

## VALIDAÇÃO DO MODELO DE LATTICE-BOLTZMANN A VÁRIOS TEMPOS DE RELAXAÇÃO PARA ESCOAMENTO EM TORNO DE CILINDROS

**Guilherme E. Haverroth, Rodrigo Surmas e Luiz A. Hegele**

UFSC, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas, LMPT

Campus Universitário, Bairro Trindade, Caixa Postal 476, CEP 88040-900, Florianópolis, SC

E-mail para correspondência: [haverroth@lmpt.ufsc.br](mailto:haverroth@lmpt.ufsc.br), [surmas@lmpt.ufsc.br](mailto:surmas@lmpt.ufsc.br), [hegele@lmpt.ufsc.br](mailto:hegele@lmpt.ufsc.br)

### Introdução

O estudo da formação e interferência de vórtices provocados por cilindros imersos em um escoamento encontra sua importância na busca da compreensão e desenvolvimento de modelos computacionais para solução de escoamentos como o Modelo de lattice-Boltzmann a Vários Tempos de Relaxação. É ainda foco de interesse devido a sua estreita ligação com problemas reais de engenharia como o escoamento em torno de *risers* de plataformas de petróleo e pilares de pontes. O presente estudo foi limitado ao caso de um cilindro bidimensional em um escoamento monofásico e incompressível.

### Objetivos e Metodologia

O escoamento em torno de cilindros com número de Reynolds  $Re$  superior a 45 induz o aparecimento de vórtices imediatamente após o corpo, formando a chamada esteira de vórtices de von Kármán. Os vórtices são gerados devido à diferença de pressão no escoamento ao longo de sua superfície e da consequente formação da zona de recirculação à jusante do corpo (Fox e McDonald, 2001). O desprendimento dos vórtices acontece de forma oscilatória, fazendo com que o cilindro fique sujeito à ação de forças dinâmicas transversais ao escoamento, também chamadas forças de sustentação. As forças de sustentação atuam de maneira que o cilindro vibre com frequências ligadas às frequências de desprendimento dos vórtices. Estas por sua vez são expressas através do número de Strouhal  $St$ . Também sofre influência dos vórtices a força de arrasto à qual está submetido o cilindro, que se torna oscilatória e induz solicitações no corpo sólido paralelas à direção de escoamento. A extração de óleo em águas profundas utiliza grupos de tubos metálicos conectando os pontos de perfuração e as plataformas flutuantes na superfície. Estes tubos metálicos, chamados *risers*, têm muitas vezes vários metros de comprimento e estão sujeitos a vários tipos de regimes de escoamento ao longo de todo o seu comprimento. As forças induzidas na estrutura pelo movimento das águas oceânicas podem causar vibrações indesejadas (devido à característica oscilatória do escoamento) e até mesmo choques entre os tubos, levando a uma diminuição da vida média dos *risers*. O estudo da interferência das esteiras formadas pelo escoamento de um fluido ao redor de dois cilindros tem aplicação prática na previsão das principais forças atuantes em um pequeno grupo de tubos (Surmas et al., 2003).

O método de Boltzmann para redes usa a equação de transporte de Boltzmann para a resolução dos problemas da mecânica dos fluidos, em contraste com os métodos convencionais da dinâmica dos fluidos computacional que obtêm variáveis como pressão e velocidade pela resolução numérica da equação de Navier-Stokes no tempo e no espaço. A equação de lattice-Boltzmann descreve a evolução da função distribuição de densidade de partículas ocupando um dado sítio com determinada velocidade. O uso do método de Boltzmann para redes tem despertado a atenção da comunidade científica pela sua facilidade de implementação e paralelização já que o método é explícito e local (Luo, 2000).

### Equações

A equação generalizada de lattice-Boltzmann, também conhecida como Método dos Momentos, foi proposta por d'Humières em 1992. D'Humières adicionou graus de liberdade à distribuição de equilíbrio, retirando assim o vínculo de existir apenas *um* tempo de relaxação para o equilíbrio. A equação de evolução para o modelo proposto por d'Humières é a seguinte:

$$N_i(\vec{x} + \vec{c}_i, t + 1) = N_i(\vec{x}, t) - \sum_j \Lambda_{ij} [N_j(\vec{x}, t) - N_j^{eq}(\vec{x}, t)] \quad (1)$$

a qual nos diz que as partículas de fluido da direção  $i$  do sítio  $\vec{x}$  no tempo  $t$  da rede,  $N_i(\vec{x}, t)$ , foram relaxadas para um equilíbrio previamente definido  $\vec{N}^{(eq)}$ . Para recuperar as equações de Navier-Stokes, deve-se conservar a densidade e a quantidade de movimento durante a fase de colisão de modo que:

$$\sum_i N_i = \sum_i N_i^{eq} = \rho, \quad (2)$$

$$\sum_i N_i c_{i\alpha} = \sum_i N_i^{eq} c_{i\alpha} = \rho u_\alpha, \quad (3)$$

onde  $\rho$  é a densidade e  $u_\alpha$  é a componente  $\alpha$  da velocidade.

## Resultados e Conclusões

A Fig.1 e Fig.2 apresentam, respectivamente, os resultados obtidos para o coeficiente de arrasto  $Cd$  e o número de Strouhal  $St$  em função de  $Re$ . Os resultados obtidos com o Modelo de lattice-Boltzmann a vários tempos de relaxação para escoamento em torno de corpos cilindros são muito satisfatórios já que se observa boa concordância com demais resultados encontrados na literatura. Destacam-se os resultados obtidos para o número de Strouhal onde praticamente não há diferenças entre os resultados obtidos pelo presente trabalho e os resultados obtidos por Surmas et al. (2003).

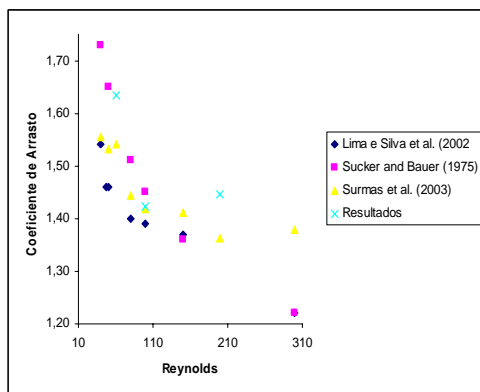


Fig.1 – Coeficiente de arrasto para um cilindro em escoamento monofásico pelo Método dos Momentos.

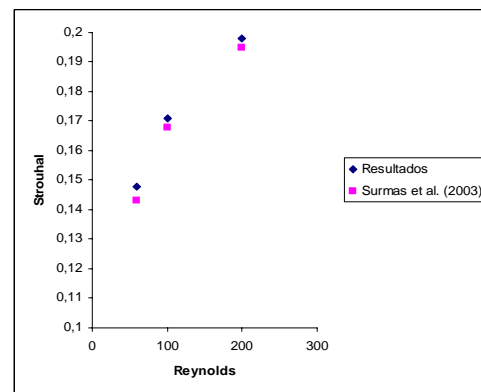


Fig.2 – Número de Strouhal para um cilindro em escoamento monofásico pelo Método dos Momentos.

Computacionalmente o Modelo de lattice-Boltzmann a vários tempos de relaxação é mais custoso, dependendo cerca de 10 a 15% mais tempo de simulação em relação ao modelo a um único tempo de relaxação. Entretanto o modelo utilizado é muito mais estável e possibilita o uso de menores redes e maiores velocidades.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte prestado.

## Referências Bibliográficas

- Fox, R. W. & Mcdonald, A. T., “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, LTC Editora, Edição 5ª, Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- D’Humières, D., “Generalized Lattice Boltzmann Equations”, Prog.Aeronaut. Astronaut., 159, 450-458 (1992).
- Luo, L. S., “The Lattice-Gas and Lattice Boltzmann Methods: Past, Present and Future”, The 4<sup>th</sup> International Conference on Applied Computational Fluid Dynamics, Pequim, China, 17-20 de outubro de 2000.
- Surmas, R., Santos, L.O.E., Philippi, P.C., “Flow Interference in Bluff Body Wakes”, Lecture Notes In Computer Science, v. 2657, p. 967-976, 2003.