

# SIMULAÇÃO NUMÉRICA DO ESCOAMENTO LAMINAR COMPLETAMENTE DESENVOLVIDO ENTRE DUAS PLACAS PLANAS PARALELAS INFINITAS

D.A. Estivam

Sinmec - Laboratório de Simulação Numérica em Mecânica dos Fluidos e Transferência de Calor, Departamento de Engenharia Mecânica, CTC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis SC, C.P. 476, CEP 88040-410, Bloco A.

**Palavras chaves:** Escoamento Laminar, Fluidodinâmica Computacional, Placas Planas Paralelas, Simulação Numérica.

## RESUMO

Geralmente, os fluidos nos sistemas hidráulicos de alta pressão, vazam através das folgas entre o pistão e o cilindro do sistema. Quando a folga entre esses dois últimos é muito pequena, na faixa de 0.005 mm de espessura, o escoamento pode ser analisado como um escoamento entre placas planas paralelas infinitas.

O problema escolhido tem a característica de ser viscoso, incompressível e isotérmico. Utilizou-se coordenadas cartesianas, além do regime laminar e permanente entre as duas placas. Para a simulação numérica do problema físico anteriormente apresentado, utilizou-se o código computacional CFX-4.4 e para geração das malhas, o software ICEM-CFD.

Os conjuntos de equações resolvidas pelo CFX-4.4, para um escoamento laminar e isotérmico, são as equações bidimensionais da conservação da massa e do momento linear, conhecidas como equações de Navier-Stokes, ver em CFX-4.4 (2001). Estas equações estão na forma geral, independente do sistema de coordenadas adotado, devido ao fato de que as equações de conservação, são resolvidas no plano transformado e não no plano físico. Para a transformação de um plano a outro, usa-se as métricas que são calculadas pelo gerador de malhas ICEM-CFD conforme em ICEM CFD Hexa (2000) e Maliska (1995).

Para que ocorra o escoamento por entre as placas é necessária a diferença de pressão entre os pontos inicial e final do escoamento. Devido à condição de não-deslizamento da parede nas placas, sabe-se que a velocidade nessa região é nula, ao longo de todo o trajeto. Assim, o aparecimento de uma camada limite implica em uma aceleração da velocidade na região central da distância entre as placas. Esta é a forma do escoamento obedecer à lei da conservação da massa.

Para o escoamento incompressível, a conservação da massa exige que a velocidade na linha de centro do tubo aumente com a distância em relação à entrada. A velocidade média, em qualquer seção do trajeto deve se igualar à velocidade de entrada.

Como condições de contorno do problema, prescrevemos um valor de pressão para a fronteira oeste,  $P_1$ , maior do que aquele prescrito na fronteira leste,  $P_2$ . A diferença entre esses dois valores acarreta no fluxo de massa dentro do domínio. As condições de contorno são apresentadas na Figura 1.

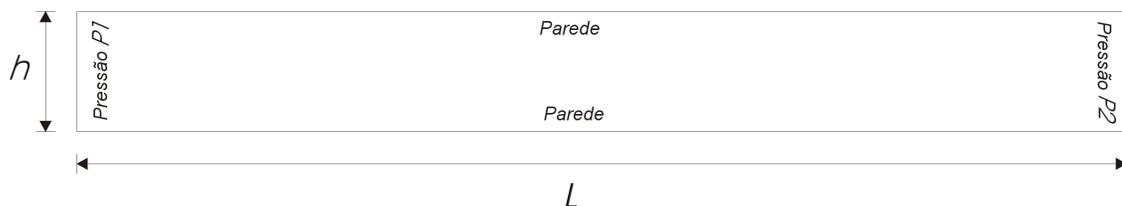


Fig. 1- Condições de contorno do problema.

Nas simulações, foram gerados três tipos de malhas através do software ICEM-CFD. As malhas contêm 1245, 4990 e 20979 volumes. O fenômeno foi modelado bidimensionalmente, utilizando domínios do tipo multi-bloco e malhas do tipo estruturadas, conforme em ICEM CFD Hexa (2000) .

O tratamento numérico utilizado no CFX-4.4 para as simulações é o tipo volumes finitos, com tratamento localizado de variáveis, função de interpolação “HYBRID”, resolução das equações algébricas por método de gradientes conjugados “STONE” e “ICCG” para as componentes cartesianas da velocidade e pressão.

A equação da conservação da massa é usada para obter uma correção da pressão de acordo com o algoritmo “SIMPLEC”. O algoritmo de Rhie-Chow é empregado para que não haja problemas no acoplamento pressão-velocidade em malhas co-localizadas. O tratamento numérico e os algoritmos empregados, estão descritos em CFX4.4 (2001) e Patankar (1980).

Após serem realizadas as simulações e as comparações com o resultado analítico, foi possível apresentar uma tabela com a comparação entre todos os resultados obtidos.

Númer de volume	Umax (numérico )	Umax (analítico )	Erro Percentu l
1245	46,00000	49,8507	7,724%
4990	49,50000	49,9285	0,858%
20979	49,77199	49,9642	0,384%

Comparação dos  
analíticos e numéricos

Tab.2 –  
resultados

O resultado obtido para a malha com o menor refino, contendo 1245 volumes, não está em boa concordância com o analítico, pois apresenta um erro percentual de 7,724%. Portanto um resultado ainda não confiável. Já na segunda malha, com 4990 volumes, os resultados obtidos com o software, representam bem os valores analíticos, pois o erro gerado para esta simulação, foi de menos de 1%. Finalmente com uma malha bem refinada, 20979 volumes, os resultados após as simulações, geraram um erro muito pequeno, de aproximadamente 0,4%.

Através desses resultados é possível construir um gráfico comparativo entre os perfis analítico e numérico da velocidade. A seguir, as Figuras 3 e 4, comparam os perfis de velocidade para as malhas de 4990 e 20979 volumes.

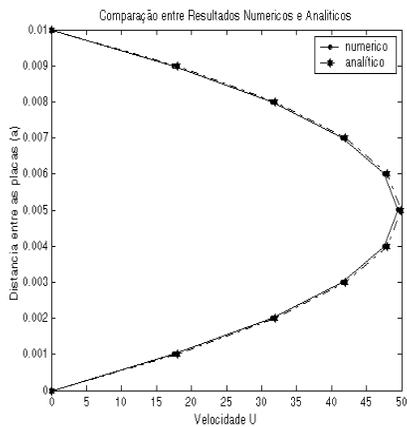


Fig. 3 – Perfis de velocidade para a Malha com 4990 volumes

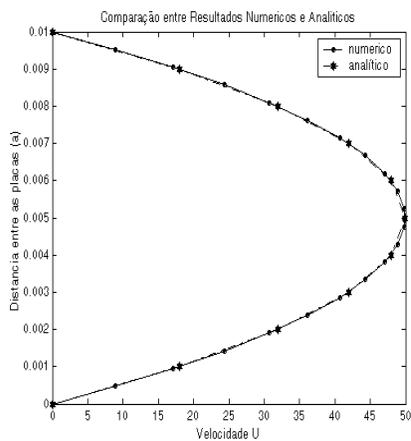


Fig. 4 – Perfis de velocidade para a Malha com 20979 volumes

As Figuras 5 e 6 representam os perfis de velocidade obtidos na etapa de pós-processamento do CFX-4.4. Os resultados obtidos, são para as malhas 4990 e 20979 volumes respectivamente. Nota-se o grande acréscimo de vetores da Figura 5 para Figura 6, isto decorre do fato da segunda malha, ser aproximadamente 4 vezes mais refinada que a primeira.

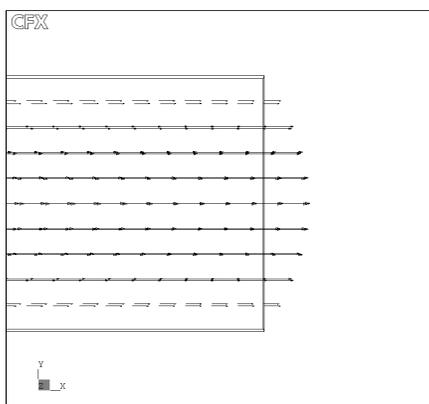


Fig. 5 – perfil de velocidade da malha com 4990 volumes

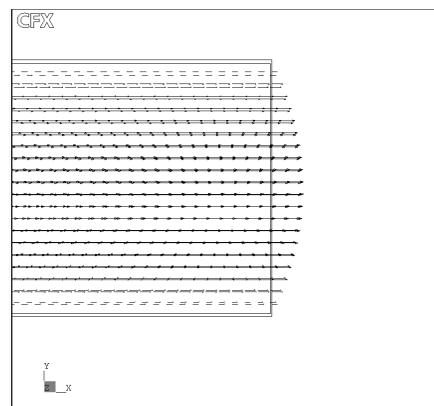


Fig. 6 – perfil de velocidade da malha com 20979 volumes

A simulação numérica demonstrou ser uma poderosa ferramenta na análise do problema físico neste trabalho apresentado. Com o software CFX-4.4 e com o gerador de malhas ICEM-CFD, obteve-se resultados com percentual de erro muito pequeno na comparação dos perfis.

O fenômeno também poderia ser tratado de forma simétrica. Tal forma de abrangência, poderia ser outro estudo a ser realizado, avaliando assim o efeito da simetria nos resultados obtidos e no tempo computacional em ambas as simulações.

O refino das malhas demonstrou ser um estudo necessário, pois foi esse o maior fator que implicou na diminuição do erro numérico. Variações no refino da malha e no formato dos volumes também poderiam ser estudadas, já que esse trabalho procurou manter uniforme o formato dos volumes.

**Agradecimentos: O autor agradece ao CNPq, pela bolsa de iniciação científica, ao Prof. Clovis Raimundo Maliska, pela orientação recebida no projeto e a todos que de alguma forma contribuíram para seu desenvolvimento.**

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:**

**CFX4.4, Solver Manual - CFX International, AEA Technology, UK, 2001.**

**Fox, Robert W., McDonald, Alan T. - “Introdução à Mecânica dos Fluidos”, LTC Editora, Brasil, 1998.**

**ICEM CFD Hexa, Meshing Manual - ICEM CFD Engineering, USA, 2000.**

**Maliska, C.R. - “Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional: Fundamentos, Coordenadas Generalizadas”, LTC Editora, Brasil, 1995.**

**Patankar, S. - “Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, Ed. Hemisphere Publishing Corp., USA, 1980.**