

INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

DISCIPLINA: CIT 60907 – CIÊNCIAS TÉRMICAS
PROF. MAURICIO NATH LOPES

MECÂNICA DOS FLUIDOS

6. HIDRODINÂMICA

A hidrodinâmica é o estudo dos fluidos em movimento. Por exemplo, quando andamos de automóvel o ar flui ao seu redor, ou quando abrimos uma torneira a água escoar no interior da tubulação.

O estudo detalhado da hidrodinâmica requer a utilização de ferramentas matemáticas mais complexas que serão estudadas somente no ensino superior. No presente estudo faremos certas simplificações, porém sem comprometer o entendimento conceitual.

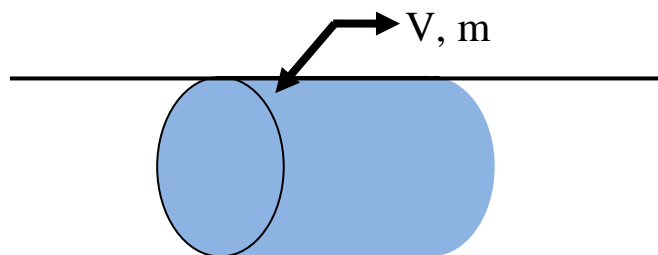
Os escoamentos estudados obedecerão algumas características:

- **Escoamento incompressível:** ocorre quando a massa específica do fluido permanece constante independentemente da variação de pressão. É importante lembrar que na prática a massa específica dos gases é alterada em função da pressão, mas nos líquidos isso praticamente não ocorre.
- **Escoamento estacionário ou em regime permanente:** ocorre quando a velocidade do escoamento em um determinado ponto fixo permanece inalterada com o passar do tempo.
- **Escoamento não viscoso:** ocorre quando não há atrito entre as moléculas do fluido durante o escoamento e portanto não há perda de energia durante o escoamento.

6.1 Vazão

A vazão é uma medida da quantidade (massa ou volume) de fluido que escoar em uma seção transversal por unidade de tempo.

Considere um cano por onde escoar uma determinada quantidade de água com massa m e volume V durante um certo intervalo de tempo Δt .



A vazão volumétrica em um escoamento é dada pela expressão:

$$Q = \frac{V}{\Delta t}$$

onde,

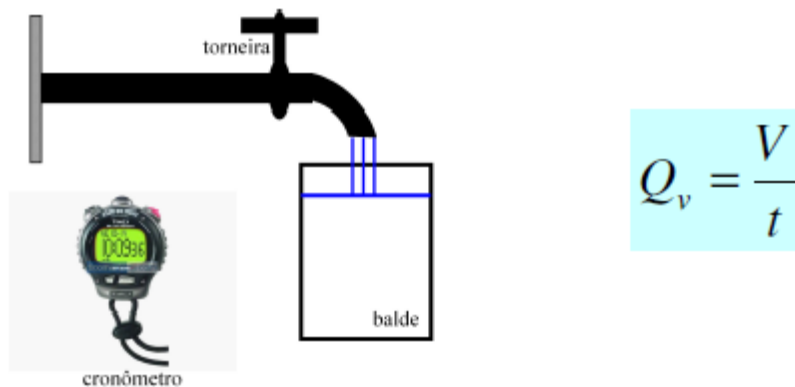
Q = vazão volumétrica, em m^3/s

V = volume, em m^3

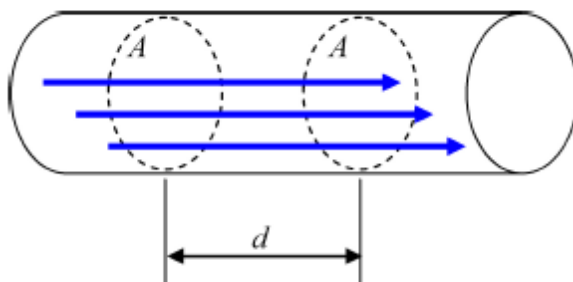
Δt = intervalo de tempo, em s

A unidade de vazão volumétrica no SI é m^3/s . Outras unidades: m^3/h , l/s , l/h , entre outras.

Um exemplo clássico para a medição de vazão (método experimental) é a realização do cálculo a partir do enchimento completo de um reservatório. Por exemplo, se tivermos água escoando por uma torneira aberta como mostra a figura. Considerando que ao mesmo tempo em que a torneira é aberta um cronômetro é acionado, e supondo que o cronômetro foi desligado assim que o balde ficou completamente cheio (marcando um tempo t), temos o conhecimento do volume V do balde e do tempo t para seu completo enchimento, e assim equação é facilmente aplicável resultando na vazão volumétrica.



Outra forma matemática de se determinar a vazão volumétrica é através do produto entre a área da seção transversal da tubulação e a velocidade média do escoamento nesta tubulação como pode ser observado na figura a seguir.



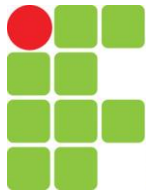
Pela análise da figura, é possível observar que o volume do cilindro tracejado é dado pela área da seção transversal (A) pela distância (d):

$$V = A \cdot d$$

Substituindo essa equação na equação de vazão volumétrica, pode-se escrever que:

$$Q = \frac{A \cdot d}{\Delta t}$$

A partir dos conceitos básicos de cinemática aplicados em Física, sabe-se que a relação deslocamento pelo tempo ($d/\Delta t$) é a velocidade do escoamento, portanto, pode-se



INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

escrever a vazão volumétrica da seguinte forma:

$$Q = A \cdot v$$

onde,

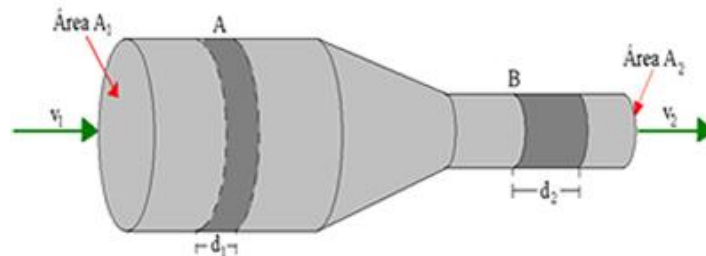
Q = vazão volumétrica, em m³/s

A = área da seção transversal da tubulação, em m²

v = velocidade média do escoamento, em m/s

6.2 Equação da continuidade

Pelo princípio de conservação da massa podemos concluir que quando um fluido incompressível (água, por exemplo) escoar por uma tubulação a vazão permanece constante por toda a tubulação. Quando o tubo fica mais grosso ou mais fino o que muda é a velocidade (v) do escoamento, pois a quantidade (massa ou volume) de fluido que chega a uma extremidade da tubulação obrigatoriamente deverá sair pela outra.



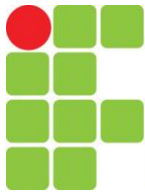
A equação da continuidade pode ser obtida a partir do conceito de que vazão permanece constante em qualquer ponto do escoamento

$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

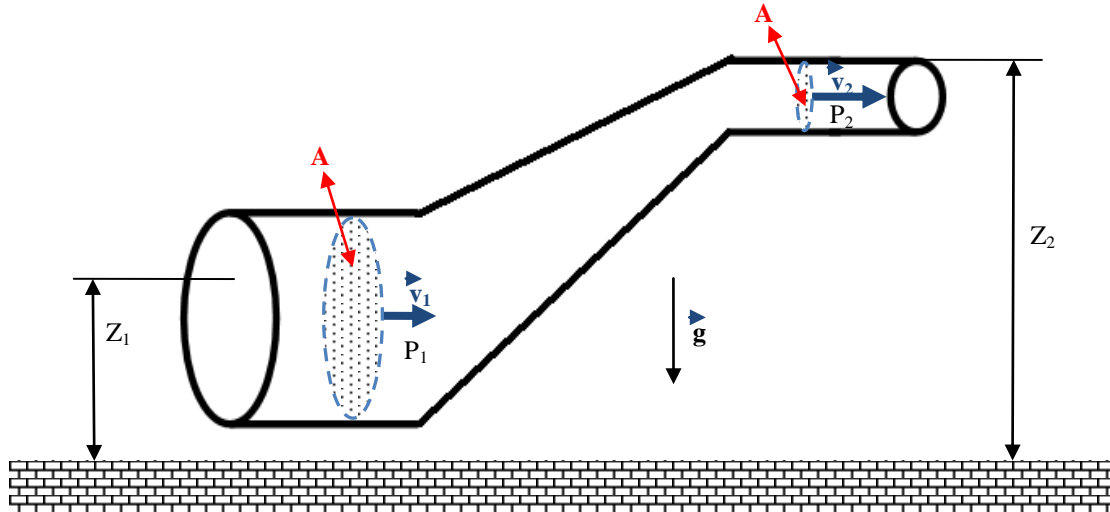
Essa equação nos permite concluir que as velocidades de escoamento são inversamente proporcionais às respectivas áreas das seções transversais da tubulação. Podemos perceber facilmente essa situação no cotidiano quando tampamos parcialmente uma saída de água e o jato d'água sai com uma velocidade muito maior do que sairia se a saída não tivesse sido parcialmente tampada. Por exemplo, quando uma pessoa molha a calçada com uma mangueira e faz isso para conseguir fazer a água chegar mais longe.





6.3 Equação da Bernoulli

A figura a seguir representa uma tubulação por onde escoar um líquido incompressível, não viscoso e o escoamento ocorre em regime permanente. As seções transversais possuem áreas A_1 e A_2 , o líquido flui com velocidades v_1 e v_2 e Z_1 e Z_2 são as alturas dos pontos centrais da tubulação.



Com base nos conceitos de trabalho e energia cinética o físico Daniel Bernoulli desenvolveu a expressão:

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot Z_1 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot Z_2$$

em que: p: pressão estática

$$\frac{\rho \cdot v_1^2}{2} = \text{pressão dinâmica ou de velocidade}$$

Um caso particular é a situação em que o tubo é reto e horizontal.

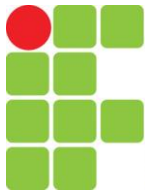


Nesse caso, $Z_1=Z_2$, e a equação de Bernoulli fica reduzida a

$$p_1 + \frac{\rho \cdot v_1^2}{2} + \rho \cdot g \cdot Z_1 = p_2 + \frac{\rho \cdot v_2^2}{2} + \rho \cdot g \cdot Z_2$$

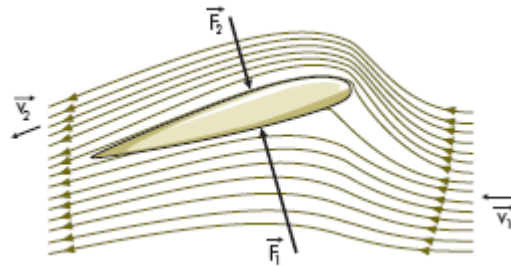
Da equação da continuidade e do fato de $A_1 > A_2$ sabe-se que $v_1 < v_2$ o que implica que $p_1 > p_2$. Essa conclusão serve para explicar diversas situações que encontramos no nosso cotidiano como:

- Uma cortina que é puxada para o lado de fora de uma janela quando bate vento devido à diferença de pressão entre o lado interno e o lado externo;



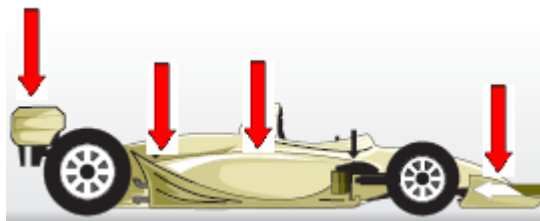
INSTITUTO FEDERAL
SANTA CATARINA

- b) Uma folha de papel que voa para fora de um carro se este estiver a alta velocidade;
- c) Uma fita de papel que sobe se seguramos uma de suas extremidades e soprarmos a parte de cima
- d) A força de sustentação nas asas de um avião que possuem um desenho específico para que o ar escoe mais rapidamente pela parte superior fazendo com que a pressão nessa região seja menor do que na parte inferior e com isso a força resultante que atua na asa aponta para cima.



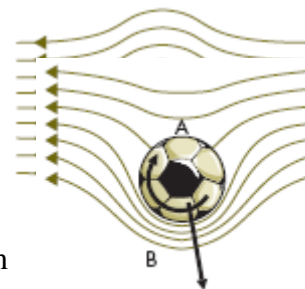
e)

- f) A força aerodinâmica que atua sobre o carro de Fórmula 01 empurrando-o contra o solo (*Downforce*), o que proporciona maior aderência. A uma velocidade de 300 km/h, na reta, essa força pode chegar a 1600 kgf.



g)

- h) Uma das causas do infarto do miocárdio que é causado pela obstrução das artérias do coração é devido à deposição de colesterol na parede interna das artérias e por consequência ocorre um estreitamento da artéria por onde circula o sangue. Esse estreitamento faz com que a velocidade de circulação do sangue naquela região seja maior e por consequência há uma redução da pressão arterial nessa região o que favorece o entupimento da artéria.
- i) Em uma partida de futebol muitas vezes vemos um chute com efeito. Quando a bola se desloca sem rotação o ar passa pela bola com a mesma velocidade pelos dois lados e nesse caso a bola não ganha efeito, pois não há diferença de pressão entre os dois lados. Na situação em que a bola além do movimento de translação possui um movimento de rotação passa a existir uma diferença de velocidade entre os dois lados do escoamento e, portanto uma diferença de pressão. Com isso surge uma força resultante lateral que é a responsável pelo desvio da bola.



- j) Em dias de ventos muito fortes é comum acontecer de casas ficarem destelhadas. Isso ocorre devido à redução da pressão externa causada pelo vento.