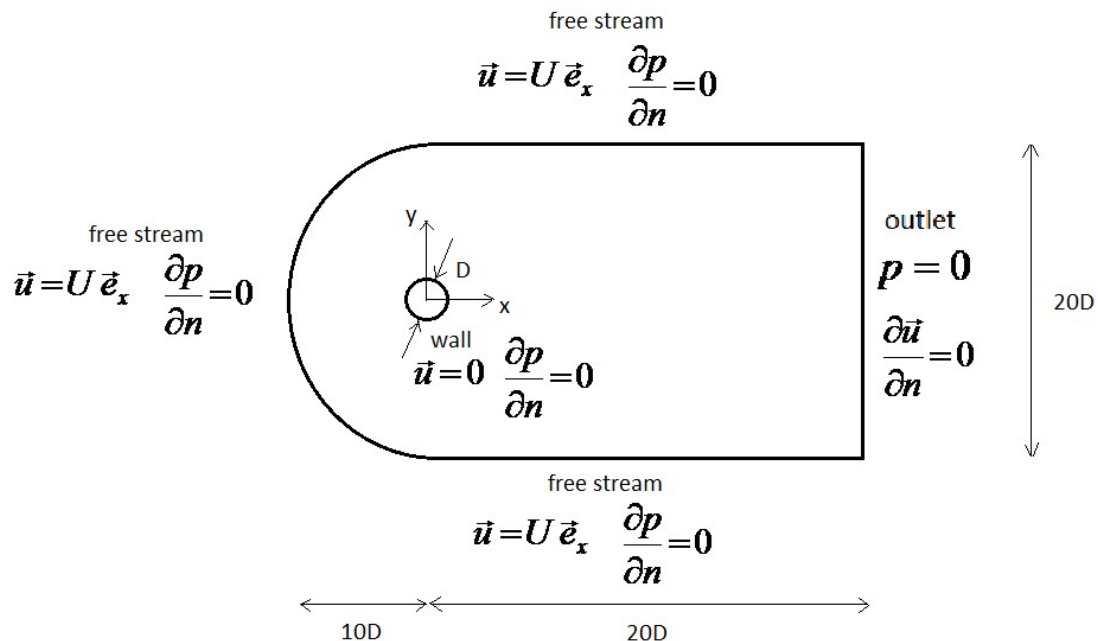


## Solução do escoamento não-permanente ao redor de um cilindro circular

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  $D = 1\text{m}$ , especifique uma viscosidade cinemática para que  $Re = UD/\nu = 100 + 10 \times \text{último algarismo do seu nº USP}$ . 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 “*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).

13) No menu “*run*”, em “*output*”, no item “*write control*” estipule a periodicidade, em segundos, com que quer salvar a solução. É preciso ter pelo menos cinco arquivos por período de *vortex shedding* para ter um bom filme. Marque o botão “clean old result files” se quiser especificar quantos arquivos de solução quer guardar, de modo a não lotar seu disco rígido. Lembre-se que é muito fácil lotar um HD salvando uma visualização de escoamento transiente muito longa.

14) Ainda em “*run*”, em “*time control*”, estipule a duração da simulação em segundos de forma a ter no mínimo 40 ciclos de *vortex shedding* (note que talvez precise de mais do que isso para ter a amplitude da força de sustentação estabilizada). 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*”  $U\Delta t / D = 0.05$ , 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?

Disc. temporal	Disc. espacial	Strouhal
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)	