

SIMULAÇÃO NUMÉRICA E COMPARAÇÃO COM DADOS ANALÍTICOS DO ESCOAMENTO PLENAMENTE DESENVOLVIDO EM DUTO CILÍNDRICO

F.M. Fontan, D.A. Oliveira, C.R. Maliska

Departamento de Engenharia Mecânica, SINMEC - Laboratório de Simulação Numérica em Mecânica dos Fluidos e Transmissão de Calor, UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina, C.P. 476, CEP 88040-900, Florianópolis-SC, Brasil

Palavras chave: escoamento interno, funções de interpolação, simulação simétrica ao eixo.

Resumo

O rápido crescimento da capacidade de armazenamento dos computadores pessoais, bem como sua velocidade de processamento, torna possível a análise numérica de fenômenos físicos nas mais diversas áreas do conhecimento. Em mecânica dos fluidos, o estudo de fenômenos numericamente teve maior ênfase, principalmente, a partir do impulso dado pela indústria aeroespacial nos anos 80.

Hoje, o estudo numérico de problemas físicos reais torna-se possível e viável. O estudo de escoamento de fluidos em dutos desperta grande interesse por parte dos analistas numéricos devido à sua larga aplicação industrial, científica e tecnológica. Estudos numéricos sobre cavitação, por exemplo, em dutos industriais das mais diferentes geometrias recebem grande atenção por parte dos projetistas estruturais.

Objetiva-se sugerir as etapas a serem seguidas quando da aplicação da simulação numérica como ferramenta de análise de um escoamento em um duto cilíndrico. Desde as simplificações em relação ao sistema físico real, estudo de malhas, variação das funções de interpolação, até a etapa de pós-processamento e análise dos dados produzidos pelo código escolhido, são abordados neste texto.

O problema escolhido foi o do escoamento simétrico ao eixo imaginário, regime laminar e permanente. O escoamento foi definido como viscoso, incompressível e isotérmico. O número de Reynolds para que a configuração esteja em regime laminar é $Re_D \leq 2500$. O valor de Reynolds para o caso estudado é $Re_D \cong 130$.

Para obtenção da solução analítica do problema foram utilizadas coordenadas cilíndricas, pois trata-se de um escoamento simétrico em relação ao seu eixo. Fox, 1998. O volume de controle diferencial utilizado foi um anel circular de comprimento dx e espessura dr . Dessa forma, o perfil de velocidades para um escoamento laminar completamente desenvolvido no interior de um tubo cilíndrico é definido pela Eq.(1).

$$u = -\frac{R^2}{4\mu} \left(\frac{\partial p}{\partial x} \right) \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (1)$$

Utiliza-se a velocidade na entrada do tubo como uniforme. A superfície sólida exerce uma força de cisalhamento sobre o escoamento, com isso, a velocidade do fluido nas vizinhanças da superfície é reduzida.

É importante ressaltar que, nesse estudo, foi realizada uma comparação entre perfis de velocidade completamente desenvolvidos. Foi preciso adotar números de Reynolds baixos, muito menores que 2500, caso contrário ter-se-ia que fazer uma malha exageradamente grande para captar um perfil de velocidade num ponto em que este estivesse plenamente desenvolvido. Para o escoamento laminar a velocidade máxima do escoamento é atingida no

centro do duto e corresponde à duas vezes a velocidade média do mesmo. Os dados adicionais do escoamento podem ser visualizados na Tab.1.

Dado	Valor
R [m]	0.5
\square [m]	10.0
μ [kg / m.s]	$1,845 \cdot 10^{-5}$
ρ [kg / m ³]	1,181
T [K]	300.0
u[m/s]	$2,0 \cdot 10^{-3}$

Tabela 1 - Dados físicos.

Como condições de contorno foram prescritos:

- fronteira oeste: perfil uniforme de velocidade;
- fronteira leste: condição de continuidade de fluxo ($\nabla u = 0$).
- fronteira sul: condição de simetria devido ao efeito axissimétrico.
- fronteira norte: velocidade prescrita igual a zero, ou seja, a condição de não-deslizamento, principal responsável pela formação do perfil parabólico de velocidade.

Avaliou-se nesse trabalho, o perfil de velocidades produzidos nas diferentes malhas, até a obtenção de uma configuração em que as velocidades não mudassem significativamente com o refino da malha. Como principal fator de comparação entre as malhas foi utilizado o valor da velocidade na seção de saída do duto, em $r = 0$ e $\square = 10$ m. Para o estudo de malha, foi utilizado o esquema de interpolação "HYBRID", que se encontra descrito no Manual do CFX-4. As malhas utilizadas estão descritas na Tab.2.

Malha	Malha 1	Malha 2	Malha 3	Malha 4
Número de células	500	2000	8000	32000

Tabela 2 – Descrição das malhas.

Com base nos resultados foi descartada a malha menos refinada pois esta apresentou diferença significativa em relação às outras. Conclui-se também que a utilização da malha 4, mais refinada, seria desnecessária, pois à partir da Malha 3 a variação do erro percentual da velocidade no ponto avaliado não é significativo (0,15%) com o refino da malha.

Após o estudo de malha, procedeu-se com o estudo de diferentes funções de interpolação e comparação com a solução analítica. Para a malha de 500 volumes (malha 01) as funções de interpolação CDS e UDS não produziram resultados significativamente diferentes, entretanto, há uma boa diferença nos tempos de simulação dos dois casos (91%).

Quanto maior a ordem da função de interpolação, mais “pesado” fica o código computacional, porém o campo de velocidades é descrito de maneira mais consistente. O fato de uma função ser mais “pesada” do que a outra é coerente pois, como mencionado por Maliska (1995), as funções são de ordens diferentes. A função UDS é de primeira ordem enquanto que CDS é de segunda ordem.

Notou-se também, que à medida que vai se refinando as malhas os esquemas de interpolação já não fazem muita diferença. Isso decorre do fato de que para um número

elevado de pontos (malha refinada) pode-se fazer uma função linear (UDS) descrever bem uma parábola (perfil de velocidade).

Conclui-se que questões puramente numéricas, como o refino de malha e a escolha da melhor função de interpolação, devem ser respondidas baseadas no fenômeno a ser descrito e na tolerância que se deseja obter na solução, sem esquecer do custo computacional que uma ferramenta numérica mais sofisticada pode ocasionar. Além disso, acredita-se ter sido este, de grande valia na busca de uma ferramenta didática na análise de fenômenos físicos que envolvam a Mecânica dos Fluidos.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq, Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica, e ao laboratório SINMEC, Laboratório de Simulação Numérica em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, pelo suporte técnico e financeiro que possibilitaram o desenvolvimento desse trabalho

Referências Bibliográficas

- [1]CFX4.4, Solver Manual, CFX International, AEA Technology, UK, 2001.
- [2]Maliska, C.R.,1995, “Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional: Fundamentos, Coordenadas Generalizadas”, LTC Editora, Brasil.
- [3]Fox, Robert W., McDonald, Alan T., “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, LTC Editora, Brasil.