

DESEMPENHO TÉRMICO DE NANOFLUIDOS PRATA/ÁGUA EM TROCADORES DE CALOR

Guilherme Azevedo Oliveira, Centro, guilherme_esd@mec.ufu.br

Nayara Leite Rodrigues, Centro, nayaraleite@mestrado.ufu.br

Enio Pedone Bandarra Filho, bandarra@mecanica.ufu.br

Resumo. Este trabalho tem por objetivo avaliar o desempenho térmico de nanofluidos em trocadores de calor. Nanopartículas de prata foram dispersas em água destilada, utilizando um método de dois passos, denominado homogeneização a alta pressão, em concentrações entre 0,1 e 0,3% em volume. A condutividade térmica dos nanofluidos foi medida através do método do fio quente transiente, enquanto a viscosidade foi medida em um viscosímetro tipo cone-placa. Os incrementos máximos na condutividade térmica e viscosidade foram de 18 e 5%, respectivamente, com relação ao fluido base (água). Um aparato experimental foi construído para avaliar o desempenho térmico dos nanofluidos escoando no interior de trocadores de calor. O desempenho térmico foi avaliado como uma função do diferencial de temperatura na entrada e saída do trocador de calor. Os resultados obtidos foram similares para o fluido base e nanofluido, sendo observado um ligeiro incremento no gradiente de temperatura para os nanofluidos, e novos testes são necessários em uma mais ampla faixa de vazões e diferentes condições de entrada para a obtenção de resultados mais consistentes.

Palavras chave: nanofluidos, prata, água, condutividade térmica, viscosidade, trocadores de calor

1. INTRODUÇÃO

Nanofluidos são dispersões de partículas sólidas de tamanho nanométrica (1-100nm) em fluidos comuns, como água, etilenoglicol, óleo de motor etc. Devido ao potencial térmico destes fluidos, a pesquisa envolvendo nanofluidos aumentou significativamente nos últimos anos, como pode ser visto na Fig. 1. A condutividade térmica é o principal tema abordado em pesquisas científicas. Como são dispersões de partículas sólidas em uma matriz líquida contínua, espera-se que os nanofluidos tenham uma condutividade térmica que obedece à teoria do meio efetivo, desenvolvida por Maxwell em 1873. Normalmente, tal como esperado, estes fluidos são soluções mais homogêneas e estáveis, quando comparados com as suspensões de escala micrométricas, porém ainda por um curto período de tempo, o que é indesejável na maioria das aplicações. Para prolongar a estabilidade dos nanofluidos é comum a utilização de surfactantes, que são substâncias que causam a repulsão eletrostática entre as nanopartículas. No entanto, este processo altera as propriedades térmicas do fluido, e em muitos casos, diminuindo seu potencial de transferência de calor.

Estes novos fluidos surgem como alternativa de substituição de refrigerantes convencionais utilizados em sistemas térmicos. A maioria dos estudos envolvendo nanofluidos foca na medição das propriedades térmicas de nanofluidos, principalmente condutividade térmica e viscosidade. Com relação à transferência de calor por convecção, Wen e Ding (2004) investigaram nanofluidos em fluxo laminar. Pak e Cho (1998), Xuan e Li (2003), realizaram um estudo sobre a transferência de calor por convecção em fluxo turbulento em tubos, e os resultados foram conflitantes. Leong et al. (2010) investigaram o desempenho térmico de nanofluido de cobre dentro de um radiador de automóvel e concluíram que a área frontal do ar pode ser reduzida em 18,7 %, com Reynolds variando entre 5000 e 6000. A Fig. 1 mostra o crescimento do número de publicações sobre nanofluidos nos últimos anos.

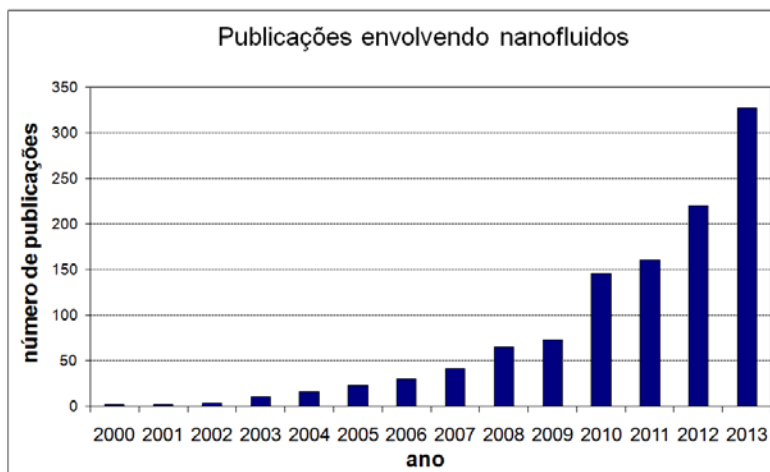


Figura 1. Número de publicações envolvendo nanofluidos nos últimos anos.

Nanofluidos podem ser produzidos por dois métodos, métodos de um passo e de dois passos. Nos métodos de um passo, as nanopartículas são produzidas já em meio ao fluido base, através de evaporação direta. Nos métodos de dois passos, as nanopartículas são produzidas na forma de pó e posteriormente dispersas no fluido base através de um processo físico. Em ambos os casos, a obtenção de um nanofluido homogêneo e estável é essencial.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação e caracterização dos nanofluidos

A preparação dos nanofluidos foi feita utilizando um método de dois passos. Nanopartículas de prata foram adquiridas junto à Nanostructured & Amorphous Materials. As nanopartículas são de formato aproximadamente esférico, e possuem diâmetro médio 10 e 80 nm. A dispersão de nanopartículas na água destilada (fluido base) foi realizada utilizando homogeneização à alta pressão, que é um dos mais eficientes métodos dentre os métodos de dois passos. O processo consiste em dois microcanais que dividem o fluxo de alimentação, onde atuam dois pistões que comprimem a mistura. O fluxo é re combinado em uma câmara, denominada câmara de interação. Nesta câmara, a combinação de três mecanismos quebra as aglomerações de nanopartículas: alta taxa de cisalhamento nas paredes da câmara, impactos fortes e irregulares da mistura com as paredes da câmara, e microbolhas formadas por energia de cavitação induzida. Neste processo, é obtida uma suspensão estável e homogênea, Hwang et al. (2007).

A condutividade térmica dos fluidos foi medida utilizando o método do fio quente transiente. A grande vantagem deste método é a eliminação quase completa de efeitos de convecção natural, além de ser uma medição rápida, quando comparada com outras técnicas. O método do fio quente mede a resposta de temperatura da sonda, enquanto esta imersa no fluido de testes, em função do tempo, para uma dada potência de aquecimento. Neste trabalho, foi utilizada uma sonda Hukseflux TP-08, que é um equipamento recomendado para a medição da condutividade térmica de materiais entre 0,1 e 6 W/mK.

A condutividade térmica é calculada através da lei de Fourier, baseado na norma ASTM D5334-08, como segue:

$$k = \frac{q}{4\pi\Delta T} \ln(t_2 - t_1) \quad (1)$$

Onde q é o fluxo de calor por unidade de comprimento, T e t são temperatura do fio e tempo, respectivamente, k é a condutividade térmica do fluido circundante.

A viscosidade dos nanofluidos foi medida através de um reômetro tipo cone-placa (Brookfield LVDV-IIIU). Este equipamento mede a taxa de cisalhamento para pequenas amostras de fluido, para uma dada taxa de deformação imposta, medindo o torque necessário para girar o elemento cônico, denominado “spindle”. A geometria do spindle utilizado nas medições foi a CPE-40, que necessita 1 ml do líquido de testes. Para garantir a temperatura de testes necessária, o conjunto foi conectado a um banho térmico. O reômetro foi calibrado com água a 25°C, que apresentou viscosidade de 0,89 cP. As medições de viscosidade dos nanofluidos foram realizadas à mesma temperatura.

2.2 Aparato experimental

O equipamento experimental para análise do desempenho dos fluidos em trocadores de calor consiste em um circuito de ar, em forma de “loop”, e um circuito de fluido quente, onde circulam os fluidos de arrefecimento. Para tanto, o laboratório possui um túnel de vento, com capacidade de ventilação de 10000 m³/h. Este circuito foi ajustado para medir as temperaturas a montante e a jusante do trocador de calor a ser ensaiado, além do diferencial de pressão entre estas seções. O circuito de ar possui, ainda, uma placa de bocais, instalada de acordo com a norma ASHRAE 41.2, através do qual é medida a vazão de ar. Para o controle da temperatura do ar, o sistema é conectado a um trocador de calor de resfriamento, que por sua vez está conectado a uma torre de resfriamento externa ao laboratório, além de uma bateria de resistências elétricas de 6 kW. O sistema possui ainda um retificador de escoamento, para aumentar a linearidade do escoamento incidente no trocador de calor.

O motor que aciona o ventilador é ligado a um inversor de frequência, e juntamente com a placa de 5 bocais, permite uma ampla faixa de vazões de ar.

O circuito de fluido quente é constituído de uma bomba, ligada a um inversor de frequência, um medidor de vazão tipo Coriolis e o trocador a ser ensaiado. O circuito de fluido quente foi ajustado para medir as temperaturas de entrada e saída no trocador de calor de testes. Para manter a temperatura de entrada no trocador de calor constante, o líquido passa por um outro trocador de calor com temperatura de parede constante. Este trocador de calor consiste de uma serpentina imersa em um banho térmico. Este trocador mantém a temperatura de entrada no trocador de testes estável, independente das outras condições do sistema.

Cada termopar foi calibrado utilizando o sistema de aquisição em um banho térmico e a incerteza foi determinada como recomendado por Abernethy e Thomson (1973). As incertezas das medidas de pressão foram obtidas através dos dados do fabricante. Um manômetro em U foi instalado para conferir as medições.

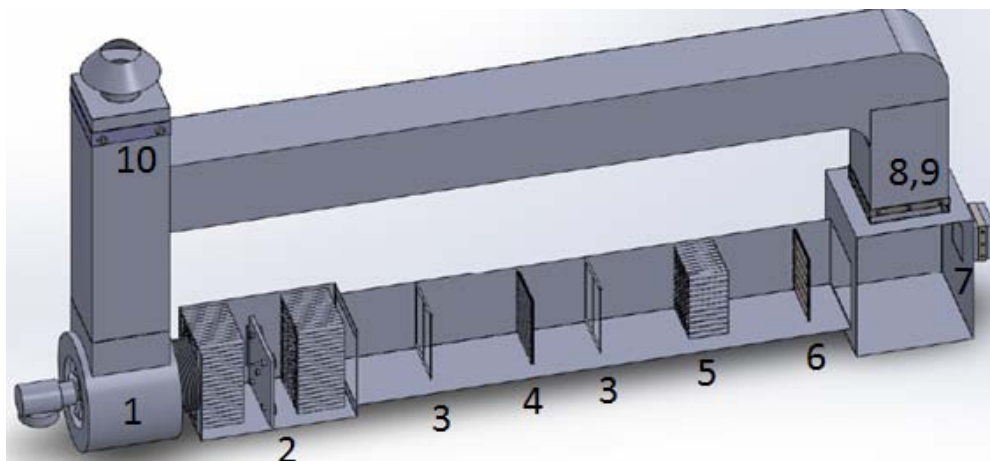


Figura 2 - Esquema do túnel de vento utilizado nos ensaios. 1-Ventilador. 2-Placa de bocais. 3-Medição de temperatura. 4-Trocador de calor. 5-Retificador de escoamento. 6-Resistências elétricas. 7-Registro de admissão. 8-Registro de retorno. 9- Serpentina de resfriamento. 10-Registro de descarga

Tabela 1: Incerteza dos parâmetros medidos.

Parâmetro	Incerteza
Temperatura	0.14 °C
Diferencial de pressão no trocador	0.96 Pa
Diferencial de pressão na placa de bocais	0.74 Pa
Vazão de líquido	0.15%
Vazão de ar	2.10%

3. RESULTADOS

A condutividade térmica é a principal propriedade analisada em nanofluidos. A concentração volumétrica e o tamanho de nanopartículas são os principais parâmetros de influência nesta propriedade, e o presente trabalho concentra-se em analisar a influência destes parâmetros nos resultados. A Fig. 3 mostra o incremento na condutividade térmica em função da concentração volumétrica de nanopartículas, para diferentes tamanhos de nanopartículas. É possível observar que a condutividade térmica aumentou com a concentração, chegando a um incremento máximo de 18% na condutividade térmica para uma concentração de 0,3%. Com relação ao tamanho de nanopartícula, não é possível chegar a uma conclusão clara, visto que para cada concentração, diferentes tamanhos de nanopartículas apresentaram maior incremento na condutividade térmica.

A viscosidade dos nanofluidos também foi medida. Os resultados mostram, como pode ser visto na Fig. 3, que o incremento na viscosidade não é significativo, quando comparado com a água pura. O máximo incremento observado na viscosidade foi de 4%, para uma concentração volumétrica de 0,2%, porém o incremento observado foi menor do que a incerteza experimental associada. A partir destes resultados, não é possível inferir como o tamanho das nanopartículas influencia a viscosidade dos nanofluidos.

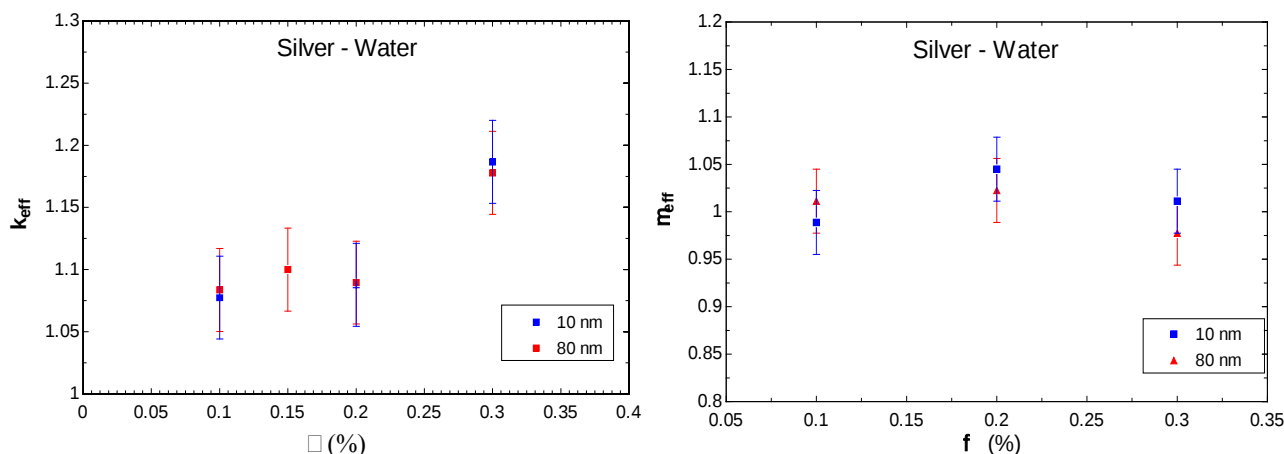


Figura 3. Resultados experimentais para a condutividade térmica e viscosidade dos nanofluidos

O desempenho térmico de uma amostra de nanofluido prata/água (0,3% em volume) foi analisado para diferentes vazões de líquido, e para diferentes fluxos de ar. O desempenho foi avaliado como função da queda de temperatura de líquido ao passar pelo trocador de calor, e considerando, com base nos resultados experimentais, que a viscosidade dos nanofluidos é similar à do fluido base, assim como o calor específico, o calor removido do trocador de calor utilizando água e nanofluido foi comparado.

Como pode ser observado na Fig. 4, para baixas velocidades do ar, a transferência de calor utilizando nanofluido foi ligeiramente inferior à da água, enquanto para maiores velocidades do ar, a transferência de calor utilizando nanofluido superou a da água, indicando que para condições mais turbulentas de escoamento, o incremento na transferência de calor utilizando nanofluidos é mais acentuado. Estes resultados indicam a mesma tendência mostrada por outros autores.

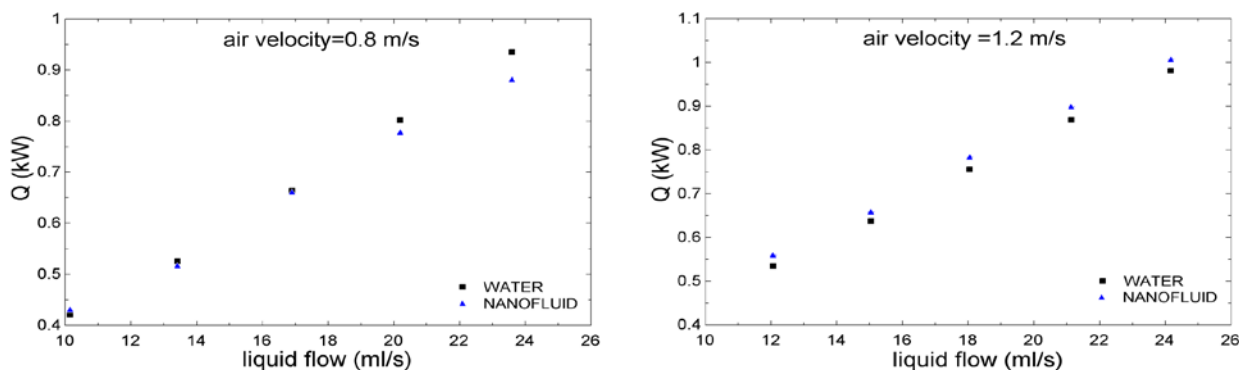


Figura 4. Transferência de calor utilizando nanofluidos, para diferentes fluxos de ar

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho focou-se na preparação, caracterização da condutividade térmica e viscosidade, além da análise do desempenho térmico de nanofluidos em trocadores de calor. Nanofluidos prata/água foram produzidos em concentrações de 0,1 a 0,3%, utilizando nanopartículas de diâmetro médio 10 e 80 nm, obtendo-se com sucesso dispersões estáveis com o processo de homogeneização a alta pressão.

A condutividade térmica dos nanofluidos produzidos foi analisada, e os resultados experimentais mostraram um aumento significativo nesta propriedade, chegando a um incremento de 18% na condutividade térmica comparado ao fluido base, para uma concentração de 0,3%. Por outro lado, a viscosidade dos nanofluidos apresentou um incremento discreto comparado com a água pura (máximo 4%), indicando pouca influência da adição de nanopartículas nesta faixa de concentrações.

Com relação a transferência de calor utilizando nanofluidos, os resultados mostraram que para menores velocidades do ar que refrigera o trocador de calor ensaiado, a transferência de calor com nanofluidos foi menor que a da água, enquanto para condições mais severas de escoamento, o calor removido dos nanofluidos foi superior, indicando que os nanofluidos possuem menos limitações na transferência de calor comparado com a água (fluido base).

5. REFERÊNCIAS

- Abernethy, R.B., Thomson, J.W., 1973, Arnold Engineering Development Center, Arnold Air Force Station, TN, USA.
Pak, B.C., Cho, Y.I., 1998, *Experimental Heat Transfer*, 11: 151–170.
Wen, D., Ding, Y., 2004, *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 18: 481–485.
Leong, K.Y., Saidur, R., Kazi, S.N., Mamun, 2010, A.H. *Applied Thermal Engineering*. 30: 2685–2692.
Maxwell, J.C., 1873, Oxford University Press, Cambridge.
Xuan, Y., Li Q., 2003, *Journal of Heat Transfer* 125: 151–155.
Wang, C.C., Lee, C.J., Chang, C.T., Lin, S.P., 1999, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 42: 1945–1956.
Jabardo, J.M.S., Zoghbi Filho, J.R.B., Salamanca, A., 2006, *Experimental Thermal and Fluid Science* 30: 621–631.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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