Universidade de Brasília

Trabalho 02

Disciplina: Tópicos Especiais em Sistemas Térmicos

Professor: Adriano Possebon Rosa

Departamento de Engenharia Mecânica
Faculdade de Tecnologia
Universidade de Brasília

Instruções:

- o trabalho é individual. Você pode discutir os problemas com os seus colegas, mas cada um deve fazer o seu próprio trabalho e desenvolver suas próprias simulações;
- você pode utilizar qualquer software de CFD (recomendo o OpenFOAM);
- resolva os problemas e apresente gráficos das soluções. Explique e comente todos os gráficos que forem apresentados;
- o relatório com as respostas deve ser enviado em formato pdf, por meio do Moodle.

Problema 1. *Natural convection.* Vamos resolver o problema convecção natural bidimensional de um fluido newtoniano em uma cavidade quadrada, usando a aproximação de Boussinesq. A cavidade possui lado L, como mostra a figura 1. A parede esquerda está a uma temperatura T_H e a parede direita a T_C, com $T_H > T_C$. As paredes de cima e de baixo são isoladas termicamente, ou seja, $-k\frac{\partial T}{\partial n} = 0$. A aceleração gravitacional está no sentido negativo de y. Neste caso o escoamento é laminar.

1. Investigue o comportamento resultante do fluido para quatro números de Rayleigh diferentes: $Ra = 10^3, 10^4, 10^5$ e 10^6. Use $Pr = 0.71$ (ar). Plote os gráficos da função de corrente, da temperatura, da pressão e do vetor velocidade em diferentes instantes de tempo e no regime permanente. Discuta os resultados. O que acontece com o escoamento quando aumentamos o Ra? Por que isso acontece?
2. Calcule o Nu_m para cada caso e compare com resultados de Czarneski (2017) (ver tabela 3.1). Faça um gráfico de Nu_m em função de Ra.
3. **Extra.** Calcule o Nu_m na parede da esquerda e na parede da direita e faça o gráfico ao longo do tempo. O que acontece quando o problema chega no regime permanente?

Parâmetros:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \qquad \alpha = \frac{k}{\rho c} \qquad Pr = \frac{\mu c}{k}$$

$$Ra = \frac{g\beta \left(T_H - T_C\right) L^3}{\nu\alpha}$$

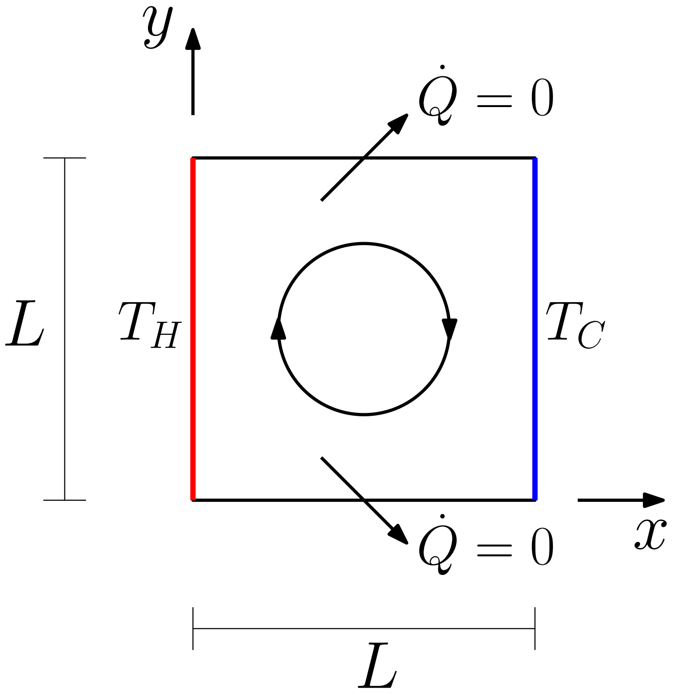

Figura 1: Convecção Natural.

$$Nu_m = \frac{\dot{q}}{k(T_H - T_C)/L}$$

O Nusselt médio é a razão entre o calor efetivamente trocado e o calor que seria trocado se o problema fosse apenas de condução.

Dicas: use os tutoriais *tutorials/fluid/hotRoomBoussinesq* e *tutorials/fluid/buoyantCavity* como base para a sua simulação; use a função *wallHeatFlux* para calcular a troca de calor em cada parede; use $T_C = 300\,K$ e $T_H = 310\,K$ e ajuste L para obter o Ra desejado.

Problema 2. *Cylinder with splitter.* O objetivo aqui é simular o mesmo problema do artigo "*Effectiveness of splitter plate to control fluid forces on a circular obstacle in a transient flow: FEM computations*" (Ain et al., 2022, Scientific Reports). Esse artigo estuda o efeito da inclusão de um *splitter* no escoamento em torno de um cilindro. A geometria é apresentada na figura 2.

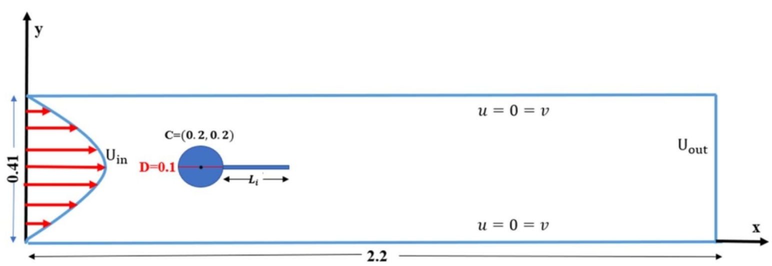

Figura 2: Cilindro com *splitter*.

O problema é bidimensional, incompressível, laminar e transiente. O número de Reynolds do escoamento é de 100. Dê uma olhada na página 3 para obter informações sobre as propriedades do fluido e sobre as condições de contorno.

1. Rode 3 casos com as mesmas configurações da figura 5 do artigo. Compare os seus resultados com os resultados do artigo (qualitativamente). Na figura 5 do artigo estão os gráficos de contorno da velocidade e na figura 7 estão os gráficos da pressão.
2. Calcule o C_D e o C_L dessas simulações, faça gráficos desses dois valores em função do tempo e compare os seus resultados com os gráficos da figura 9 do artigo.
3. **Extra.** Rode também os casos em que o *splitter* está desacoplado do cilindro e compare os seus resultados com os do artigo (figuras 6, 8 e 10 do artigo).

Comentários:

- é possível gerar a malha com o *blockMesh*, com o *Gmsh* ou com o *snappyHexMesh*;
- para gerar uma malha para escoamentos $2D$ com o *snappyHexMesh*, coloque apenas uma célula na direção z na malha de fundo e faça com que a geometria (*stl*) atravesse toda a malha de fundo na direção z;
- outra opção para gerar malha $2D$ com o *snappyHexMesh* é gerar a malha *3D* e depois extrudar (utilize a *utility extrudeMesh*);
- se for usar o *snappyHexMesh*, lembre-se de criar células de fundo com razão de aspecto próximo de 1 nas 3 direções ($\Delta x \approx \Delta y \approx \Delta z$) no *blockMesh*;
- os seus resultados não precisam ficar idênticos aos do artigo;
- esse problema 3D seria um ótimo trabalho final.

Problema 3. *Bakward-facing step.* Vamos resolver o problema do degrau, usando diferentes modelos de turbulência. A geometria do problema é apresentada na figura 3.

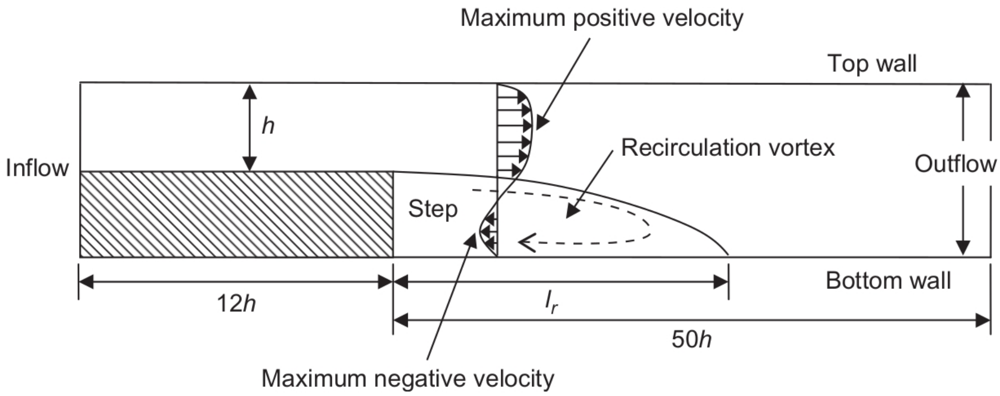

Figura 3: *Backward-facing step.*

O problema será modelado como bidimensional, incompressível, turbulento e permanente. A entrada tem largura h e comprimento $12h$. O escoamento então entra na região a jusante do degrau, com largura $2h$ e comprimento $50h$. Considere uma velocidade média de entrada de $40\,m/s$. O Reynolds deste escoamento é fixado em 64000. Vamos comparar três modelos de turbulência: $k-\epsilon$, RNG $k-\epsilon$ e Realizable $k-\epsilon$.

1. Faça gráficos do perfil de velocidade na direção do escoamento nas posições $1h$, $4h$, $7h$ e $10h$, a jusante do degrau. Compare os perfis obtidos pelos três modelos com o resultado experimental.

2. Calcule o tamanho da recirculação l_r obtida com cada modelo.

3. **Extra.** Faça um estudo da influência do tamanho da região de saída (a jusante do degrau) no resultado obtido. Estude o tamanho da recirculação l_r em função do comprimento de saída. Considere a saída com os comprimentos $20h$, $30h$, $40h$ e $50h$. Faça o estudo apenas para o modelo de turbulência $k - \epsilon$.

Comentários:

- nós já resolvemos o problema do degrau em nosso curso, então a geometria e malha já estão disponíveis;
- nos slides da aula "OpenFOAM: Casos, Código e Dicas" é apresentada uma metodologia para calcular o tamanho da recirculação;
- os resultados experimentais podem ser encontrados no artigo de Ruck e Makiola (1988);
- este problema é discutido na seção 7.2.3.1 do livro do Jiyuan (*Computational Fluid Dynamics - A Practical Approach*).