

Fenômenos de transporte

Raimundo Ferreira Ignácio



Matéria

Tudo que podemos ver e sentir a nossa volta são classificados como matéria. A

matéria a olho nú pode ser caracterizada em sólida, líquida e gasosa. Ao se agregar os líquidos e os gases têm-se os fluidos, portanto a primeira classificação dos fluidos: líquidos e gases. Algumas diferenças entre líquidos e gases:

1. O líquido tem volume definido e o gás não, isto porque ele tem o volume do recipiente que o contém.
2. O líquido pode apresentar uma superfície livre, já o gás nunca terá esta superfície.
3. O líquido é muito mais denso do que o gás.

Conceito de massa específica e peso específico

Massa específica ou densidade (ρ) é definida como sendo a

massa por unidade de volume: $\rho = \frac{m}{V}$

Peso específico (γ) é definido como sendo o peso por unidade

de volume: $\gamma = \frac{G}{V} \Rightarrow \gamma = \rho \times g$

Restrições imposta para os estudos de estática dos fluidos.

Em repouso

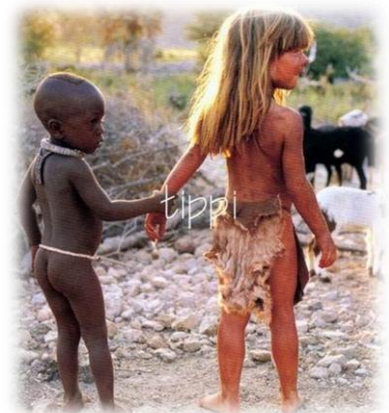
Em estática dos fluidos estudamos só os fluidos em repouso.

Contínuo

Por menor que seja a porção de fluido sempre existirá matéria.

Incompressível

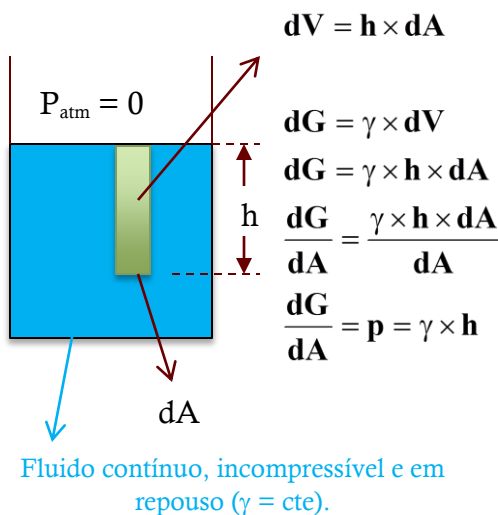
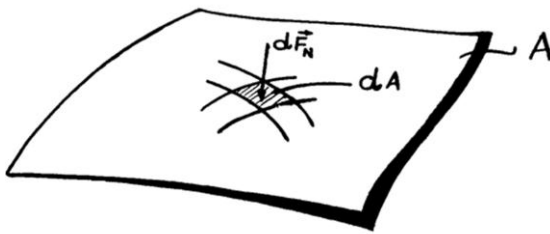
A massa específica e o peso específico permanecem constantes.



Conceito de pressão

É a relação entre o módulo da força normal e a

área: $p = \frac{|\mathbf{F}_N|}{A}$, isto porque trabalhamos com pressões constantes ou pressões médias.



Escala efetiva ou relativa de pressão

É aquela que adota como zero a pressão atmosférica local, a qual também é denominada de pressão barométrica.

Nesta escala existem pressões positivas, nulas e negativas.

Escala absoluta

É aquela que adota como zero o vácuo absoluto. Nesta escala só existem pressões positivas, teoricamente poderia se ter o zero.

$$P_{abs} = P_{efetiva} + P_{atm_{local}}$$

Pressão em um ponto fluido (p)

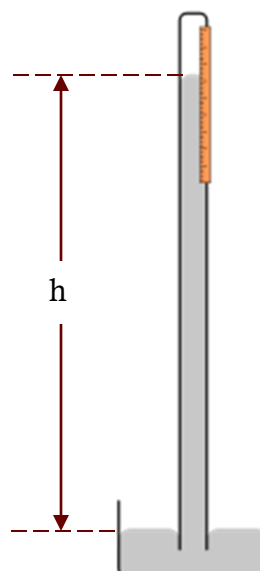
Vamos considerar um fluido em repouso, contínuo e incompressível ($\gamma = \text{constante}$), o qual se encontra no recipiente ao lado. Consideramos um ponto fluido que está a uma profundidade h e que a pressão atmosférica é igual à zero, ou seja, trabalhamos na escala efetiva ou relativa de pressão.

Carga de pressão (h)

É a coluna de fluido que um ponto fluido suporta

estando em repouso: $h = \frac{p}{\gamma}$. A sua unidade será sempre

uma unidade de comprimento acrescida do nome do fluido considerado, exemplos: mca = metro de coluna d'água e mmHg = milímetro de mercúrio.



O barômetro é um instrumento para medir a pressão atmosférica.

Foi inventado por [Evangalista Torricelli](#) em [1643](#).

$$P_{atm} = \gamma_{Hg} \times h$$



Manômetro metálico tipo Bourdon

Muitos dos aparatos empregados para a medida de pressões utilizam a [pressão atmosférica](#) como nível de referência e medem a diferença entre a pressão real ou absoluta e a pressão atmosférica, chamando-se a este valor [pressão manométrica](#).

A pressão manométrica se expressa bem seja acima ou abaixo da pressão atmosférica.

Os manômetros que servem para medir pressões inferiores à atmosférica se chamam manômetros de vácuo ou [vacuômetros](#).

O vacuômetro é utilizado para se medir depressão.

O manômetro que apresenta tanto a escala positiva como a escala negativa é denominado de manovacuômetro.

Deve ficar claro que a pressão manométrica é sinônimo da pressão na escala efetiva.

$$P_m = P_{\text{interna}} - P_{\text{externa}}$$



Vista interna de um manômetro tipo Bourdon

Teorema de Stevin aplicado a um gás

Determinação da massa específica do gás pela equação de Clapeyron.

A **equação de Clapeyron** tem este nome em homenagem ao Físico Francês Benoit Paul Émile **Clapeyron** que viveu entre os anos de 1799 e 1864.



CLAPERYON

$$p \times V = n \times R \times T$$

$$p \times V = \frac{m}{M} \times R \times T$$

$$p \times \frac{V}{m} = \frac{R}{M} \times T \Rightarrow \frac{p}{\rho} = R_{\text{gas}} \times T$$

Exemplo

Determine o peso específico do ar quando o mesmo encontra-se em um local onde a pressão absoluta igual a 700 mmHg e está a uma temperatura de 30°C.

Dado: $R_{\text{ar}} = 287 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \times \text{K}}$

Não podemos esquecer!

Na equação de Clapeyron a pressão é sempre considerada na escala absoluta, a temperatura em Kelvin.

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$



Transformações de unidades de pressão

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 760 \text{ torr} = 10330 \text{ kgf/m}^2 =$$

$$1,033 \text{ kgf/cm}^2 = 10,33 \text{ mca} = 101234 \text{ N/m}^2 =$$

$$101234 \text{ Pa} = 10^5 \text{ Pa} = 1 \text{ bar} = 14,7 \text{ psi (lbf/pol}^2\text{)}$$

Resolvendo o exemplo proposto

$$p_{\text{atm}} = \frac{101234 \times 700}{760} \cong 93241,8 \text{ Pa}$$

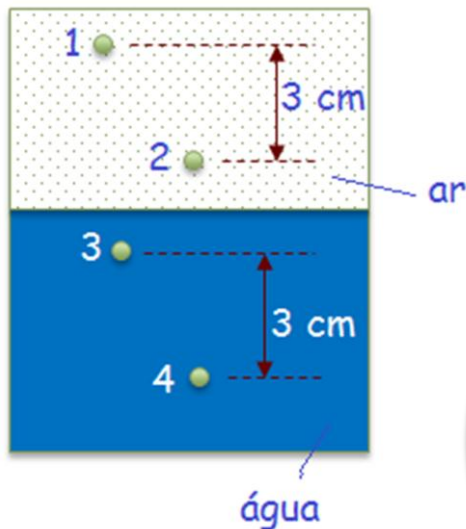
$$\frac{93241,8}{\rho_{\text{ar}}} = 287 \times (30 + 273,15)$$

$$\rho_{\text{ar}} = \frac{93241,8}{287 \times 303,15} \cong 1,1 \frac{\text{N} \times \text{s}^2}{\text{m}^4} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$$\gamma_{\text{ar}} = \rho_{\text{ar}} \times g = 1,1 \times 9,8 \cong 10,8 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}$$

Vamos considerar a situação representada a seguir, onde aplicaremos o teorema de Stevin.

Dado o peso específico d'água e aproximadamente igual a 10000 N/m³.



$$p_2 - p_1 = \gamma_{\text{ar}} \times (h_2 - h_1)$$

$$p_2 - p_1 = 10,8 \times 0,03 \cong 0,924 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ (ou Pa)}$$

$$p_4 - p_3 = \gamma_{\text{agua}} \times (h_4 - h_3)$$

$$p_4 - p_3 = 10000 \times 0,03 \cong 300 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ (ou Pa)}$$

Será que as duas diferenças de pressão podem ser lidas nos manômetros?



$$p_2 - p_1 = \frac{10330 \times 0,924}{101234} \cong 0,0943 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$p_4 - p_3 = \frac{10330 \times 300}{101234} \cong 30,6 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Podemos constatar que a diferença de pressão no ar não seria lida, já a diferença na água seria. Por este motivo em instrumentação é comum se considerar a pressão de um gás como sendo constante, para não se esquecer desta informação lembre-se da calibração do pneu em um posto de gasolina.



Exercício proposto

Na figura, a superfície da água está em (A), pois neste nível a pressão absoluta do ar é de 104 kPa. Nesta condição a leitura L é de 68 cm, a leitura no manômetro metálico é de 0,8 mca e a cota z de 25 cm. Ao retirar a rolha, a superfície da água passa para o nível (B). Sendo o peso específico da água de 10 N/L, o peso específico do mercúrio de 136 N/L e o diâmetro do reservatório $D = 13$ cm. Pede-se:

1. Qual o peso específico do fluido manométrico (γ_m)?
2. Qual a leitura barométrica local em mmHg?
3. Se na condição da figura (com a rolha), a cota $H = 65$ cm; qual será a nova cota H quando se retirar a rolha?
4. Qual o diâmetro do tubo manométrico d ?

