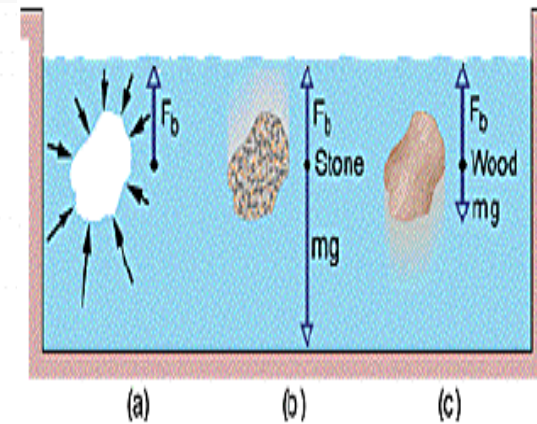
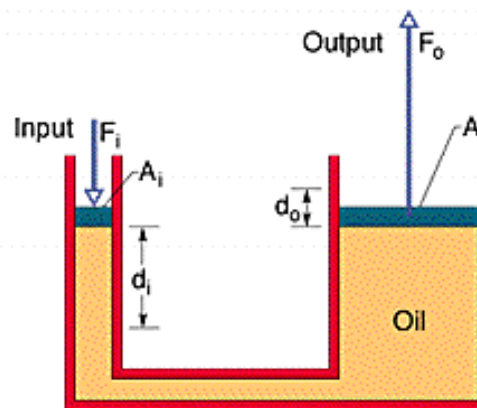
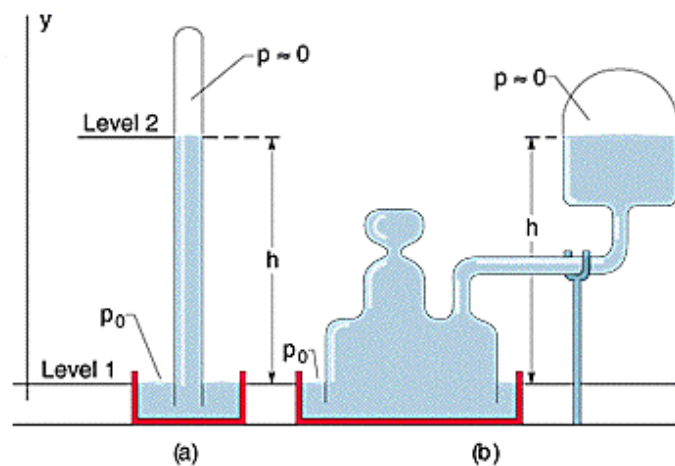


Aula-4

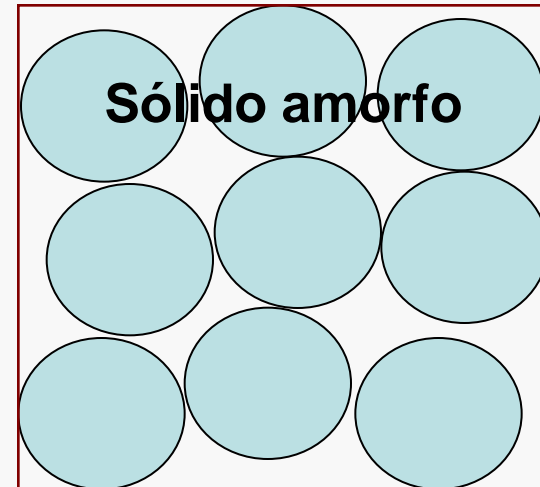
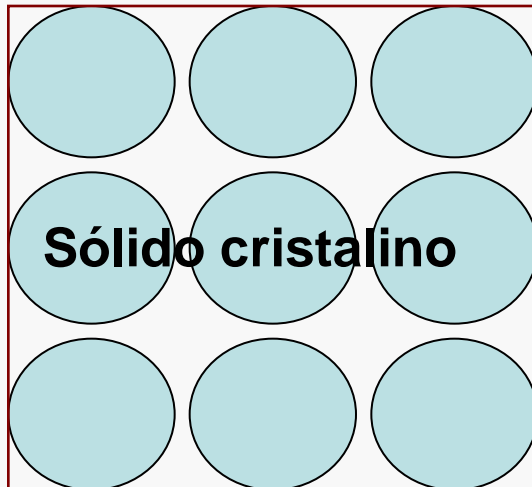
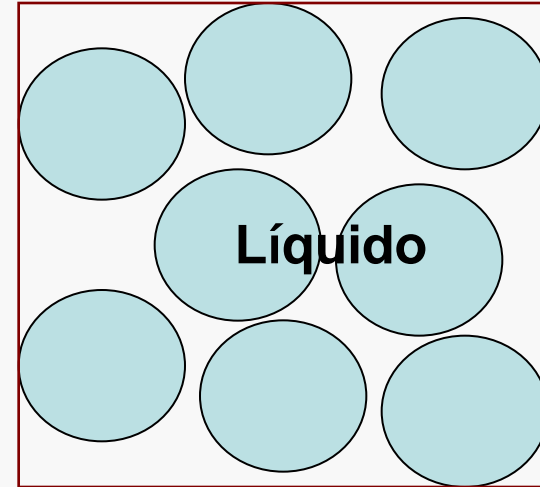
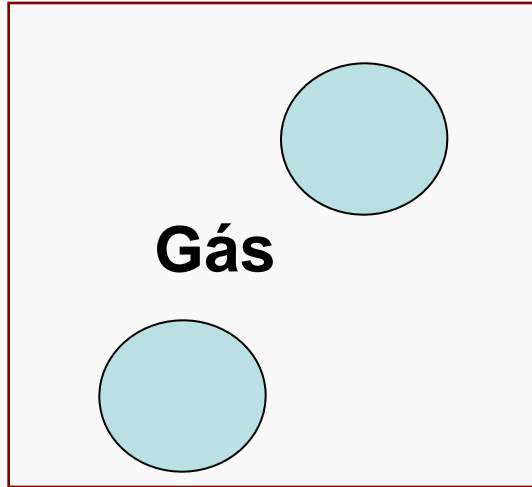
Fluidos

Física Geral II - F 228

1º semestre, 2021



Estados da matéria:



Estados da matéria

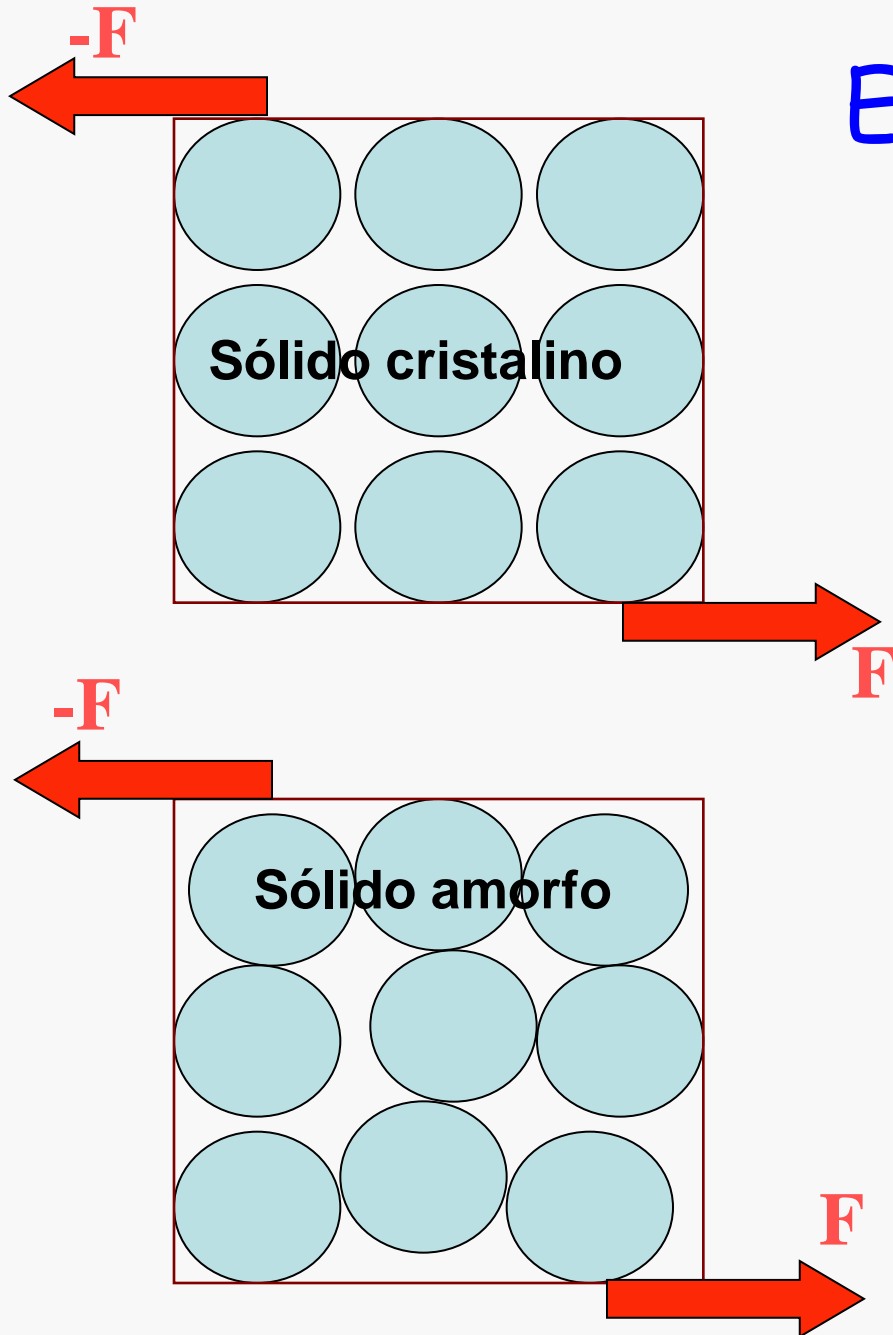
- **Sólidos:**

Resistem a tensões de cisalhamento!

Para uma certa quantidade de massa M , que ocupa um volume V :

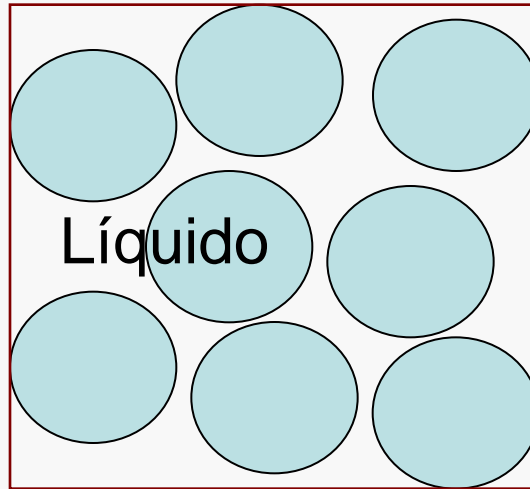
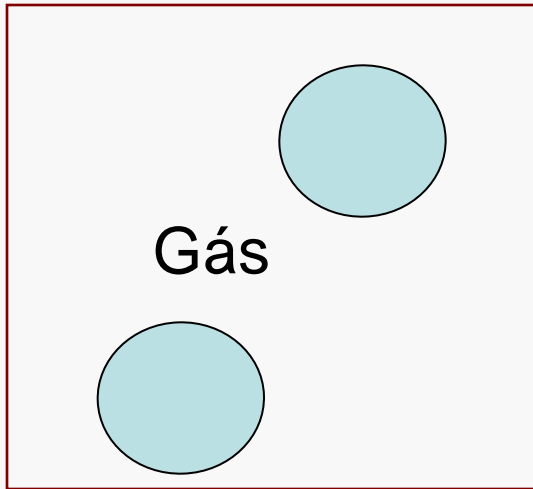
$$\rho = \frac{M}{V}$$

onde ρ é a densidade.

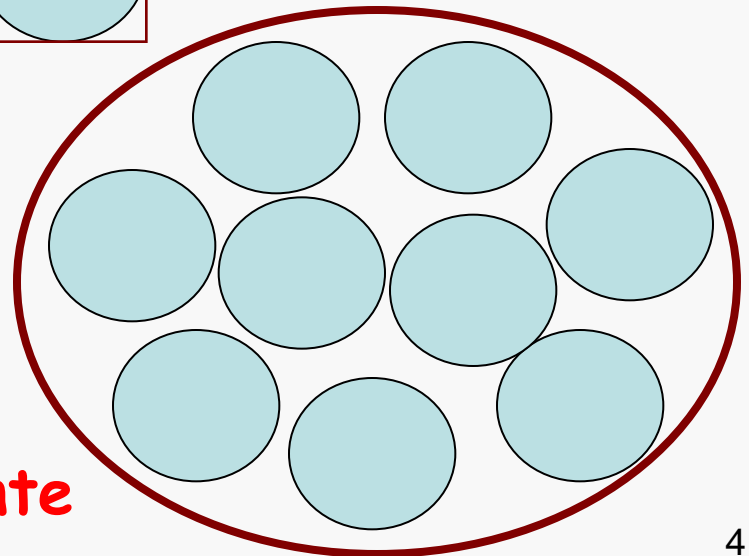
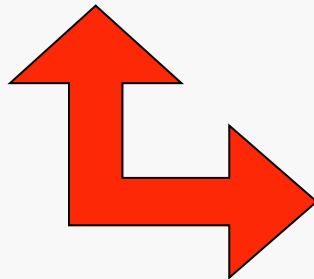


Fluidos:

Não resistem a tensões de cisalhamento (podem escoar)



$$\rho = \frac{M}{V}$$



Assumem a forma do recipiente

Densidades: (kg/m³)

Fluidos

$$\rho_{\text{gases}} \ll \rho_{\text{líquidos}} \approx \rho_{\text{sólidos}}$$

Gases



Hidrogênio	0,083
Helio	0,164
Neônio	0,900
Argônio	1,784
Xenônio	5,88
Nitrogênio	1,15
Oxigênio	1,31
fluor	1,70
ar [cntp]	1,21
CO	1,25
CO ₂	1,80



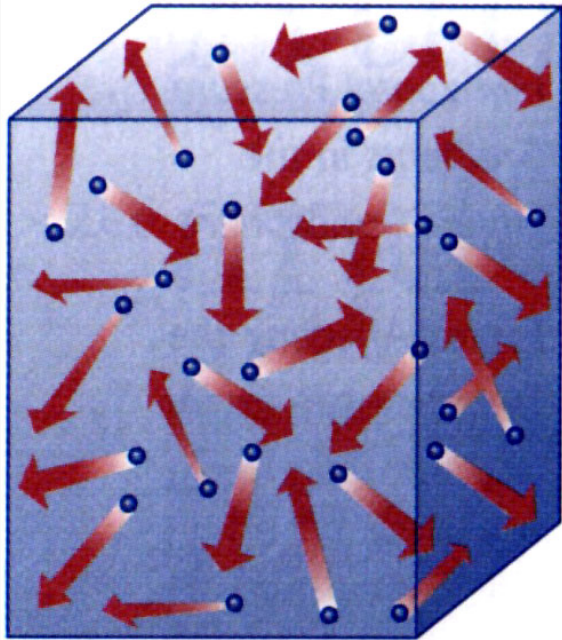
Líquidos & sólidos

Amônia	682
<u>sangue</u>	<u>1050</u>
benzeno	879
Etanol	789
Argônio [liq.]	1390
Metano	424
<u>Água</u>	<u>1000</u>
Cobre	8920
Prata	10490
Chumbo	11340
Mercúrio	13600
Ouro	19320
nylon	1140
PTFE	1200

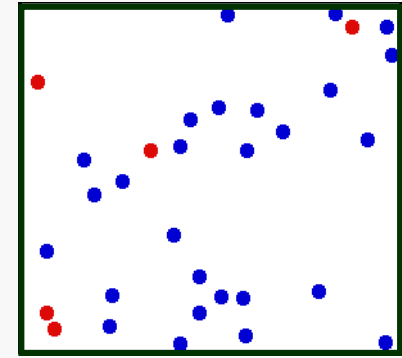
$$\rho = \frac{M}{V}$$

Líquidos e Gases:

Tensão hidrostática (Pressão)

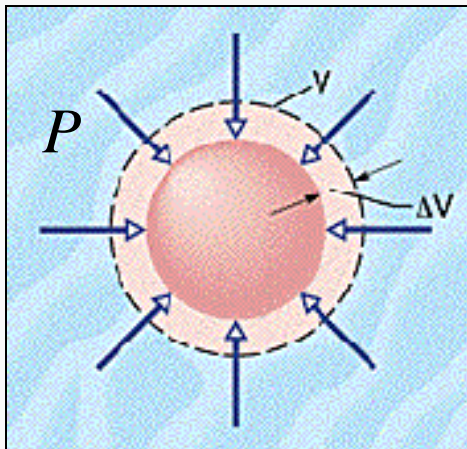


$$P = \frac{F}{A}$$



Pressão de um fluido (P):

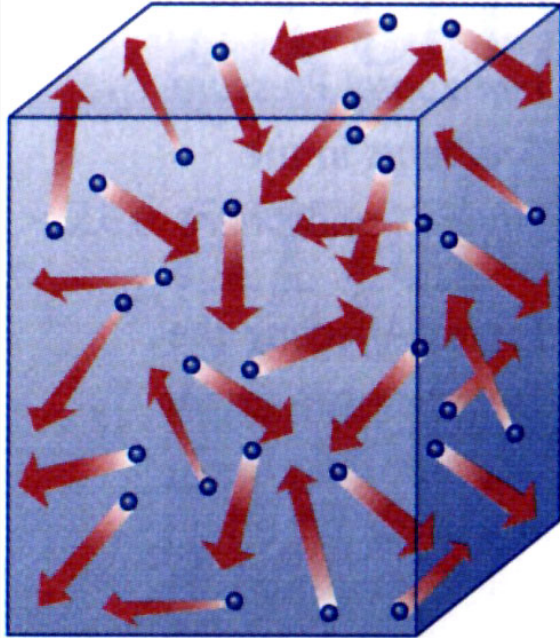
É resultado da força média que as moléculas do fluido exercem sobre as paredes de um recipiente



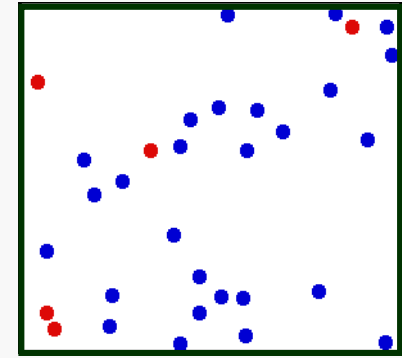
Neste caso, a tensão hidrostática sobre a esfera é a pressão do fluido

Líquidos e Gases:

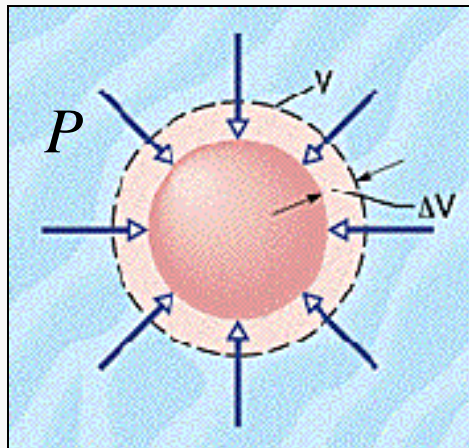
Tensão hidrostática (Pressão)



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



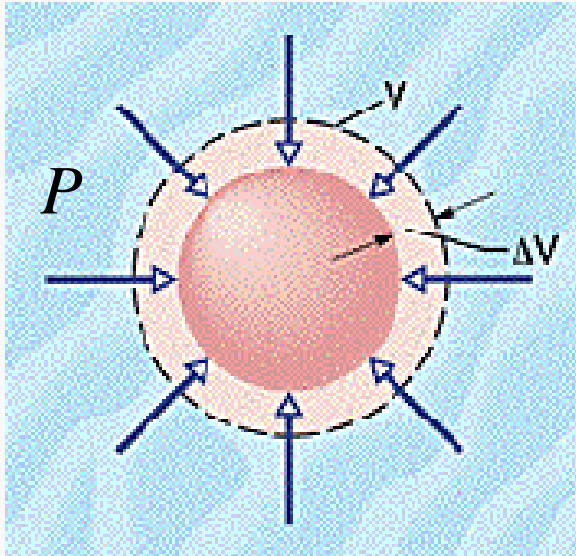
Atenção: força é uma grandeza vetorial e pressão é escalar!



Quando um fluido está em repouso, a pressão em um ponto dado deve ser a mesma em qualquer direção.

Líquidos e Gases:

Tensão hidrostática (Pressão)



$$P = B \frac{\Delta V}{V}$$

- B é o módulo de compressibilidade

Pressão

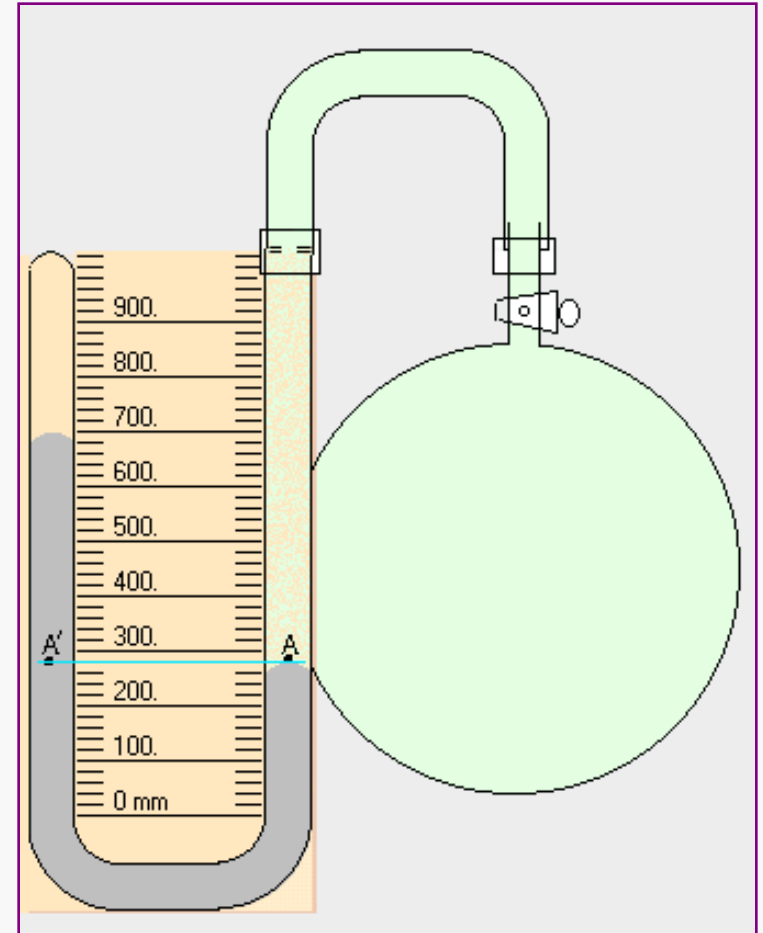
Unidades:

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

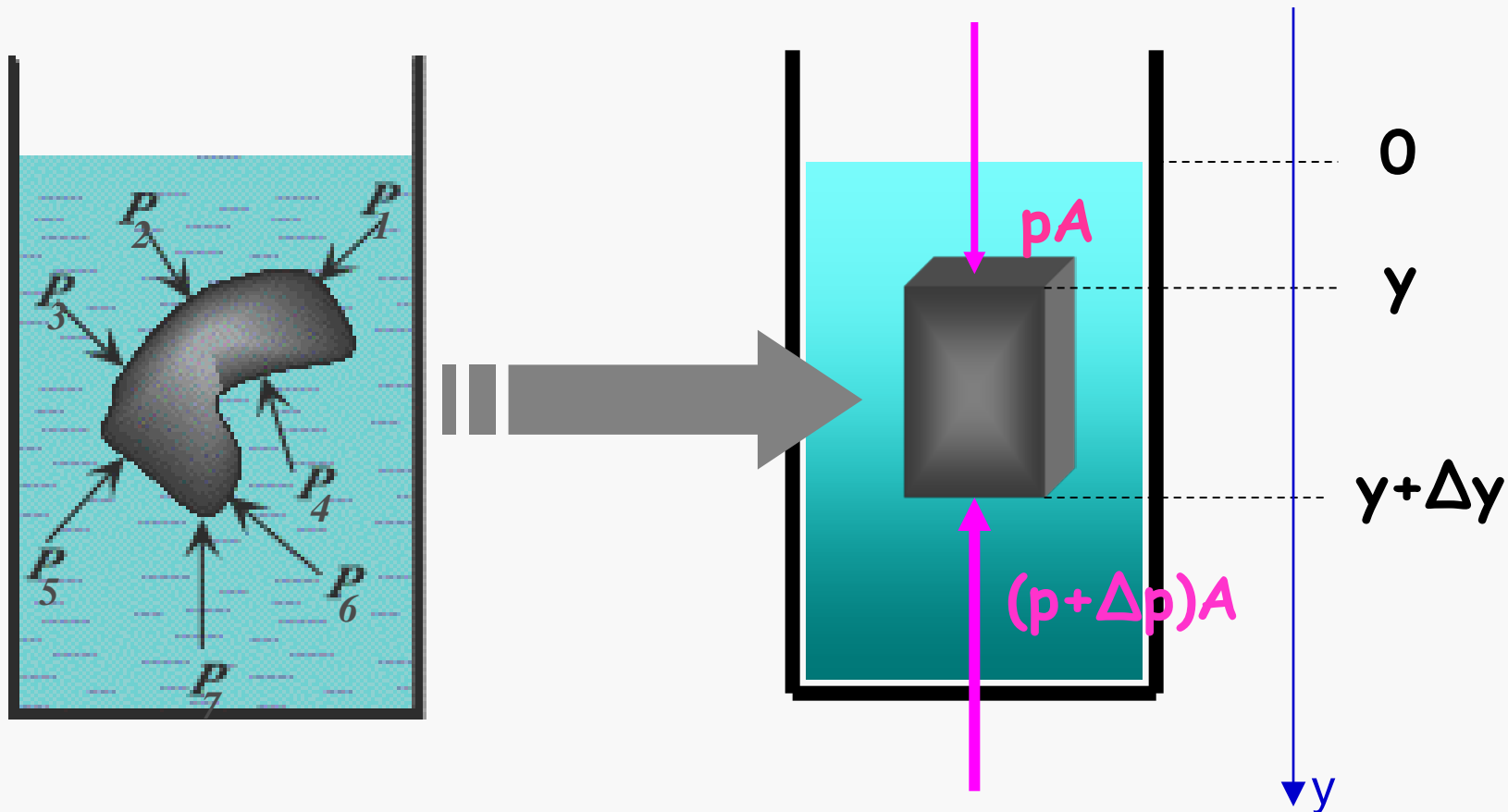
$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 1 \text{ bar} = 760 \text{ mm Hg}$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \text{ lb/in}^2 \text{ (PSI)}$$

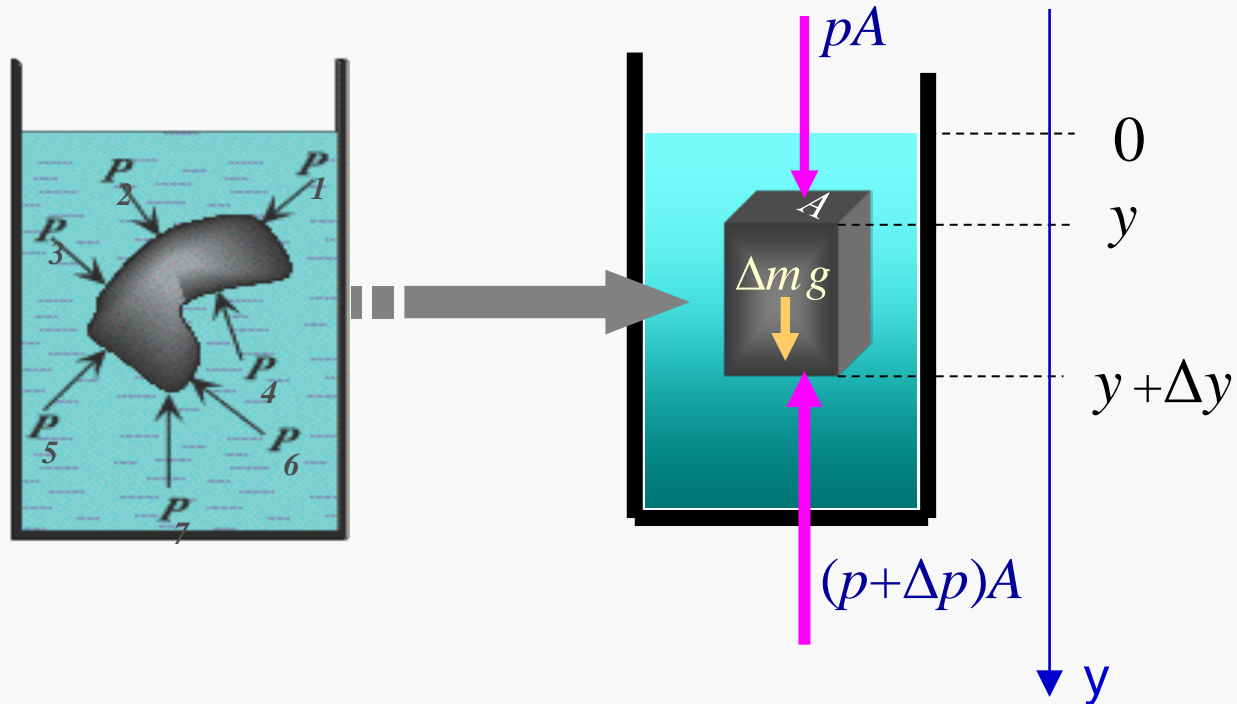


Variação da pressão...



A força devida à pressão sobre um objeto imerso é sempre perpendicular à superfície em cada ponto. A pressão em um ponto de um fluido estático só depende da profundidade.

Variação da pressão...



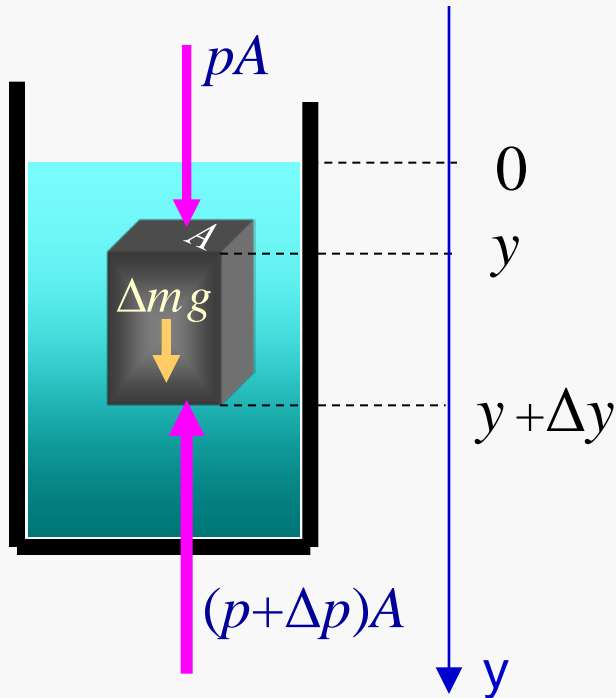
Massa de um bloco fictício de água: $\Delta m = \rho(A\Delta y)$

Área do bloco fictício, paralela à superfície da água: A

$$F_{\uparrow} = (p + \Delta p)A$$

$$F_{\downarrow} = pA + \Delta mg = pA + \rho(A\Delta y)g$$

Variação da pressão...



$$F_{\uparrow} = (p + \Delta p)A$$

$$F_{\downarrow} = pA + \Delta m g = pA + \rho(A\Delta y)g$$

Como o bloco fictício está em repouso, a resultante das forças é nula:

$$F_{\uparrow} - F_{\downarrow} = (p + \Delta p)A - pA - \rho(A\Delta y)g = 0$$

$$p + \Delta p - p = \rho \Delta y g$$

$$\Delta p = \rho g \Delta y \quad \longrightarrow$$

$$\boxed{\frac{dp}{dy} = \rho g}$$

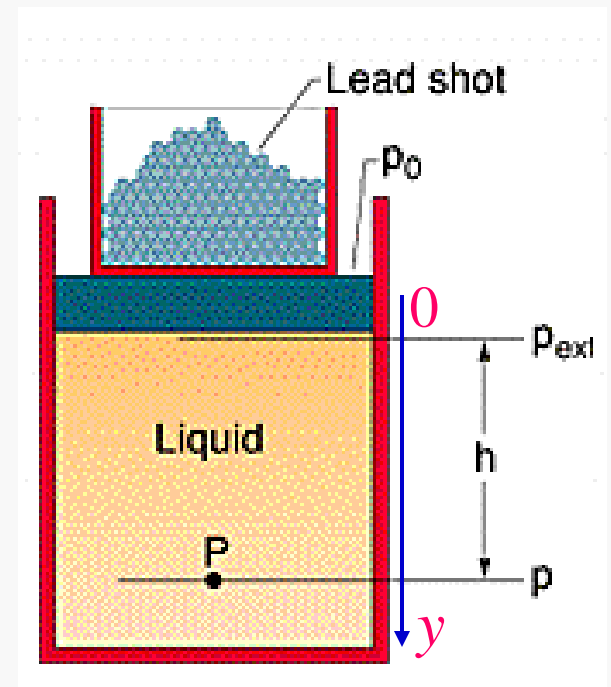
Variação da pressão...

$$\frac{dp}{dy} = \rho g$$

$$dp = \rho g dy$$

$$\int_0^h dp = \int_0^h \rho g dy$$

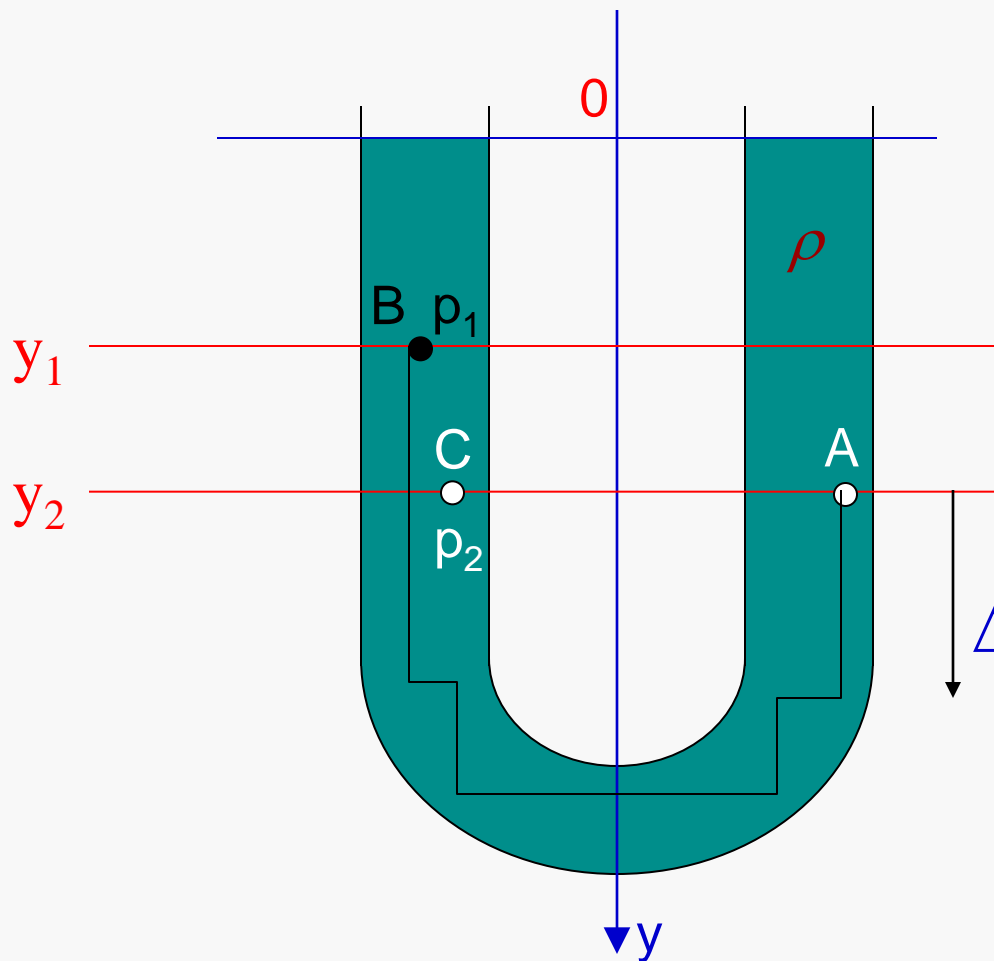
$$\Rightarrow \boxed{p(h) = p_0 + \rho gh}$$



Consequência imediata:

Se p_0 é modificada como resultado de um efeito externo,
 p é modificada da mesma quantidade.

Tubo em U



$$dp = \rho g dy$$

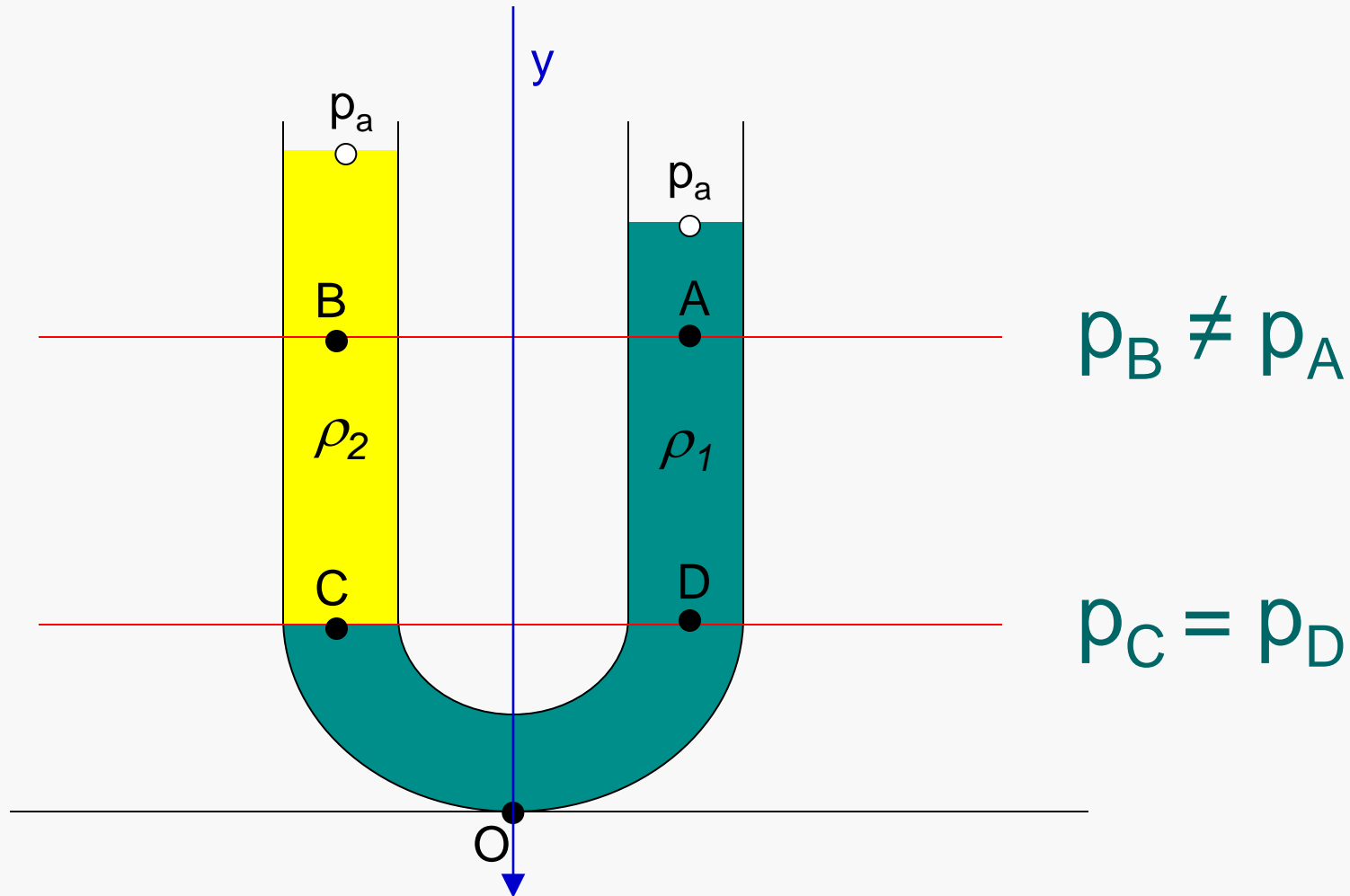
$$p_2 - p_1 = \rho g (y_2 - y_1)$$

$$p_A - p_B = \rho g (y_2 - y_1)$$

$$\Delta p = \rho g \Delta y$$

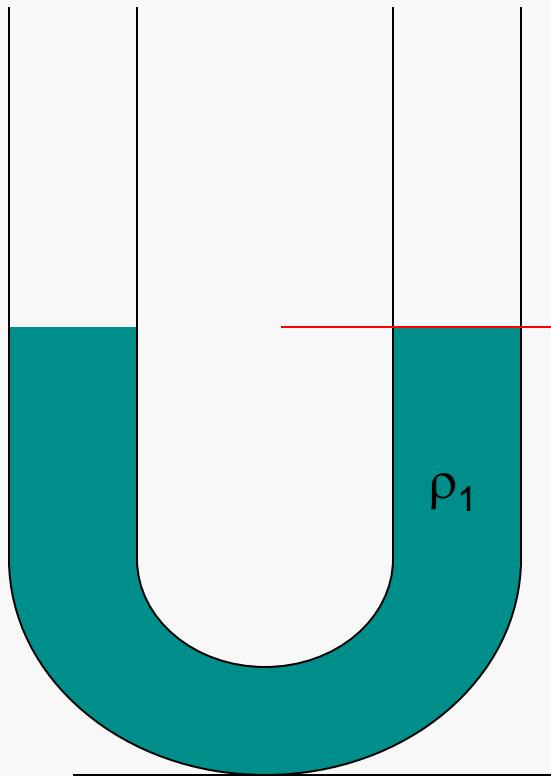
$$p_C - p_A = \rho g (y_2 - y_2) = 0 \quad \rightarrow \quad p_C = p_A = p_2$$

Tubo em U: Exemplo 1



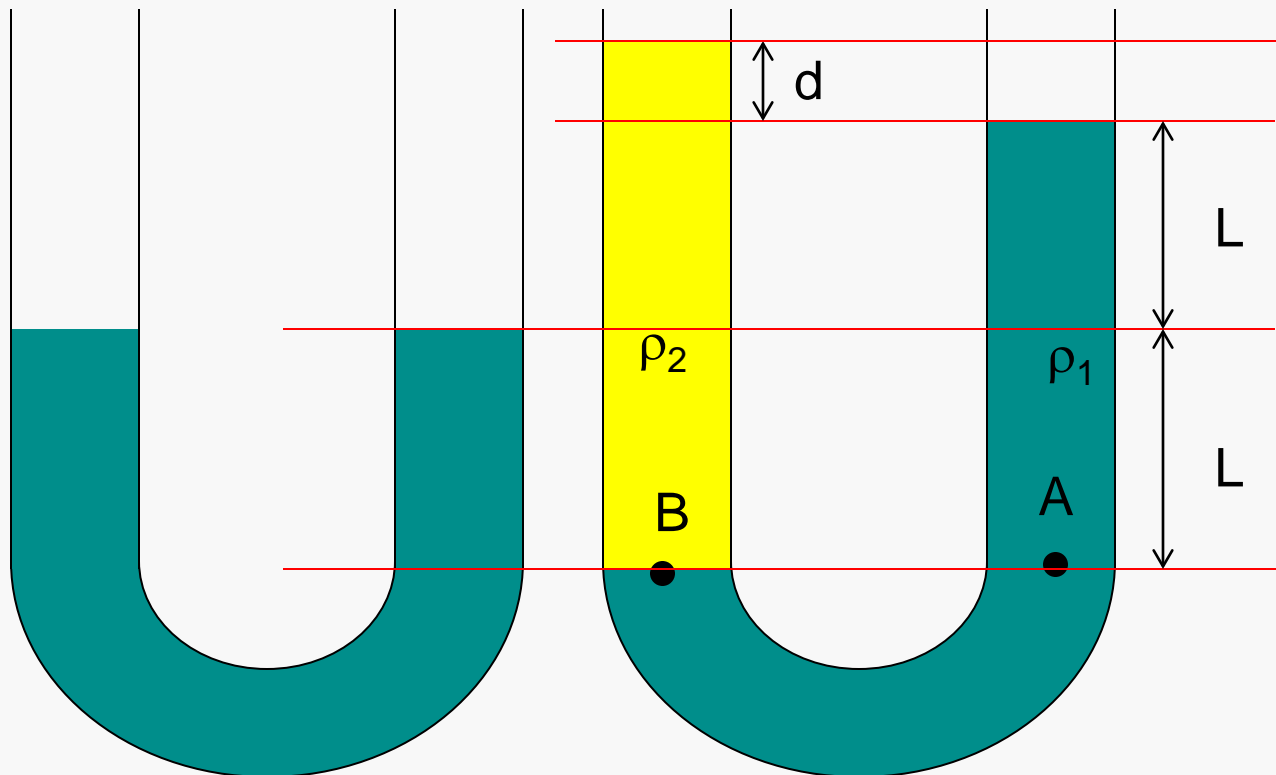
$$p_O - p_C = p_O - p_D \rightarrow p_C = p_D$$

Exemplo 2: Um tubo em U está parcialmente cheio com um líquido de densidade ρ_1 . Um segundo líquido, que não se mistura ao primeiro, é colocado num dos ramos do tubo. O nível neste ramo fica a uma altura d acima do nível no outro ramo, que por sua vez se eleva de uma altura L acima do nível original. Determine ρ_2 do segundo líquido.



Um tubo em U está parcialmente cheio com um líquido de densidade ρ_1 . Um segundo líquido, que não se mistura ao primeiro, é colocado num dos ramos do tubo. O nível neste ramo fica a uma altura d acima do nível no outro ramo, que por sua vez se eleva de uma altura L acima do nível original. Determine ρ_2 do segundo líquido.

$$p_A = p_B \quad \longrightarrow \quad \rho_1 g 2L = \rho_2 g (d + 2L)$$



$$\rho_2 = \rho_1 \frac{2L}{2L + d}$$

Exemplo 3

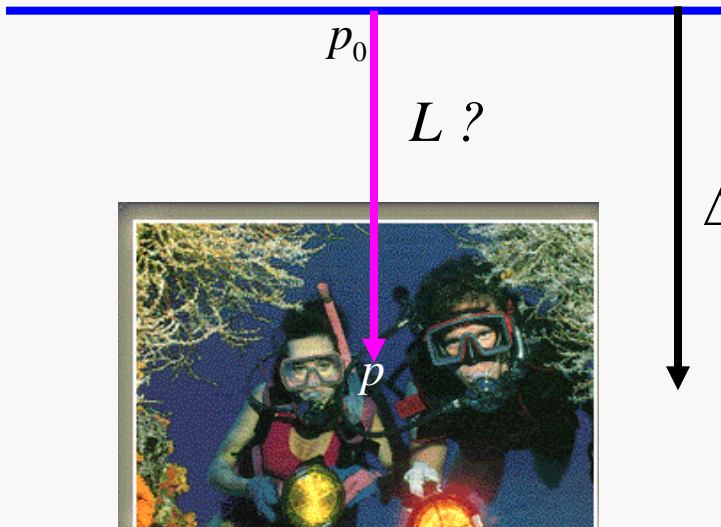
$$p = p_0 + \int \rho g \, h = p_0 + \rho g L$$

$$\Delta p = p - p_0 = \rho g L$$

$$L = \frac{\Delta p}{\rho g}$$

$$\Delta p = 9,3 \text{ kPa}$$

$$L = \frac{9300 \text{ Pa}}{998 \text{ Kg/m}^3 \times 9,8 \text{ m/s}^2} = 0,95 \text{ m}$$

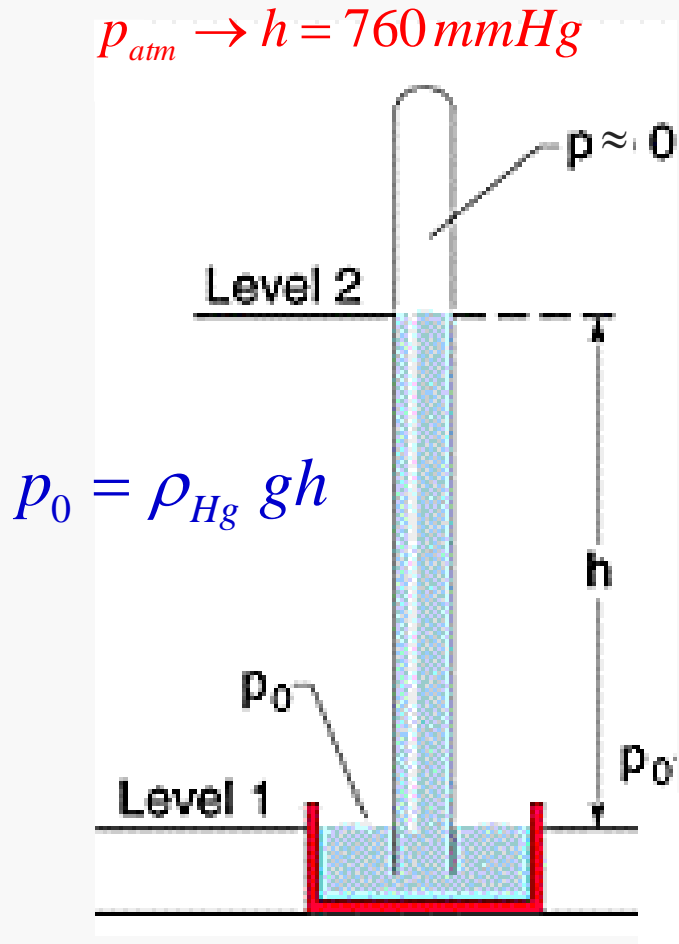


(1 atm $\approx 10^5$ Pa)

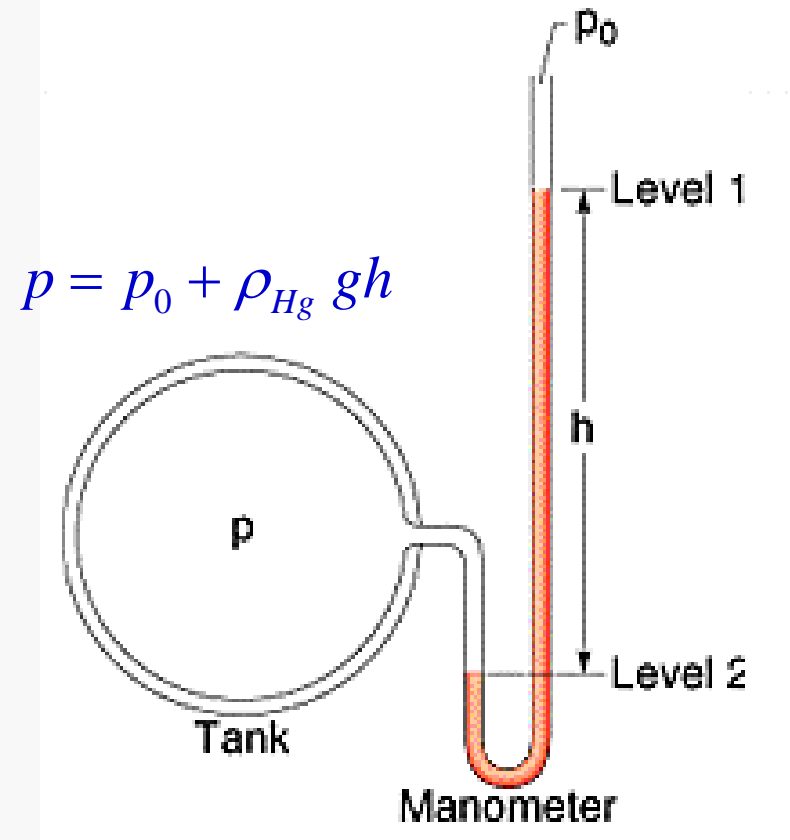
$L = 0,95 \text{ m}$ não é uma grande profundidade.

Mas: $\Delta p = 9,3 \text{ kPa} \approx 0,09 \text{ atm}$ já é uma diferença de pressão considerável para o corpo humano.

Medidores de pressão...

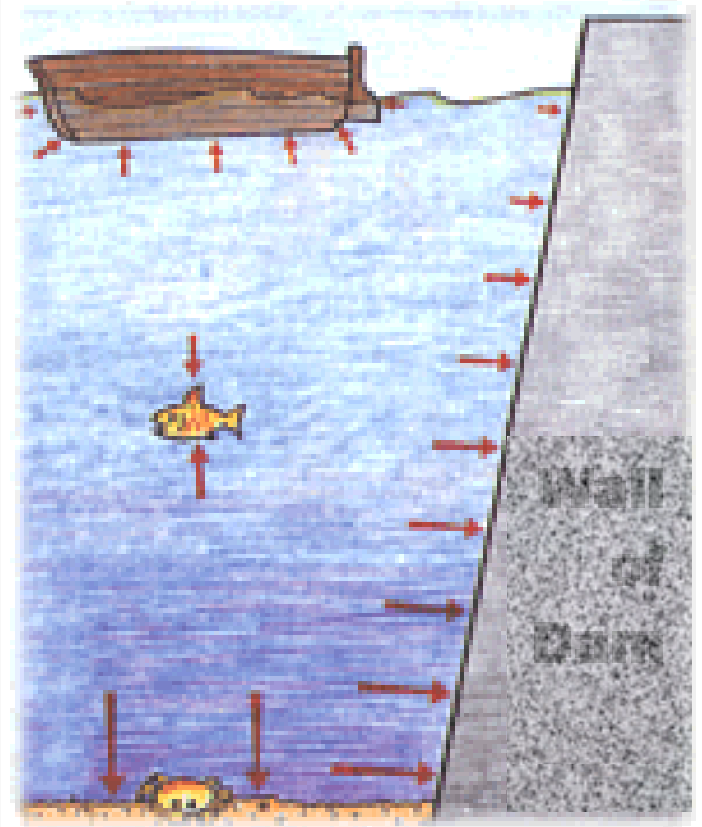


Barômetro de Mercúrio

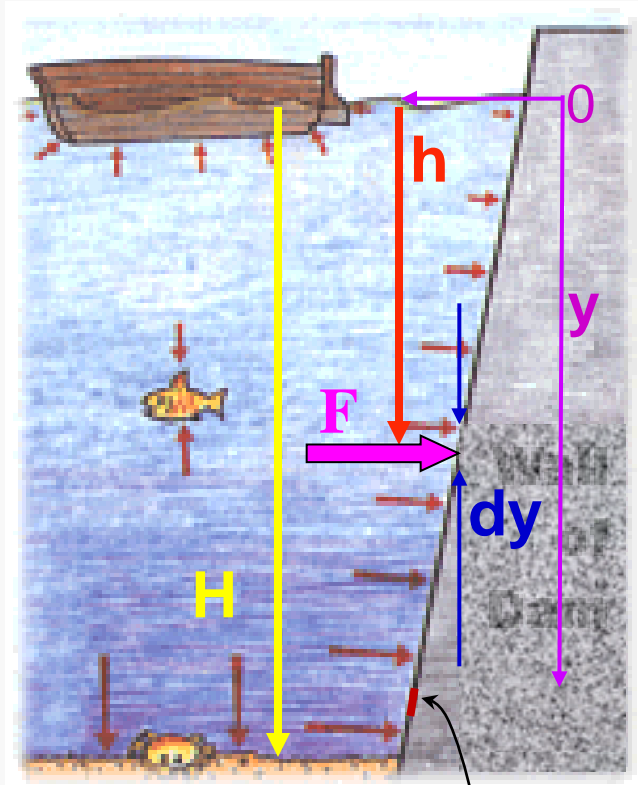


Manômetro de tubo aberto

Exemplo: Forças em uma represa



Exemplo: Forças em uma represa



$$dA = w dy$$

$$P(y) = \rho g y$$

$$F = PA \rightarrow dF = P dA$$

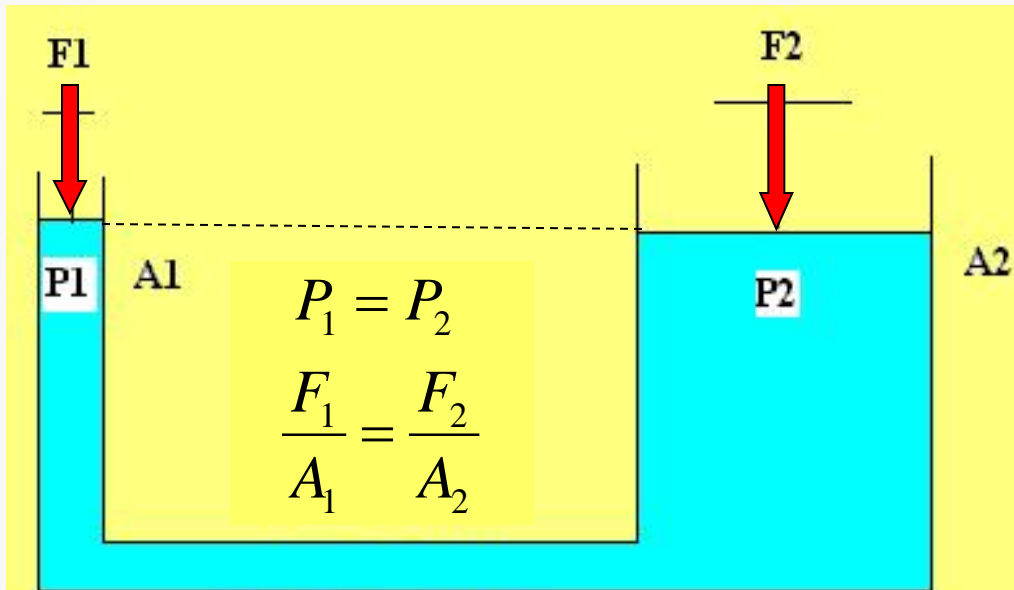
$$dF = P dA = \rho g y (w dy)$$

$$F = \rho g w \int_0^H y dy = \frac{1}{2} \rho g w H^2$$

$$\text{Se } \begin{cases} H = 150 \text{ m} \\ w = 1200 \text{ m} \end{cases} \rightarrow$$

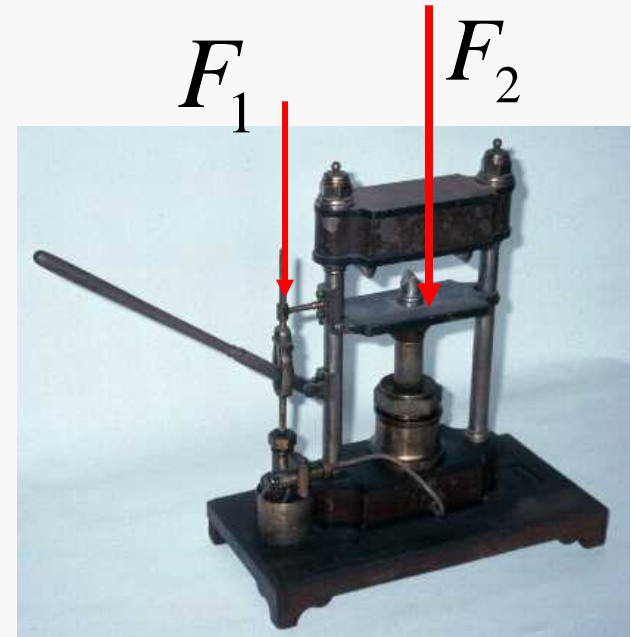
$$F \approx 1,32 \times 10^{11} \text{ N}$$

Princípio de Pascal



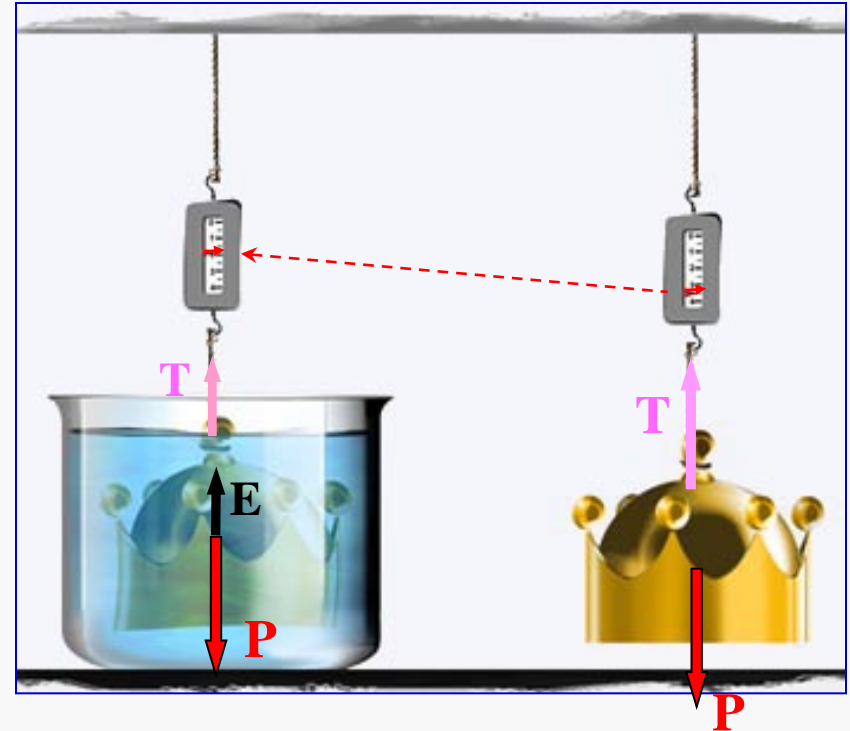
$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

Prensa hidráulica



Ex.: $\frac{A_2}{A_1} \approx 100$

Princípio de Arquimedes



Enunciado tradicional: { " O empuxo de um objeto imerso é igual ao peso do líquido deslocado "

Princípio de Arquimedes

Corpo imerso no líquido

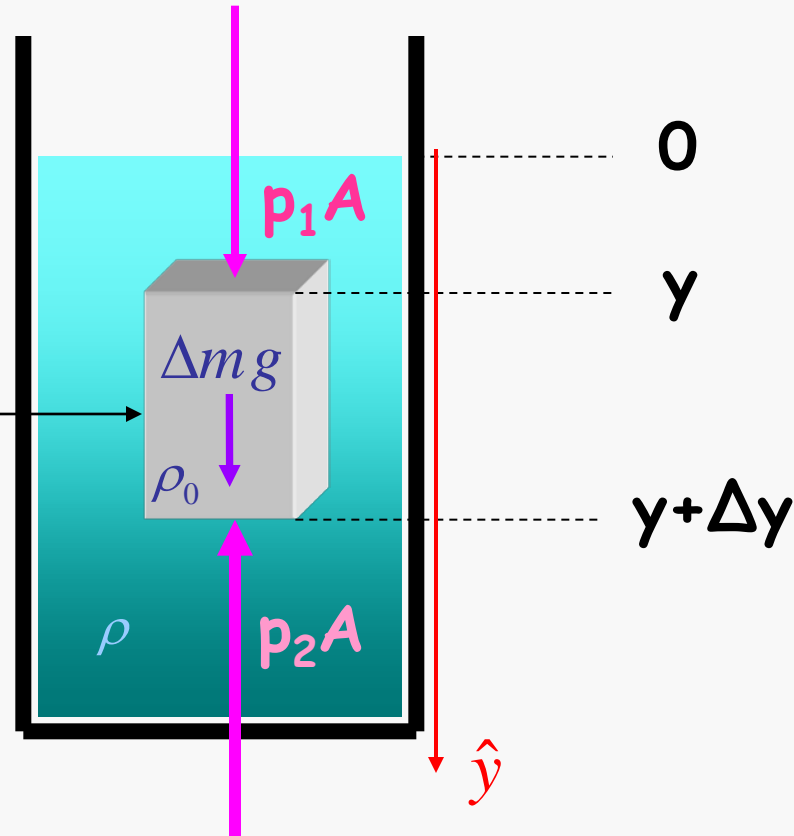
Densidade do corpo: ρ_0

$$\Delta m = \rho_0 (A \Delta y)$$

Forças no corpo:

$$\vec{F}_{\uparrow} = -p_2 A \hat{y} \quad ; \quad \vec{F}_{\downarrow} = (p_1 A + \rho_0 (A \Delta y) g) \hat{y}$$

$$\vec{F}_{\uparrow} + \vec{F}_{\downarrow} = [\rho_0 (A \Delta y) g - (p_2 - p_1) A] \hat{y}$$



Princípio de Arquimedes

$$\vec{F}_{\uparrow} + \vec{F}_{\downarrow} = [\rho_0 (A\Delta y)g - (p_2 - p_1)A]\hat{y}$$

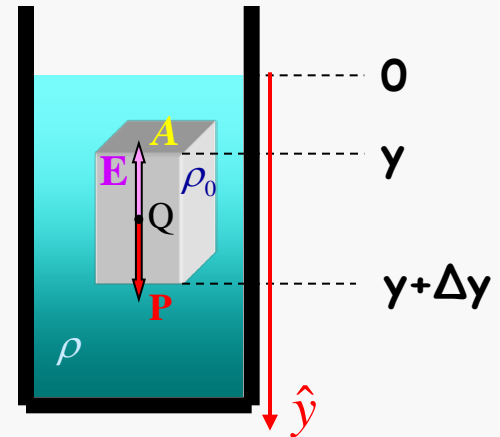
Mas: $(p_2 - p_1) = \rho g \Delta y$

$$\vec{F}_R = \vec{F}_{\uparrow} + \vec{F}_{\downarrow} = (\rho_0 Vg - \rho g A\Delta y)\hat{y} = (\rho_0 Vg - \rho Vg)\hat{y}$$

$$\vec{F}_R = \vec{P} + \vec{E}$$

onde:

$$\left\{ \begin{array}{l} \vec{P} = \rho_0 Vg \hat{y} = \Delta mg \hat{y} \quad \text{é o peso} \\ \vec{E} = -\rho Vg \hat{y} \quad \text{é o empuxo !} \end{array} \right.$$



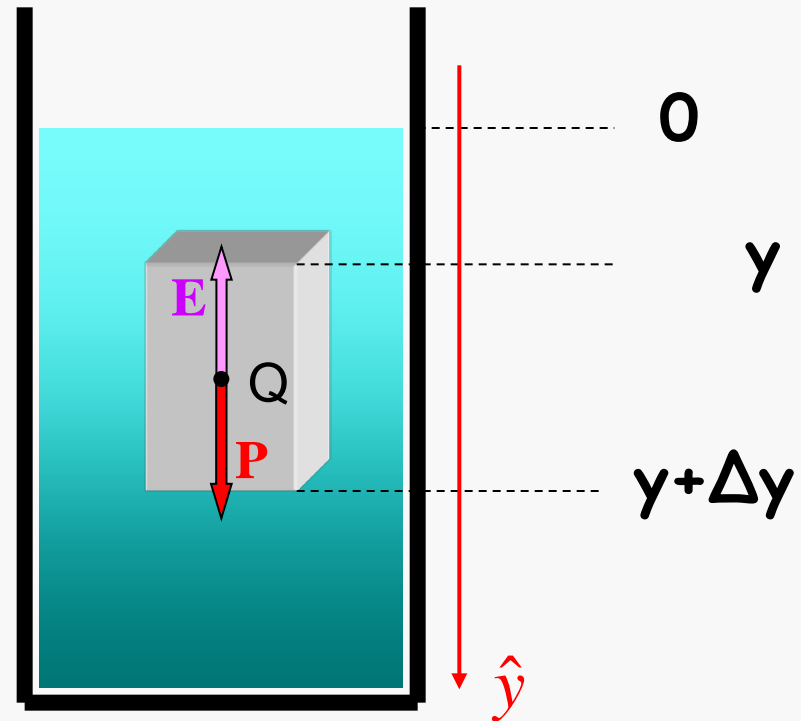
$$\vec{E} = -\rho V g \hat{y}$$

O empuxo é uma força para cima e depende do volume de líquido deslocado pela presença do corpo imerso.

ponto Q: é o centro de
empuxo...



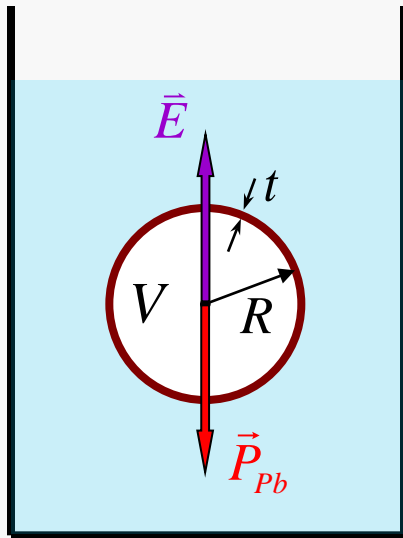
... ou centro de massa
do volume deslocado!



Exemplo

- Um balão de chumbo, com vácuo no interior, de raio médio $R = 0,1 \text{ m}$ está totalmente submerso em um tanque. Estime a espessura t da parede do balão se esse não emerge nem afunda?

$$\rho_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg m}^{-3} \quad \rho_{Pb} = 11,3 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$



$$\vec{E} = -\vec{P}_{\text{água}}$$

$$P_{\text{água}} = \rho_a V_{\text{balão}} g = \frac{4}{3} \pi R^3 \rho_a g$$

$$P_{Pb} = mg = \rho_{Pb} V_{Pb} g \approx \rho_{Pb} g 4\pi R^2 t$$

Supomos que: $t \ll R$ ($= 100 \text{ mm}$)

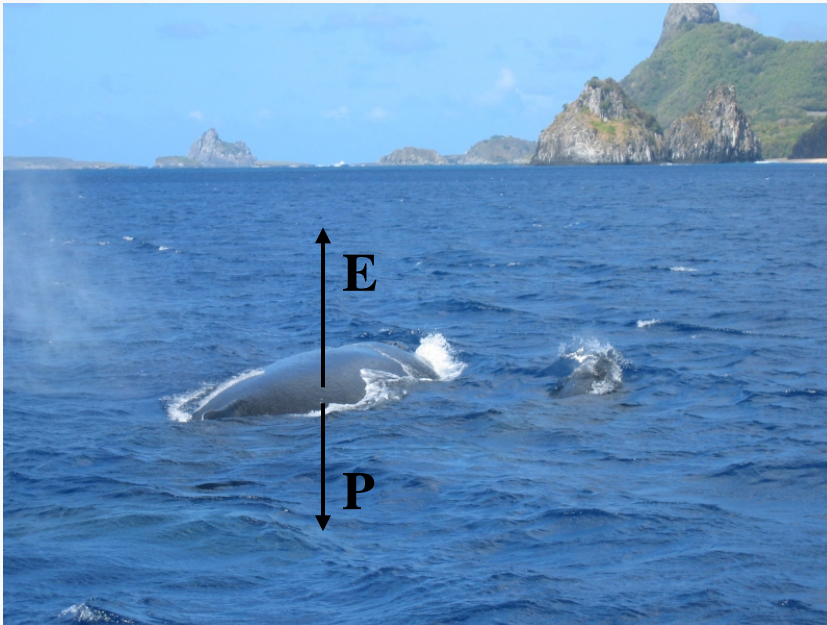
$$P_{Pb} = P_{\text{água}} \rightarrow t = \frac{\rho_{\text{água}}}{\rho_{Pb}} \frac{R}{3}$$

$$t \approx 2,95 \text{ mm}$$

MAIS EXEMPLOS...

Exemplo 1:

Volume máximo de uma baleia para submergir sem esforço? [$m_b = 150.000 \text{ kg}$; V_b (com pulmão vazio) = 135 m^3]



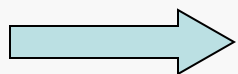
$$E = P \rightarrow \rho_a V g = \rho_b V g$$

$$\rho_a = \rho_b$$

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{150000 \text{ kg}}{V_{\text{max}}}$$

$$V_{\text{max}} = 150 \text{ m}^3 \quad (\text{pulmão cheio})$$

$$\Delta V = \frac{(150 - 135)}{150} = 0.1 \quad (10\%)$$



Expelir do pulmão $\sim 15 \text{ m}^3$ de ar !

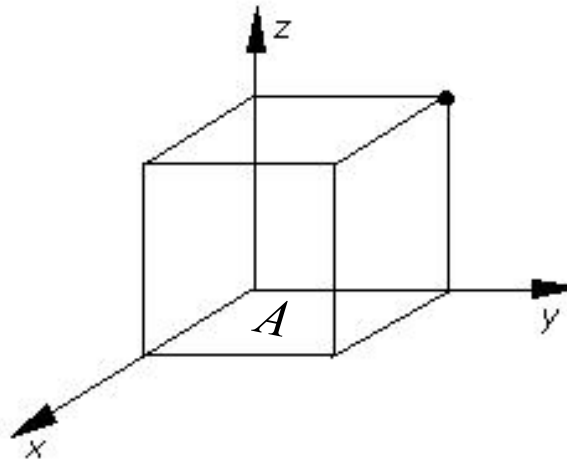
Exemplo 2:

- As dimensões do piso de uma sala são de 3,5 m por 4,2 m e a altura das paredes é de 2,4 m.
- a) Qual é o peso do ar contido na sala ($\rho_{ar} = 1,21 \text{ kg/m}^3$) ?
- b) Qual é a magnitude da força da atmosfera sobre o chão da sala, quando a pressão é de 1 atm ($1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$) ?

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

a) $W = \rho_{ar} V g = 1,21 \times (4,2 \times 3,5 \times 2,4) \times 9,8 = 418 \text{ N}$

b) $F = pA = 1,01 \times 10^5 \times (3,5 \times 4,2) = 1,5 \times 10^6 \text{ N}$

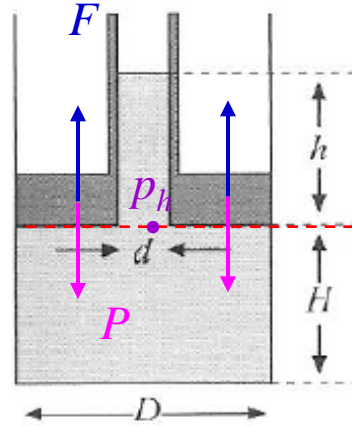


2) Um pistão é constituído por um disco ao qual se ajusta um tubo oco cilíndrico de diâmetro d , e está adaptado a um recipiente cilíndrico de diâmetro D , como mostra a figura abaixo. A massa do pistão com o tubo é M e ele está inicialmente no fundo do recipiente. Despeja-se então pelo tubo uma massa m de líquido de densidade ρ ; em consequência, o pistão se eleva de uma altura H . Calcule H .

$$m = \rho\pi\left(\frac{D^2}{4}H + \frac{d^2}{4}h\right)$$

$$m = \frac{\pi\rho D^2}{4}\left(H + \frac{d^2}{D^2}h\right)$$

$$H = \frac{4}{\pi\rho D^2}m - \frac{d^2}{D^2}h$$



$$p_h = p_0 + \rho gh$$

$$F = (p_h - p_0) \times \pi\left(\frac{D^2 - d^2}{4}\right) = \pi\left(\frac{D^2 - d^2}{4}\right)\rho gh \quad ; \quad P = Mg$$

$$F = P \rightarrow h = \frac{4M}{\pi(D^2 - d^2)\rho}$$

$$H = \frac{4}{\pi\rho D^2}m - \frac{d^2}{D^2}\left(\frac{4M}{\pi(D^2 - d^2)\rho}\right) = \frac{4}{\pi\rho D^2}\left(m - \frac{d^2 M}{(D^2 - d^2)}\right)$$

Paradoxo Hidrostático de Galileu (~ 1600)

"O empuxo de um objeto imerso é igual ao peso do líquido deslocado"



Figura 1 – Paradoxo de Galileu: corpo flutuando em um recipiente onde não existe o volume de líquido requerido pelo enunciado tradicional da Lei de Arquimedes.

Paradoxo Hidrostático de Galileu (~ 1600)

"O empuxo de um objeto imerso é igual ao peso do fluido contido em um volume idêntico ao do objeto imerso"



Figura 1 – Paradoxo de Galileu: corpo flutuando em um recipiente onde não existe o volume de líquido requerido pelo enunciado tradicional da Lei de Arquimedes.