



20° POSMEC

SIMPÓSIO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Aproximação teórica ao estudo da viscosidade em nanofluidos

Autor(es)

Joseph RAMIREZ CHAUPIS
Guilherme AZEVEDO OLIVEIRA

Orientador:

Enio P. BANDARRA FILHO

O aprimoramento dos sistemas térmicos tem alcançado níveis dificilmente superáveis quanto a materiais e processos. Assim, a procura de novos e melhores fluidos de trabalho torna-se um campo com importante projeção de desenvolvimento. Nesse sentido, o uso de nanopartículas em fluidos de baixas propriedades térmicas para intensificá-las vem dando resultados alentadores.

O termo *nanofluido* foi usado pela primeira vez por CHOI (1995) e define àqueles fluidos que contêm partículas suspensas de dimensões entre 10 e 100 nanômetros ($1\text{nm} < > 10^{-9}\text{m}$). O estudo dos nanofluidos vem crescendo exponencialmente nos últimos 10 anos, como pode ser visto na Fig. 1, que mostra a evolução na quantidade de publicações envolvendo nanofluidos nos anos 2000. O aumento no número de publicações a cada ano comprova o potencial térmico dos nanofluidos, o que nos motivou a começar este estudo.

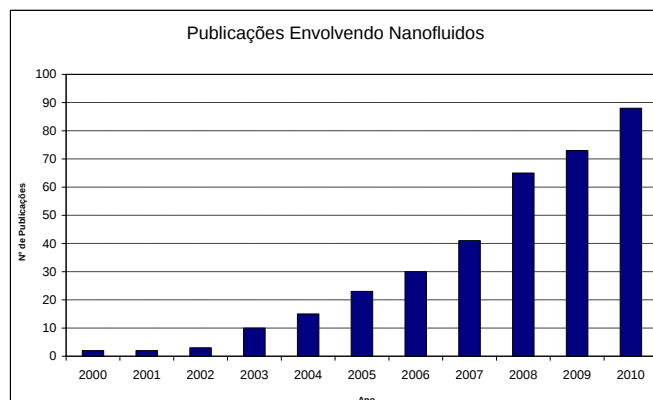


Fig. 1 – Crescimento do número de publicações envolvendo nanofluidos

Os *nanofluidos* apresentam vantagens (incremento da condutividade térmica do *fluido base*, por exemplo) e desvantagens próprias deste tipo de suspensões (aglomeração, sedimentação, aumento da viscosidade, etc.) que precisam de ser analisadas e definidas com o objetivo de avaliar sua aplicação em sistemas reais. O propósito deste trabalho é mostrar um dos aspectos a ser levados em conta no momento de fazer tal avaliação: a viscosidade dos *nanofluidos*.

A determinação da viscosidade do nanofluido é essencial na hora de estimar a potência de bombeamento e a sua influencia sobre as características térmicas e hidráulicas do escoamento. Na literatura, têm-se aproximações teóricas para este tipo de suspensões, inclusive anterior do estudo dos nanofluidos em si. Algumas delas são mostradas a seguir.

EINSTEIN (1906) apresentou um estudo inicial para o cálculo teórico da viscosidade de uma suspensão em função de pequenas concentrações volumétricas de partículas esféricas ($\phi < 5$).

$$\mu = \mu_f (1 + 2.5\phi) \quad \text{Eq. (1)}$$

BRINKMAN (1952) fez uma extensão da equação de Einstein para concentrações maiores

$$\mu = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Enquanto BATCHELOR (1977) levou em conta o efeito do movimento Browniano sobre os esforços volumétricos em uma suspensão das características mencionadas até agora.

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_{bf}} = 1 + 2.5\phi + 6.5\phi^2 \quad \text{Eq. (3)}$$

Com esta base teórica, um pequeno número de estudos experimentais (em relação a outras propriedades) têm sido desenvolvidos para determinar qual seria o comportamento reológico do nanofluido em condições de operação.

NAMBURU et al. (2007) estudaram, além da influência da concentração volumétrica, o efeito da temperatura sobre a viscosidade em nanofluidos de óxido de cobre em uma mistura de etileno-glicol e água (proporção 60:40, em massa). A Fig. 2 mostra a tendência do nanofluido de diminuir sua viscosidade com o incremento da temperatura. Pode-se observar também o aumento da viscosidade com maiores concentrações de nanopartículas.

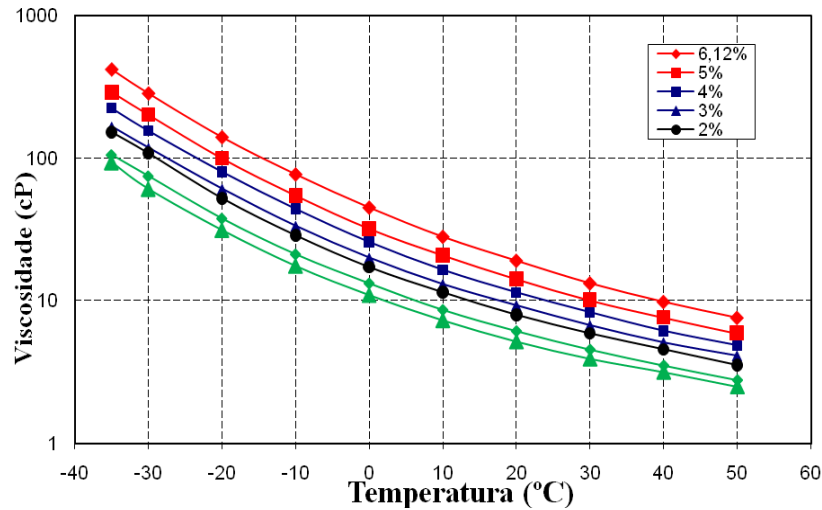


Fig. 2. Resultados experimentais de Namburu et al. para CuO em etileno-glicol

Por outro lado, CHEVALIER et al. (2009) fizeram experimentações com óxido de silício (sílica) em etanol com diversas concentrações e diâmetros de nanopartículas. Os resultados apresentados na Fig. 3 mostram o comportamento newtoniano do nanofluido estudado nas concentrações analisadas e a temperatura ambiente.

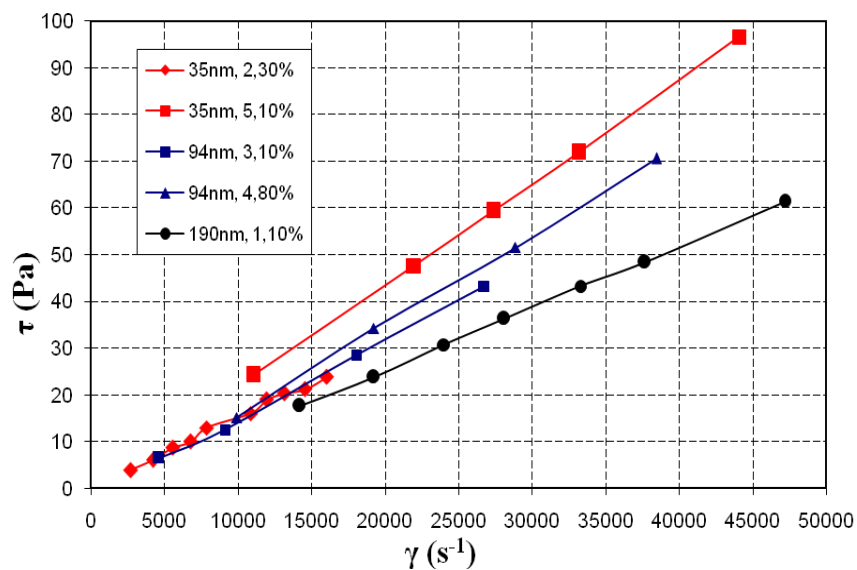


Fig. 3. Resultados experimentais de Chevalier et al. para SiO₂ em etanol

NGUYEN et al. (2007) mediram a viscosidade em nanofluidos de alumina e água em uma faixa de temperatura média e observaram que, após de uma temperatura crítica, as propriedades reológicas do nanofluido podem ser drasticamente alteradas. Exemplo de tal alteração é o fenômeno de histerese na viscosidade do nanofluido de alumina em água, mostrado na Fig. 4, o que leva a pensar em possíveis conseqüências na confiabilidade do uso de nanofluidos.

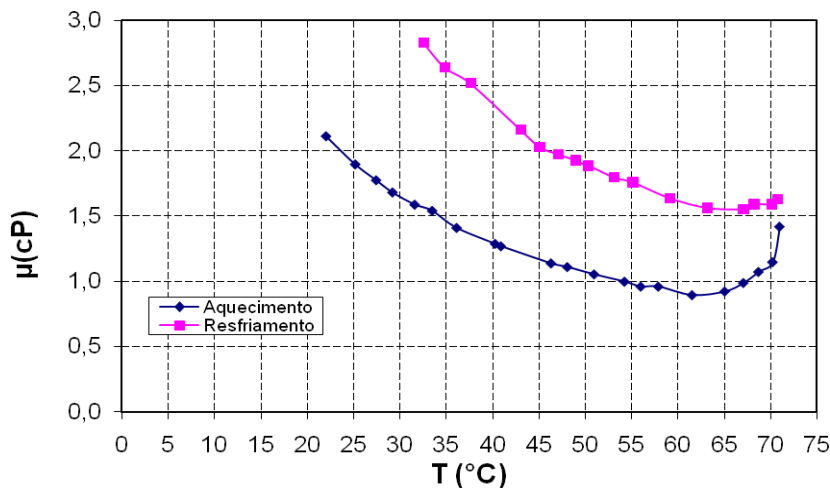


Fig. 4. Fenômeno de histerese para o aquecimento e resfriamento do nanofluido de Al_2O_3 em água

Conclusões

1. Tanto a temperatura quanto a concentração volumétrica de nanopartículas são aspectos críticos a analisar para definir o comportamento reológico dos nanofluidos em condições de operação determinadas.
2. O fenômeno de histerese representa um problema na hora de projetar os nanofluidos para operar em sistemas térmicos convencionais. Porém, é possível determinar a temperatura crítica baseado nos parâmetros apresentados neste trabalho, além de outros encontrados na literatura, e assim trabalhar apenas abaixo desta temperatura.

Referências

- CHEVALIER, J.; TILLEMENT, O.; AYELA, F.; Rheological properties of nanofluids flowing through microchannels, *Applied Physics Letters* Vol. 91, 233103, 2007
- 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.
- NAMBURU, P.; KULKARNI, D. P.; MISRA, D.; DAS, D. K.; Viscosity of copper oxide nanoparticles dispersed in ethylene glycol and water mixture, *Experimental Thermal and Fluid Science* Vol. 32, pp. 397–402, 2007.
- NGUYEN, C.T.; DESGRANGES, F.; GALANIS, N.; ROYA, G.; MARÉD, T.; BOUCHER, S.; ANGUE, H.; Viscosity data for Al_2O_3 –water nanofluid—hysteresis: is heat transfer enhancement using nanofluids reliable?, *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 47, Issue 2, pp 103-111, 2008.