

NETT

Núcleo de Estudos em Transição e Turbulência

paz no plural

SIMULAÇÃO NUMÉRICA DA INTERAÇÃO ENTRE CORRENTE DE DENSIDADE E CILINDRO FIXO OU EM VIBRAÇÃO INDUZIDA PELO ESCOAMENTO

Aluno: Vinícios Prestes Morigi (vinicios.morigi@ufrgs.br)

Orientadora: Prof^a Dr^a Edith Beatriz Camaño Schettini (bcamano@iph.ufrgs.br)

INTRODUÇÃO

As correntes de densidade (Fig. 1) são originadas quando um fluido se propaga sob outro menos denso por ação da gravidade.



Fig. 1 – Tempestade de areia na China, um exemplo de corrente de densidade.

Vibrações Induzidas por Vórtices (VIV) são deslocamentos harmônicos da estrutura causados pelo desprendimento de vórtices. O objetivo é analisar a dinâmica da interação da corrente de densidade com uma estrutura cilíndrica (emissários ou oleodutos), comparando a situação de cilindro fixo com a submetido a VIV, para as configurações *lock-exchange* (sedimentos inicialmente represados no canal e em repouso) e alimentação constante (entrada de sedimentos no canal com velocidade constante). Para tanto foi utilizada a simulação numérica direta (DNS) através do código *Incompact3d* modificado para simular uma corrente de densidade e introduzir a VIV. Adota-se, para os casos analisados, um cilindro circular em posição horizontal e perpendicular à direção da corrente de densidade. Variam-se as dimensões e o posicionamento do conduto e são avaliadas as forças que atuam na interação estrutura-corrente de densidade.

METODOLOGIA

O código computacional *Incompact3d* [1], código-livre, resolve as equações da Continuidade, Navier-Stokes e transporte difusivo-convectivo, com diferenças finitas compactas de 6^a ordem [2]. O código foi modificado para simular correntes de densidade, cilindros imersos e VIV. Os parâmetros utilizados para adimensionalizar as equações foram: a velocidade de fluabilidade (u_b), a altura do *lock-exchange* (h = metade da altura do canal simulado), e as massas específicas mínima e máxima (ρ_{min} , ρ_{max}). Estes dois últimos definem uma representação adimensionalizada da concentração (ϕ), onde, ρ é a massa específica. Sendo $Sc = \nu/k$ e a aproximação de Boussinesq válida, as equações estão dadas:

$$u_b = \sqrt{g \Delta \rho / \rho} \quad \phi = \frac{\rho - \rho_{min}}{\rho_{max} - \rho_{min}} \quad Gr = \frac{u_b^2 h^2}{\nu^2} \cong Re^2$$

$$\nabla \cdot u = 0$$

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

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho u = \frac{1}{\sqrt{Gr} Sc} \nabla^2 \rho$$

Para o equacionamento da VIV foi necessário utilizar uma equação diferencial adimensionalizada com os parâmetros físicos do escoamento, obtendo-se:

$$m^a \ddot{y}^a + c^a \dot{y}^a + k^a y^a = C_L(t^a)$$

sendo:

$$y^a = \frac{y}{D}, \dot{y}^a = \frac{\dot{y}}{U_0}, \ddot{y}^a = \frac{\ddot{y}}{U_0^2}, t^a = t \frac{U_0}{D}$$

$$m^a = \frac{m}{0.5 \rho D^2 l}, c^a = \frac{c}{0.5 \rho U_0 D l}, k^a = \frac{k}{0.5 \rho U_0^2 l}$$

Onde m^a é a massa reduzida do sistema, k^a é o coeficiente de rigidez, c^a o coeficiente de amortecimento, \ddot{y}^a , \dot{y}^a e y^a são a aceleração, a velocidade e o deslocamento transversal do cilindro e C_L o coeficiente de sustentação.

A Figura 2 apresenta a condição inicial e de contorno bem como as dimensões. A representação do obstáculo é feita com o Método das Fronteiras Imersas (IBM), por meio da inserção de um termo de força.

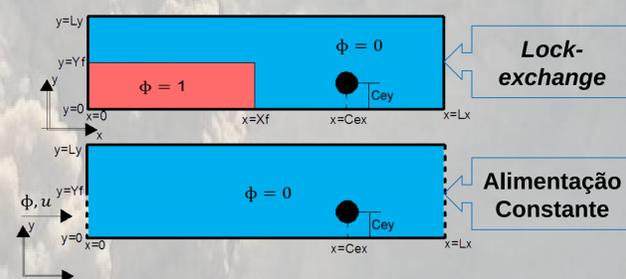


Fig. 2 – Condições iniciais e de contorno. A linha tracejada indica condição de contorno de entrada ou saída, e a linha cheia, de não-deslizamento.

RESULTADOS

Lock-Exchange

Para o caso de *lock-exchange* fixo já foi utilizado um código validado [3], já para os casos de VIV não foi possível fazer a verificação, uma vez que não foram encontrados trabalhos correspondentes. Em todos os casos foi verificada a existência de três fases da interação entre a corrente e o cilindro: impacto, transiente e quase-estável.

A figura 3 mostra a distribuição de concentração em diferentes tempos, para o caso fixo. Foram adotados os parâmetros: $C_{ex} = 12,5$; $C_{ey} = 0,3$ $D = 0,2$ e $Re = 2000$. A figura 4 apresenta os coeficientes de arrasto e sustentação.

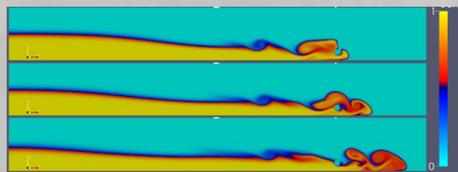


Fig.3 – Distribuição de concentração para cilindro fixo em $t=6,4$, 8 e $10,4$, respectivamente.

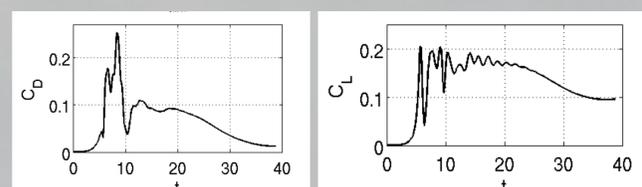


Fig.4 – Coeficientes de arrasto e sustentação para o caso de cilindro fixo, respectivamente.

Para os casos com VIV foram utilizados os mesmos parâmetros geométricos do caso fixo, além dos parâmetros estruturais: $m^a = 4$ e $k^a = 17,55$. A figura 5 apresenta o campo de concentrações para um grau de liberdade, no eixo y (a esquerda) e dois graus de liberdade (a direita).

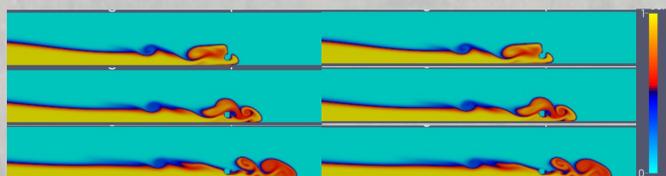


Fig. 5 – Campo de concentração para um (esquerda) e dois graus de liberdade (direita) em $t=6,4$, 8 e $10,4$.

A figura 6 mostra os coeficientes de arrasto e sustentação e a figura 7 os deslocamento do cilindro.

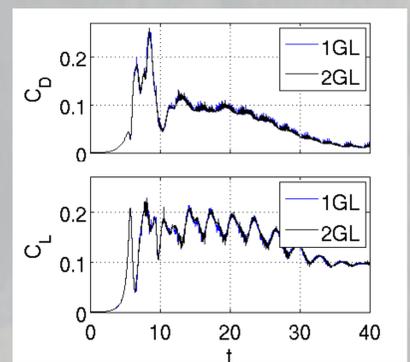


Fig.6 – Coeficientes de arrasto (acima) e sustentação (abaixo) para um (1GL) e dois graus de liberdade (2GL).

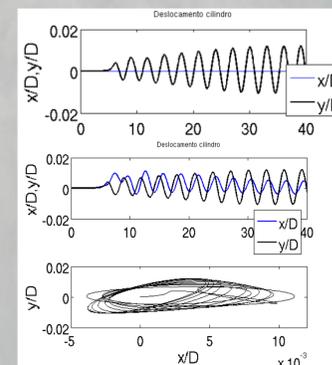


Fig. 7(a) – Deslocamento do cilindro com o tempo em um grau de liberdade.

Fig. 7(b) – Deslocamento do cilindro com o tempo em dois graus de liberdade. Em preto deslocamento vertical, em azul, horizontal.

Fig. 7(c) – Trajetória percorrida pelo cilindro com dois graus de liberdade.

Alimentação constante

A figura 8 mostra os campos de concentrações em diferentes tempo para o caso de um grau de liberdade. Foram adotados os parâmetros: $C_{ex} = 3,5$; $C_{ey} = 0,3$ $D = 0,2$ e $Re = 2000$, para manter a semelhança com o *lock-exchange*.



Fig.8 – Campo de concentração para cilindro com um grau de liberdade em $t=4$, 5 e 6 , respectivamente.

CONCLUSÃO

A ação de uma corrente de densidade sobre uma estrutura cilíndrica foi analisada por meio da simulação numérica 2D. Foi verificada a existência das instabilidades do tipo Kelvin-Helmholtz. O fato de implementar a VIV aumenta a amplitude de oscilação do coeficiente de sustentação na fase quase-estável, assim como também é perceptível um coeficiente de sustentação positivo no instante do impacto. Nos casos estudados, o escoamento, representado pelo campo de concentrações, foi afetado, a jusante do cilindro, de forma diferente para o caso fixo e dos casos em VIV, uma vez que o movimento do cilindro acaba alterando o padrão de desprendimento dos vórtices da esteira de Von Kármán.

AGRADECIMENTO

O autor agradece à UFRGS pela concessão da bolsa de Iniciação Científica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 - Laizet, S., Lamballais, E., 2009. High-order compact schemes for incompressible flows: A simple and efficient method with quasi-spectral accuracy. J. Comp. Phys. 228.
- 2 - Lele, S. K., 1992. Compact finite difference schemes with spectral-like resolution. J. Comp. Phys. 103, pp.16-42.
- 3 - Lucchese, L. V., 2015. Simulação Numérica Direta (DNS) de Correntes de Densidade e a sua Interação com Estruturas Cilíndricas. Salão de Iniciação Científica (UFRGS, Porto Alegre).