

## Solução do escoamento turbulento em um degrau (*backward facing step*)

Trata-se da solução do escoamento em um degrau, caracterizado por um gradiente adverso de pressão. A simulação deve ser realizada com o modelo  $k-\omega$  padrão de Wilcox. O número de Reynolds baseado na altura  $H$  do degrau é  $U_o H / \nu = 44000$ . A intensidade de turbulência na entrada do domínio é  $I=3.9\%$  e a escala de comprimento da turbulência é  $L=0.07*2H$ . Adotando  $U_o = 1\text{ m/s}$  e  $H = 1\text{ m}$ , temos  $k = 0.0022\text{ m}^2/\text{s}^2$  e  $\omega = 0.62\text{ s}^{-1}$  na entrada. A viscosidade cinemática é  $\nu = 0.0000227\text{ m}^2/\text{s}$ .

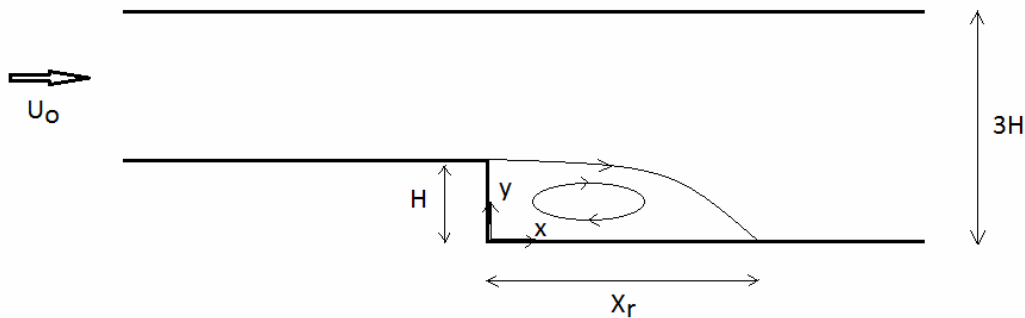


Fig.1) Descrição do domínio de escoamento.

Espera-se obter um comprimento da região de recirculação  $X_r \cong 7H$ . Além de verificar o comprimento da região de recirculação, deve-se comparar os perfis de velocidade obtidos nas simulações para  $x/H = 5.33$  com os resultados experimentais da figura abaixo, retirados de <http://ta.twi.tudelft.nl/isnas/report94-24/node8.html>.

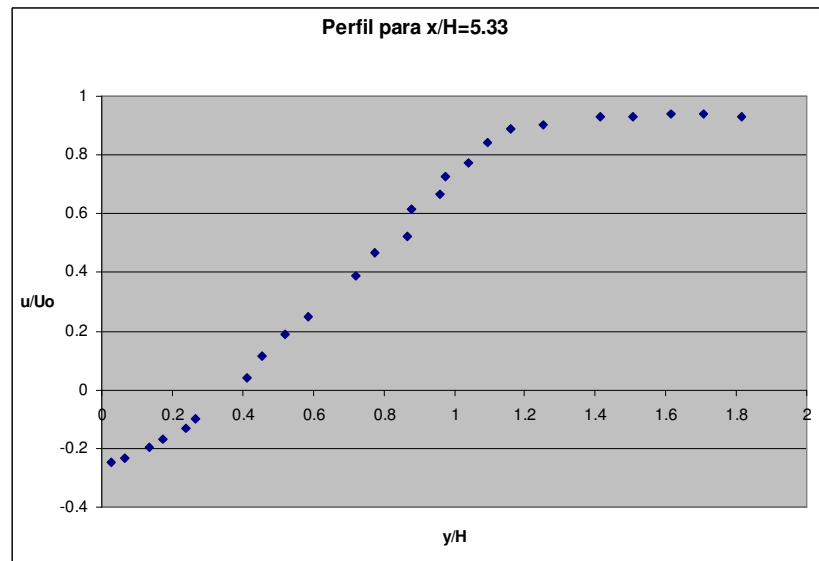


Fig.2) Perfil de velocidades obtido experimentalmente para  $x/H = 5.33$ . Fonte: <http://ta.twi.tudelft.nl/isnas/report94-24/node8.html>.

Um arquivo de malha em formato .neu e a planilha Excel com os dados do gráfico da Fig.2 serão fornecidos.

Roteiro para as simulações:

- 1) Escolha o diretório em que o caso vai ser salvo e o nome do caso.
- 2) Importe a malha. No momento, vamos usar a malha “backStep.neu”. Nessa malha,  $H=1\text{m}$ .
- 3) Após importar a malha, vá ao menu “Mesh” e especifique as condições de contorno que são do tipo “empty”, “wall” e “patch”. A fronteira selecionada sempre fica na cor laranja.
- 4) Vá ao menu “Setup” e escolha o solver. No caso, queremos resolver escoamento permanente (*steady*) e incompressível. O solver será o simpleFoam.
- 5) Após a escolha do solver vá ao menu “Turbulence” para escolher a modelagem de turbulência. No nosso caso, faremos a simulação com o modelo  $k-\omega$  padrão (*standard*).
- 6) No menu “Transport properties” selecione o valor da viscosidade cinemática. Faça  $\nu=0.0000227\text{ m}^2/\text{s}$ , de forma a ter  $\text{Re}_H=44000$ .
- 7) No menu “Discretization” existem quatro submenus, para a discretização temporal, espacial (*Convection*), cálculo dos gradientes e interpolações. Na discretização temporal, o problema é permanente (*Steady State*). Na discretização espacial, troque o esquema convectivo da quantidade de movimento de *upwind* para *linear upwind*. As demais opções podem ser deixadas em seus estados originais. Lembre-se que as grandezas turbulentas  $k$  e  $\omega$  em geral devem ser resolvidas com o esquema *upwind*.
- 8) No menu de solução (*solution*) existem quatro submenus, “Solvers”, “Simple”, “Residuals” e “Relaxation”. Deixe os estados originais, menos o valor dos resíduos de encerramento e a relaxação. Baixe todos os resíduos para  $10^{-5}$ . Utilize uma relaxação de 1.0 para pressão (caso esteja usando a versão consistente do SIMPLE, ou seja, SIMPLEC) e 0.3 para velocidade, energia cinética e dissipação específica.
- 9) Nos menus “Operating Conditions” e “cell zones” não mexa.
- 10) No menu “Boundary Conditions” estipule as condições para velocidades e pressões nas fronteiras que foram categorizadas como “patch”. Em entradas, tipicamente, estipule as componentes do vetor da velocidade e as grandezas turbulentas, usando uma condição de Neumann de gradiente normal nulo para a pressão (*zeroGradient*). Nas saídas tipicamente faz-se o contrário, a velocidade e as grandezas turbulentas tem uma condição de gradiente normal nulo e a pressão é especificada.
- 11) No menu “Initial Conditions” estipule a estimativa inicial para todos os campos.
- 12) Em “Controls” estipule a frequência com que quer salvar a solução.
- 13) Em “Monitors” não mexa.

- 14) Em “*Run*”, estipule o número de “*time-steps*”, o que é um nome impróprio uma vez que o solver é permanente. Para o simpleFoam, cada *time-step* é uma iteração. O valor do passo de tempo “*time-step*” obviamente é um. Assim, se escolher um “end time” igual a 100000, teremos no máximo 100000 iterações caso a convergência não ocorra.
- 15) Salve o caso em “*write case*” e rode em “*run calculation*”.
- 16) Salve de novo o caso após a convergência. É hora de pós-processar.
- 17) Vá para “*calculate*”, use a opção “*wall*” e calcule a tensão de cisalhamento nas paredes.
- 18) Vá para “*postProcessing*” e clique no botão do *paraView*.
- 19) No canto superior direito, em “*time*”, escolha a iteração que será visualizada.
- 20) Clique no botão “*apply*”.
- 21) No menu “*filters*”, em “*alphabetical*”, escolha “*plot over line*”.
- 22) Vamos escolher uma linha entre os pontos (5.33,0,0) e (5.33,2,0).
- 23) Você terá o perfil de velocidades para a comparação com os dados experimentais fornecidos. No menu “*file*”, em “*save data*”, os dados do perfil podem ser salvos em um arquivo texto que pode ser aberto no Excel.
- 24) Feche o paraview e volte a abri-lo.
- 25) Opte por visualizar os resultados na parede existente logo depois do “*step*”.
- 26) No menu “*filters*”, em “*alphabetical*”, escolha “*plot over line*”.
- 27) Vamos escolher uma linha entre os pontos (0,0,0) e (50,0,0).
- 28) Plote a tensão de cisalhamento (*wallShearStress*) na direção  $x$  e localize o fim da bolha de separação, ou seja, o ponto em que a tensão de cisalhamento é igual a zero.