

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DIRETA (DNS) DE CORRENTES DE DENSIDADE E A SUA INTERAÇÃO COM ESTRUTURAS CILÍNDRICAS

Aluna: **Luísa Vieira Lucchese** ([luisa.lucchese@ufrgs.br](mailto:luisa.lucchese@ufrgs.br))

Orientadora: **Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Edith Beatriz Camaño Schettini** ([bcamano@iph.ufrgs.br](mailto:bcamano@iph.ufrgs.br))

## INTRODUÇÃO

→ As correntes de densidade ocorrem quando um fluido se propaga sob outro menos denso por ação da gravidade. Exemplos são tempestades de areia (imagem de fundo) e avalanches, entre outros (Fig. 1).



Fig. 1 – Corrente de densidade gerada pelo atentado ao World Trade Center, em Manhattan, 2001. Foto: Greg Semendinger.

A motivação do presente trabalho é analisar a interação entre correntes de densidade e estruturas cilíndricas, simulando situações em que uma corrente de densidade, no assoalho marinho, impacta sobre estruturas cilíndricas submersas, como emissários e oleodutos [1, 2]. Para tal, foram realizadas Simulações Numéricas Diretas (*Direct Numerical Simulation - DNS*), por meio do código *Incompact3d*, modificado para poder simular uma corrente de densidade e calcular as forças que atuam no cilindro.

O objetivo central deste trabalho é a comparação entre duas condições iniciais e de contorno para configurar a corrente de densidade. As duas configurações utilizadas são: o *lock-exchange*, em que o fluido mais denso está inicialmente em repouso, e a entrada constante de fluido com sedimentos em suspensão. Foram analisados alguns casos de diferentes diâmetros de cilindros.

## METODOLOGIA

→ O código computacional *Incompact3d* ([code.google.com/p/incompact3d/](http://code.google.com/p/incompact3d/)), código livre, resolve as equações da Continuidade, Navier-Stokes e transporte difusivo-convectivo, com diferenças finitas compactas de 6<sup>a</sup> ordem. O código foi modificado para simular as condições iniciais e de contorno utilizadas. As equações adimensionalizadas estão dadas por:

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0,$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\nabla p + \phi \mathbf{e}_g + \frac{1}{\sqrt{Gr}} \nabla^2 \mathbf{u},$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \nabla \cdot (\phi \mathbf{u}) = \frac{1}{\sqrt{GrSc}} \nabla^2 \phi,$$

em que  $u_b = \sqrt{g\Delta\rho/\rho}$  é a velocidade de fluabilidade, o número de Schmidt  $Sc = \nu/k$  é a relação entre viscosidade cinemática  $\nu$  e difusividade  $k$ ,  $Y_f = h$  é metade da altura do canal,  $\phi = (\rho - \rho_{min})/(\rho_{max} - \rho_{min})$  é a massa específica adimensional,  $\mathbf{u}$  é a velocidade,  $p$  é a pressão, e  $\mathbf{e}_g$  é o vetor unitário (0,-1) na direção da gravidade. Foi utilizado o número de Grashof ( $Gr$ ) como parâmetro característico de correntes de densidade, já que mostra a relação entre as forças de empuxo e as viscosas:

$$Gr = \frac{u_b^2 h^2}{\nu^2} \cong Re^2$$

em que  $Re$  é o número de Reynolds.

Na Fig. 2 são apresentadas as condições iniciais e de contorno. A estrutura cilíndrica permaneceu fixa e separada por uma distância constante do fundo ( $C_{ey}$ ) durante uma mesma simulação. A representação do obstáculo foi feita com o Método das Fronteiras Imersas (IBM), por meio da inserção de um termo de força.

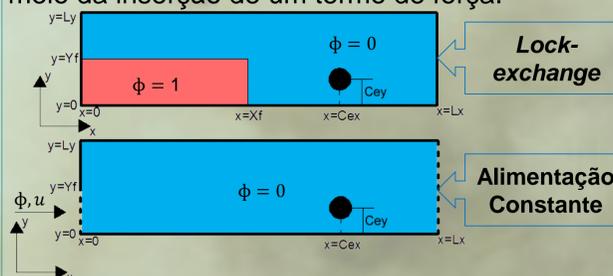


Fig. 2 – Condições iniciais e de contorno. A linha tracejada indica condição de contorno de entrada ou saída, e, a linha cheia, de não-deslizamento.

## RESULTADOS

→ A validação foi feita a partir de um trabalho numérico [2] com condição inicial de *lock-exchange*. Foram analisados os coeficientes de arrasto e sustentação, para valores diferentes de  $C_{ey}$ , apresentando um ótimo ajuste. Na Fig. 3 e na Fig. 4, apresentam-se o caso em que  $C_{ey} = 0,225$ .

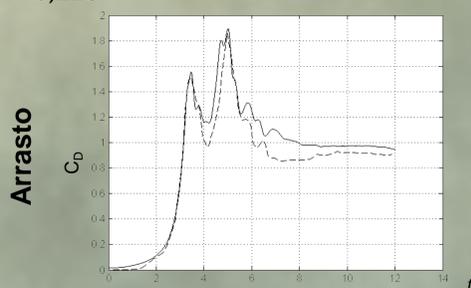


Fig. 3 – Coeficiente de arrasto do presente trabalho (linha cheia) e de Gonzalez-Juez et al. (2009) [2] (linha tracejada).

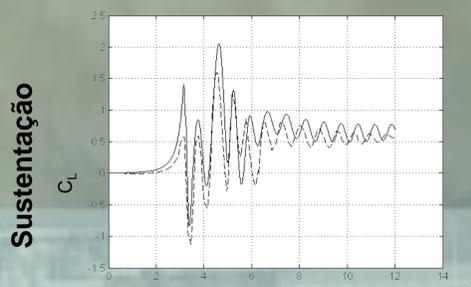


Fig. 4 – Coeficiente de sustentação do presente trabalho (linha cheia) e de Gonzalez-Juez et al. (2009) [2] (linha tracejada).

Na Fig. 5, são mostrados os vetores dos coeficientes hidrodinâmicos ao longo do tempo, para a mesma simulação das Figuras 3 e 4.

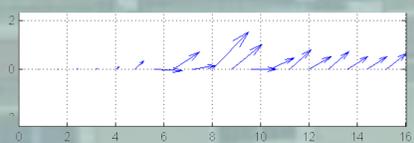


Fig. 5 – Vetores indicando direção e módulo dos coeficientes hidrodinâmicos.

Simularam-se diferentes diâmetros de cilindros ( $D$ ), para uma mesma distância  $G = C_{ey} - D/2$ . As forças de arrasto e sustentação atuantes sobre estes cilindros são apresentadas na Fig. 6.

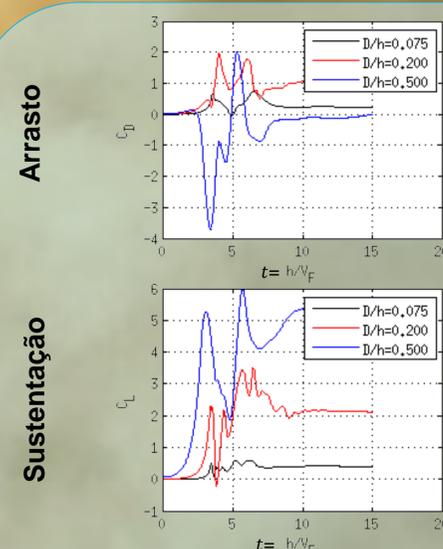


Fig. 6 – Coeficientes hidrodinâmicos ao longo do tempo, para vários diâmetros de cilindros.

Na Fig. 7, mostra-se a evolução temporal da interação de cilindro com corrente de densidade com alimentação constante. Para estas simulações, utilizou-se  $Gr = 4 \times 10^6$  e  $D = 0,1$ .

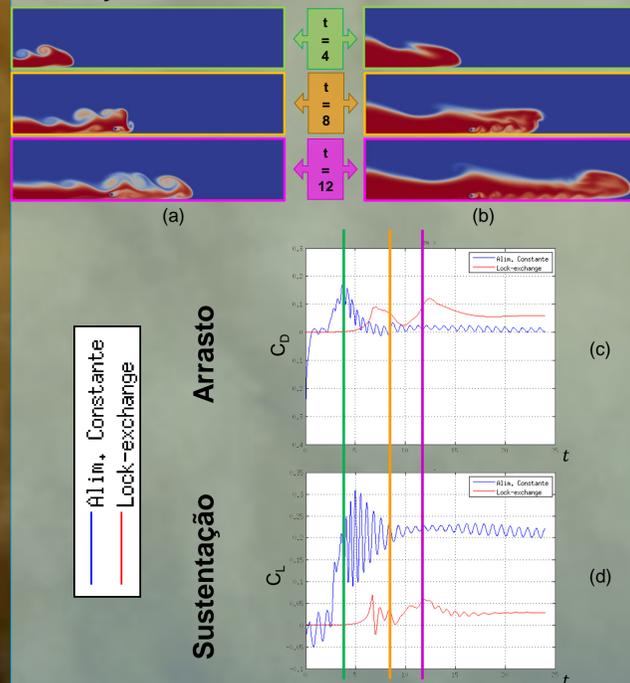


Fig. 7 – Evolução de duas simulações, para lock-exchange (a) e para alimentação constante (b). Abaixo, a variação temporal dos coeficientes de arrasto (c) e sustentação (d), para as mesmas simulações.

## CONCLUSÕES

→ A validação do código foi feita a partir dos coeficientes de arrasto e sustentação, o que permitiu o cálculo dos coeficientes hidrodinâmicos para casos de diâmetros diferentes. As correntes de densidade formadas por *lock-exchange* e por alimentação constante tem características diferentes entre si, sendo que a segunda tende a ser mais energética.

## AGRADECIMENTOS

→ À UFRGS, pela concessão da bolsa de Iniciação Científica à primeira autora.

## REFERÊNCIAS

- [1] LUCCHESI, L. V.; SILVA, V. S. V.; SILVESTRINI, J. H.; SCHETTINI, E. B. C. Análise da interação entre correntes de densidade e estruturas cilíndricas utilizando simulação numérica direta. In: IX ESCOLA DE PRIMAVERA DE TRANSIÇÃO E TURBULÊNCIA, 2014, São Leopoldo. *Anais*. Rio de Janeiro: ABCM, p. [275-282].  
[2] GONZALEZ-JUEZ, E.; MEIBURG, E.; CONSTANTINESCU, G. The interaction of a gravity current with a circular cylinder mounted above a wall: effect of the gap size. *Journal of Fluids and Structures*, v.25, 2009.