

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

## O Método do Reticulado de Boltzmann Aplicado na Simulação Numérica do Escoamento em Canal com Obstáculo

Emilly Zucunelli Krepkij<sup>1</sup>

Eduarda Simonis Gavião<sup>2</sup>

Alunas de Engenharia Eletrônica, UTFPR, Toledo, PR

Jocelaine Cargnelutti<sup>3</sup>

Vanderlei Galina<sup>4</sup>

Departamento de Matemática, UTFPR, Toledo, PR

O estudo de caso deste trabalho é governado pelas equações de águas rasas e trata-se de um problema clássico na Engenharia Hidráulica [1]. A água escoar ao redor de um cilindro, localizado perpendicularmente no fundo e no centro do canal. O objetivo deste trabalho é analisar o comportamento da profundidade e velocidade da água passando ao redor do cilindro e verificar a captura dos efeitos da turbulência, por meio do método do reticulado de Boltzmann (LBM) com múltiplos tempos de relaxamento (MRT).

A simulação numérica foi obtida por meio do LBM-MRT. A equação governante é [2],

$$f_\alpha(\vec{x} + \vec{e}_\alpha \Delta t, t + \Delta t) - f_\alpha(\vec{x}, t) = -\left(M^{-1}\hat{S}\right)_{\alpha i} (m_i - m_i^{eq}) + \frac{\Delta t}{N_\alpha e^2} e_{\alpha i} F_i(\vec{x}, t), \quad (1)$$

onde  $M$  é a matriz que transforma vetores do espaço das velocidades em vetores de momentos,  $m_i$  são as funções distribuição no espaço dos momentos, onde  $|m\rangle = M|f\rangle$ ,  $m_i^{eq}$  são as funções distribuição de equilíbrio no espaço dos momentos e  $\hat{S}$  é uma matriz diagonal.

As quantidades físicas de interesse, a profundidade e a velocidade da água (2),

$$h(\vec{x}, t) = \sum_\alpha f_\alpha(\vec{x}, t) \quad e \quad u_i(\vec{x}, t) = \frac{1}{h(\vec{x}, t)} \sum_\alpha e_{\alpha i} f_\alpha(\vec{x}, t). \quad (2)$$

A incorporação da turbulência é feita na equação do LBM-MRT (1), por meio de (3). Utilizou-se a simulação de grandes escalas (LES) e o modelo de Smagorinsky [2],

$$\tau_t = \tau/2 + \frac{1}{2} \sqrt{\tau^2 + \frac{18C_s^2}{e^2 h} \sqrt{\Pi_{ij}\Pi_{ij}}}. \quad (3)$$

O comprimento do canal é  $L_x = 4m$ , a largura é  $L_y = 2m$ , a vazão na entrada é  $Q = 0,248 m^3/s$ , a altura da água na saída é  $h = 0,185m$ , a declividade do fundo

<sup>1</sup>ekrepkij@alunos.utfpr.edu

<sup>2</sup>doardagaviao@hotmail.com

<sup>3</sup>jocelainecargnelutti@gmail.com

<sup>4</sup>vanderleigalina@gmail.com

do canal é  $\partial z_b / \partial x = -6,25 \times 10^{-4}$  na direção do escoamento. Na simulação utilizou-se  $\Delta x = \Delta y = 0,035 \text{ m}$ ,  $\Delta t = 0,007 \text{ s}$  e o parâmetro de relaxamento,  $\tau = 0,60$ . O número de iterações realizadas foi de 40000, correspondente a 280 segundos de medição, suficientes para atingir o regime permanente.

Na Figura 1, tem-se o perfil da profundidade da água no meio do canal e na direção do escoamento para  $\tau = 0,60$ , e os dados experimentais. O erro relativo na simulação é menor do que 1% no decorrer de todo o canal. Na Figura 2(a), observa-se a profundidade da água e na Figura 2(b) tem-se a velocidade da água na direção do escoamento.

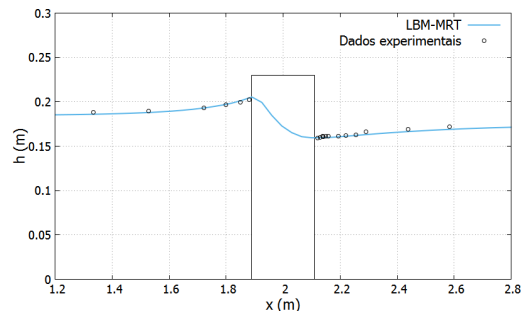


Figura 1: Perfil da profundidade da água no centro do canal e na direção do escoamento.

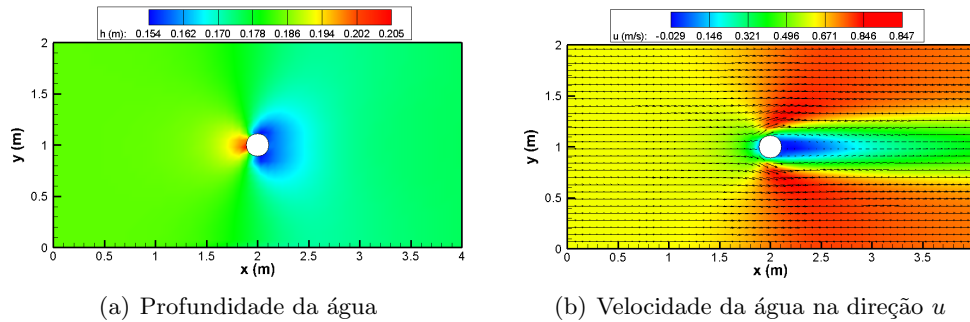


Figura 2: Solução numérica para o escoamento de água com  $\tau = 0,60$ .

Observando-se a concordância obtida com os dados experimentais, tem-se que o LBM-MRT mostrou-se eficaz na simulação proposta. Pretende-se, futuramente, paralelizar o código deste problema e ampliar a pesquisa para problemas com obstáculos submersos.

## Referências

- [1] B. Yulistiyanto. Flow around a cylinder installed in a fixed-bed open channel. Tese de Doutorado, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 1997.
- [2] J. G. Zhou. *Lattice Boltzmann Method for Shallow Water Flows*. Springer, New York, 2004.