

## ANÁLISE NUMÉRICA DO ESCOAMENTO DE NANOFLUIDOS

Douglas Hector Fontes, [douglashfontes@hotmail.com](mailto:douglashfontes@hotmail.com)  
Enio Pedone Bandarra Filho, [bandarra@mecanica.ufu.br](mailto:bandarra@mecanica.ufu.br)  
Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121

**RESUMO:** Este trabalho apresenta uma análise numérica da transferência de calor por convecção de nanofluidos de Ag/água e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/água em escoamento laminar, em um tubo liso reto horizontal, em regime permanente, sob fluxo de calor constante na parede do tubo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Nanofluidos, Convecção, Simulação

**ABSTRACT:** This work presents a numerical analysis of heat transfer by convection of nanofluids of Ag/water and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water in laminar flow, through a horizontal straight smooth tube, considering steady state, with constant heat flux on the wall.

**KEYWORDS:** Nanofluids, Convection, Simulation

### INTRODUÇÃO

A eficiência de equipamentos de transferência de calor é dependente do fluido de transferência de calor utilizado, porém os fluidos comumente utilizados para este fim (água, etileno glicol, óleos, etc.), apresentam pobres propriedades de transferência de calor, quando comparadas com diversos sólidos (metais e óxidos metálicos).

Neste contexto, para obter fluidos com melhores propriedades de transferência de calor, muita pesquisa tem sido realizada em um novo conceito, que é o de nanofluidos.

O termo nanofluido, denominado por Choi and Eastman (1995), refere-se à nanopartículas (partículas sólidas de 1 a 100 nm) dispersas em um fluido base, que normalmente é um fluido convencional de transferência de calor.

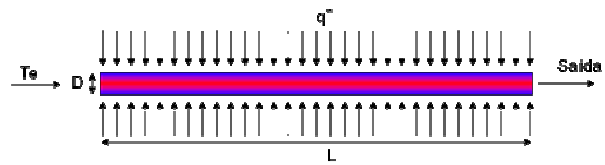
Resultados experimentais têm mostrado um aumento expressivo na condutividade térmica de nanofluidos, como no trabalho de Eastman *et al.* (2001). A motivação deste trabalho decorre do fato de que os incrementos obtidos nas propriedades térmicas dos nanofluidos superam os valores determinados por meio de correlações teóricas clássicas.

A análise numérica de nanofluidos se torna importante, pois a partir das correlações para a avaliação das propriedades térmicas dos nanofluidos, pode-se realizar estudo preliminar e comparativo de um resultado experimental e também entender fenômenos que ocorrem a nível nanométrico (movimento Browniano, forças de atração entre partículas, etc.). Este trabalho tem o intuito de apresentar uma análise da transferência de calor por convecção de nanofluidos escoando em um tubo circular reto.

### METODOLOGIA

Para a realização da simulação numérica do escoamento de nanofluidos no interior de um tubo circular reto, foram impostas algumas condições. O escoamento foi analisado em condição laminar e hidrodinamicamente desenvolvido,

com fluxo de calor constante na parede do tubo e temperatura constante do fluido na entrada do tubo. Essas condições e as características geométricas podem ser vistas na Fig. (1).



**Figura 1.** Diagrama do problema físico simulado numericamente, com as dimensões e condições de contorno

Na Tab. (1) são apresentados os valores das condições de contorno do problema e as dimensões geométricas.

**Tabela 1.** Dados do Sistema

L [m]	1,00
D [m]	0,01
Re	250
q'' [W/m <sup>2</sup> -K]	4000
Te [°C]	25

As concentrações de nanopartículas de prata (Ag) e alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) em água, utilizadas na simulação foram de 0,5% e 1,0%, para ambas nanopartículas.

### Equações governantes

Para solução do problema as equações da quantidade de movimento em coordenadas cilíndricas, na direção z (ao longo do tubo), Eq. (1) e a equação da energia, Eq. (2), foram utilizadas.

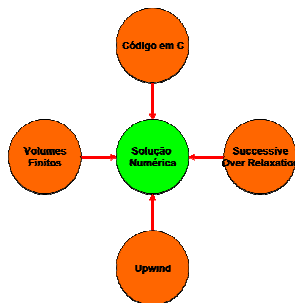
$$\frac{\partial v_z}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) v_z = \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + g_z + \nu \nabla^2 v_z \quad (1)$$

$$\rho c_p \left[ \frac{\partial T}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla) T \right] = k \nabla^2 T + \mu \left[ 2(\varepsilon_{rr}^2 + \varepsilon_{\theta\theta}^2 + \varepsilon_{zz}^2) + \varepsilon_{\theta z}^2 + \varepsilon_{rz}^2 + \varepsilon_{r\theta}^2 \right] \quad (2)$$

Onde:  $v_z$  é a velocidade na direção  $z$ ,  $T$  é a temperatura,  $\rho$  é a massa específica do fluido (nanofluido),  $c_p$  é o calor específico do fluido,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica,  $g_z$  é a gravidade na direção  $z$ ,  $k$  é a condutividade térmica do fluido,  $\varepsilon_{rr} = \frac{\partial v_r}{\partial r}$ ,  $\varepsilon_{zz} = \frac{\partial v_z}{\partial z}$ ,  $\varepsilon_{\theta\theta} = \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_\theta}{\partial \theta} + v_r \right)$ ,  $\varepsilon_{rz} = \frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r}$ ,  $\varepsilon_{r\theta} = \frac{1}{r} \left( \frac{\partial v_r}{\partial \theta} - v_\theta \right)$ ,  $\varepsilon_{\theta z} = \frac{1}{r} \frac{\partial v_z}{\partial \theta} + \frac{\partial v_\theta}{\partial z}$ .

### Procedimento numérico

As equações governantes, Eq. (1) e Eq. (2), foram discretizadas pelo método dos volumes finitos, a solução das equações discretizadas foi obtida a pelo método iterativo de Gauss-Seidel, e o programa foi desenvolvido em linguagem de programação C. O procedimento numérico é mostrado de forma simplificada na Fig. (2).



**Figura 2.** Diagrama simplificado do procedimento numérico

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a validação do código foi simulado o escoamento (campo de velocidades e temperatura) primeiramente com água pura, para as condições da Tab. (1) e foi calculado o coeficiente de transferência de calor por convecção, a simulação realizada com a água apresentou concordância com as teorias de transferência de calor, Incropera e De Witt (2008). De forma análoga, na simulação dos nanofluidos (prata e de alumina com concentrações de 0,5% e 1,0) foi resolvido o campo de temperaturas e de velocidades e calculado os coeficientes de transferência de calor por convecção, comparando-os com o coeficiente de transferência de calor por convecção da água. Na Tab. (2) são apresentados os resultados obtidos do incremento do coeficiente de transferência de calor por convecção para os nanofluidos analisados, em relação à

água.

**Tabela 2.** Incremento do h

(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,5%)	1,48%
(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,0%)	2,96%
(Ag 0,5%)	1,53%
(Ag 1,0 %)	3,08%

### CONCLUSÃO

A dispersão de nanopartículas (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> e Ag) em água incrementou o coeficiente de transferência de calor por convecção, este incremento é inferior aos resultados experimentais descritos na literatura, devido à utilização de modelos teóricos clássicos (que são conservadores, quanto às propriedades térmicas de nanofluidos). Dado este fato a utilização de nanofluidos como fluidos de transferência de calor é uma possível solução para obtenção de trocadores de calor mais eficientes.

### AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Universidade Federal de Uberlândia, às agências financiadoras CAPES, CNPq e FAPEMIG, pelo apoio financeiro, ao professor Dr. Enio Pedone Bandarra Filho, pelo incentivo e apoio à pesquisa e ao professor Dr. Elie Luis Martínez Padilla, que muito ajudou na elaboração do código computacional.

### REFERÊNCIAS

- 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., Li, S., Yu, W., & Thompson, L. J. (2001). "Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles". *Applied Physics Letters*, 78(6), 718.

Incropera, F.P. e De Witt, D.P., 2008, "Fundamentos de transferência de calor e de massa", Ed. LTC, Rio de Janeiro, Brasil.

### DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso, contido neste artigo.