

**AVALIAÇÃO TERMODINÂMICA E OTIMIZAÇÃO DE NANOFLUIDOS EM
TROCADORES DE CALOR: UMA ABORDAGEM INTEGRADA DE SIMULAÇÃO
COMPUTACIONAL, VALIDAÇÃO EXPERIMENTAL E REDES NEURAIAS**

ODS 9

Carlos Henrique de Paula Junior (Universidade de Taubaté)
Luiz Carlos Cordeiro Junior (Universidade do Estado do Rio de Janeiro)
Luís Fernando de Almeida (Universidade de Taubaté)
Fernando Silva de Araújo Porto (Universidade de Taubaté)

Introdução

No cenário automotivo, a gestão térmica é crucial para o desempenho e a eficiência. Com a crescente densidade de potência de motores e eletrônica, a demanda por trocadores de calor mais eficientes aumenta. Os nanofluidos de dióxido de titânio (TiO_2) surgem como uma alternativa promissora, pois podem elevar a condutividade térmica e os coeficientes de troca de calor, otimizando o dimensionamento dos radiadores.

Este trabalho investiga o desempenho térmico de nanofluidos de TiO_2 em radiadores veiculares. A pesquisa adota uma abordagem tripla: um modelo termohidráulico, medições experimentais em bancada e um modelo de rede neural artificial. Essa análise multifacetada permite uma discussão aprofundada sobre a eficácia desses fluidos. As descobertas são relevantes para a otimização de sistemas de arrefecimento em motores a combustão e veículos elétricos, fornecendo critérios para o projeto e a seleção de fluidos.

Revisão da Literatura

A otimização de trocadores de calor compactos é um tema central na gestão térmica automotiva. A literatura ressalta que a transferência de calor nesses dispositivos ocorre por

convecção e condução, e sua análise frequentemente emprega o método ϵ -NTU. Estudos recentes têm explorado o potencial de nanofluidos de TiO_2 para melhorar a eficiência de troca de calor, apesar dos desafios de produção e estabilidade coloidal.

A simulação computacional, especialmente com plataformas como o MATLAB/Simulink, é uma abordagem consolidada para modelar o comportamento térmico desses sistemas. A aplicação de Inteligência Artificial, por meio de Redes Neurais Artificiais (RNAs), tem se mostrado promissora na criação de modelos preditivos mais rápidos e eficientes do que a Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD). A integração de simulação e IA representa uma tendência crescente para a otimização de sistemas de arrefecimento.

Método

A metodologia experimental visou validar um modelo matemático e simulações em MATLAB/Simulink. Os testes foram conduzidos em uma bancada no Laboratório de Fenômenos de Transporte Experimental da FAT/UERJ.

A bancada era um circuito de arrefecimento fechado com radiador, bomba e aquecedores elétricos. Um túnel de vento fornecia o fluxo de ar homogêneo. As medições foram feitas em regime estacionário, usando termopares tipo K, um sistema de dupla verificação de vazão com rotâmetro e tubo de Venturi, e um tubo de Pitot para a velocidade do ar.

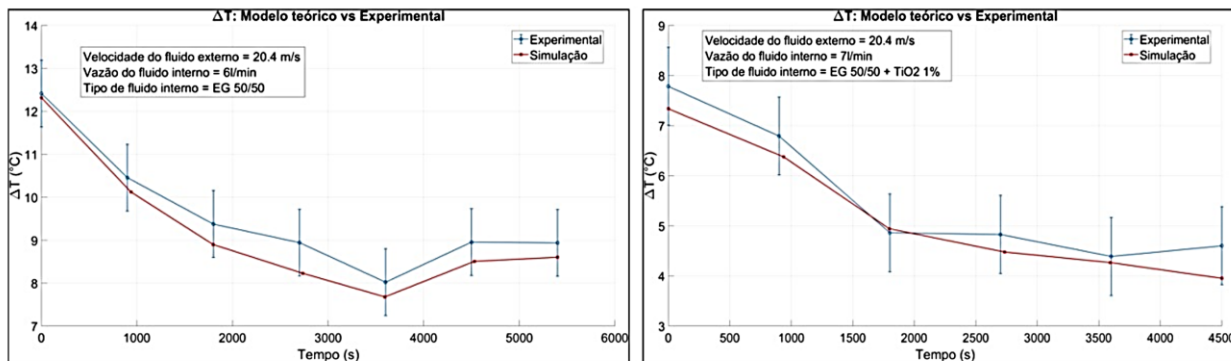
Quatro fluidos foram testados: água destilada, duas misturas de água/etilenoglicol (60/40 e 50/50), e um nanofluido de TiO_2 em uma mistura 50/50 de água/etilenoglicol. O nanofluido foi preparado e testado no mesmo dia para garantir sua estabilidade. Os desafios encontrados, como o desgaste da bomba e a instabilidade do nanofluido, foram resolvidos com a substituição de peças e a preparação imediata do fluido. Os dados experimentais foram analisados para quantificar a incerteza, assegurando a confiabilidade para a validação do modelo computacional.

Resultados Esperados

Espera-se que a análise comparativa entre o modelo de simulação, o metamodelo preditivo e os dados experimentais demonstre a viabilidade de se otimizar o desempenho térmico de radiadores veiculares. O estudo se concentrará em duas condições de operação com fluidos distintos (etilenoglicol/água e nanofluido de TiO_2), buscando validar as previsões do modelo numérico e da rede neural em relação aos dados de bancada.

As curvas de **diferença de temperatura** (ΔT) e de **rejeição térmica**, como ilustrado na figura 1, devem exibir boa concordância de tendência entre os dados experimentais e os simulados, com desvios quantificados.

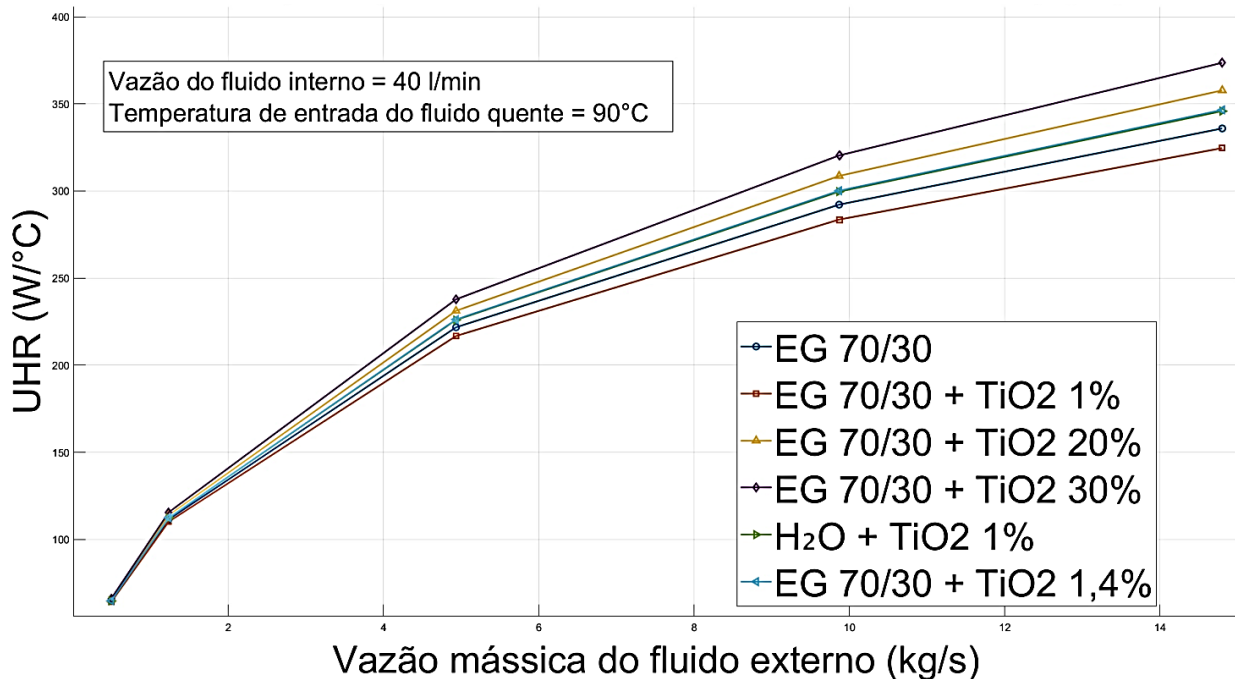
Figura 1: Diferença de temperatura entre entrada e saída do fluido interno ao longo do tempo



Fonte: Autor

Adicionalmente, espera-se que a análise simulada da **unidade de rejeição térmica (UHR)**, tal como apresentado na Figura 2, evidencie o ganho de desempenho proporcionado pela adição de nanopartículas, especialmente em regimes de alta vazão. Esses resultados são cruciais para demonstrar que os nanofluidos podem reduzir o consumo energético do ventilador e da bomba, melhorando a eficiência global do sistema.

Figura 2: UHR em função da vazão mássica para EG 70/30 e água, com e sem adição de TiO₂, evidenciando o ganho térmico dos nanofluidos, especialmente em maiores vazões.



Fonte: Autor

Referências

CHOI, S. U. S. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles. In: DEVELOPMENTS AND APPLICATIONS OF NON-NEWTONIAN FLOWS, 1995, Illinois. **Anais eletrônicos...** Illinois: ASME, 1995. p. 99–105. Disponível em: <URL da publicação, se aplicável>. Acesso em: dia mês ano.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 5. ed. New York: John Wiley & Sons, 2002.

KAYS, W.; LONDON, A. **Compact Heat Exchanger**. 3. ed. United States: McGraw-Hill, Inc., 1984.

MAHDI, J. M.; MOHAMMED, H. A.; WAHID, M. A. A comprehensive review of the applications and performances of nanofluids in heat exchangers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 4125–4146, 2022.

XUAN, Y.; LI, Q. Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids. **Journal of Heat Transfer**, v. 125, n. 1, p. 151–155, 2003.