

CONDICIONAMENTO DA NORMA L2 PARA O MÉTODO DA FRONTEIRA IMERSA IMPLEMENTADO EM CÓDIGO COMPUTACIONAL 3-D

Sigeo Kitatani Júnior; Aristeu da Silveira Neto

O estudo de problemas de engenharia que envolvem escoamento de fluidos ainda é encarado como um desafio pela engenharia moderna. As equações envolvidas para a solução deste tipo de problema são de difícil solução, devido o problema ter, em sua grande maioria, comportamentos não lineares, sendo somente os casos mais simples, de valor didático, os que possuem solução analítica. Para isto muitas são as propostas de metodologias numéricas e computacionais para solução dos problemas de fluido. Tal deficiência se agrava ainda mais quando o problema a ser estudado envolve geometrias que se movimentam ou se deformam ao longo do tempo, interagindo com o fluido. Neste caso, existe um problema multidisciplinar, em que se deve resolver o problema tanto do fluido quanto da estrutura, denominado problema de fluido-estrutura (*Fluid-structure Interaction* – FSI). Estes problemas são altamente dependentes do tempo; as metodologias utilizadas para resolver tal tipo de problema têm grandes restrições em relação ao passo de tempo utilizado na simulação, à velocidade de deslocamento da estrutura, etc. Metodologias robustas muito utilizadas para resolver tal tipo de problemas são metodologias que utilizam o método da fronteira imersa (*Immersed Boundary Method* - IBM).

O método da fronteira imersa é muito estudado na atualidade e tem a vantagem de usar uma única malha cartesiana uniforme para resolver tanto o problema do fluido como o problema da estrutura, Figura 1(b), enquanto outras metodologias que utilizam, por exemplo, o método dos elementos finitos, faz uso de duas malhas, uma para representar a estrutura e outra para representar o fluido, sendo estas malhas, geralmente, não estruturadas, Figura 1(a). Na verdade, no método da fronteira imersa, a presença da estrutura é simulada utilizando-se o próprio fluido, modificando-se as equações de Navier-Stokes na região de interface entre o fluido e o sólido (Peskin, 1972). Ao longo dos anos, muitas metodologias foram propostas, utilizando o método da fronteira imersa. A diferença entre estes trabalhos se dá na forma de simular o corpo imerso, por exemplo: uso de termo de força calculado a partir de um volume elementar (Mohd-Yusof, 1998); funções de correlação entre a velocidade do fluido na interface e a velocidade da interface (Goldstein et al. 1993); cálculo da tensão superficial na interface, para estudo de escoamentos bifásicos (Unverdi e Tryggvason, 1992; Villar 2008); termo forçante calculado com base em uma partícula de fluido sobre a superfície da interface (Lima e Silva, 2003); etc.

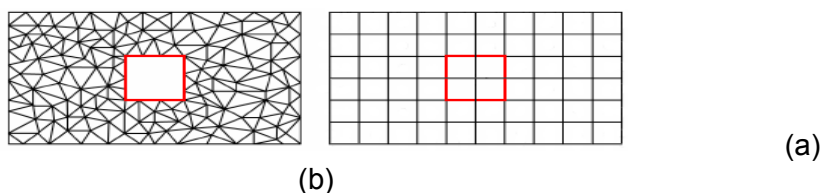


Figura 1- Exemplo de malhas utilizadas para resolver problemas de fluido-estrutura: (a) malha gerada por elementos finitos; (b) malha cartesiana uniforme.

O objetivo do presente trabalho é implementar modificações em um código acadêmico tridimensional; esta ferramenta utiliza: o método da fronteira imersa para representar corpos imersos em escoamento; a abordagem de fluido incompressível; o algoritmo SIMPLEC para resolver problema do fluido - sendo que o solver utilizado para resolver o campo de velocidade é o SOR e o utilizado para resolver o campo de pressão é o MSI. O referido código foi desenvolvido como parte das atividades do doutoramento de Campregher (2005). e utiliza o modelo físico virtual (Lima e Silva, 2003) como proposta de método de fronteira imersa. m tal metodologia faz-se um balanço de quantidade de movimento sobre uma partícula de fluido e impõe-se um termo de força adicional – força lagrangiana - nas equações de Navier-Stokes, Equação 1.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial (u_i u_j)}{\partial x_j} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + f_i \quad (1)$$

Até o momento a modificação proposta foi o condicionamento do termo forçante. Tal modificação se justifica devido o fato de que na proposta original de Campregher o corpo imerso não é bem representado nas primeiras iterações, como mostrado na Figura 2(a). A proposta é balancear a força de forma que se obtenha um campo de escoamento que represente o corpo imerso com mais fidedignidade. O balanço é feito da seguinte forma: calcula-se o escoamento, calcula-se a força imposta e verifica-se norma L2; repete-se o mesmo procedimento até que a norma L2 satisfaça um critério desejado. A partir daí, usa-se este termo forçante com a velocidade inicial e verifica-se novamente o a norma L2. Caso satisfeito, prossegue-se no tempo, caso, não, continua evoluindo o termo de força através da aceleração do escoamento.

Os resultados obtidos com a nova propostas podem ser vistos na Figura 2(b).

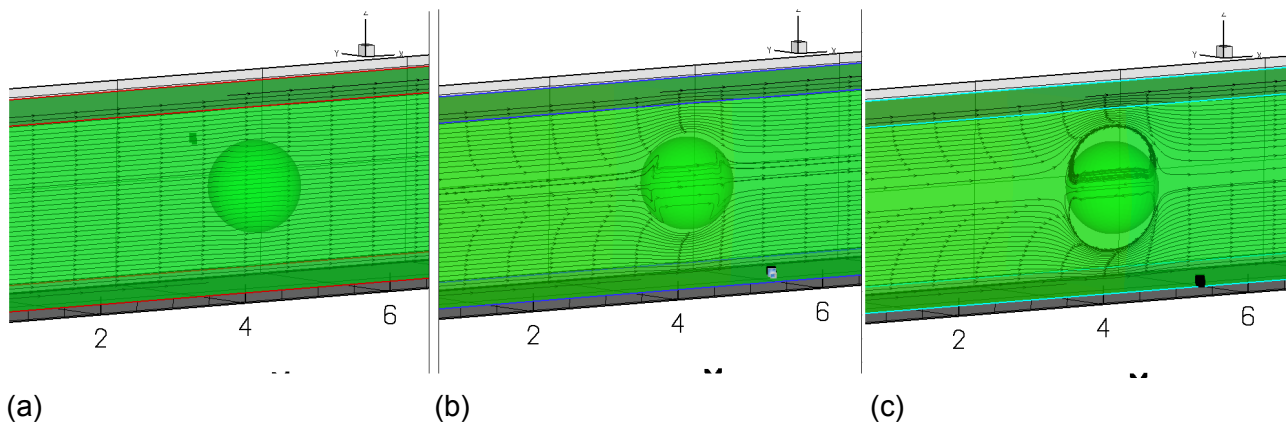


Figura 2 - Resultados de simulação: (a) código original, $t=0s$; (b) condicionado, $t=0s$; (c) condicionado, $t=0,1s$.

A partir destes resultados pode-se ver uma melhoria evidente para a simulação do corpo imerso ao escoamento, na primeira iteração - $t=0s$. No entanto, nota-se que a força é superestimada para o segundo caso, no tempo $0,1s$.

Diante destes resultados, propõe-se modificar o critério de avaliação da força lagrangiana - atualmente utiliza-se a norma L2 – ou mesmo propõe-se implementar novas técnicas de fronteira imersa – por exemplo, a fusão das idéias do MFV com as técnicas chamadas *direct-forcing*.

REFERÊNCIAS

- [1] CAMPREGHER, R. **Modelagem matemática tridimensional para problemas de fluido-estrutura**. 2005. 160p. Tese de doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- [2] GOLDSTEIN, D.; HANDLER, R.; SIROVITCH, L. Modeling a no-slip flow boundary with an external force field. **Journal of Computational Physics**. n.150, p. 354-366. 1993.
- [3] LIMA E SILVA, A. L. F. **Desenvolvimento de implementação de uma nova metodologia para modelagem de escoamentos sobre geometrias complexas: método da fronteira imersa com modelo físico virtual**. 2002. 141 p. Tese de doutorado - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.
- [4] MOHD-YUSOF, J. Development of immersed boundary methods for complex geometries. In: **CTR ANNUAL RESEARCH BRIEFS**, 1998, NASA Ames/Stanford University. p. 325-336.
- [5] PESKIN, C. S. Flow Patterns Around Heart Valves: A numerical method. **Journal of Computational Physics**. n.10. p.252-271. 1972.
- [6] UNVERDI, S.; TRYGGVASON, G.A front-tracking method for viscous, incompressible, multi-flows. **Journal of Computational Physics**. n. 100, p 25-37. 1992.