

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA

Prof. Fernando Campos Mendonça

ROTEIRO DE AULA

- Recordar massa específica, peso específico e densidade

Tópicos da aula 2:

- Pressão e empuxo
- Empuxo em superfícies sólidas
- Pressão
 - Pressão relativa e pressão absoluta
 - Unidades de medida
 - Medidores
 - Cálculo em condutos interligados

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIODISSISTEMAS

LEB 0472 – HIDRÁULICA
Prof. Fernando Campos Mendonça

Aula 2 – Hidrostática

1. Pressão e Empuxo

Pressão: força atuante em determinada área

$$P = \frac{F}{A}$$

Empuxo: força resultante da pressão sobre uma área

$$E = P \times A$$

Exemplo: empuxo atuante sobre uma comporta circular

Dados:

Pressão: $P = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$

Diâmetro: $D = 0,3 \text{ m}$

Área: $A = \frac{\pi D^2}{4} = 0,0707 \text{ m}^2$

Empuxo: $E = P \times A$

$$E = 1000 \times 0,0707$$

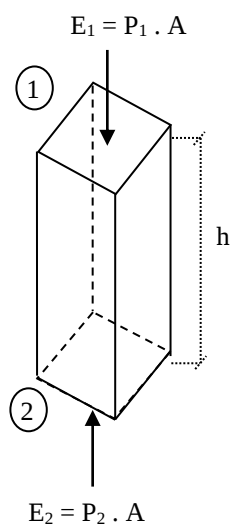
$$E = 70,7 \text{ kgf}$$

$$\text{SI: } E = 70,7 \times 9,81 = 693,6 \text{ N}$$

$$(1 \text{ kgf} = 9,81 \text{ N})$$

2. Pressão em uma coluna líquida (prisma)

Líquido em repouso (prisma uniforme)



Forças atuantes: empuxo (E_1 e E_2) e peso do líquido (F_P)

$$\text{Peso do líquido: } F_P = \gamma V_L$$

F_P – peso (força), kgf

γ - peso específico, kgf m⁻³

$$(\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf m}^{-3} \text{ ou } 9810 \text{ N m}^{-3})$$

V_L – volume, m³

$$V_L = h \cdot A$$

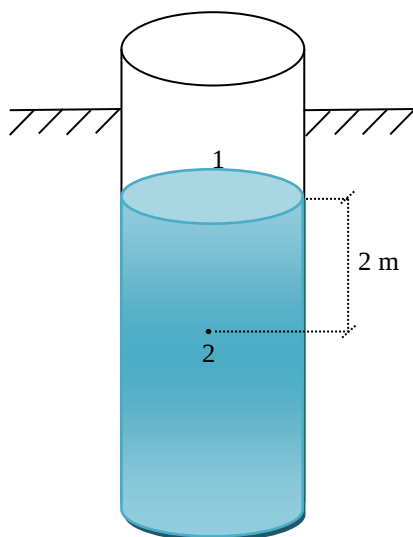
Líquido em repouso: $\sum F = 0$

$$P_1 \cdot A + \gamma \cdot h \cdot A - P_2 \cdot A = 0$$

$$P_2 - P_1 = \gamma \cdot h$$

Exemplos:

a) Pressão atuante em um ponto a 2 metros de profundidade em um poço de água.



Dados:

$$\gamma = 1000 \text{ kgf m}^{-3} \text{ ou } 9810 \text{ N m}^{-3}$$

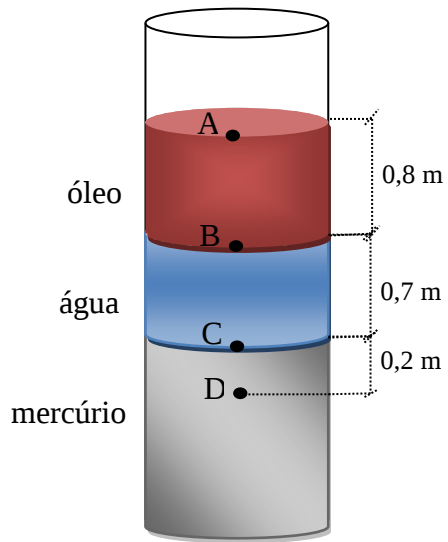
$$h = 2 \text{ m}$$

Cálculo:

$$P_2 - P_1 = \gamma \cdot h$$

$$P_1 = 0 \Rightarrow P_2 = 1000 \times 2 = 2000 \text{ kgf m}^{-2} \\ (16620 \text{ N m}^{-2})$$

b) Calcular a pressão relativa nos pontos A, B, C e D do esquema a seguir:



Dados:

$$\gamma_{\text{óleo}} = 850 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$\gamma_{\text{mercúrio}} = 13600 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$h_1 = 0,8 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$h_3 = 0,2 \text{ m}$$

Cálculos: $P = \gamma \cdot h$

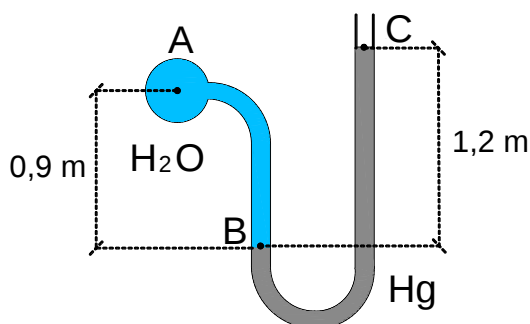
$$P_A = 0$$

$$P_B = P_A + 850 \times 0,8 = 680 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_C = P_B + 1000 \times 0,7 = 1380 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_D = P_C + 13600 \times 0,2 = 4100 \text{ kgf m}^{-2}$$

c) Calcular a pressão relativa no ponto A, no esquema a seguir:



Dados:

$$\gamma_{\text{água}} = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$\gamma_{\text{mercúrio}} = 13600 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$h_1 = 1,2 \text{ m}$$

$$h_2 = 0,9 \text{ m}$$

Princípio dos vasos comunicantes: a pressão é igual em dois pontos de um mesmo líquido, situados no mesmo nível (posição vertical).

$$P_C = 0$$

$$P_B = P_C + \gamma_{\text{Hg}} \cdot h_1 = 0 + 13600 \times 1,2$$

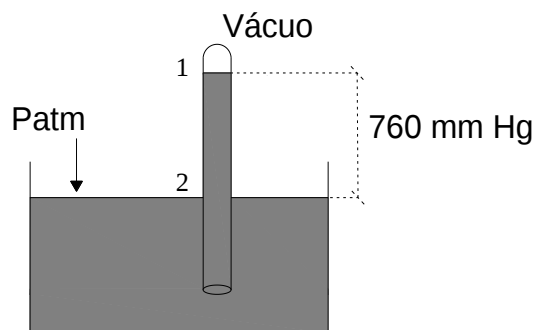
$$P_B = 16320 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$P_A = P_B - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot h_2 = 16320 - 1000 \times 0,9$$

$$P_A = 15420 \text{ kgf m}^{-2}$$

3. Pressão absoluta e pressão relativa

3.1) Torricelli – Coluna de mercúrio



$$P_2 - P_1 = \gamma \cdot h_{\text{Hg}}$$

$$P_1 = 0 \Rightarrow P_2 = \gamma \cdot h_{\text{Hg}}$$

$$P_2 = 13600 \times 0,76 = 10330 \text{ kgf m}^{-2}$$

Aplicação prática: sucção de água com bombas

Pressão relativa: medida em relação à P_{atm}

Pressão absoluta: $P_{\text{abs}} = P_{\text{rel}} + P_{\text{atm local}}$

$$P_{\text{rel}} = 0 \Rightarrow P = P_{\text{atm local}}$$

$$P_{\text{abs}} = 0 \Rightarrow P = 0 \text{ (zero absoluto ou vácuo)}$$

3.2) Variação da pressão atmosférica com a altitude local:

Medida prática: $P_{\text{atm loc}} = P_{\text{atm (NM)}} - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \cdot \text{Alt}$

$P_{\text{atm loc}}$ – pressão atmosférica local, em metros de coluna de água (mca)

$P_{\text{atm(NM)}}$ – pressão atmosférica ao nível do mar, em mca

Alt_{loc} – altitude local, em metros

Obs.: $1 \text{ mca} = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$

$1 \text{ atm} = 10330 \text{ kgf m}^{-2}$ ou $10,33 \text{ mca}$

Exemplos:

a) Calcular a pressão atmosférica em Piracicaba

Altitude local: 600 m $P_{\text{atm loc}} = 10,33 - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \times 550$

$$P_{\text{atm loc}} = 9,67 \text{ mca}$$

b) Calcular a pressão relativa e absoluta a 3 metros de profundidade de um lago situado a 1200 m de altitude.

$$P_{\text{atm loc}} = 10,33 - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \times 1200$$

$$P_{\text{atm loc}} = 8,89 \text{ mca}$$

$$P_{\text{rel}} = \gamma h = 1000 \times 3 = 3000 \text{ kgf m}^{-2} \text{ ou } 3 \text{ mca}$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{rel}} + P_{\text{atm loc}} = 3 + 8,89 = 11,89 \text{ mca ou } 11890 \text{ kgf m}^{-2}$$

c) Qual a temperatura de ebulição da água em Piracicaba?

Dados:

Altitude local: 550 m $P_{\text{atm loc}} = 10,33 - \frac{0,12 \text{ mca}}{100} \times \text{Alt}$

$P_{\text{atm local}} = 9,67 \text{ mca}$

$P_{\text{atm(NM)}} = 10,33 \text{ mca} = 101,325 \text{ kPa}$ $P_{\text{atm loc}} = 101,325 - \frac{1,177 \text{ mca}}{100} \times \text{Alt}$

$$P_{\text{atm loc}} = 101,325 - \frac{1,177 \text{ mca}}{100} \times 550 = 94,851 \text{ kPa}$$

⇒ A pressão atmosférica é que segura o vapor d'água no ar.

⇒ Quando a pressão de saturação de vapor d'água no ar (es) se iguala à pressão atmosférica (P_{atm}), a água entra em ebulição.

Equação de Tetens – Pressão de saturação de vapor d'água no ar

$$es = 0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,3 T}{237,3+T}\right)} \quad P_{\text{atm loc}} = 101,325 - \frac{1,177 \text{ mca}}{100} \times \text{Alt}$$

Ebulição da água ⇒ $es = P_{\text{atm}}$

$$0,6108 \cdot e^{\left(\frac{17,3 T}{237,3+T}\right)} = 94,851 \text{ kPa}$$

Isolando a temperatura na equação:

$$T = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{es}{0,6108}\right)}{17,3 - \ln\left(\frac{es}{0,6108}\right)} = \frac{237,3 \cdot \ln\left(\frac{94,851}{0,6108}\right)}{17,3 - \ln\left(\frac{94,851}{0,6108}\right)}$$

$$\text{R.: } T = 97,5^\circ\text{C}$$

3.3) Unidades de medida de pressão

a) Sistema Internacional: N m^{-2} (Pascal)

múltiplos: kPa e MPa

b) Sistema MK*S: kgf m^{-2}

c) Sistema CGS: dina cm^{-2} (baria)

$$\text{Múltiplo: } 1 \text{ bar} = 10^6 \text{ baria} \approx 10000 \text{ kgf m}^{-2} \text{ ou } 1 \text{ kgf cm}^{-2}$$

d) Metros de coluna de água(mca): $1 \text{ mca} = 1000 \text{ kgf m}^{-2}$

e) Atmosfera física: $1 \text{ atm} = 10,33 \text{ mca}$

f) Atmosfera técnica: $1 \text{ atm}^* = 10 \text{ mca} \text{ ou } 1 \text{ kgf cm}^{-2}$

g) Milímetros de mercúrio (mm Hg): 760 mm Hg = 1 atm física (759,56 mm)

10,33 mca

10330 kgf m⁻²

$$P = \gamma \, h = 13600 \times 0,75956 = 10330 \text{ kgf m}^{-2}$$

$$10330 \times 9,81 = 133416 \text{ N m}^{-2}$$

h) PSI (pounds per squared inch):

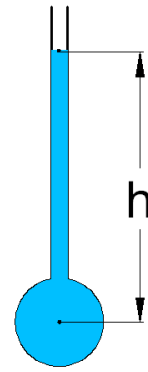
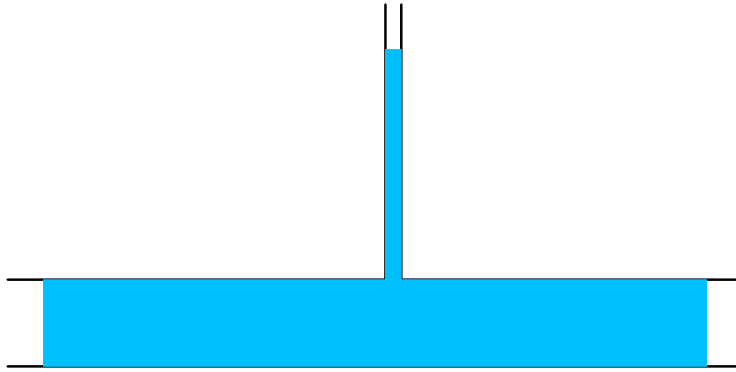
PSI: libra-força por polegada quadrada

$$1 \text{ PSI} = 702,85 \text{ kgf m}^{-2} = 0,70285 \text{ mca ou } 0,070285 \text{ atm}^*$$

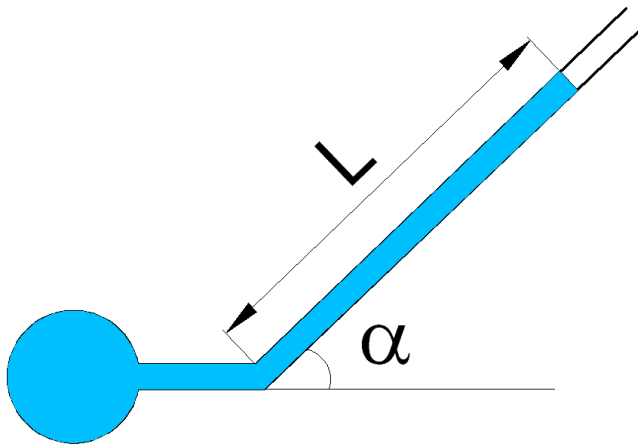
3.4) Medidores de pressão

a) Piezômetros (medição de pressão relativa)

- Piezômetro vertical



- Piezômetro inclinado

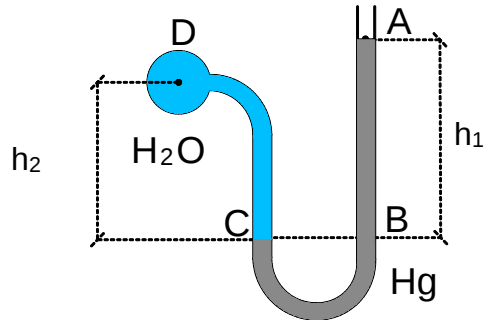


$$P = \gamma h \quad h = L \sin \alpha$$

$$P = \gamma L \sin \alpha$$

Indicados para pressões baixas
(líquidos de peso específico baixo)

b) Tubo “U” (manômetro)



Indicado para pressões mais altas
(líquidos de peso específico alto)

Cálculo de pressão com tubo “U”

Sistema estático $\rightarrow \Sigma P = 0$

$$P_A + \gamma_{Hg} \cdot h_1 - \gamma_{H_2O} \cdot h_2 - P_D = 0 \quad \text{ou} \quad P_D + \gamma_{H_2O} \cdot h_2 - \gamma_{Hg} \cdot h_1 - P_A = 0$$

Exemplo:

$$h_2 = 0,7 \text{ m}$$

$$P_A + \gamma_{Hg} \cdot h_1 - \gamma_{H_2O} \cdot h_2 - P_D = 0$$

$$h_1 = 1 \text{ m}$$

$$\gamma_{Hg} = 13600 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$0 + 13600 \cdot 1 - 1000 \cdot 0,7 - P_D = 0$$

$$\gamma_{H_2O} = 1000 \text{ kgf m}^{-3}$$

$$P_A = 0$$

$$P_D = 12900 \text{ kgf m}^{-2} \quad \text{ou} \quad 12,9 \text{ mca}$$

$$P_D = ?$$

(Pressão relativa)

c) Manômetros diferenciais

- Medição da diferença de pressão entre dois pontos de uma tubulação, ou de duas tubulações distintas.
- O sentido da medição não altera o resultado.

Exemplo:

d) Manômetro tipo Bourdon

- com e sem glicerina

e) Manômetro de peso morto

- calibração de manômetros tipo Bourdon

Exemplos:

I) Cálculo da pressão com tubo “U”

II) Esfigmomanômetro (pressão arterial)

III) Manômetro diferencial

4. Exercício (Provinha 2)

Calcular a diferença de pressão entre os pontos A e B, no esquema a seguir: