

Calculation of the thermal exchange surface of coolers with forced air circulation for a chicken freezing tunnel

Cálculo da superfície de troca térmica de resfriadores com circulação forçada de ar para um túnel de congelamento de aves

Article Info:

Article history: Received 2022-03-02 / Accepted 2022-04-20 / Available online 2022-04-20

doi: 10.18540/jcecvl8iss3pp14120-01e

Marcos Duran Pereira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8109-5053>

Universidade Federal do Paraná, Brazil

E-mail: marcos.duran@ufpr.br

Antônio Marcos de Oliveira Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7088-3211>

Federal University of Viçosa, Brazil

E-mail: antonio.siqueira@ufv.br

Resumo

Este trabalho teve como objetivo calcular a superfície de troca térmica de resfriadores com circulação forçada de ar, que utilizam amônia como fluido refrigerante, para um túnel de congelamento industrial de aves de um abatedouro localizado em Santa Izabel do Pará/PA e comparar este cálculo com a superfície real nos resfriadores do respectivo túnel existente. Tratou-se de uma pesquisa de campo realizada no segundo semestre de 2019 e também refere-se à uma pesquisa bibliográfica exploratória, baseada em livros da categoria de refrigeração industrial e trabalhos acadêmicos do mesmo segmento. Após realizar os cálculos, chegou-se na superfície total de troca térmica de 2.814,1562 m² e observou-se que o cálculo teórico da superfície de troca térmica foi cerca de 43,17% maior do que se verificou nos resfriadores existentes.

Palavras-chave: Resfriadores. Superfície. Troca Térmica. Túnel de Congelamento.

Abstract

This article aimed to calculate the thermal exchange surface of coolers with forced air circulation, which use ammonia as a refrigerant fluid, for an industrial poultry freezing tunnel of a slaughterhouse located in Santa Izabel do Pará/PA and compare this calculation with the actual surface on the coolers of the respective existing tunnel. This was field research carried out in the second half of 2019 and also refers to an exploratory bibliographic research, based on books in the industrial refrigeration category and academic works in the same segment. After carrying out the calculations, the total heat exchange surface of 2,814.1562 m² was arrived at and it was observed that the theoretical calculation of the heat exchange surface was about 43.17% greater than that found in existing coolers.

Keywords: Coolers, Freezing Tunnel, Surface, Thermal Exchange.

1. Introdução

Conforme Stoecker e Jabardo (2018) e Venâncio (2018), os resfriadores, ou também chamados de evaporadores, são equipamentos de refrigeração industrial, considerados os agentes diretos e responsáveis pela retirada do calor do ar e / ou produto em um determinado ambiente como um túnel de congelamento, câmara de estocagem, câmara de resfriamento, entre outros ambientes

refrigerados. Portanto, os resfriadores são a interface entre o processo de retirada de calor e o circuito frigorífico em si.

Para o adequado dimensionamento destes equipamentos e atendimento de suas respectivas finalidades, é fundamental compreender o conceito e saber dimensionar a superfície de troca térmica, sendo estas as principais justificativas do trabalho. A superfície de troca térmica de um resfriador é justamente a área do feixe tubular do equipamento que participará da transferência de calor, chamada por vezes de área de face (ALVES, 2007; OLIVEIRA, 2019). Baseado em Silva (2013), os resfriadores de serpentina ventiladora ou de convecção forçada (objetos de estudo deste trabalho), são os tipos mais comuns, em que o fluido refrigerante, que no caso deste trabalho é a amônia, circula e evapora no interior dos tubos aletados. Ao evaporar, estes equipamentos extraem calor de ar que passa pela serpentina que possui ventiladores.

2. Metodologia

O respectivo trabalho se refere à uma pesquisa de campo em um túnel de congelamento de aves de um abatedouro localizado na cidade de Santa Izabel do Pará/PA, distante cerca de 77 km de Belém/PA, no segundo semestre de 2019. Adicionalmente, se trata de uma pesquisa bibliográfica exploratória, em que se baseou em livros da categoria de refrigeração industrial e trabalhos acadêmicos de mesma área do conhecimento.

3. Resultados e discussões

Após visitas ao abatedouro do túnel de congelamento de aves localizado Santa Izabel do Pará/PA, foram feitos alguns registros fotográficos dos quatro resfriadores de convecção forçada de ar em estudo, como a Figura 1, por exemplo. Em que se é possível visualizar tais equipamentos posicionados na parte superior lateral do túnel de congelamento.

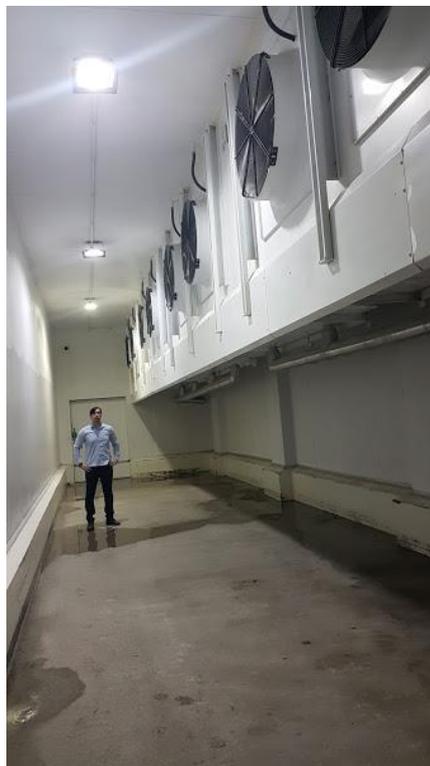


Figura 1 - Resfriadores posicionados no túnel de congelamento em estudo.

Suplementarmente, foi possível fazer uma representação geométrica dos resfriadores existentes, com as respectivas vistas frontal, lateral e superior, conforme Figura 2, com base nas medições e acesso ao material técnico do fabricante, que no caso é a Güntner do Brasil (2020).

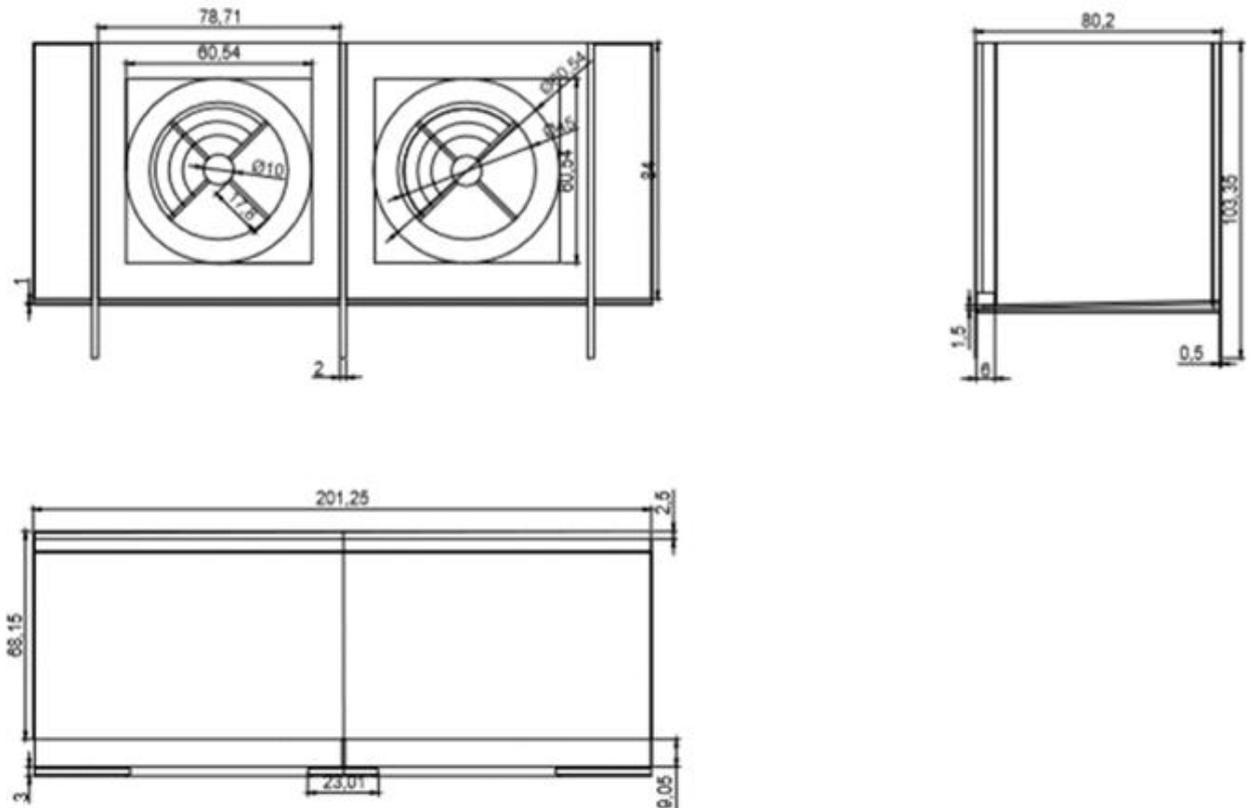


Figura 2 - Representação geométrica dos resfriadores em estudo.

Para finalizar as representações geométricas, fez-se um fluxograma de interligação dos equipamentos frigoríficos, conforme Figura 3, em que é mostrado que os resfriadores são parte de um todo do ciclo frigorífico. Este todo é composto por compressores, condensador, vasos de pressão (separador de líquido e reservatório de líquido), dispositivo de expansão e bombas de amônia (LOYOLA, 2020; MATTJIE E RISTOF, 2013; SILVA, 2022). Os resfriadores (evaporadores) são os únicos equipamentos que ficam no interior do túnel de congelamento de aves, os demais ficam distantes remotamente, interligados por tubulações, por onde percorre o fluido refrigerante que é a amônia.

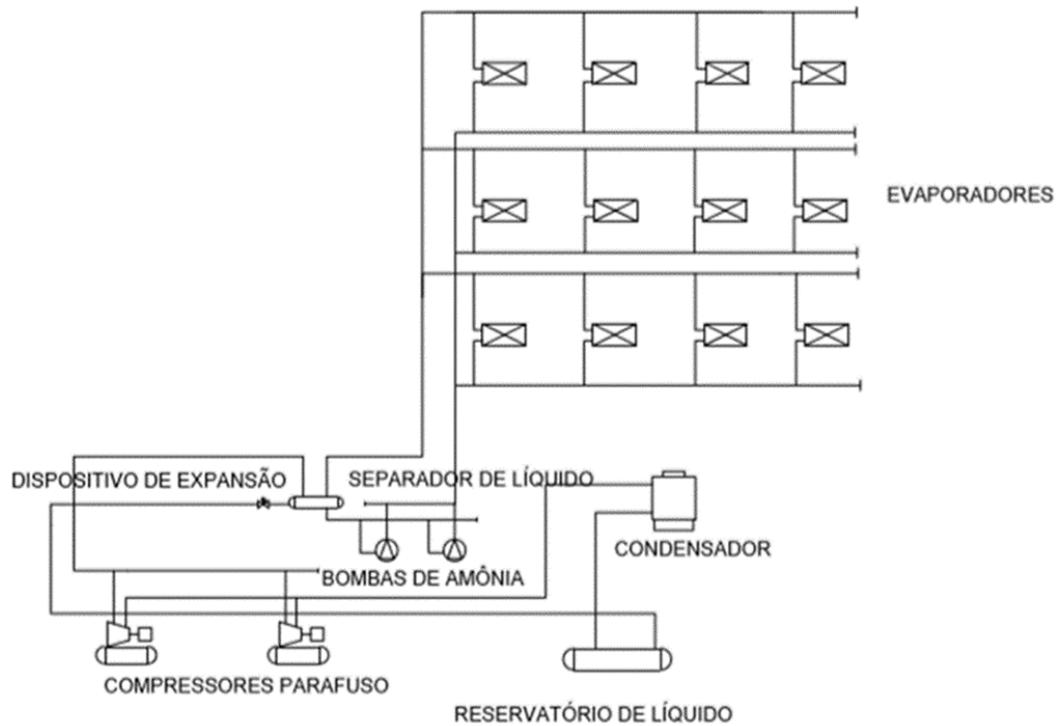


Figura 3 - Fluxograma de interligação dos equipamentos frigoríficos do túnel de congelamento de aves.

Para o cálculo da superfície de troca térmica dos resfriadores (S), conforme Loncan (2019), Matos (2022) e Silva (2016), é necessário inicialmente encontrar a temperatura de saída do ar na serpentina (t_{sa}), conforme Equação 1:

$$t_{sa} = t_{ea} - \Delta t_{ar} \quad (1)$$

Em que:

t_{sa} = Temperatura de saída do ar na serpentina [$^{\circ}\text{C}$]

t_{ea} = Temperatura de entrada do ar na serpentina [$^{\circ}\text{C}$]

Δt_{ar} = Diferença entre a temperatura de saída e o fluido refrigerante [$^{\circ}\text{C}$]

Sendo a temperatura de entrada do ar na serpentina (t_{ea}) de -23°C e Δt_{ar} igual à 5°C , isso para uma umidade do ar interna do túnel de congelamento de 90%, chega-se à temperatura de saída do ar na serpentina (t_{sa}) de -28°C (DONÉLIA, 2022; LONCAN, 2019; SCHENKEL, 2015).

Em seguida, pode-se achar o diferencial de temperatura médio logarítmico (Δt_{ln}) pela tríade de temperaturas da Equação 2 e, por se tratar de uma instalação que utiliza amônia como fluido refrigerante, se refere à uma expansão direta.

$$\Delta t_{ln} = \frac{(t_{ea} - t_v) - (t_{sa} - t_v)}{\ln \frac{(t_{ea} - t_v)}{(t_{sa} - t_v)}} \quad (2)$$

Em que:

Δt_{ln} = Diferencial de temperatura médio logarítmico [$^{\circ}\text{C}$]

tea = Temperatura de entrada do ar na serpentina [°C]
 tsa = Temperatura de saída do ar na serpentina [°C]
 tv = Temperatura de evaporação do fluido refrigerante [°C]

Utilizando-se a Equação 2 e sendo que a temperatura de entrada do ar na serpentina (tea) é considerada de -23°C, a temperatura de evaporação do fluido refrigerante (tv) para a amônia de -30°C, a temperatura de saída do ar na serpentina (tsa) de -28°C, chega-se em um diferencial de temperatura médio logarítmico ($\Delta T \ln$) de 3,9912°C.

Posteriormente, de acordo com Loncan (2019) e Martins (2021), pode-se calcular a superfície de troca térmica dos resfriadores de convecção forçada de ar (S) pela Equação 3:

$$S = \frac{Pf}{U \times \Delta T \ln} \quad (3)$$

Sendo:

S = Superfície de troca térmica total dos resfriadores [m²]
 Pf = Potência frigorífica ou carga térmica do ambiente a refrigerar [kcal/h]
 U = Coeficiente global de troca térmica [kcal/h m²°C]
 $\Delta T \ln$ = Diferencial de temperatura médio logarítmico [°C]

Aplicando-se a Equação 3, em que a carga térmica do túnel de congelamento (Pf) em estudo é de 280.796,5084 kcal/h, o coeficiente global de transmissão de calor (U) para um resfriador que possui feixe tubular em aço inoxidável 304 e aletas em alumínio é de 25 kcal/h m²°C, diferencial de temperatura médio logarítmico ($\Delta T \ln$) calculado anteriormente de 3,9912°C, chega-se em uma superfície de troca térmica total dos resfriadores (S) de 2.814,1562 m².

Teve-se acesso ao material técnico dos quatro resfriadores existentes no túnel de congelamento de aves, conforme Figura 4:

Evaporador	S-MAN 090.1E/212-WHJ/14P	S=Bloco especial e motor WEG+Hélices	
Capacidade:	99.1 kW	Refrigerante:	NH3 (R717)
Reserva de superfície:	-0.0 %	Temperatura de evaporação:	-30.0 °C
Fluxo de ar:	70000 m ³ /h @ 85 Pa Pext	Taxa de alimentação (bomba):	4.0
Temperatura do Ar:	-23.0 °C ⁽¹⁾		
Umidade relativa:	95 %		
Pressão do Ar:	1013 mbar		
Ventiladores:	2 Peça(s) 3~400V 60HzY/(-)	Diâmetro do ventilador:	900 mm
Dados por motor (dados nominais):		Nível de pressão de ruído:	69 dB(A)
Velocidade:	1750 min-1	a uma distância de:	3.0 m
Potência:	7,5 hp mecânico		
Carenagem:	Aço galvanizado, Pintura Epóxi sinal branco	Tubos:	Aço inoxidável AISI 304 ⁽²⁾
Superfície:	491.4 m ²	Aletas:	Alumínio ⁽³⁾
Volume do tubo:	231.1 l	Conexão de entrada:	1" NPS (33.40 mm)
Espaçamento das aletas:	12.00 mm	Conexão de saída:	2 1/2" NPS (73.03 mm)
Peso seco:	996 kg ⁽⁴⁾		
Pressão máx. de operação:	32.0 bar		

Figura 4 - Dados técnicos dos resfriadores existentes no túnel de congelamento.

Com base nestes dados técnicos apresentados na Figura 4, observa-se que cada resfriador existente tem a superfície de troca térmica (S) de 491,4 m², totalizando para os quatro evaporadores existentes no túnel de congelamento de aves, 1.965,6 m². Isso significa que o cálculo teórico dos evaporadores apresenta uma superfície de troca térmica 43,17% maior do que os evaporadores existentes. Concordante com Loncan (2019), o que geralmente ocorre é o oposto, ou seja, o cálculo ser menor do que o existente, devido a um fator de segurança.

4. Conclusão

Após o cálculo da superfície total de troca térmica de resfriadores com circulação forçada de ar para um túnel de congelamento de aves de um abatedouro localizado em Santa Izabel do Pará/PA, se chegou no valor de 2.814,1562 m² e fez-se um comparativo deste cálculo com a superfície real dos resfriadores do túnel existente e verificou-se que se tem 1.965,6 m². Com base nisso, o cálculo teórico da superfície foi cerca de 43,17% maior do que se verificou nos resfriadores existentes. Como a diferença de superfícies de troca térmica é grande, tem-se como sugestão de próximo trabalho, analisar a vazão de ar dos ventiladores dos resfriadores para verificar se há algum tipo de compensação pelo fato da superfície de troca existente ser consideravelmente menor do que a calculada (teórica).

Referências

- ALVES, M. C. R. (2007). *Refrigeração Industrial*. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET – MG. General Mills do Brasil Ltda.
- DONÉLIA, F. F. M. (2022). *Programa para dimensionamento de trocadores de calor*. Universidade Eduardo Mondlane, Nhambiu, Moçambique.
- GÜNTNER (2020). Disponível em: <<http://www.guentner.com.br/produtos/evaporadorresfriador-de-ar/>> Acesso em: 18 out. de 2020.
- LONCAN, P. (2019). *Projeto de instalações frigoríficas*. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- LOYOLA, F. R. (2020). *Refrigeração e climatização – Sistemas de compressão a vapor de múltiplos estágios*. Universidade Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Mecânica, Curitiba, Brasil.
- MARTINS, M. Y. (2021). *Dimensionamento e simulação de um trocador de calor do tipo casco-tubo de pequenas dimensões*. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Brasil.
- MATOS, R. S. (2022). *Refrigeração*. Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia. Curitiba, PR, Brasil.
- MATTJIE, C. A.; RISTOF, R. (2013). *Dimensionamento de um trocador de calor para resfriamento de fluido em um circuito hidráulico utilizado em uma plantadeira*. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, RS, Brasil.
- OLIVEIRA, L. S. (2019). *Sistema de refrigeração integrado aplicado a um supermercado utilizando CO₂*. Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.
- SCHENKEL, K. A. (2015). *Monitoramento da efetividade térmica de trocadores de calor*. Trabalho de conclusão de curso em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil.
- SILVA, M. G. (2013). *Aplicação de amônia em sistemas de refrigeração industrial*. São Paulo: SENAI-SP editora.
- SILVA, M. N. (2022). *Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial e comercial*. ELETROBRAS/PROCEL e Consórcio EFFICIENTIA/FUPAI, Belo Horizonte, MG, Brasil.
- SILVA, T. C. (2016). *Dimensionamento de trocadores de calor para recuperação de calor residual em sistema ORC de uma FPSO*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.
- STOECKER, W. F.; JABARDO, J. M. S. (2018). *Refrigeração industrial*. 3ª edição. São Paulo: Blucher.
- VENÂNCIO, F. B. (2018). *Análise da eficiência e performance das características do sistema de refrigeração de uma indústria de bebidas: estudo de caso*. Trabalho de conclusão de curso de Graduação de Engenharia Mecatrônica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, Brasil.