

ESTRUTURA DE DADOS PARALELA E COM REFINAMENTO ADAPTATIVO

Marcos A. S. Lourenço; Aristeu da Silveira Neto; Elie L. M. Padilla.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho descreve a implementação de uma estrutura de dados na forma de uma árvore octonária para aplicação na discretização e solução de equações parciais diferenciais utilizando o método de volumes finitos. Esse tipo de estrutura apresenta um bom balanceamento de carga computacional quando distribuída a partir de uma curva de preenchimento (space filling curve). O objetivo da criação dessa estrutura é o de, futuramente, simular escoamentos com as equações de Navier-Stokes aplicadas à um fluido incompressível.

Um dos objetivos é utilizar essa estrutura para simular os escoamentos interno e externo ilustrados na Figura 1. Trata-se de um escoamento do tipo Taylor-Couette ocorrendo no interior do cilindro externo acoplado com um possível escoamento de Poiseuille no cilindro interno e ao redor do cilindro externo.

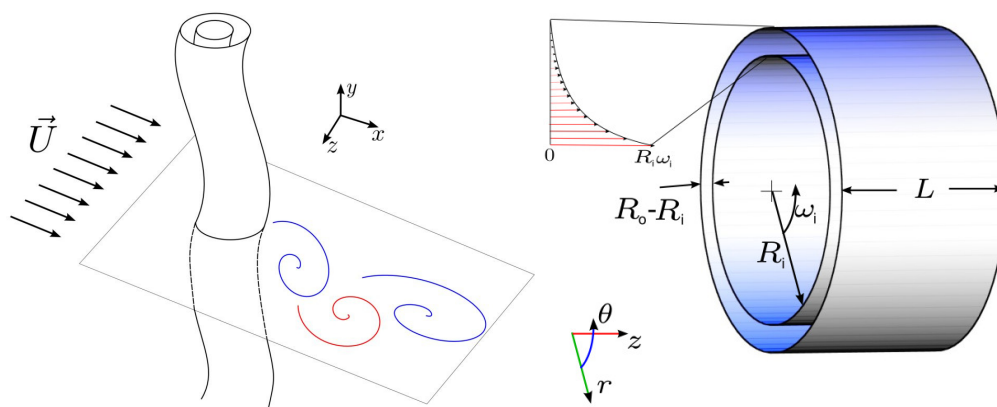


Figura 1 - Diagrama esquemático mostrando escoamento ao redor de um cilindro e escoamento de Taylor-Couette.

Assim como em grande parte dos fenômenos físicos associados à mecânica dos fluidos, o problema apresentado é caracterizado pela necessidade de utilizar diferentes resoluções de discretização em determinadas regiões do domínio de simulação. Muitas vezes as pequenas escalas se localizam apenas em regiões específicas e de exígua extensão se comparadas ao domínio total de solução. Para o caso da Figura 1, o escoamento nas proximidades das paredes dos cilindros pode possuir efeitos viscosos muitas vezes tão mais pronunciados do que aquele ocorrendo no restante do domínio.

Uma maneira mais inteligente e econômica de se determinar bons resultados em tais problemas seria efetuar um refinamento local nos pontos de interesse, realizando um Refinamento Adaptativo de Malha (AMR). Intuitivamente, quanto mais otimizada a distribuição dos nós/volumes em uma discretização paralela, menor será o tempo de solução computacional. Dessa forma, tendo em vista que os tipos de malha e de discretização influenciam diretamente no tempo e qualidade da simulação, o objetivo deste trabalho é o de apresentar uma metodologia de discretização para AMR alternativa, baseada em uma estrutura de árvore octonária, ou octree, como é mais conhecida na literatura.

Embora a implementação seja diferente em alguns aspectos, essa estrutura se assemelha àquela empregada nos trabalhos de Popinet & Rickard (2007), na forma de uma árvore octonária, e se apresenta bem diferenciada de outras baseadas em blocos ou "patches" superpostos, como em (Villar, 2007) e no aplicativo FLASH (Fryxell et al., 2000).

Detalhes da criação da malha, assim como alguns aspectos do solver do sistema linear de equações empregado são apresentados em Lourenço et al. (2010). Dados os pontos e o nível de refinamento desejado, a estrutura que teremos após o processo de discretização, embora 3D, é semelhante à estrutura bidimensional da Figura 2.

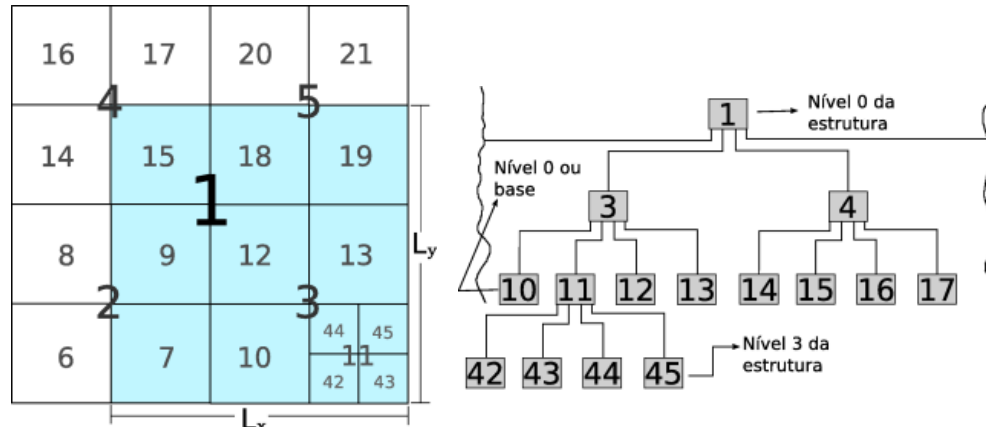


Figura 2. Malha cartesiana dimensional base 3x3 refinada dentro da estrutura quadtree.

Tanto a posição quanto as dimensões de cada célula na Figura 2 podem ser determinadas apenas através do inteiro que a representa. Neste trabalho esses inteiros são armazenados em uma hashtable (Press et al., 2007). Entre algumas alternativas testadas essa apresentou o melhor desempenho.

RESULTADOS PRELIMINARES

Como exemplo de utilização dos métodos propostos temos o refinamento ao redor de uma casca cilíndrica. Para a malha cartesiana de referência será utilizado um cilindro estático, alocado em um único processador, enquanto que para o refinamento utilizando a estrutura octree vamos utilizar um cilindro deformado, com o domínio particionado em 16 processadores. A Figura 3 ilustra uma malha cartesiana com refinamento localizado ao redor de uma casca cilíndrica no centro do domínio de dimensão $(3,2, 1,0, 1,6)$ com $158 \times 52 \times 88$ volumes nas direções x , y e z respectivamente. O corte foi realizado em um dos quadrantes da figura.

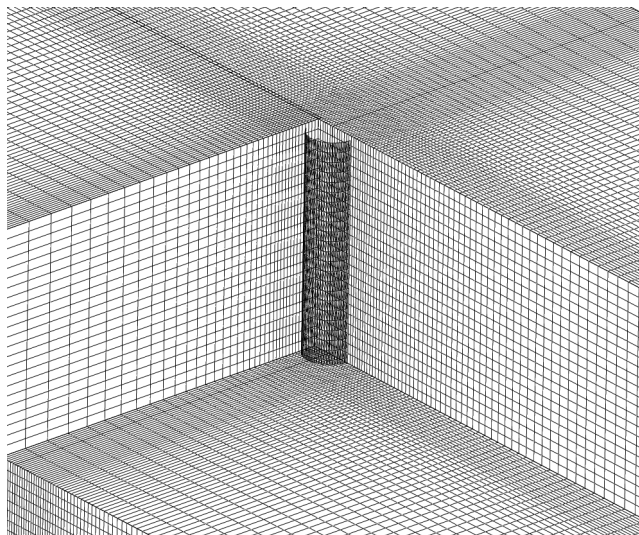


Figura 3 - Malha cartesiana refinada ao redor de uma casca cilíndrica.

Esse mesmo domínio foi utilizado no particionamento da malha octree, mostrado na Figura 4, com 5 níveis de refinamento utilizando como critério a casca cilíndrica e um nível base com $32 \times 10 \times 16$ volumes. Pode ser notado que a região de interesse, ao redor do cilindro, consegue atingir a mesma resolução com um número muito menor de células. Embora na maioria das simulações a região de interesse seja muito maior, devido principalmente a particularidades do escoamento para uma geometria móvel, a diferença entre o número de volumes utilizados nas duas aproximações tende a se tornar cada vez maior.

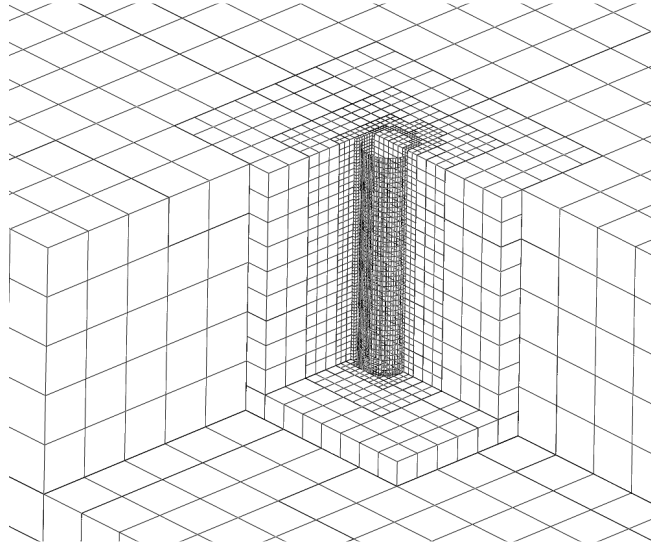


Figura 4 - Malha octree refinada ao redor de uma casca cilíndrica.

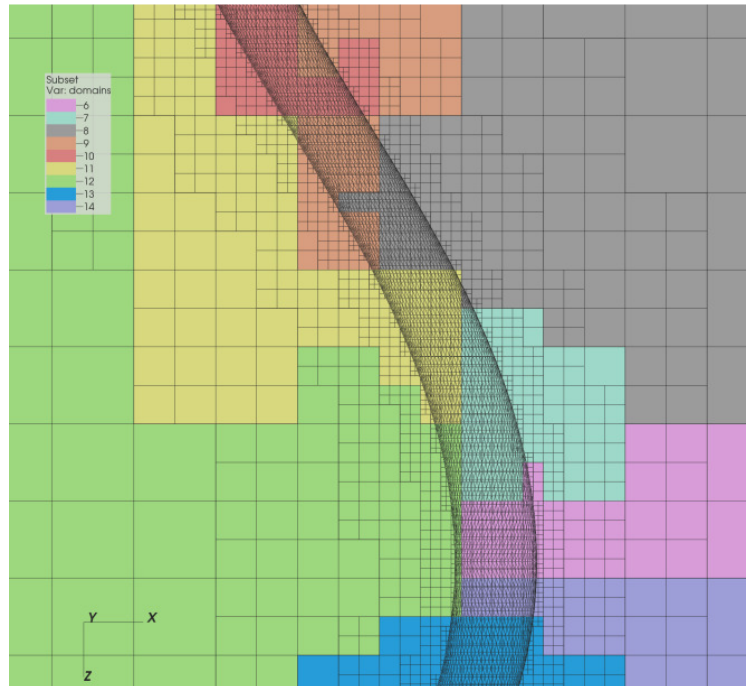


Figura 5 - Corte em uma malha octree refinada ao redor de uma casca cilíndrica com deslocamento.

Um caso com geometria móvel é apresentada na Figura 5. A casca cilíndrica da Fig. 4 foi deformada e o domínio anterior foi particionado em 16 processadores. O corte foi realizado no centro da malha, interseccionando apenas as partes relacionadas aos processadores 6 a 14, como ilustrado na figura. O caso da Figura 3 utilizou cerca de 7×10^3 células com o cilindro estático. Se o cilindro fosse deformado, um número maior de volumes seria necessário para manter a mesma resolução ao redor do cilindro. Por outro lado, as malhas apresentadas nas Figuras 4 e 5, utilizando a nova estrutura, tem cerca de 7×10^2 volumes, sem o indesejável efeito de stretching mencionado por Botta e Wubs (1993).

CONCLUSÃO

Foi apresentada uma metodologia para criação e utilização de uma malha octree com possibilidade de refinamento localizado. Os testes realizados até o presente momento apresentaram uma grande redução no custo computacional e no balanceamento de carga para processamento paralelo. Essas características são fundamentais para a realização de simulações de grande porte, como aquelas envolvendo altas razões de aspecto, e estão sendo adaptadas para um código com malha cartesiana retilinear desenvolvido por um dos autores (Padilla, 2004).

REFERÊNCIAS

- PADILLA, E. L. M.; NETO, A. da S. **Validação de um código numérico 3d para análise de problemas de dinâmica dos fluidos**, POSMEC - Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, v. 14, 2004.
- LOURENÇO, M. A. S.; PADILLA E. L. M.; SILVEIRA NETO, A. **Implementação de uma estrutura octonária para refinamento adaptativo de malhas cartesianas**, 20º POSMEC, 2010, Uberlândia - MG. Anais do 20º POSMEC, 2010. pgs. 1-4.
- VILLAR, M. M. **Análise numérica detalhada de escoamentos multifásicos bidimensionais**, Tese (Doutorado) — Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2007.
- POPINET, S.; RICKARD, G. **A tree-based solver for adaptive ocean modelling**. *Ocean Modelling*, v. 16, n. 3-4, p. 224 – 249, 2007. ISSN 1463-5003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/B6VPS-4MC14YJ-1/2/7a845021b7e7874aa500e899a00a0b5b>.
- W. H. Press et al., **Numerical Recipes 3rd Edition: The Art of Scientific Computing**, 3ed, Cambridge University Press, 2007.
- E. F. F. Botta; F. W. Wubs, **The convergence behaviour of iterative methods on severely stretched grids**, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, John Wiley & Sons, Ltd, v. 36, n. 19, p. 3333–3350, 1993. ISSN 1097-0207.
- E.L.M. Padilla, A.L. Martins, A. Silveira Neto, **Large-Eddy simulation of the three-dimensional unstable flow in a lid-driven cavity**, 18th International Congress of Mechanical Engineering, Ouro Preto, Proceedings of COBEM 2005, v. 1, p. 1-8, 2005.