



TRANSFERÊNCIA DE CALOR SE DIFERE DE EBULIÇÃO CONVECTIVA EM TUBOS DE CALOR PULSANTE

Mateus Henrique Corrêa¹, mateus.hcorrea@usp.br

Victor Gouveia Ferrares¹, victor.ferrares@usp.br

Cristiano Bigonha Tibiriçá¹, bigonha@sc.usp.br

¹Heat Transfer Research Group, Laboratório de Engenharia Térmica e Fluidos, Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo, São Carlos

RESUMO EXPANDIDO

Tubos de Calor Pulsante (TCPs) são uma tecnologia recente e promissora para transferência térmica de alta eficiência. Apesar do potencial, sua aplicação prática ainda é restrita devido à ausência de modelos e métodos de previsão confiáveis, consequência do entendimento limitado dos mecanismos internos de troca de calor. Até o momento, apenas dois trabalhos avaliaram o Coeficiente de Transferência de Calor (CTC) no evaporador: Misina et al. (2024) restringiram-se ao final do evaporador, enquanto Mameli et al. (2014) analisaram apenas um ponto, sem considerar a vazão mássica necessária para determinar o título de vapor.

Tendo isso em vista, o presente estudo tem como objetivo investigar os mecanismos de transferência de calor ao longo do evaporador de um TCP por meio da medição de coeficientes locais de transferência. O aparato experimental consiste em um TCP de uma volta, construído com tubos de aço inoxidável (diâmetro externo 2,2 mm e interno 2,0 mm) e poliamida (diâmetro externo 3,2 mm e interno 1,6 mm). O aquecimento do evaporador ocorre pelo efeito Joule, utilizando fonte de tensão contínua, enquanto um banho termostático com temperatura controlada resfria o condensador.

As temperaturas são monitoradas por termopares tipo K posicionados nas entradas e saídas do evaporador e condensador, além de distribuídos ao longo do evaporador: dois próximos aos terminais elétricos (a 10 mm de distância) e os demais igualmente espaçados a cada 23 mm, totalizando 158 mm do evaporador. Os ensaios foram realizados para fluxos de calor entre 5 e 50 kW/m², na configuração de operação totalmente assistida pela gravidade (+90°) e com razão de preenchimento líquido de 70%.

Os resultados (Figura 1) mostram a distribuição do CTC em função da posição e do fluxo de calor, com linhas de título de vapor representadas em pontilhado. Observou-se que o aumento do fluxo de calor gera um pico de CTC próximo à linha de saturação ($x = 0$), alcançando valores da ordem de 10 kW/m²K. Esse comportamento difere do esperado para ebulição convectiva, mecanismo apontado por Misina et al. (2024), conforme comparação com Kanizawa et al. (2016). Isso sugere que o movimento oscilatório do fluido altera significativamente os mecanismos de transferência de calor, fazendo com que em alguns pontos possa haver uma importância maior da parcela nucleada.

Diante disso, torna-se necessária a realização de estudos com visualização do escoamento no evaporador, a fim de compreender os fenômenos responsáveis pelo pico de CTC e, assim, contribuir para o avanço de modelos mais robustos e confiáveis para TCPs.

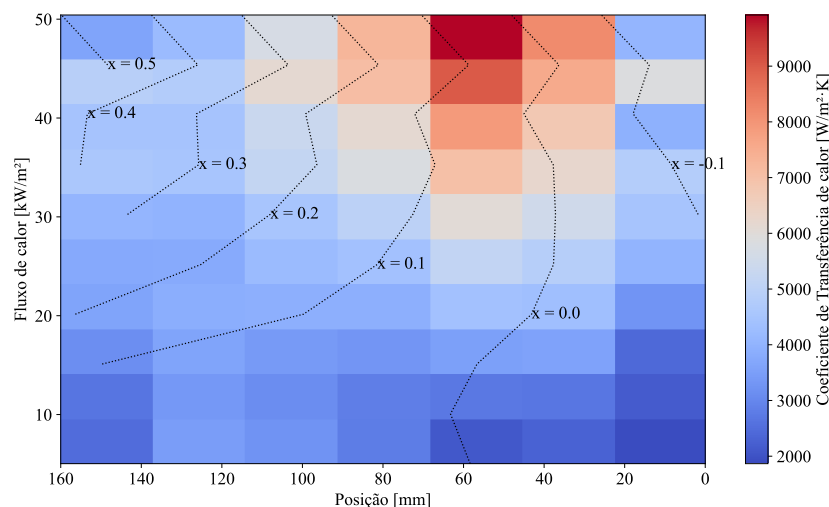


Figura 1. Coeficientes locais de transferência de calor em função do fluxo de calor aplicado e da posição no evaporador.



REFERÊNCIAS

- Kanizawa, F. T., Tibiriçá, C. B., and Ribatski, G. (2016). Heat transfer during convective boiling inside microchannels. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 93:566–583.
- Mameli, M., Marengo, M., and Khandekar, S. (2014). Local heat transfer measurement and thermo-fluid characterization of a pulsating heat pipe. *International journal of thermal sciences*, 75:140–152.
- Misina, F. S., Corrêa, M. H., and Tibiriçá, C. B. (2024). Non-invasive mass flow and local heat transfer coefficient measurements in pulsating heat pipes. *Flow Measurement and Instrumentation*, 100:102701.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio financeiro dado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - código 001 - ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - contrato número 310179/2021-1 - e à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) - contrato número 2022/15765-1.

RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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