externo o escoam o fluido utilizado para retirar a energia térmica do produto, levando em consideração que ambos os fluidos tem um escoamento turbulento. O tubo interno é posicionado respeitando espaço entre as duas paredes para possibilitar o escoamento do fluido. Conforme ilustrado na Figura 1.

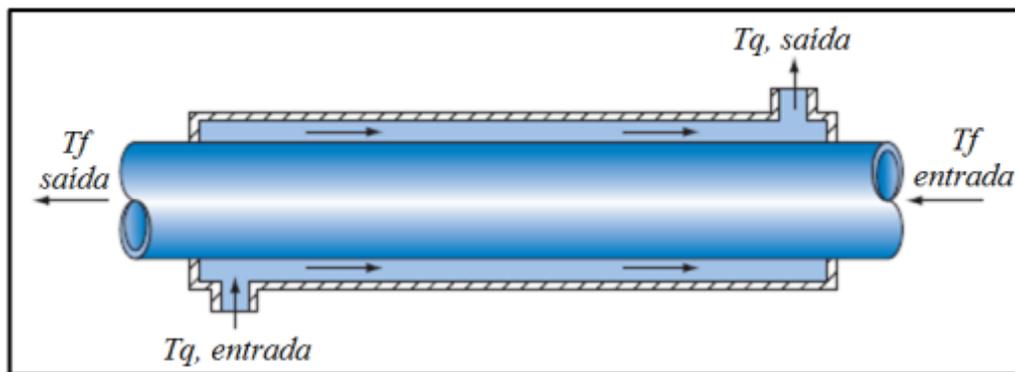


Figura 1 – Trocador de duplo tubo do tipo fluxo contracorrente

Fonte: Kreith (2011).

Essa mesma construção, permite variações na sua aplicação, como a utilização de corrente paralela, onde os fluidos quente e frio entram pela mesma extremidade e escoam no mesmo sentido deixando o trocador pela mesma extremidade. Já nos trocadores de calor do tipo contracorrente os fluidos quente e frio entram em extremidades opostas, escoam em sentidos opostos e deixam o equipamento em extremidades com sentidos antagônicos.

2.2 Dimensionamento térmico

Após o processo de produção do mosto, é necessário o resfriamento do mesmo em até 60 minutos para evitar possíveis contaminações ou aromas e sabores indesejados no produto. De acordo com o tipo de cerveja a ser produzido o processo possui uma faixa específica de temperatura máxima necessária para que seja possível a inoculação da levedura sem que ocorra inativação das células que realizam a fermentação. A tabela 01 mostra as temperaturas das leveduras indicadas pelos fabricantes e as que são utilizadas nas produções.

Tabela 1. Temperaturas de segurança para adição da levedura

Levedura	Receita	Fermentação	Temp. °C
M20	Weiss	Alta	25 ± 2
S33	Stout	Alta	25 ± 2
US05	APA	Alta	25 ± 2
S04	IRA	Alta	25 ± 2
S23	Pilsen	Baixa	18 ± 2

Fonte: Adaptado de Cerveja Herik Boden

Levando em consideração a receita Weiss, conforme a tabela, define-se que o equipamento a ser dimensionado deve resfriar o mosto a uma temperatura de 25 ± 2 °C.

2.2.1 Transferência de calor dos fluidos

O trocador de calor é alimentado com água a uma temperatura inicial de 5°C, para obter a temperatura de saída da água utiliza-se a equação da transferência de calor dos fluidos(q). Representadas nas equações 01 e 02.

$$q = \dot{m}_q c_{pq} (T_{q,ent} - T_{q,sai}) \quad (01)$$

$$q = \dot{m}_f c_{pf} (T_{f,ent} - T_{f,sai}) \quad (02)$$

Onde:

q= Transferência de calor dos fluidos

\dot{m}_q = Vazão mássica do fluido quente

c_{pq} = Calor específico do fluido quente

$T_{q,ent}$ = Temperatura de entrada do fluido quente

$T_{q,sai}$ = Temperatura de saída do fluido quente

\dot{m}_f = Vazão mássica do fluido frio

c_{pf} = Valor específico do fluido frio

$T_{f,ent}$ = Temperatura de entrada do fluido frio

$T_{f,sai}$ = Temperatura de saída do fluido frio

Palmer (2006) cita que o mosto após o ao final do processo de fervura o mosto se encontra a uma temperatura de 70°C, desta maneira, estabeleceu-se as temperaturas de saída e de entradas do trocador de calor. O memorial de cálculo foi elaborado levando em consideração os dados da tabela 2.

Tabela 2. Dados utilizados para os cálculos

Descrição	Valor
Vazão do mosto	2,2L/min
vazão da água	10L/min
Temperatura de entrada do fluído quente (mosto)	70°C
Temperatura desejada de saída do fluído quente (mosto)	25 °C
Temperatura desejada de entrada do fluído frio (água)	5 °C
Temperatura desejada de saída do fluído frio (água)	14,9°C

Fonte: autor

2.2.2 Área de troca térmica do Trocador

O procedimento aplicado para determinar a área de troca térmica do equipamento é o método coeficiente de transferência de energia térmica, representado na equação 03. O método foi utilizado por ser mais indicado quando se conhecem as temperaturas de alimentação e saída dos fluidos quentes e frios, uma vez que o valor de U pode ser facilmente calculado. Através deste método estabeleceu-se o projeto térmico, determinando a taxa de transferência global de calor. Para tanto, considerou-se o tipo de trocador de calor, geometria das superfícies, disposição das correntes, vazões, temperaturas de entrada e dimensões totais do núcleo.

$$q=U.A.DTML \quad (03)$$

Onde :

q = Taxa de transferência de calor (W);

U = Coeficiente Global de transferência de calor (W/m² °C);

A = Área de troca térmica (m²)

DTML = Diferença de temperatura média logarítmica (°C).

2.2.2.1 Diferença de temperatura média logarítmica

Para se calcular a Diferença de temperatura média logarítmica (DTML), utiliza-se a equação 04. Deve ser calculado tanto para o trocado de calor em corrente paralela e contracorrente. Em seguida comparam-se os valores obtidos para verificar qual configuração é mais eficaz.

$$DTML = \frac{\Delta_{T2} - \Delta_{T1}}{\ln \frac{\Delta_{T2}}{\Delta_{T1}}} \quad (04)$$

Onde Δ_{T1} é a diferença de temperatura de entrada dos fluidos quentes e frios, e Δ_{T2} é a diferença de temperatura de saída dos fluidos.

2.2.3 Coeficiente global de transferência de calor

O coeficiente global de transferência de calor (U) é fundamental na etapa de dimensionamento do trocador de calor, desde que ele é o fator que expressa a capacidade de troca térmica. Este coeficiente tem sua definição baseado em termos da resistência térmica à transferência de calor entre os dois fluidos e de acordo com a utilização do trocador. Entretanto deve ser levado em consideração o surgimento de incrustações de impureza dos fluidos, que aumentam a resistência à transferência de calor e ao escoamento, levando a perda de eficiência do equipamento. Além do que, com o decorrer do tempo, o desempenho térmico e hidráulico é prejudicado, pois os trocadores sofrem um processo de corrosão resultante da interação entre o fluido e o material que confecciona o trocador de calor. Considerando apenas as resistências dos fluidos das trocas térmicas, temos que U pode ser definido como mostra a equação 05

Os coeficientes convectivos estão relacionados a geometria da superfície, ao tipo de escoamento e dependem de diversas às propriedades dos fluidos a ser utilizado como massa específica, calor específico, condutividade térmica e viscosidade. (INCROPERA,2014). Ao se considerar a resistência associada ao tubo e às incrustações, chegamos à equação 5:

$$U = \frac{1}{R_i + R_o + R_{di} + R_{do}} \quad (05)$$

Onde :

R_i= Resistências interna do tubo à transferência de calor convectivo

R_o= Resistências externa do tubo à transferência de calor convectivo

R_{tubo}= Resistência térmica por condução

R_{di}= Coeficientes de transferência de calor convectivo do fluido interno

R_{do}= Coeficientes de transferência de calor convectivo do fluido externo

A Figura 2 demonstra a localização das resistências térmica e de incrustação em um tubo de um trocador.

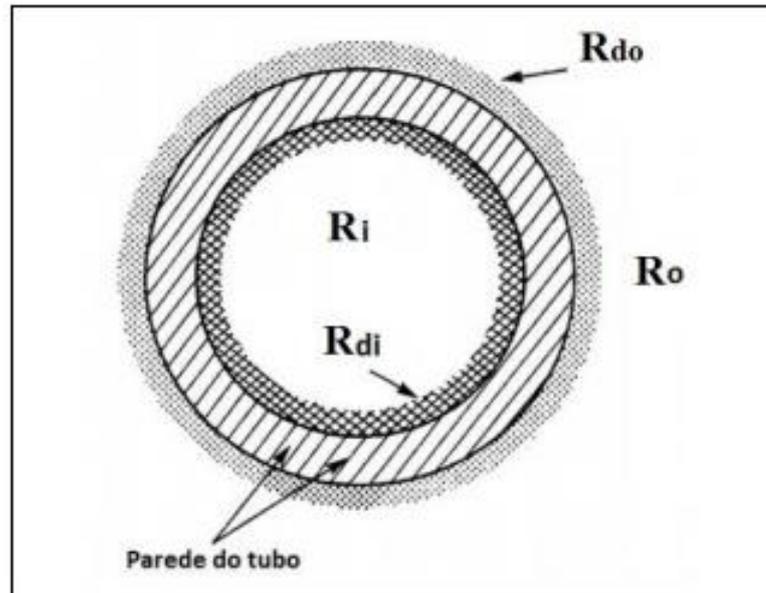


Figura 2 – Disposição das resistências térmicas e de incrustação nas paredes de um tubo

Kakaç e Liu (2002)

Os processos de transferência de calor considerados nas fórmulas matemática deste trabalho são os seguintes: transferência de calor por convecção entre o fluido quente e os tubos do lado interno; transferência de calor por condução nas paredes dos tubos; e transferência de calor entre o fluido frio e os tubos do lado externo, resistência provocada pelas incrustações dos resíduos presente nos fluidos, representados na equação 6.

$$U = \frac{1}{\frac{A_e}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_e \ln \left(\frac{R_o}{R_i} \right)}{2\pi K} + \frac{1}{h_e} + R_{di} + R_{do}} \quad (06)$$

Onde:

A_e = Area do tubo externo

A_i = Área do tubo interno

h_i = Coeficiente de troca de Calor por Convecção do tubo interno

R_e = Raio do tubo interno

R_i = Raio do tubo externo

K = Condutividade térmica do material do tubo

h_e = Coeficiente de troca de Calor por Convecção do tubo externo

R_{di} = Coeficientes de transferência de calor convectivo do fluido interno

R_{do} = Coeficientes de transferência de calor convectivo do fluido externo

2.2.3.1 Resistência provocada pela incrustação de resíduos dos fluidos

Para determinar os coeficientes de transferência de calor convectivo interno e externo dos fluidos, que é provocado pela incrustação de resíduos presentes nos fluidos, deve ser levado em consideração os dados presentes no tabela 3.

Tabela 3. Fator de incrustação em equipamentos de transferência de calor

Fluido	Com velocidade de 1m/s ou menor	Com velocidade acima de 1m/s	Unidade de medida
Água do mar	0,00088	0,00088	m ² .°C/w
Água destilada	0,00088	0,00088	m ² .°C/w
Água tratada para caldeiras	0,00018	0,00088	m ² .°C/w
Água de lagoa	0,00018	0,00018	m ² .°C/w
Água de rio	0,00036	0,00018	m ² .°C/w
Água salobra	0,00035	0,00018	m ² .°C/w
Água lamacenta ou lodosa	0,00053	0,00053	m ² .°C/w
Água de canal sanitário	0,0041	0,00106	m ² .°C/w
Óleos de recirculação	0,00018	-	m ² .°C/w
Óleos de transformadores	0,00018	-	m ² .°C/w
Óleos vegetais	0,00053	-	m ² .°C/w
Óleo de têmpera	0,00070	-	m ² .°C/w
Óleo combustível	0,000088	-	m ² .°C/w
Vapores orgânicos	0,000088	-	m ² .°C/w
Vapor de álcool	0,000088	-	m ² .°C/w
Vapores refrigerantes	0,00035	-	m ² .°C/w
Ar	0,00035	-	m ² .°C/w
Mosto ou líquidos orgânicos	0,00018	-	m ² .°C/w
Salmoura (refrigerante)	0,00018	-	m ² .°C/w
Líquidos refrigerante	0,00018	-	m ² .°C/w

Fonte: Tubular Exchanger Manufacturers Association (2017)

2.2.4 Quantidade de tubos para o projeto

Ao se encontrar a área de troca térmica de um trocador de calor confeccionado com o seu tubo externo com um diâmetro de 3 polegadas e 5,49mm de espessura das suas paredes, com o tubo concêntrico de 2 polegadas com 3,91mm de espessura das suas paredes, calcula-se a quantidade de tubos a serem utilizados a partir da equação 07.

$$N_t = \frac{A}{\pi \cdot D_e \cdot L} \quad (07)$$

Onde:

N_t = número de tubos a serem utilizados no projeto

A = Área de troca térmica

D_e = Diâmetro do tubo externo

L = comprimento dos tubos a serem utilizados no projeto

2.2.5 Efetividade do equipamento

Para analisar a efetividade das aplicações dos trocadores de calor foi utilizado o método NUT, que consiste em obter a máxima taxa de transferência de calor possível de ser realizada por um trocador de calor e compará-la com a taxa de transferência de calor real realizada pelo trocador. Tal efetividade (ϵ) pode ser calculada através da Equação 8 (CENGEL,2012).

$$\varepsilon = \frac{T_{q,ent} - T_{q,sai}}{T_{q,ent} - T_{f,ent}} \quad (8)$$

Após o processo de interação completo representado na figura 3, passa a ser desenvolvido o desenho computacional do trocador de calor, empregando o auxílio do software de desenho Inventor 2018.

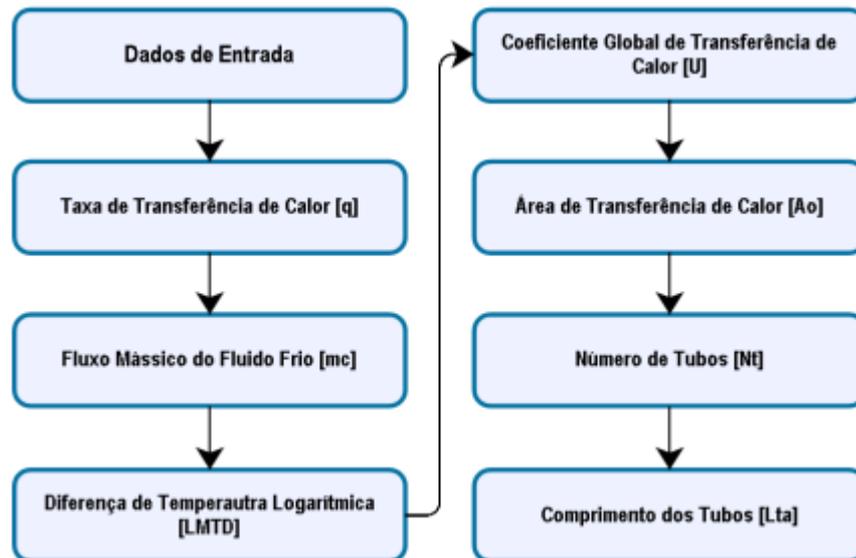


Figura 3. – Fluxograma do dimensionamento térmico

Fonte: autor

2.2.6 Perda de carga dos fluidos

Um fluido em movimento sofre perdas de energia devido à fricção nas paredes, como devido as curvas e chicanas instaladas no equipamento. É necessário calcular a perda de carga presente no escoamento dos fluidos para dimensionar corretamente os equipamentos que vão gerar o escoamento do fluido e permitir que o fluido continue em movimento durante todo o processo. A perda de carga (ΔP) é calculada através da equação 10, que depende do fator de atrito do tubo (f) representado pela equação 9.

$$f = 0,0035 + \frac{0,264}{Re^{0,42}} \quad (9)$$

$$\Delta P = 2f \frac{L v^2}{g D_1} P \quad (10)$$

Onde:

Re = Número de Reynolds

L = Comprimento total do trocador de calor

v = Velocidade de escoamento do fluido

g = Gravidade (9,81 m/s²)

D₁ = Raio do tubo

P = Densidade do fluido

2.3 Método

Para avaliar o sistema mais eficiente foi realizado um memorial de cálculo a partir de um algoritmo elaborado pelo programa Microsoft Excel 2016, seguindo o fluxograma do item anterior, com intenção de encontrar equipamento com o melhor desempenho.

3. Resultados e discussão

Foi realizado um comparativo entre os trocadores com escoamento contracorrente e corrente paralela, foi realizado simulações para ser obter a melhor temperatura e velocidade de entrada da água no sistema.

3.1 Energia térmica do sistema

Os cálculos de vazão do mosto, assim como as temperaturas de entrada e saída do mosto foram consideradas levando em conta a premissa de executar o resfriamento em no máximo 50 minutos. Portanto foi levando em consideração os parâmetros mostrados na tabela 4, permitido calcular que o sistema tem uma capacidade de transferência de energia térmica dos fluidos de 68,89kW.

Tabela 4. Propriedades dos fluidos

Propriedades	Água	mosto	unidade
Densidade (p)	997	998,3	kg/m ³
Calor específico (Cp)	4210	4182,3	j/kg. K
Viscosidade (μ)	0,00148	0,00372	Pa.s
Condutividade térmica (k)	0,58	0,65	w/k.m
Vazão	0,5	0,132	m ³ /h
Vazão mássica (\dot{m})	1,384722222	0,366043333	kg/s

Fonte: autor

3.2 ANÁLISE DO COEFICIENTE DE TROCA TÉRMICA

O trocador de calor do tipo tubos concêntricos de correntes paralelas foi dimensionado considerando tubos de aço inox de 2" para circulação do mosto (fluido quente) e tubos de 3" para circulação da água (fluido de resfriamento). Adotando as especificações da tabela 2, se obtém que a velocidade de escoamento do mosto é de 0,25m/s no tubo interno e 1,06 m/s da água no tubo externo, tornado possível obter o valor de Reynolds. Em seguida calcula-se valor de Prandtl. Considerando um escoamento turbulento em ambos os tubos calculasse o Nusselt e, por fim, calcula-se o coeficiente de troca térmica dos tubos internos e externos. Os valores obtidos após as interações estão representados na tabela 5.

Tabela 5. Cálculos do escoamento

	tubo interno	tubo externo
Velocidade de escoamento V_i (m/s)	0,252725414	1,057017199
Cálculo de Reynolds (Re)	2916,322196	18086,27847
Prandtl (Pr)	23,93562462	10,74275862
Nusselt (Nu)	46,1140343	151,9272994
Coefficiente de troca térmica	697,0726115	3469,206049

Fonte: autor

3.3 Resistências transferência de calor no trocador

Após obter o valor do Coeficiente de troca térmica dos tubos, foram calculadas as resistências interna e externa do tubo à transferência de calor convectivo, resistência térmica por condução, e a resistência térmica provocada pela incrustação que os fluidos provocam nas paredes dos tubos, valores representados na tabela 6. O coeficiente global de transferência de calor obtido desse sistema é de 412,4013 W/m²k. Considerando apenas a temperaturas iniciais e finais dos fluidos foi obtido uma efetividade 69,23%.

Tabela 6. Fatores de resistência térmica

Resistência	valor
Interna do tubo à transferência de calor convectivo	0,001864
Externa do tubo à transferência de calor convectivo	0,000288
Térmica por condução	4,96x10 ⁻⁶
Incrustação da água	0,000088
Incrustação do mosto	0,00018

Fonte: autor

3.4 Análise da dtml

Considerando os valores da tabela 2, a diferença de temperatura média logarítmica (DTML) é de 33,93°C para o trocador de calor contracorrente e 27,42°C com corrente paralela. Por fim, a área necessária para o resfriamento do mosto da cerveja é de 4,92m² para a contracorrente e 6,09 m² para o corrente paralela.

3.5 Análise da área de troca térmica

Conclui-se que será necessário o comprimento de 30m para o trocador de calor contracorrente e 38,2m para o corrente paralela. logo o trocador de calor com o sistema de escoamento dos fluidos em sentido oposto é mais indicado por ser ter uma eficácia maior, necessitando de menos material para a sua construção.

3.6 Análise da disposição do sistema

O projeto foi concebido dividindo o equipamento em 5 elementos de 6 metros de comprimento cada, sendo os tubos internos e externos em aço inox. Os tubos internos são interligados por tubulações de aço inox com curvas de 90° e o tubo externo unidos entre si por conexões do tipo “T” com flange. A figura 4 mostra tal construção.

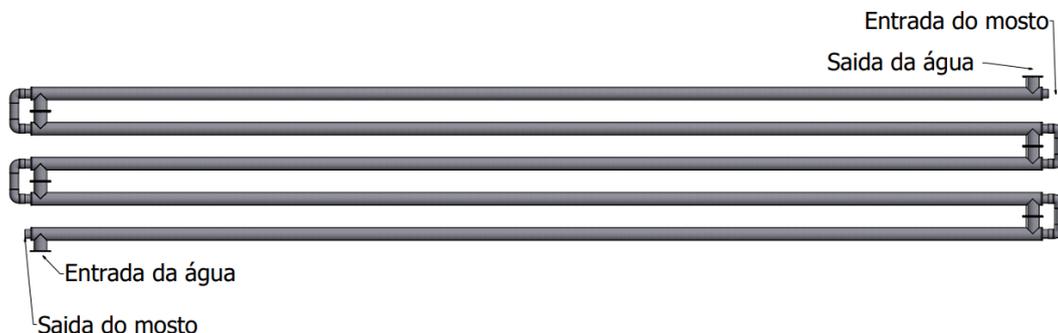


Figura 4. Representação do projeto

Fonte: autor

3.7 Análise da perda de carga

A última etapa para o dimensionamento do trocador de calor é calcular a perda de carga do sistema. No escoamento do tubo interno (mosto) o valor da perda de carga por atrito foi bem baixo, entretanto ao se considerar todas as curvas de 90° foi obtido uma perda de carga de 13,9 metros. Já a perda de carga durante o escoamento do fluido do tubo externo (água), foi considerado todas as conexões do tipo “T” e rugosidades da tubulação, foi encontrado um valor de 24,3m. Valores devem ser considerados no dimensionamento do conjunto motor-bomba que será utilizado para gerar a inserção dos fluidos no equipamento, para que não haja perda de eficiência no equipamento.

4.0 Modelagem do trocador de calor

A Figura 5 mostra a vista isométrica do trocador de calor concebido no software Inventor 2018.

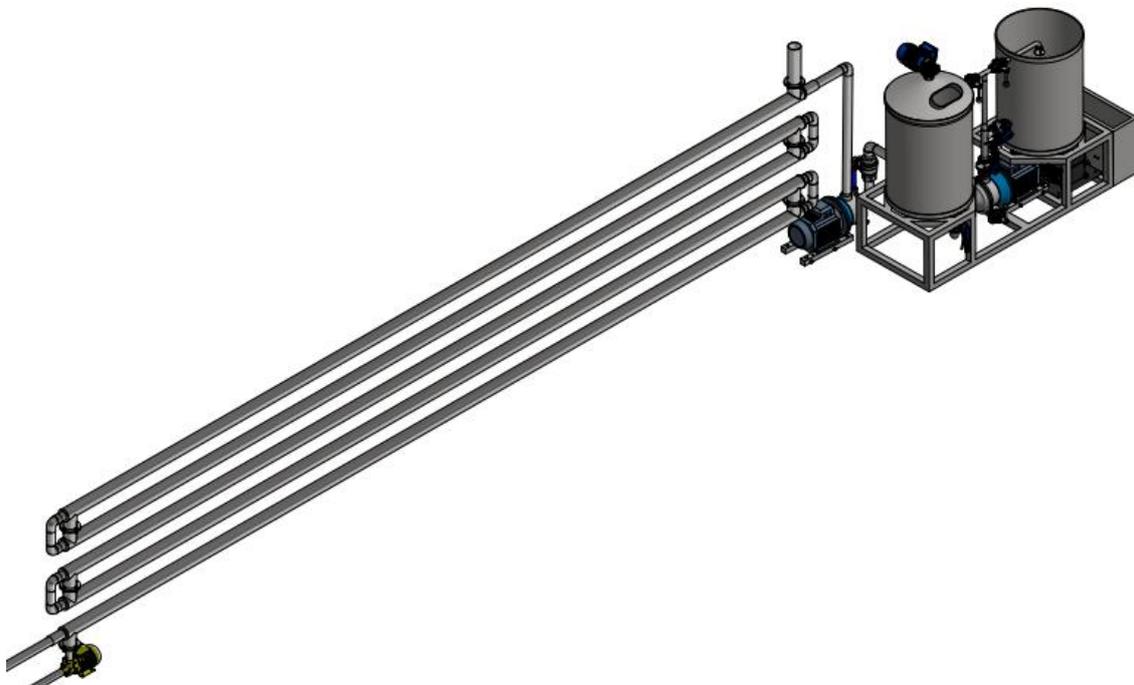


Figura 5. Vista isométrica do equipamento

Fonte: autor

5.0 Conclusão

Através do equacionamento apresentado, foi possível o desenvolvimento de um algoritmo simplificado para o dimensionamento de um trocador de calor duplo tubo. Assim, a partir desse algoritmo foi dimensionado um trocador de calor para o resfriamento do mosto após fervura no processo de fabricação artesanal de cerveja. O estudo foi baseado nas especificações de processo necessárias para atender a qualidade final do produto, considerando o tempo limite de resfriamento de 45 minutos, com temperatura máxima de 27 °C para cervejas de alta fermentação receita utilizado como base desse trabalho.

O equipamento dimensionado tem a capacidade de abaixar a temperatura de 1 litro de mosto de 70°C a 25°C, em 27,24 segundos, levando em consideração o tempo máximo da receita, que é de 45 minutos, o equipamento tem a capacidade de resfriar 99,11 litros de mosto.

O dimensionamento apontou que o uso de um trocador de calor do tubo concêntrico com escoamento contracorrente foi mais vantajoso, devido a sua maior eficiência. ele acaba sendo mais compacto e precisa de menos material para a sua construção.

O uso da solução apresentada pode trazer benefícios aos fabricantes de cerveja artesanal, por levar em conta critérios sanitários pelo uso de aço inox em toda a sua construção, bem como por permitir que o fabricante tenha um maior controle da etapa do resfriamento do mosto.

Referências

- ALMEIDA E SILVA, J.B.** Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W.G. (Coord.) Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação e mercado. São Paulo: Edgard Blücher, 2005, cap. 15, p. 347-382.
- CENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin J.** Transferência de calor e massa. McGraw-Hill Interamericana, 2012.
- CHANG, R.; GOLDSBY, K. A.** Química. 11. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013.
- DRAGONE, G.; ALMEIDA E.; SILVA, J.B.** Bebidas Alcoólicas - Ciência e Tecnologia. São Paulo: Blucher, 2010.
- HORNSEY, I. S.** Elaboración de cerveza. Zaragoza, Espanha: Acribia, 2002.
- INCROPERA, Frank P.; DEWITT, David P.** Fundamentos de transferência de calor. Pearson Educación, 2014.
- KREITH, F.** Princípios da transmissão de calor. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.
- LIVI, C. P.** Fundamentos de fenômenos dos transportes. Rio de Janeiro: LTC, 2004.
- MORADO, R.** Larousse da Cerveja. São Paulo: Larousse, 2009
- PALMER, J.J.** How to Brew. 3. Ed. Brewers Publication, 2006
- PINTO, M.B.C. et al.** Alterações físico-químicas durante o processo de fermentação da cerveja. in: cervecon – congresso latino-americano e brasileiro de ciência e mercado cervejeiro, 2016, Blumenau. anais... Blumenau: escola superior de cerveja e malte, 2016.
- ROSA, N.A.; AFONSO, J.C.** Química da Cerveja. Química nova escola, São Paulo, v37, n.2, p.98-105, mai 2015.
- SCHMIDT, F.W. et al.** Introdução as ciências térmicas - Termodinâmica, Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor. 2. ed. São Paulo: Blucher, 1996.
- SOUZA, Patrick Gomes de et al.** Elaboração de cervejas tipo lager a partir de farinha de pupunha (*Bactris gasipaes kunth*) como adjunto, em bioprocessos conduzidos com leveduras livres imobilizadas. 2010.
- TANDAGE, T.** A History of the World in 6 Glasses. Nova York, Estados Unidos: Walker, 2005
- VOGEL, W.** Elaboración casera de cerveza. Zaragoza, Espanha: Acribia, 2003