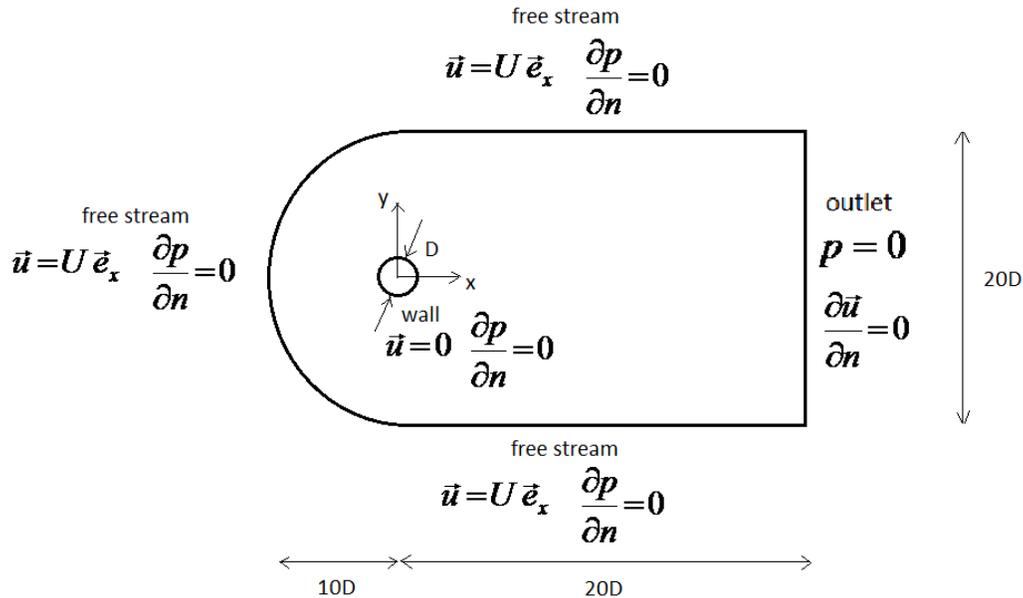


## Solução do escoamento não-permanente ao redor de um cilindro circular

Trata-se da solução do escoamento ao redor de um cilindro circular, com o objetivo de determinar os métodos mais eficientes para capturar o fenômeno de desprendimento de vórtices (*vortex shedding*). Um esquema da geometria e das condições de contorno pode ser vista abaixo.



- 1) Escolha o diretório em que o caso vaio ser salvo e o nome do caso.
- 2) Importe a malha. No momento, vamos usar uma malha gerada no formato do GAMBIT e será a malha “cylinder.neu”.
- 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 não-permanente (*transient*) e incompressível. O solver será o pimpleFoam.
- 5) No menu “Turbulence” devemos escolher a modelagem de turbulência. No nosso caso, o escoamento será laminar.
- 6) No menu “Transport properties” selecione o valor da viscosidade cinemática. De acordo com a velocidade que pretende usar na corrente livre, levando em consideração que o diâmetro do cilindro no arquivo de malha é  $D = 1$  m, especifique uma viscosidade cinemática para que  $Re = UD/\nu = 100 + 10 \times$  último algarismo do seu nº USP. Assim, se o último algarismo do seu número USP for 9, seu número de Reynolds será 190.
- 7) No menu “Discretization” existem quatro submenus, para a discretização temporal, espacial (*Convection*) , cálculo dos gradientes e interpolações. Na discretização

temporal, escolha *backward*, que é o método implícito de 2ª ordem. 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.

8) No menu de solução (*solution*) existem quatro submenus, “*Solvers*”, “*Pimple*”, “*Residuals*” e “*Relaxation*”. No menu relativo ao algoritmo Pimple, escolha 20 “outer correctors” e 1 ou 2 “correctors”. Se estiver usando dois corretores, estará rodando um método PISO com 20 iterações por passo de tempo. Se escolher apenas um corretor e o botão “consistent” estiver marcado, estará rodando SIMPLEC. Se escolher apenas um corretor e o botão “consistent” estiver desmarcado, estará rodando SIMPLE. No menu dos resíduos baixe tudo para  $10^{-5}$ . No menu da relaxação, use subrelaxação da velocidade igual a 0.7. Se optar por PISO ou SIMPLEC, deixe 1.0 como subrelaxação da pressão. Se usar SIMPLE, use 0.3 com o subrelaxação da pressão.

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”. Na corrente livre, estipule as componentes do vetor da velocidade e uma condição de Neumann de gradiente normal nulo para a pressão (*zeroGradient*). Na saída é o contrário, a velocidade tem a condição de gradiente normal nulo e a pressão é especificada.

11) No menu “*Initial Conditions*” estipule a estimativa inicial para pressões e velocidades. Pode deixar tudo com valor nulo, ou especifique a velocidade inicial como sendo igual à velocidade da corrente livre.

12) Em “*Controls*” estipule a frequência, em passos de tempo, com que quer salvar a solução. Se for usar 100 passos de tempo por período de *vortex shedding*, salve a solução a cada 10 ou 20 passos de tempo para ter um bom filme. Marque o botão “clean old result files” e especifique quantos arquivos de solução quer guardar. No entanto, lembre-se que é muito fácil lotar um HD salvando uma visualização de escoamento transiente muito longa.

13) Em “*Monitors*”, especifique um monitoramento das forças. Escolha a fronteira onde irá calcular as forças (wall) e marque o quadrinho para calcular os coeficientes de força. Na malha, o cilindro tem um comprimento de 1 m e um diâmetro de 1 m, o que quer dizer que a área tem  $1 \text{ m}^2$ . Especifique a velocidade correta para a adimensionalização das forças através dos coeficientes de sustentação (*Lift*) e arrasto (*Drag*). Verifique as direções das forças de sustentação e arrasto. A força de arrasto tem que ser na direção (1 0 0) e a força de sustentação tem que ser na direção (0 1 0).

14) Em “*Run*”, estipule os instantes inicial e final da simulação de forma a ter no mínimo 20 ciclos de *vortex shedding*. O valor do passo de tempo “*time-step*” é determinado através do número de Strouhal esperado. Como para um cilindro circular  $St = fD / U \cong 0.2$ ,  $UT / D$  será 5. Assim, se escolher um “*time-step*” igual a 0.05, terá por volta de 100 passos de tempo por período de desprendimento de vórtices, o que é uma resolução razoável.

15) Salve o caso em “*write case*” e rode em “*run calculation*”. Não se preocupe com os resíduos altos, para problemas transientes o simFlow só mostra os resíduos no início do passo de tempo, sem registrar graficamente a queda durante as iterações.

16) Após o encerramento, é hora de pós-processar.

17) Vá para “*postProcessing*” e clique no botão do *paraView*.

18) No canto superior direito, ao lado de “*time*”, verá um botão para mostrar o filme da visualização. Escolha plotar a magnitude da velocidade e clique o botão para passar os quadros.

19) Após visualizar o desprendimento de vórtices, feche o *paraView* e vá ao folder “*postProcessing*” dentro do diretório da simulação. Ali estará o folder “*forces*” que contém os coeficientes no arquivo de texto “*coefficients.dat*”. Plote esse arquivo com Excel ou gnuplot. A 1ª coluna é o tempo, a 3ª é o coeficiente de arrasto e a 4ª é o coeficiente de sustentação. Calcule o número de Strouhal. De acordo com o seu número de Reynolds, compare com a fórmula proposta por Williamson (1989):

$$St = -\frac{3.3265}{Re} + 0.1816 + 1.6 \times 10^{-4} \times Re$$

20) Repita as simulações e preencha um quadro similar ao quadro abaixo, fazendo as combinações de métodos de discretização temporal e espacial. Qual combinação deu o melhor resultado para o número de Strouhal?

<b>Disc. temporal</b>	<b>Disc. espacial</b>	<b>Strouhal</b>
Backward (2ª ordem)	Linear upwind (2ª ordem)	
Backward (2ª ordem)	Upwind (1ª ordem)	
Euler implícito (1ª ordem)	Linear upwind (2ª ordem)	
Euler implícito (1ª ordem)	Upwind (1ª ordem)	