

Fabricação de trocadores de calor tipo evaporador: do projeto CAD à execução prática.

Emanuel Vargas de Oliveira | emanuel.v10@aluno.ifsc.edu.br¹¹

Matheus Henrique Troian | matheus.htroian9@gmail.com¹

Andrei da Silva Coelho | andrei.sc@aluno.ifsc.edu.br¹

João Carlos Pozzobon | joao.pozzobon@ifsc.edu.br²

Diana Terezinha Amaro Ferraz | diana.terezinha@ifsc.edu.br²

Adonis Menezes | adonis.menezes@ifsc.edu.br²

Edital de fomento do trabalho Nº 12/2025/CAMPUS ITAJAÍ

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

O conforto térmico influencia diretamente o desempenho humano, especialmente em ambientes com altas temperaturas. Nesse contexto, este trabalho apresenta o projeto, a modelagem tridimensional e a fabricação de um evaporador para um sistema compacto de refrigeração baseado em termossifões e módulos Peltier. O desenvolvimento incluiu projeto conceitual, modelagem em CAD e fabricação com tubos de cobre, resultando em dois protótipos com diferentes configurações geométricas. Durante a fabricação, foram identificados desafios no alinhamento das furações e na brasagem, sendo adotadas soluções como o uso de gabaritos em impressão 3D e a brasagem na posição horizontal, que melhoraram a qualidade das junções.

Palavras-chave: refrigeração; brasagem; conforto térmico.

Introdução

O conforto térmico é um fator determinante para o desempenho humano em ambientes de trabalho e estudo, especialmente sob condições de altas temperaturas. A exposição ao calor pode provocar alterações fisiológicas, como aumento da temperatura corporal e da frequência cardíaca, além de comprometer funções cognitivas, incluindo memória, atenção e capacidade de processamento de informações. Como consequência, observa-se redução da produtividade e aumento da fadiga. Em contrapartida, estratégias de resfriamento local têm demonstrado potencial significativo para melhorar o conforto térmico e o desempenho, podendo elevar a produtividade em até 33% em determinadas atividades (TANG et al., 2021).

¹ Estudante do curso Técnico Integrado de Mecânica do Câmpus IFSC Itajaí

² Docente do Instituto Federal de Santa Catarina do Câmpus Itajaí

Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto, a modelagem tridimensional e a fabricação de um evaporador, componente fundamental responsável pela absorção de calor em sistemas de refrigeração. Esse desenvolvimento está inserido no projeto de pesquisa “Desenvolvimento de um Ar-Condicionado Compacto de Baixo Custo com Placa Peltier e Termossifão”, que visa a criação de um sistema compacto de climatização baseado na integração de termossifões e módulos termoelétricos do tipo Peltier.

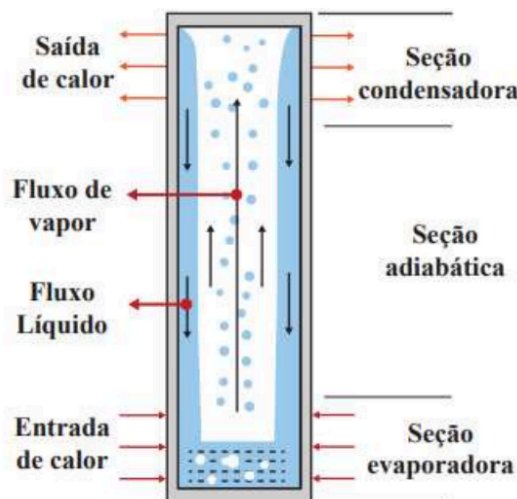
Fundamentação teórica

O funcionamento de sistemas de refrigeração está diretamente relacionado aos mecanismos de transferência de calor, especialmente condução, convecção e mudança de fase. No caso de evaporadores, a principal função é promover a absorção de calor do meio, geralmente por meio da evaporação de um fluido de trabalho, processo que permite elevadas taxas de transferência térmica devido ao calor latente envolvido. Dessa forma, o desempenho do evaporador está diretamente associado às condições de troca térmica e à sua configuração geométrica (INCROPERA et al., 2011).

No contexto deste trabalho, o evaporador integra um sistema baseado em termossifões, dispositivos passivos de transferência de calor que operam por meio da circulação natural de um fluido em regime bifásico, ver Figura 1. Nesses sistemas, o fluido evapora na região do evaporador ao absorver calor e se desloca para regiões mais frias, onde ocorre a condensação, retornando ao ciclo por ação da gravidade. Esse mecanismo permite elevada eficiência térmica, sendo amplamente empregado em aplicações de gerenciamento térmico (FAGHRI, 1995).

Além dos aspectos térmicos, o desempenho do evaporador também depende de sua geometria e do processo de fabricação. A configuração dos canais, a área de troca térmica e a qualidade das junções influenciam diretamente a eficiência do sistema. Nesse sentido, técnicas como a brasagem são fundamentais para garantir a vedação, a integridade estrutural e a continuidade térmica do dispositivo, sendo amplamente empregadas na fabricação de componentes de troca de calor.

Figura 1 - Termossifão bifásico



Fonte: Adaptado Jouhara et al. (2017).

Procedimentos metodológicos

O desenvolvimento do evaporador foi realizado em etapas sequenciais, compreendendo o projeto conceitual, a modelagem tridimensional, a fabricação do protótipo e a avaliação do processo construtivo.

Inicialmente, foi elaborado o projeto conceitual do evaporador, considerando sua aplicação em um sistema compacto de refrigeração. Nessa etapa, foram definidos o formato geométrico, as dimensões e a configuração dos canais internos.

Na sequência, foi realizada a modelagem tridimensional utilizando software CAD, permitindo a visualização do componente e a verificação de interferências geométricas. A modelagem também possibilitou o detalhamento das peças e a definição dos encaixes necessários para a fabricação do dispositivo.

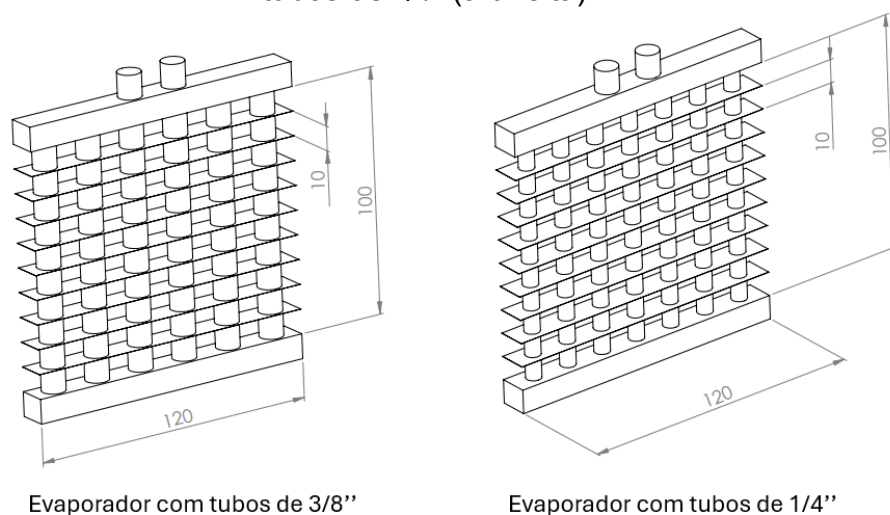
A fabricação do evaporador foi realizada a partir de tubos de cobre, material amplamente utilizado em aplicações térmicas devido à sua elevada condutividade térmica. O processo construtivo envolveu operações de corte, conformação e união das partes por meio de brasagem. Durante essa etapa, foram avaliadas diferentes formas de execução, incluindo a posição para a brasagem dos tubos que formam o evaporador e o uso de gabaritos para a conformação dos tubos e alinhamento das furações.

Resultados e discussões

Foram projetados e parcialmente fabricados dois evaporadores com configurações distintas, visando futuras análises comparativas de desempenho térmico. O primeiro modelo foi composto por 6 tubos de diâmetro de $\frac{3}{8}$ ", enquanto o segundo utilizou 7 tubos de $\frac{1}{4}$ ". Ambos os dispositivos foram concebidos com dimensões externas de 120×120 mm e com 9 aletas de cobre, conforme ilustrado na Figura 2. Essa variação geométrica foi adotada com o objetivo de avaliar, em etapas futuras, a influência do número e do diâmetro dos tubos na área de troca térmica e no desempenho do evaporador.

As bases dos evaporadores foram confeccionadas a partir de tubos de $\frac{3}{4}$ " submetidos a processo de conformação mecânica até atingirem altura aproximada de 10 mm. Essa solução construtiva mostrou-se adequada, pois facilitou tanto o processo de furação quanto a posterior montagem dos tubos, contribuindo para maior estabilidade estrutural durante a fabricação.

Figura 2 - Desenhos esquemáticos dos evaporadores de tubos de $\frac{3}{8}$ " (à esquerda) e tubos de $\frac{1}{4}$ " (à direita).



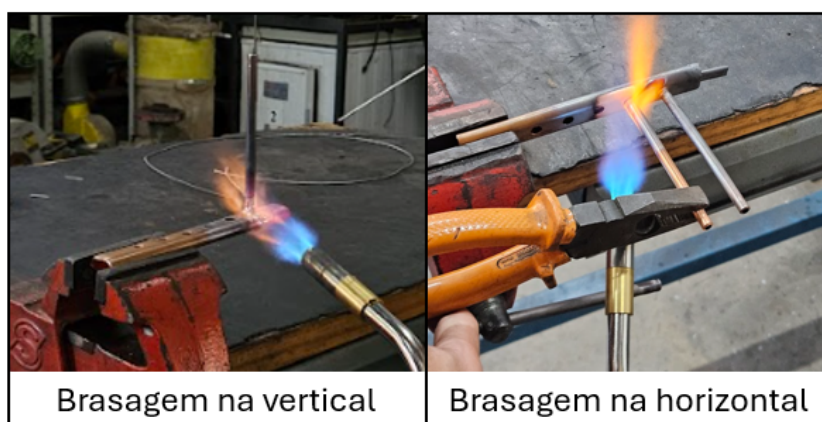
Durante a etapa de furação, observou-se dificuldade significativa em manter o alinhamento adequado dos furos, fator crítico para a montagem e vedação do sistema. Como solução, foi desenvolvido um gabarito por meio de impressão 3D, o qual possibilitou a padronização do processo e resultou em melhor acabamento superficial e maior precisão geométrica, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Comparação de tubos $\frac{3}{4}$ após conformação e furação, com gabarito e sem gabarito.



A união dos componentes foi realizada por brasagem, técnica adequada para materiais metálicos como o cobre, devido à sua capacidade de promover boa vedação e continuidade térmica. Observou-se que a brasagem na posição horizontal apresentou melhores resultados em comparação à posição vertical (Figura 4), uma vez que permitiu maior controle do aquecimento e melhor distribuição do material de adição. Na configuração vertical, verificou-se dificuldade no aquecimento uniforme da base, prejudicando a aderência da liga de brasagem e comprometendo a qualidade da junção.

Figura 4 - Brasagem dos tubos na posição vertical e horizontal.



Atualmente, o projeto encontra-se na etapa de fixação das aletas, não estando o evaporador completamente finalizado. Entretanto, os resultados obtidos até o momento

permitiram identificar aspectos críticos do processo construtivo, especialmente relacionados ao alinhamento geométrico e à técnica de brasagem, fornecendo subsídios importantes para a continuidade do desenvolvimento e otimização do protótipo.

Considerações finais

O presente trabalho apresentou o projeto, a modelagem tridimensional e a fabricação parcial de evaporadores destinados a um sistema compacto de refrigeração baseado em termossifão e módulos Peltier. Os resultados evidenciaram a influência da geometria e do processo construtivo na qualidade final dos dispositivos, destacando-se desafios no alinhamento das furações e na brasagem dos tubos. A adoção de gabaritos produzidos por impressão 3D e a realização da brasagem na posição horizontal contribuíram para a melhoria da precisão geométrica e da integridade das junções. As atividades desenvolvidas possibilitaram o aprimoramento de competências técnicas em processos de fabricação e montagem. Como continuidade, os evaporadores serão finalizados e integrados ao sistema de climatização para realização de ensaios experimentais e avaliação do desempenho térmico.

Referência ao fomento recebido

Os autores agradecem ao Instituto Federal de Santa Catarina pelo fomento a pesquisa por meio do edital Nº 12/2025/CAMPUS ITAJAÍ.

Referências

TANG, Jieyu et al. *The effects of portable cooling systems on thermal comfort and work performance in a hot environment*. *Building Simulation*, [S.l.], v. XX, p. 1–17, 2021.

INCROPERA, Frank P. et al. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2011.

FAGHRI, Amir. *Heat Pipe Science and Technology*. Washington: Taylor & Francis, 1995.

JOUHARA, H. et al. Heat pipe based systems - Advances and applications. *Energy*, [s. l.], v. 128, p. 729-75, jun. 2017.