

NANOFLUIDOS: SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO

Letícia Raquel de Oliveira, Lest-nano, letciarakel@gmail.com
Enio Pedone Bandarra Filho, Lest-nano, bandarra@mecanica.ufu.br

Resumo: *Esse trabalho objetiva a síntese e caracterização de nanofluidos. Para isso, serão realizados estudos sobre métodos de dispersão e homogeneização de nanofluidos em diferentes concentrações, tipos de nanopartículas, de surfactantes, pressões e tempos de homogeneização. Propriedades termodinâmicas e de transporte como condutividade térmica e viscosidade dinâmica serão medidas e comparadas com a literatura. Além do estudo experimental, será realizada uma análise crítica da literatura sobre essas características dos nanofluidos e com base nos resultados obtidos experimentalmente, comparados com os dados obtidos por diversos autores. A dispersão das nanopartículas em um fluido base será feita pelo método de “Dois Passos” e utilizado um homogeneizador a alta pressão para homogeneização e estabilização do nanofluido. Alterações químicas da superfície das nanopartículas serão desenvolvidas pelo uso de surfactantes e controle de pH com soluções de hidróxido de sódio e ácido clorídrico. O objetivo deste trabalho é, portanto, descrever o estado-da-arte da síntese e caracterização de nanofluidos.*

Palavras chave: nanofluidos, síntese, condutividade térmica, viscosidade, estabilidade

1. INTRODUÇÃO

O termo nanofluido foi criado por Choi e Eastman (1995) para descrever uma nova classe de fluidos utilizados na transferência de calor e têm como característica principal uma elevada condutividade térmica. Nanofluidos são suspensões de nanopartículas metálicas ou não dispersas em um convencional fluido de troca de calor. Vários materiais são utilizados para produção de nanofluidos, como óxidos cerâmicos (Al_2O_3), óxidos de metais (CuO , ZnO , TiO_2 , SiO_2), metais (Cu , Ag , Au , Fe), nanotubos de carbono (parede simples e múltipla), diamante e grafeno. Sua principal aplicação é em equipamentos de transferência de calor em substituição aos fluidos convencionais os quais apresentam condutividades térmicas inferiores à dos nanofluidos. Embora os mecanismos físicos responsáveis por esse aumento da condutividade térmica ainda não estejam completamente compreendidos, vislumbra-se um grande potencial de aplicação de nanofluidos em diversas áreas como, por exemplo, nas indústrias automobilística, aeronáutica, de equipamentos eletrônicos e no setor elétrico.

Após se estabelecer como um marco na história da nanociência, os nanofluidos atraíram a atenção de muitos pesquisadores no mundo todo. Nos últimos anos um crescente interesse por nanofluidos foi notado intensificando o número de publicações nessa área (Mukherjee e Paria, 2013). Além disso, o uso de nanofluidos para troca térmica tem crescido e pesquisas visando o seu desenvolvimento realizadas em diversos centros de pesquisas. Trabalhos publicados revelam incrementos significativos nas propriedades de transporte de calor do fluido base através da adição de pequenas frações volumétricas de nanopartículas.

Choi e Eastman (1995) demonstraram a intensificação de troca térmica obtida a partir da adição de nanopartículas de cobre e alumina em água e outros líquidos; Jana *et al.* (2007) observaram um aumento de 74% da condutividade térmica de nanofluidos de cobre em água com concentração de 0,3% em volume; Xuan e Li (2000) observaram um aumento de 1,24 para 1,78 na razão de condutividade térmica quando aumentada a fração de volume de 2,5 para 7,5% em nanofluidos de cobre em água; Eastman *et al.* (2001) reportaram um aumento de 40% na condutividade térmica para nanofluidos de cobre com base em etileno glicol e concentração de 0,3% em volume; Buongiorno *et al.* (2009) produziram nanofluidos estáveis e notaram uma modesta melhora da condutividade térmica de nanofluidos de alumina com base em poli-alfa-olefina com baixas e altas concentrações de nanopartículas.

As pesquisas sobre as propriedades e aplicações dos nanofluidos são recentes, por isso existe ainda muito a ser estudado e várias limitações são encontradas, como a dificuldade de se obter uma dispersão estável. A estabilidade dos nanofluidos é uma questão limitadora da sua aplicação como fluido em processos industriais. A preparação dos nanofluidos é o passo fundamental para o estudo de suas propriedades. Existem dois métodos principais de preparação: o método do passo único e o método de dois passos. Ambos são diferenciados apenas pela forma de como as nanopartículas são dispersas no fluido base. No primeiro as nanopartículas são produzidas e dispersas simultaneamente no fluido base, enquanto no segundo, são primeiramente produzidas e posteriormente dispersas.

Existe uma preferência pela técnica de dois passos devido a facilidade da comercialização das nanopartículas secas e em pó, preparadas em laboratórios especializados e a dispersão dessas nanopartículas no fluido base. No entanto, o uso dessa técnica para a preparação de nanofluidos apresenta a desvantagem de as nanopartículas se aglomerarem rapidamente depois da dispersão no fluido base formando os denominados *clusters*. A ocorrência de tal fenômeno se deve ao fato de que as nanopartículas não são capazes de romper as interações entre as moléculas do fluido base e deste modo estas não isolarem o material particulado, possibilitando a ocorrência de aglomerações e posterior sedimentação.

A estabilidade destas dispersões trata-se de um desafio para pesquisadores quando não envolve mudanças químicas como alterações de pH ou adição de surfactantes. Uma solução para este problema é a homogeneização da dispersão utilizando técnicas avançadas de agitação, como o banho ultrassônico, agitador magnético e o homogeneizador a alta pressão. Além da agitação o tempo e a intensidade podem influenciar significativamente no efeito da dispersão. Mesmo com a utilização dessas técnicas para melhorar a estabilidade dos nanofluidos as nanopartículas tendem a se aglomerar novamente devido às forças de atração do tipo forças de Van der Waals. Para inibir essa re-aglomeração se faz uso de dispersantes/surfactantes e assim nanofluidos estáveis por mais tempo são obtidos.

A coagulação das partículas nos nanofluidos faz com que a sua capacidade de transferência de calor seja comprometida. Contudo, questões acerca dos fatores que podem alterar as propriedades termo-físicas e com isso a estabilidade devem ser minuciosamente investigadas. Por exemplo o potencial zeta, que indica o grau de repulsão entre as partículas e a camada estacionária de líquido que envolve as partículas; velocidade de sedimentação; adição de surfactantes para garantir melhor estabilização e maior durabilidade da suspensão; controle de pH; agitação ultrassônica.

No entanto, muito do que se é relatado sobre as várias características dos nanofluidos se mostra conflitante dentro da literatura devido à complexas questões associadas com a química de superfície dos nanofluidos e a falta de clareza com relação aos fenômenos físicos também responsáveis pela melhoria das propriedades térmicas, além de incoerência entre os autores. Ainda assim vislumbra-se um grande potencial de aplicação para os nanofluidos e motivação para melhoria de suas características.

2. METODOLOGIA

2.1. Preparação dos nanofluidos

A preparação de nanofluidos é um processo delicado, exige técnica e tratamento específico, não sendo uma simples mistura de um sólido em um líquido. Por não se conhecer profundamente os fenômenos físicos e químicos envolvidos, no seu desenvolvimento em grande escala é necessário que a suspensão seja uniforme, duradoura, resistente, estável, com poucas aglomerações de partículas e nenhuma alteração química do fluido. Tudo isso visando a otimização e incremento das propriedades térmicas do nanofluido.

No desenvolvimento deste trabalho será utilizado um homogeneizador de alta pressão, mostrado na Fig. (1) e localizado no Laboratório de Energia e Sistemas Térmicos (LEST-nano).



Figura 1. Homogeneizador de Alta Pressão – AP-LAB 10LTS – LEST – UFU.

O princípio de funcionamento deste equipamento consiste em pressurizar a amostra fornecendo assim a energia necessária para quebrar as aglomerações, dispersando, dessa maneira, as nanopartículas no fluido base. O esquema básico de seu funcionamento está representado na Fig. (2).

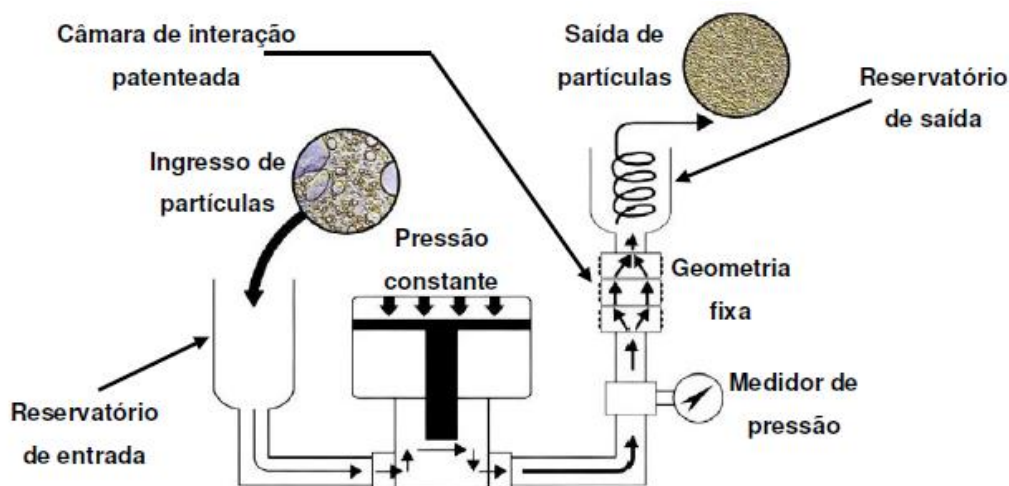


Figura 2. Esquema do funcionamento do homogeneizador de alta pressão para método de dois passos (Campos, 2009).

Os diferentes nanofluidos serão produzidos no próprio laboratório utilizando o método de dois passos e homogeneizados no homogeneizador do laboratório. Serão realizados diversos tipos de avaliações como: melhor faixa de pH que proporcione uma estabilidade mais prolongada, diferentes concentrações de nanopartículas, diferentes fluidos base, tempos e pressões de homogeneização, uso de surfactantes, temperatura, dentre outros fatores relevantes.

Para a análise da faixa de pH serão utilizadas soluções de ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH). Os valores de pH serão medidos com a utilização de um pHmetro digital portátil da marca Misura Line modelo ML 1010. As diferentes concentrações em volume serão definidas posteriormente e serão utilizados como fluidos base água destilada, etileno glicol e óleo.

2.2. Caracterização dos nanofluidos e estudo da estabilidade

Na caracterização das propriedades termofísicas dos nanofluidos serão medidos condutividade térmica e viscosidade dinâmica. A metodologia empregada para medição da condutividade térmica é a mais utilizada entre os pesquisadores, o método do fio quente. A viscosidade será medida com o uso de um viscosímetro. Os valores experimentais de condutividade e viscosidade serão comparados com os obtidos por correlações da literatura. Além disso, será calculado o calor específico através de correlações e também comparado com os resultados previstos na literatura.

O modelo de Maxwell, Eq. (1), foi desenvolvido para prever a condutividade térmica de misturas sólido-líquido, sendo bastante conservador em suas hipóteses como o meio estatisticamente homogêneo, sem movimento relativo entre as nanopartículas e o fluido, partículas esféricas de tamanho micro e milimétrico.

$$k_{nf} = k_{fb} + 3\phi \left(\frac{k_{np} - k_{fb}}{2k_{fb} + k_{np} - \phi(k_{np} - k_{fb})} \right) k_{fb} \quad (1)$$

O calor específico é um parâmetro primordial para a avaliação do comportamento da transferência de calor em fluidos, sendo assim fundamental a sua determinação para a aplicação de nanofluidos. Existem poucos relatos das medições de calor específico de nanofluidos na literatura, fato que aumenta a importância e relevância da sua obtenção. No presente trabalho, ele será determinado por regra da mistura considerando a concentração volumétrica de nanopartículas na suspensão como indicado na Eq. (2):

$$c_{pnf} = (1 - \phi)c_{pfb} + \phi c_{pnp} \quad (2)$$

A estabilidade dos nanofluidos é um fator determinante para o seu uso, porém, ainda não foram definidos padrões, critérios e técnicas precisas para medição da estabilidade. Dentre os métodos de avaliação da estabilidade, os mais utilizados são: método da sedimentação, análise do potencial zeta e de absorção espectral UV, e nesse trabalho será empregado os métodos de sedimentação e análise do potencial zeta.

Frente a isso, se faz necessário o estudo dessas propriedades e o aperfeiçoamento de técnicas existentes utilizadas na produção de nanofluidos, uma vez que o estudo da condutividade térmica e da viscosidade é fundamental para determinar também as suas possíveis aplicações.

3. REFERÊNCIAS

- Buongiorno, J. "A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids." J Appl Phys. vol 106:094312, 2009.
- Campos, E. R. V. "Modelagem do uso de nanofluidos no sistema de arrefecimento de motores a combustão interna".
Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.
- Choi, S. U. S., Eastman, J. A. "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles", ASME, New York, FED – Vol. 231/MD – Vol. 66, pp. 99–105, 1995.
- Eastman, J.A.; Choi, S.U.S.; Yu, W.; Thompson, I.J. "Anomalously increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles." Appl Phys Lett. vol 78, pp 718, 2001.
- Jana, S., Khojin, A.S., Zhong, W.H. "Enhancement of fluid thermal conductivity by the addition of single and hybrid nano-additives." Thermochim Acta; vol 45, pp 462, 2007.
- Mukherjee, S.; Paria, S. "Preparation and Stability of Nanofluids-A Review". Journal of Mechanical and Civil Engineering. Vol 9, pp. 63-69, 2013.
- Xuan, Y., Li, Q. "Heat transfer enhancement of nanofluids". Int. J Heat Fluid Flow. Vol 21:58, 2000.

4. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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