

Estudo de Variabilidade em Sistemas Turbulentos por Fluxo Interno Bidimensional Utilizando Simulação Numérica

Fábio Rodrigues Santos (Doutorado - MCTI), rfabio10@gmail.com;

Ivan Costa da Cunha Lima (Orientador - MCTI), ivandacunhalima@gmail.com;

André Telles da Cunha Lima (Coorientador - UFBA), atcl@ymail.com;

Faculdade SENAI CIMATEC

Palavras Chave: Turbulência, Obstrução, OpenFOAM, Navier-Stokes.

Introdução

Durante algum tempo as dificuldades encontradas em estudar equações que regem escoamentos turbulentos, implicaram na existência de linhas de investigações, teóricas e práticas, ambas mesmo que usando caminhos distintos tinham como finalidade identificar padrões de turbulência. Em 1904, Prandtl, formulou a teoria da camada limite [2] aproximando estas duas correntes em mecânica dos fluidos. Foi em virtude do aprimoramento da computação de alto desempenho, que surge uma nova linha de estudo chamada Dinâmica dos Fluidos Computacional, que utiliza métodos numéricos para encontrar soluções das equações que governam os escoamentos.

Embasado pela teoria e motivado por um dos principais problemas encontrados no transporte de fluidos líquidos através de dutos submetidos a variações de temperatura que é a obstrução parcial e até total em toda linha de transporte, como exemplo, a deposição de parafinas no transporte de petróleo bruto em dutos que operaram em ambientes frios [3], o presente trabalho tem o intuito de apresentar alternativas que contribuam com a detecção do surgimento de tais problemas.

Os estudos aqui realizados em CFD (Computational Fluid Dynamics) foi utilizada a biblioteca OpenFOAM [1], que é um software de código aberto para solução numérica de equações diferenciais usando o método de volumes finitos, em particular, obtenção de soluções numéricas das Equações de Navier-Stokes, onde foram simuladas geometrias em dutos 2-D com algumas variações de obstáculos onde as velocidades foram calculadas em pontos fixados em eixos paralelos as paredes do duto. Os comprimentos relativos dos obstáculos da parede superior para o da parede inferior são

alterados, a fim de variar a quebra de simetria. É neste sentido que o presente trabalho se propõe a estudar os efeitos dessas obstruções na natureza da turbulência por elas induzidas, visando identificar através dos cálculos realizados a distância máxima em que o efeito da quebra de simetria é preservado.

É simulado um duto de seção transversal retangular, parcialmente obstruído, com um escoamento turbulento de um fluido incompressível.

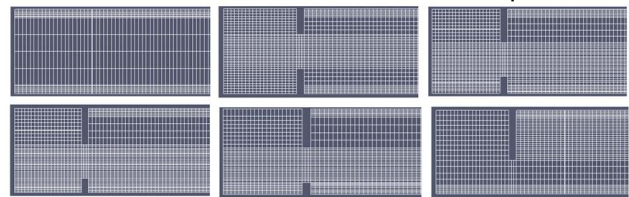


Figura 1. Malhas estruturadas para seis modelos de domínio.

Métodos e Resultados parciais

Na simulação foi adotado 4 s para o tempo total de análise, 10^{-5} s para o intervalo de análise e 10^{-2} s para o intervalo de escrita dos resultados, valores estes considerados adequados para o estudo em comparação a outros valores testados. Na Figura 2 é apresentado o perfil de velocidades do escoamento para dez pontos fixados no eixo central espaçados em 40 cm.



Figura 2. Escoamento turbulento em duto para domínio com obstrução simétrica.

A figura 3 mostra o perfil de velocidades destacando os vetores velocidade onde é possível observar a ocorrência simultânea de campos de baixa velocidade (em azul) e alta velocidade (em vermelho), o que sugere turbulência em algumas

regiões do duto. Neste caso, com a maturação da simulação, foi verificado o surgimento de vórtices após o fluido passar pelos obstáculos e em conjunto com o efeito combinado da parede do perfil e da velocidade do fluido é gerada a turbulência, mostrando a validade da ideia da inserção de obstáculos como indutor de vórtices para gerar a turbulência, assinalando conformidade com a teoria.

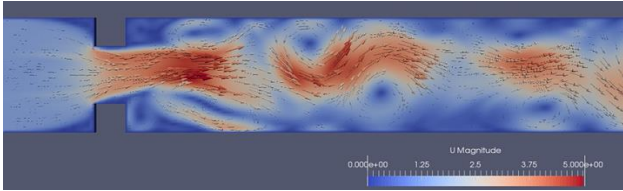


Figura 3. Escoamento turbulento em duto com obstrução simétrica e visualização do vetor velocidade.

A figura 4 mostra a simulação para três das geometrias obstruídas, verificando os efeitos causados no movimento do fluido quando se é quebrada a simetria, apresentando conformidade visual para o estudo como era esperado.

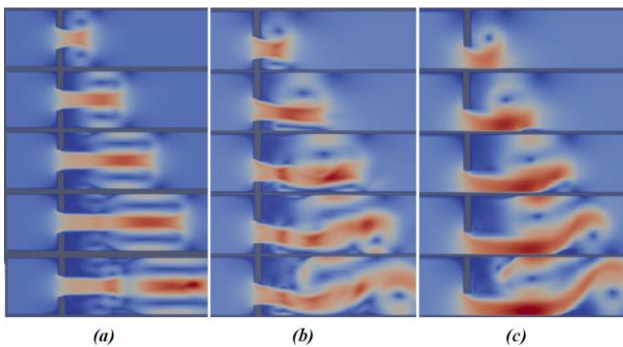


Figura 4. Simulação em cinco instantes de tempo 0,01s; 0,02s; 0,03s; 0,04s e 0,05s.

Na coluna (a) percebe-se o escoamento fluindo de forma simétrica em relação à incidência do fluxo e o surgimento também simétrico, porém em sentidos opostos, de dois vórtices no primeiro retrato de tempo. Comparando com as colunas (b) e (c) nota-se que o escoamento perde a simetria logo no primeiro retrato de tempo, induzindo assim a turbulência mais rapidamente. Com a quebra de simetria em (b) percebe-se logo no primeiro momento o surgimento de dois vórtices não simétricos, enquanto que em (c), aparece apenas um vórtice, refletindo o efeito da quebra de simetria já no primeiro ponto estabelecido. De posse desta informação é construída uma rotina em Fortran para tratamento dos dados, adequação das malhas e determinação da distribuição de velocidade (figura 5), onde foram calculadas as velocidades médias, desvio padrão e skewness (figura 6), para 30 pontos distribuídos no eixo central e em dois eixos próximos a camada limite.

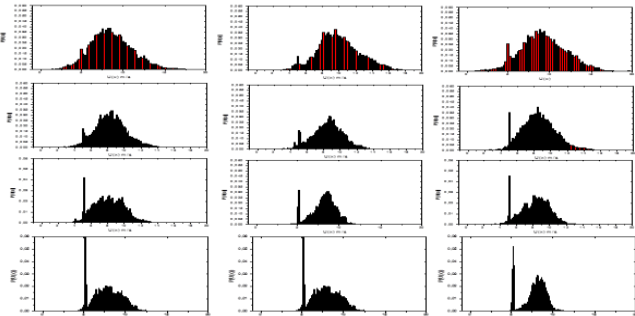


Figura 5. Distribuição de velocidades entre os pontos 1 a 4 no eixo central.

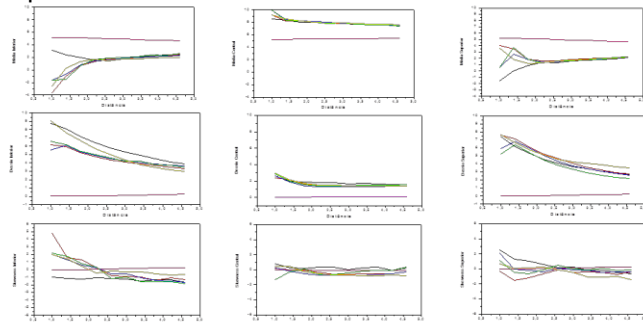


Figura 6. Média, desvio padrão e skewness por três eixos paralelos ao duto e nas seis geometrias.

Conclusões

Seis modelos de geometrias foram testados com sucesso para detectar o efeito da quebra de simetria na turbulência do fluido. Com uma velocidade inlet de 5 m/s e pelos resultados obtidos com os cálculos dos momentos das distribuições de velocidades, foi detectado uma variabilidade na turbulência através de comparativos realizados para trinta pontos fixados em três eixos paralelos as paredes do duto. Com a quebra de simetria existe um aumento na probabilidade de velocidades mais altas próximo as obstruções bem como um aumento na probabilidade de velocidades próximas a 5 m/s ao se distanciar das obstruções. As análises dos momentos mostrou que a memória da quebra de simetria é perdida mais rapidamente no eixo central, enquanto nos eixos próximos as paredes a memória é preservada por uma distancia maior. A simulação numérica demonstrou ser uma poderosa ferramenta na análise do problema físico apresentado neste trabalho. Com o código computacional OpenFOAM juntamente com o Fortran, obteve-se resultados consistentes e claros, evidenciando um grande potencial de aplicação.

Referências

- GREENSHIELDS, C. J. OpenFOAM. *The Open Source CFD Toolbox User Guide*, 2015.
- SCHLICHTING, Hermann; GERSTEN, Klaus. *Boundary-layer theory*. Springer Science & Business Media, 2003.
- YUPA, Luis Fernando Palomino. *Estudo Experimental da Deposição de Parafina em Escoamento Turbulento*. 2010. Tese de Doutorado. PUC-Rio.