



Universidade Federal do Paraná
Setor: Tecnologia
Departamento: Engenharia Química

Estática dos fluidos

Prof^a. Dra. Alessandra Cristina Pedro

Estática dos Fluídos

O comportamento dos fluídos está fundamentado em 2 leis básicas:

- **Lei de Stevin**



- **Lei de Pascal (prensa hidráulica)**

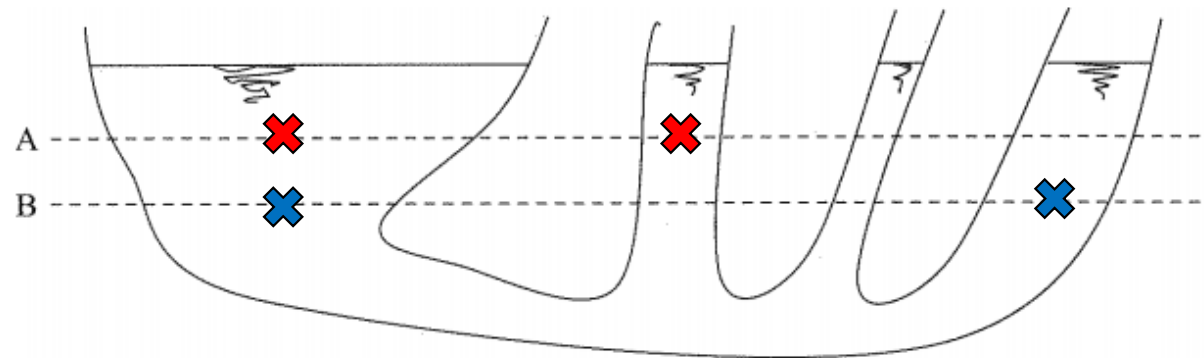


Lei de Stevin



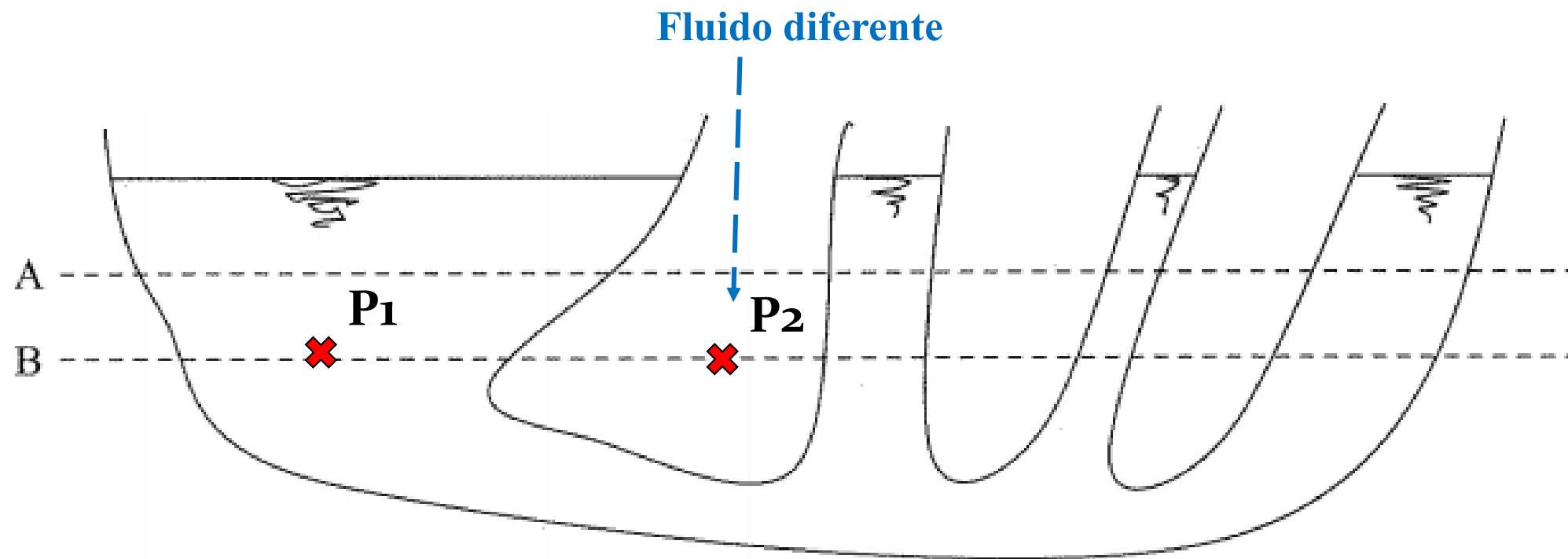
“A diferença de pressão entre 2 pontos de um fluido em repouso é igual ao produto do peso específico pela diferença de profundidade entre os pontos”.

Pontos na mesma profundidade possuem a mesma pressão.



$P_B > P_A \rightarrow$ relacionados com a profundidade do fluido

Lei de Stevin



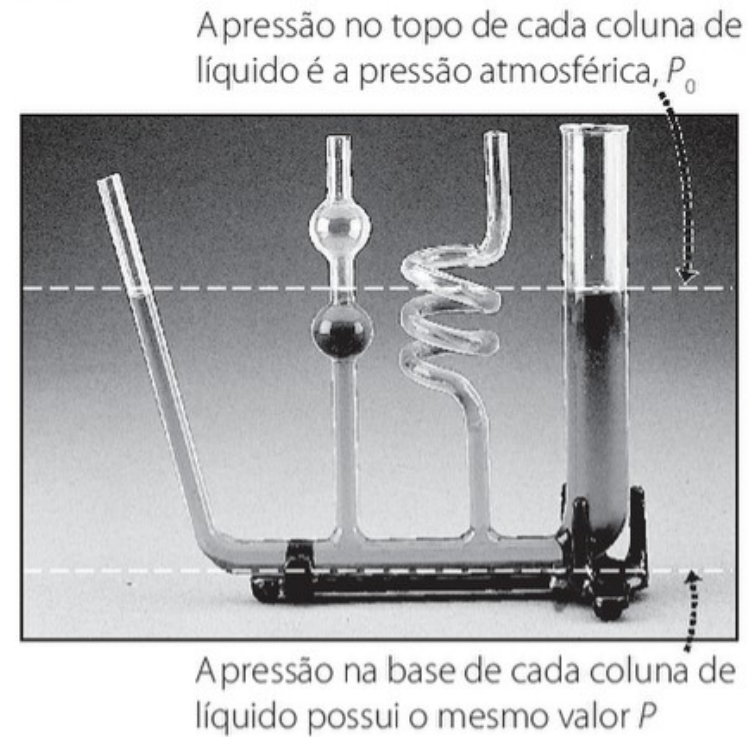
$P_1 \neq P_2 \rightarrow$ não estão interconectados pelo mesmo fluido.

Lei de Stevin

Demonstração do teorema de Stevin

A diferença entre P e P_0 é ρgh , onde h é a distância do topo à base da coluna de líquido, logo, todas as colunas apresentam a mesma altura

$$\Delta P = \rho g \Delta z$$

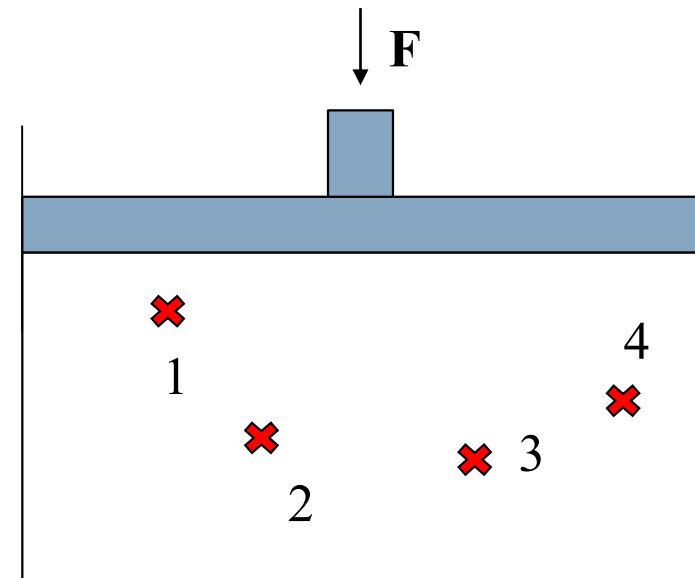
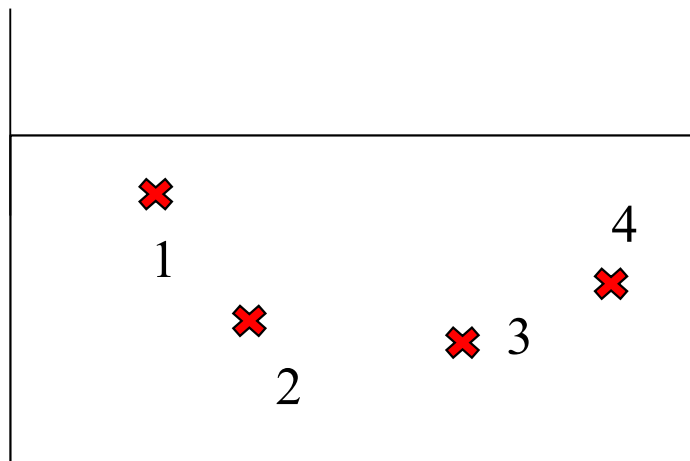




EXERCÍCIOS – Lei de Stevin

Lei de Pascal

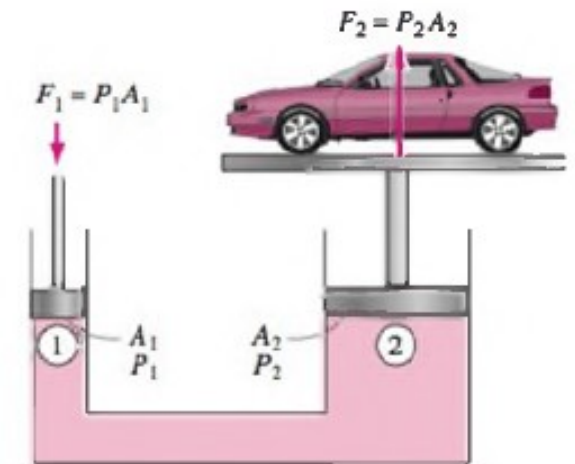
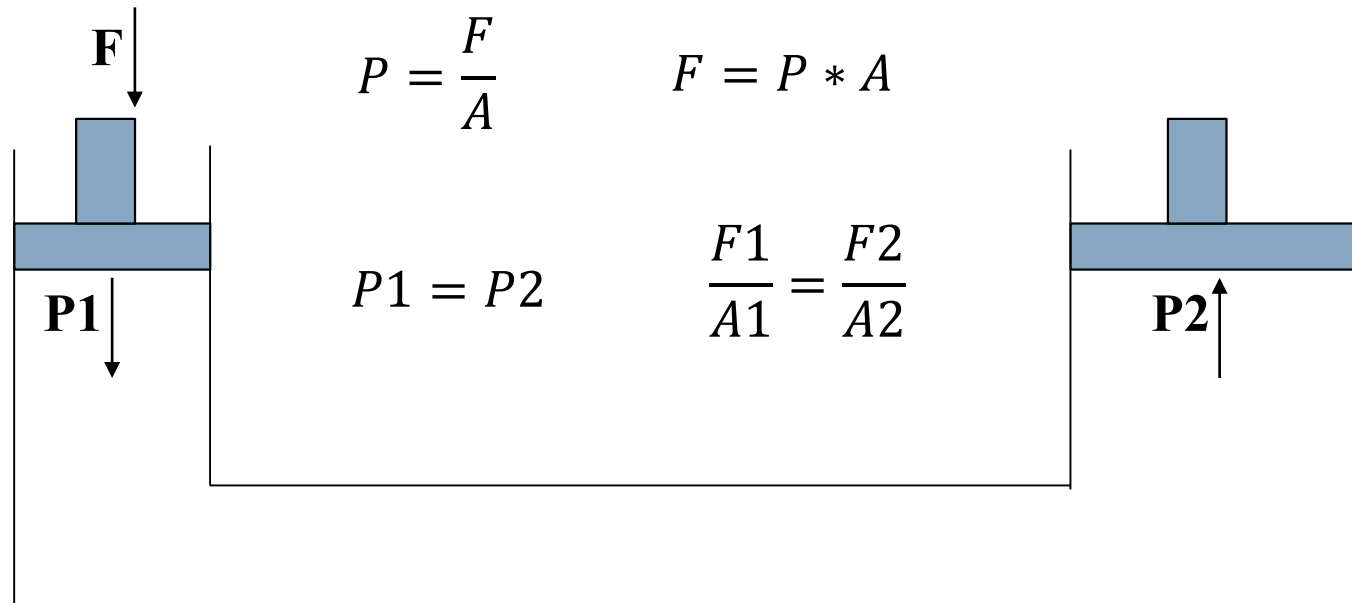
A pressão aplicada a um fluido confinado aumenta a pressão em todo o fluido na mesma medida:



Segundo a lei de Pascal, em um fluido em repouso com uma superfície livre à atmosfera ao ser aplicada a uma força através de um êmbolo a pressão deverá ser transmitida integralmente a todos os pontos.

Lei de Pascal

A pressão aplicada a um fluido confinado aumenta a pressão em todo o fluido na mesma medida:

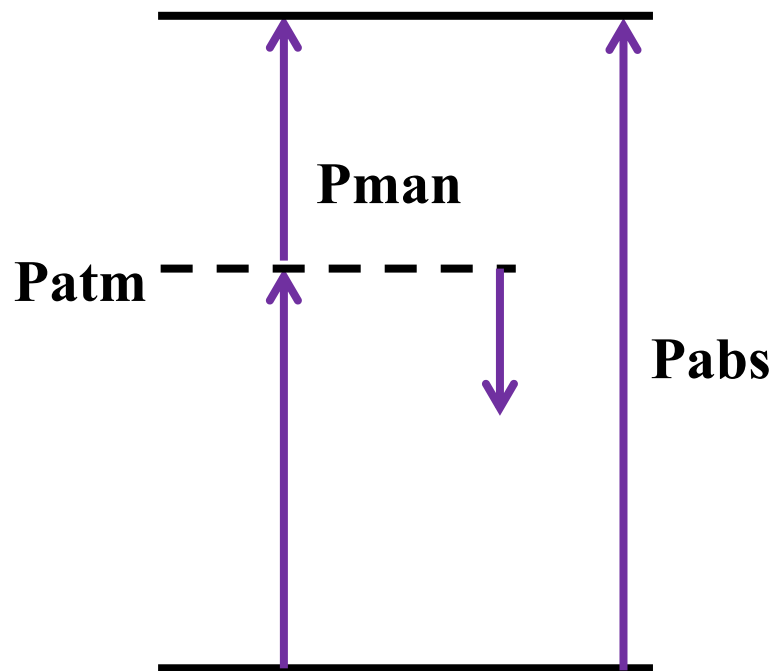




EXERCÍCIOS – Lei de Pascal

Escalas de pressão

A pressão real ou total em uma determinada posição é chamada de pressão absoluta e é a medida a partir do vácuo absoluto.



$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

$$P_{abs} - P_{atm} = P_{man}$$

$$P_{abs} - P_{man} = P_{atm}$$

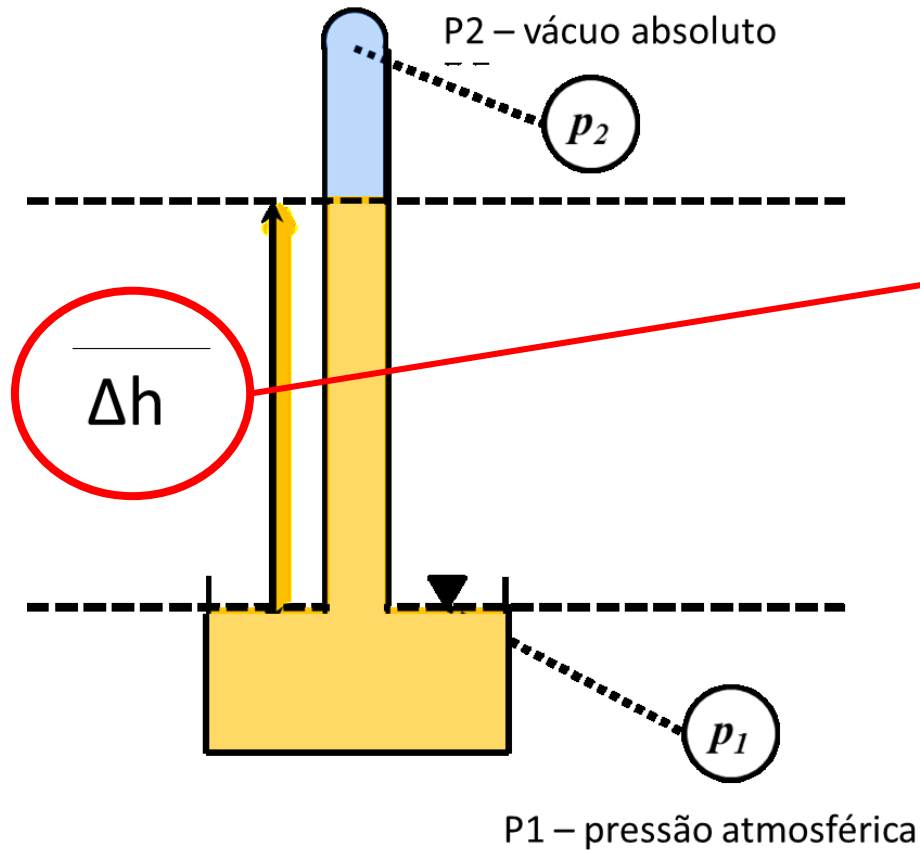
Portanto,

$$P_{abs} = pgh + P_{atm}$$

Unidades de medida:

$$1 \text{ atm} = 760 \text{ mmHg} = 101325 \text{ Pa}$$

Barômetro

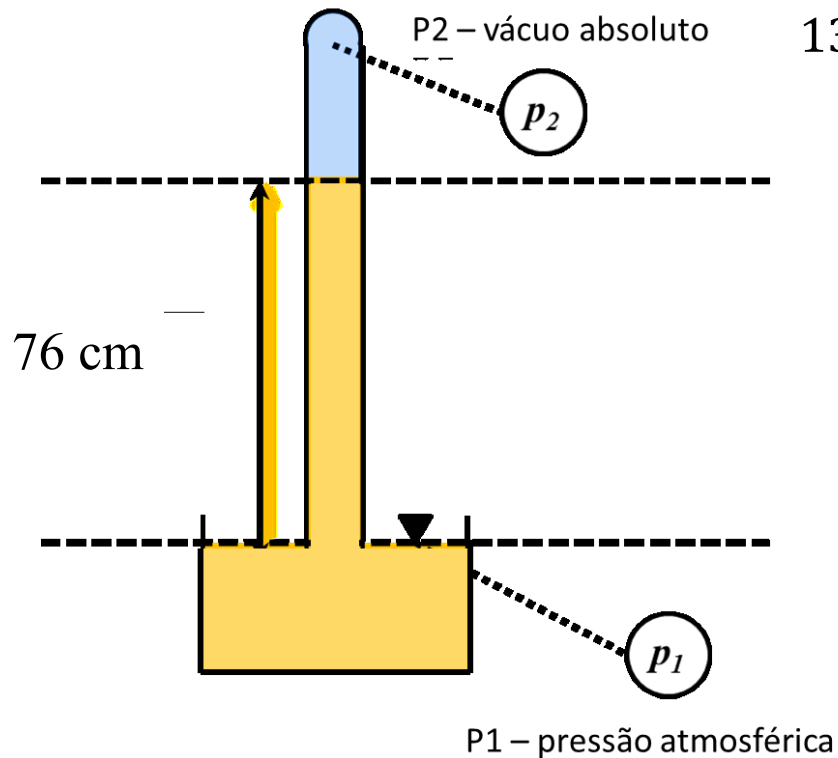


- A coluna de líquido formada é devido à pressão atmosférica, então:



$$P_{atm} = \rho gh$$

Barômetro



Qual é o valor da pressão atmosférica mostrado pelo barômetro? $\rho_{hg} = 13600 \frac{kg}{m^3}$

$$h = 76 \text{ cmHg} = 760 \text{ mmHg}$$

Do princípio de Stevin: $P = \rho gh$

$$P = 13600 \frac{kg}{m^3} * 9,81 \frac{m}{s} * 0,76 \text{ m}$$

$$P = 101396,16 \frac{kg}{m^2s} = 101393,16 \text{ Pa}$$

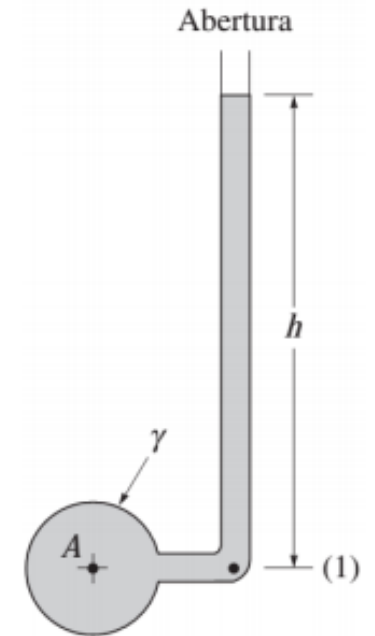
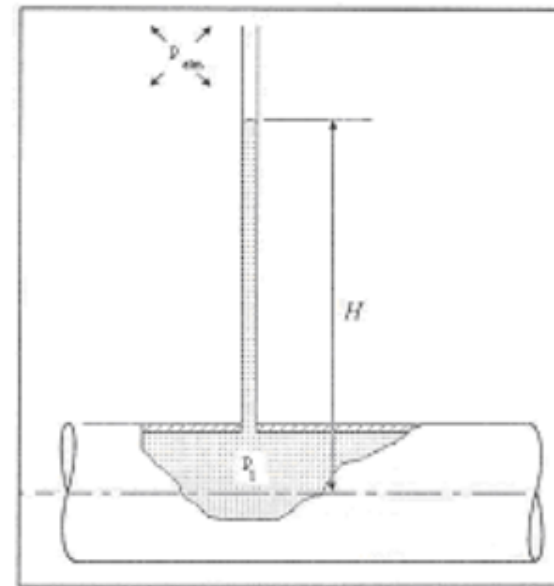
Piezômetro

Formado por um tubo de vidro que, ligado a um reservatório ou conduto, permite medir diretamente a carga de pressão.

Equação geral da estática dos fluídos entre a pressão no centro do tubo e a pressão no topo do fluído:

$$P_{centro} = \rho gh + P_{topo}$$

$$P_{abs} = \rho gh + P_{atm}$$





Manômetro

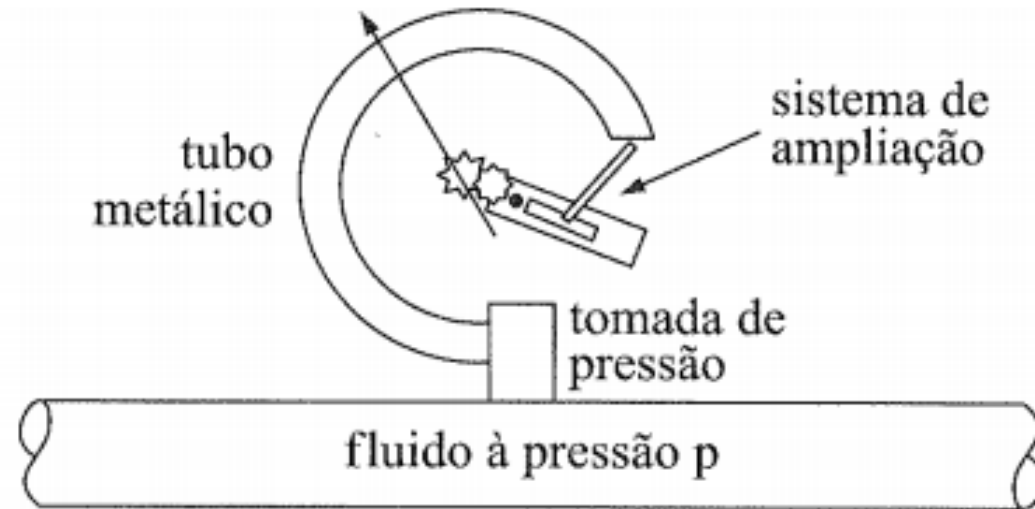
- Equipamentos normalmente utilizados para medir a pressão relativa baseando-se no **Princípio de Stevin**:

$$\Delta P = \rho g h$$

- Podem ser utilizados para medir diferenças de pressão pequenas a moderadas.
- 

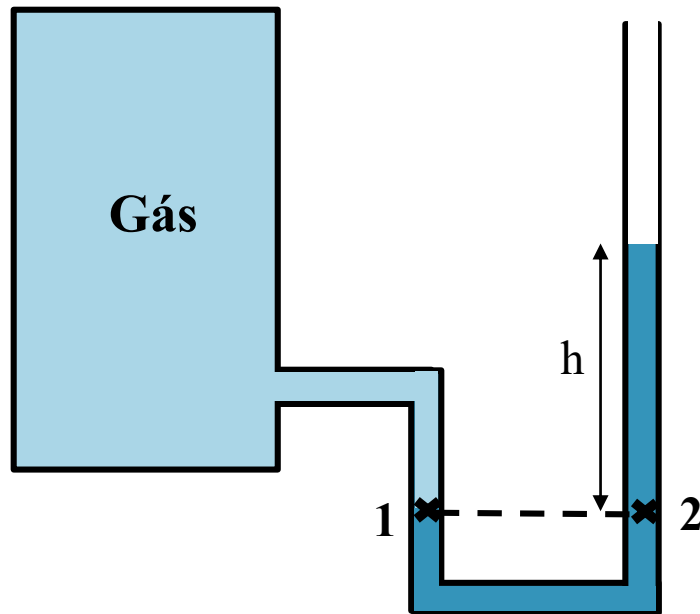
Manômetro

- Manômetro metálico ou tubo de *Bourdon*



Manômetro

- Tubo em U:



- ✓ A pressão em um fluido não varia na direção horizontal: $P_1 = P_2$;
- ✓ A coluna diferencial de altura h está em equilíbrio estático e aberta para a atmosfera:

$$P_2 = \rho gh + P_{atm}$$



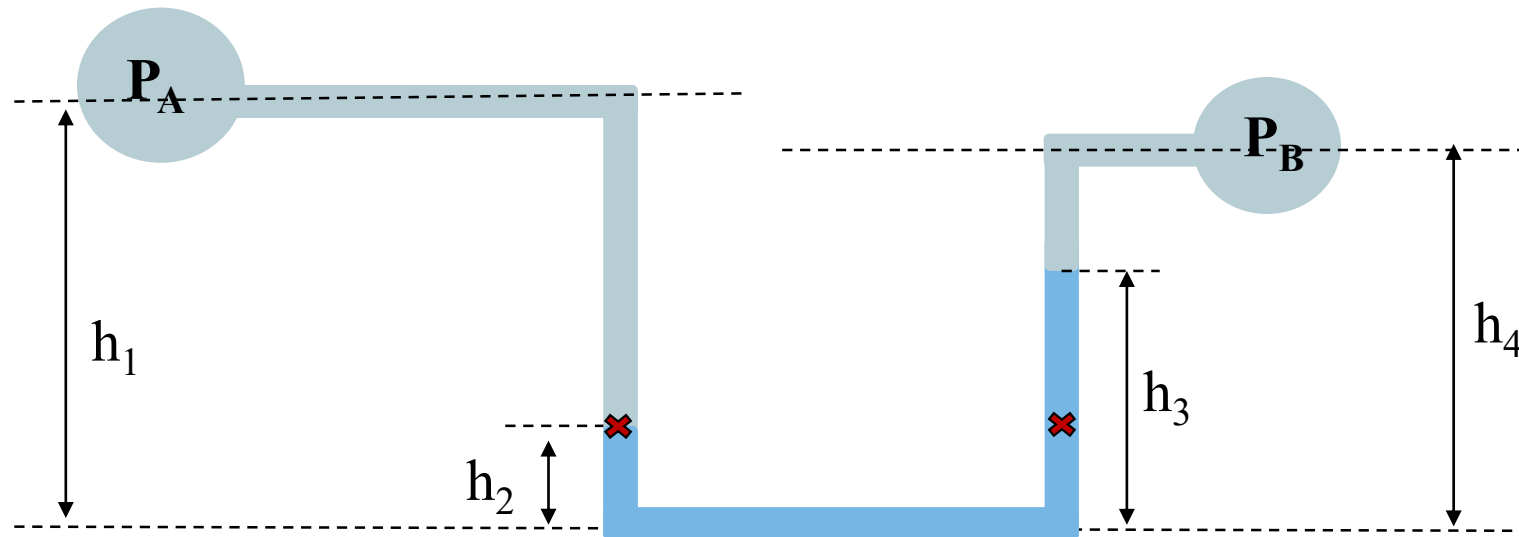
Outros instrumentos

Transdutores: são dispositivos eletrônicos de medição de pressão:

- Manométricos: utilizam a P atmosférica como referência;
- Diferenciais: medem a diferença de pressão entre 2 locais;
- Extensiométricos: funcionam através de um diafragma que se curva entre duas câmaras abertas para as entradas de pressão;
- Piezelétricos: funcionam de acordo com o princípio de que um potencial elétrico é gerado em uma substância cristalina quando ela é submetida a uma diferença de pressão.

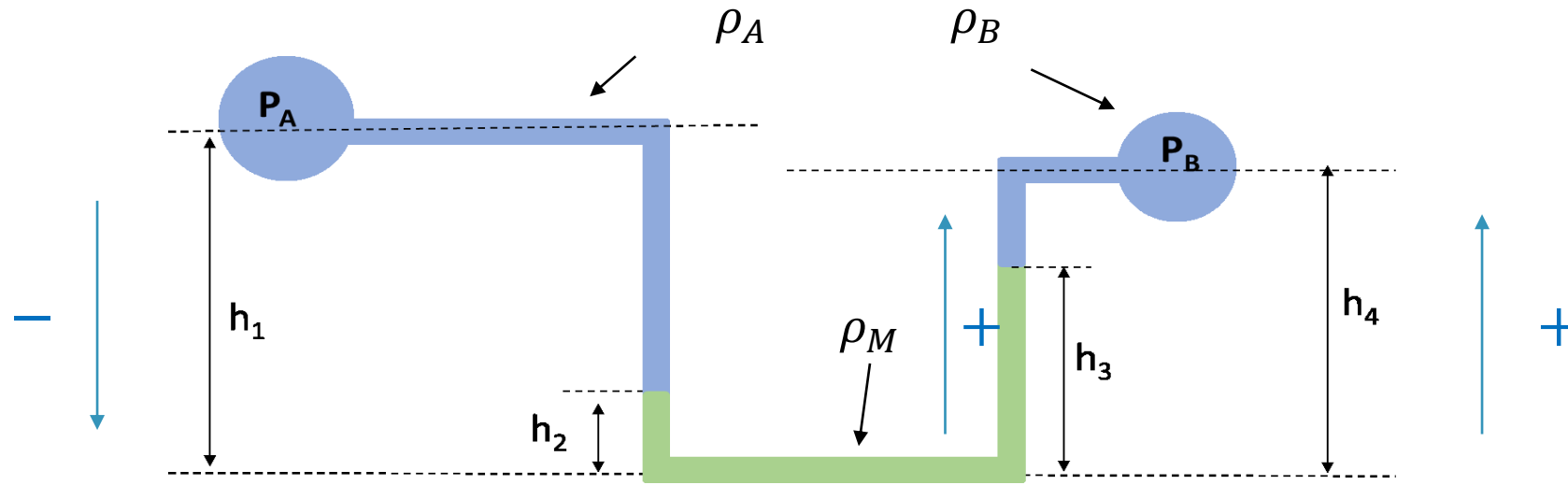
Equação manométrica

- Expressão que permite determinar a pressão de um reservatório ou entre 2 reservatórios:



- ✓ Teorema de Stevin: P é relativa a altura e constante desde que o fluido seja o mesmo;
- ✓ Teorema de Pascal: a P se transmite integralmente em todos os pontos do fluido.

Equação manométrica



$$P_A - P_B = -\rho_A \cdot g \cdot (h_1 - h_2) + \rho_M \cdot g \cdot (h_3 - h_2) + \rho_B \cdot g \cdot (h_4 - h_3)$$

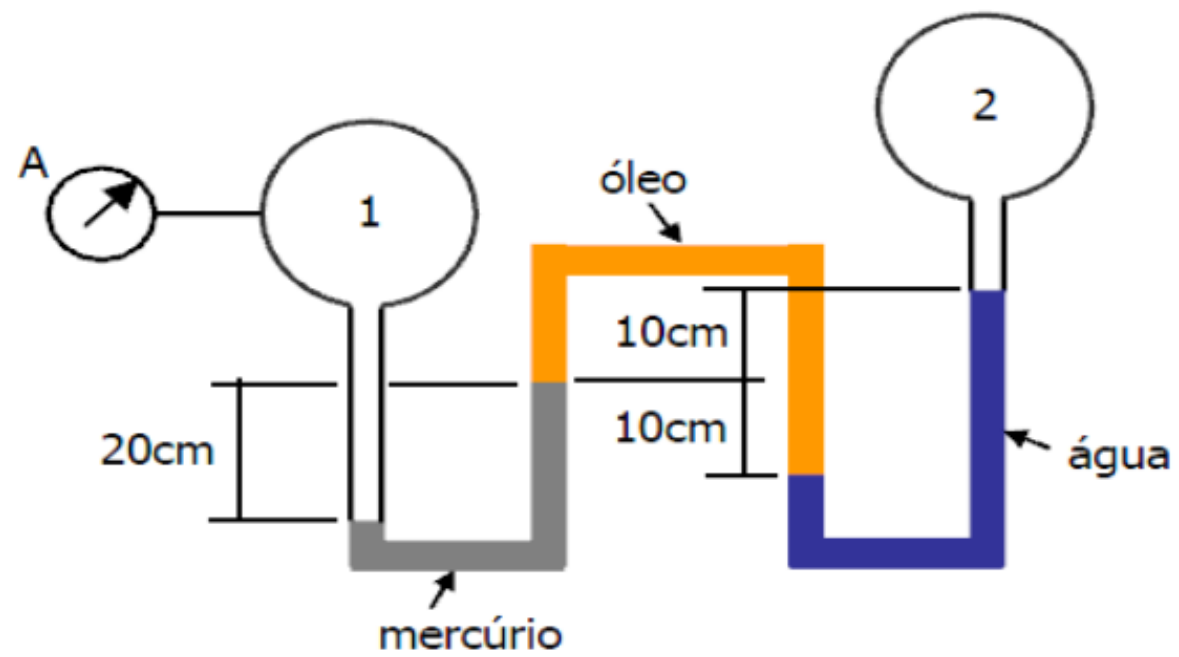


ΔP

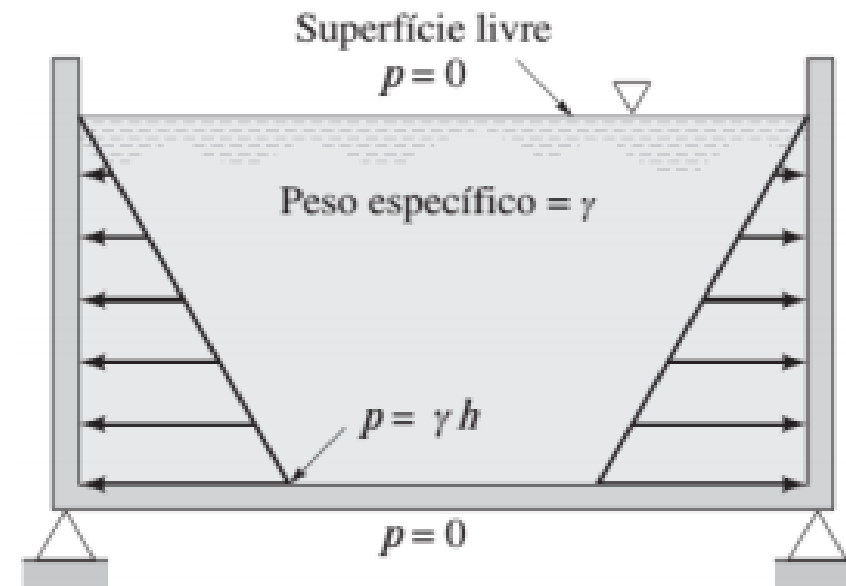
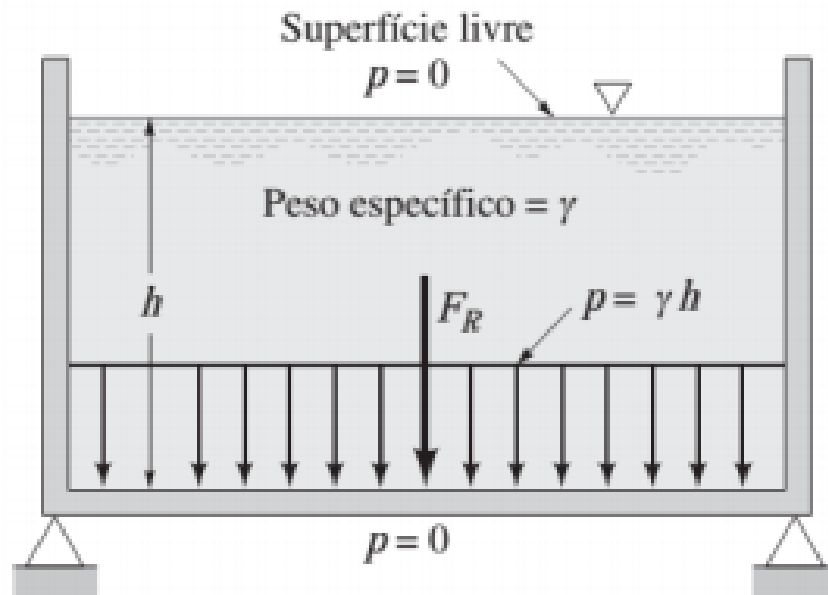
$$P_{abs} - P_{atm} = P_{man}$$



EXERCÍCIOS – Estática dos fluidos



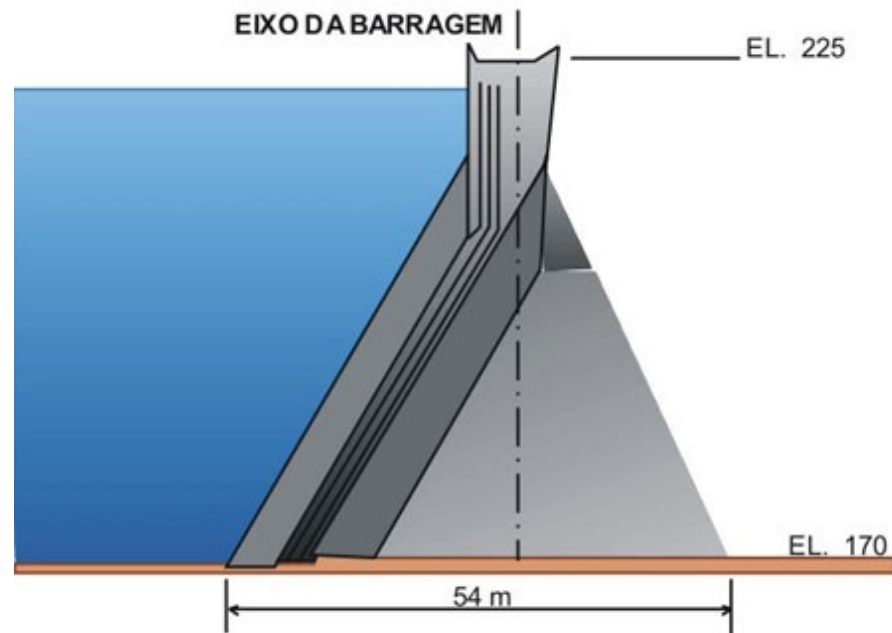
Forças em superfícies submersas



Todo corpo submerso está sob ação das forças de pressão do fluido que o envolve.

Exemplos: represas, superfícies de navios e tanques de decompressão.

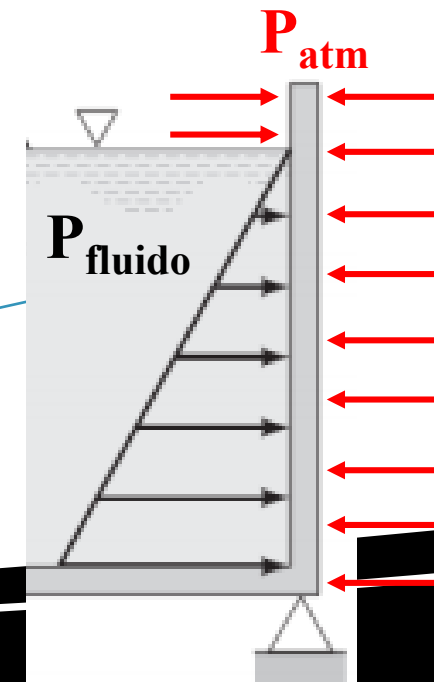
Forças em superfícies submersas



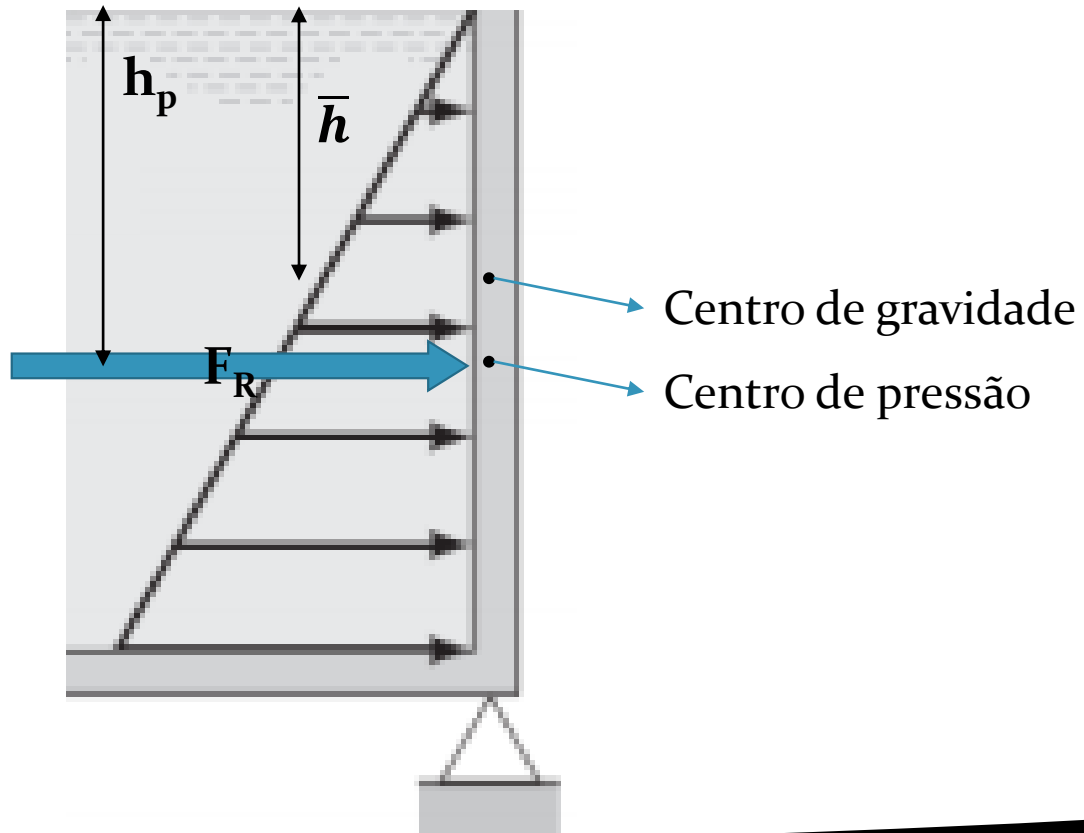
Normalmente essas superfícies são grandes:

- Se o fluido for um líquido: a pressão aumenta com a profundidade.

Resultante das forças de pressão!



Forças em superfícies submersas

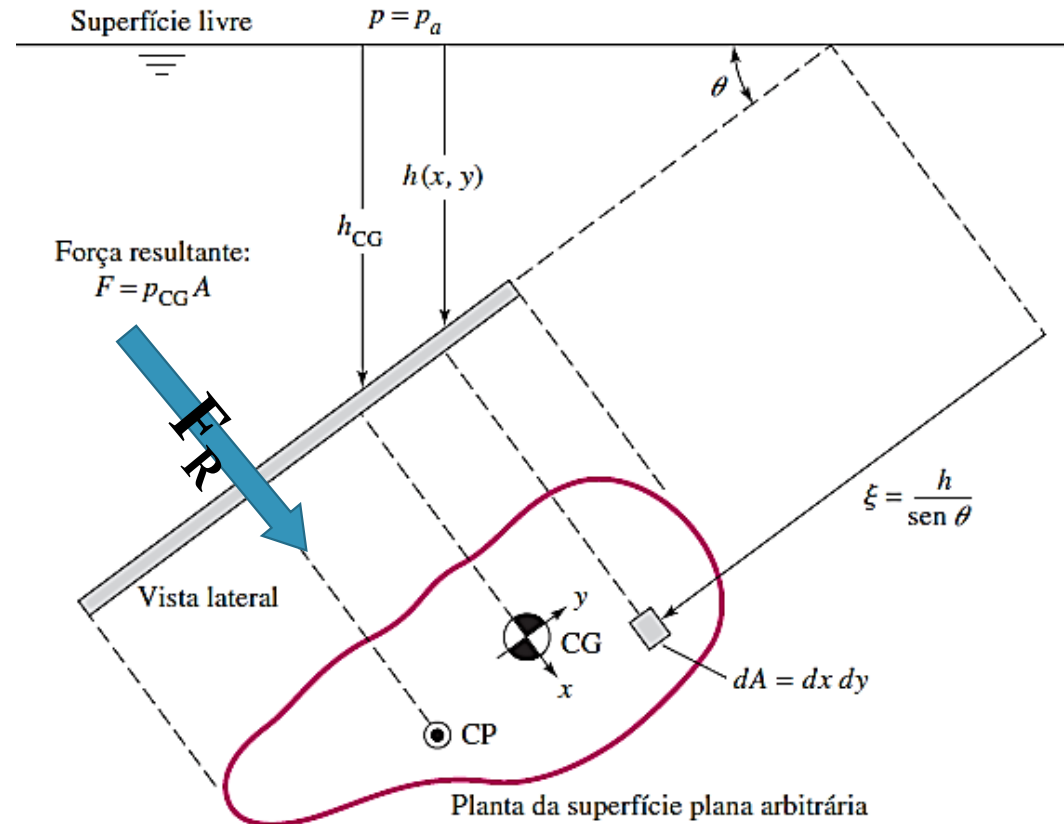


Para determinar a F_R , definimos:

→ Altura do centro de pressão h_p
Ponto de aplicação da **força sobre um objeto**;

→ Altura do centro de gravidade \bar{h}
Ponto no qual, se concentra o **peso de um objeto**.

Forças em superfícies submersas



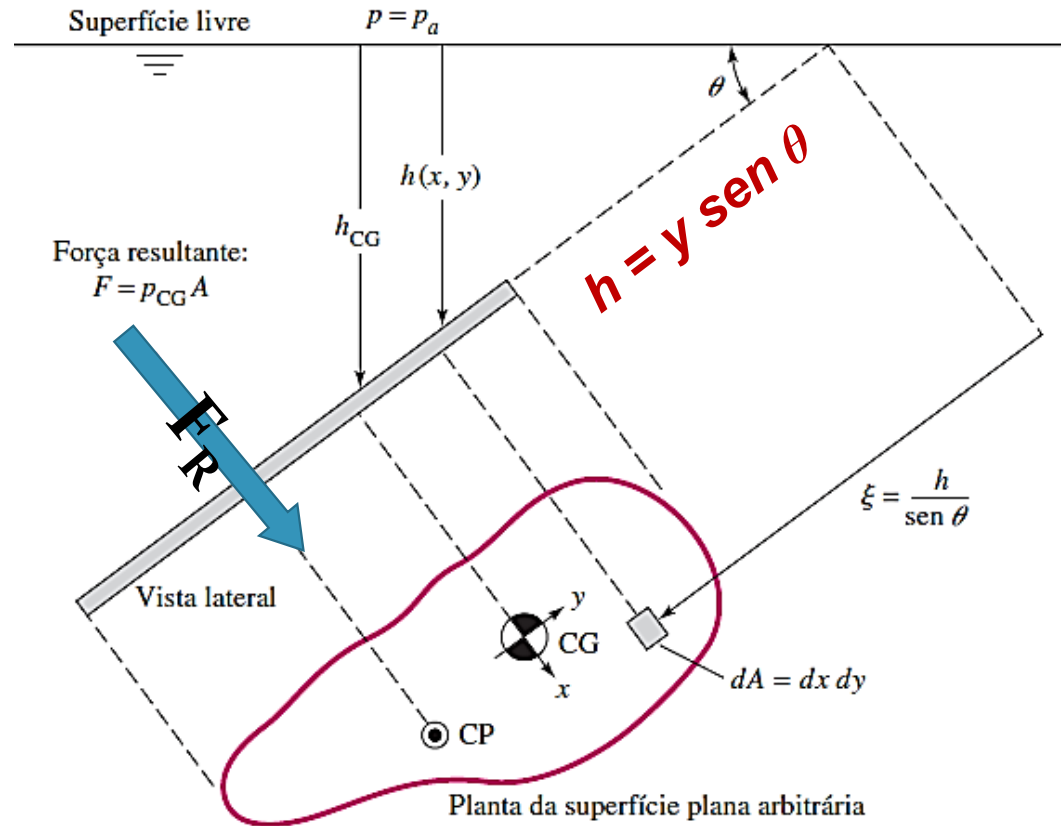
Considerar que a superfície plana submersa
está inclinada em relação ao fluido.

Temos:

y = distância do CG;

x = distância do CP (eixo de inclinação da
superfície em relação ao fluido).

Forças em superfícies submersas



$$F_R = \int P dA \quad P = \rho g h$$

$$F_R = \int \rho g h dA$$

$$F_R = \int \rho g y \text{ sen } \theta dA$$

Forças em superfícies submersas

$$F_R = \rho g \sin \theta \int y dA$$

A localização do **centro de gravidade** (Mecânica dos materiais) é dada por:

$$\bar{y} = \frac{1}{A} \int y dA$$

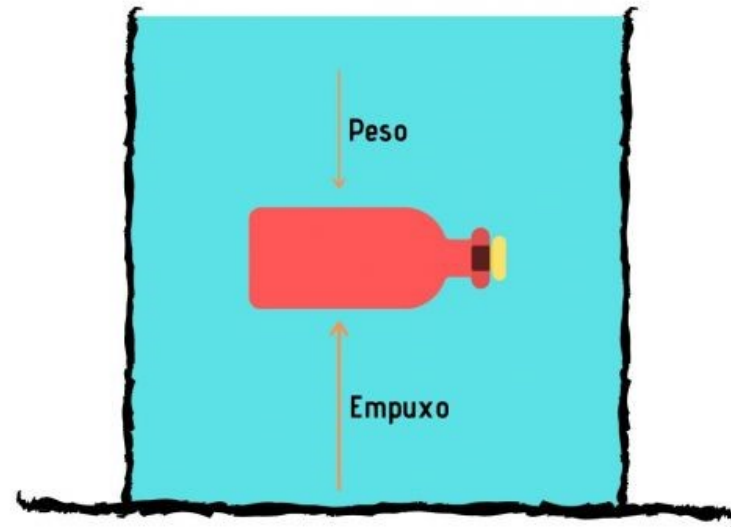
$$F_R = \rho g \sin \theta \bar{y} A \quad F_R = \rho g \bar{h} A \quad \Rightarrow \quad F_R = \bar{P} A$$

$$\bar{h} = \sin \theta \bar{y}$$

A força resultante atua sobre o CP, mas é calculada em função da pressão atuante sobre o CG

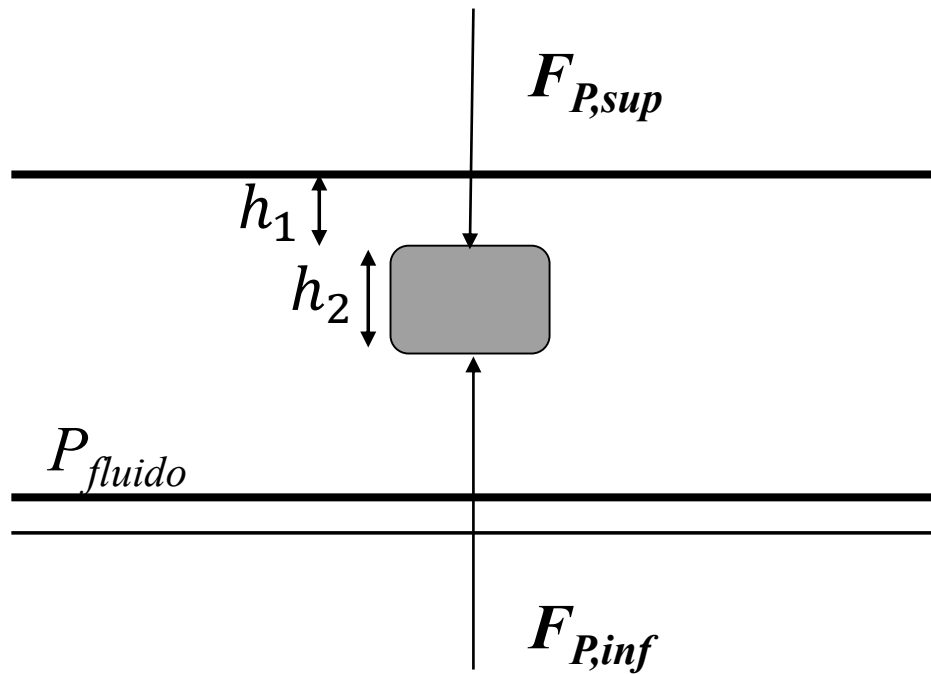
Empuxo

Se um corpo estiver submerso em um líquido, ou flutuando sobre a superfície, a força vertical que atua sobre ele devido a pressão do líquido é denominado **empuxo**.



Empuxo

O empuxo deve-se à diferença de pressão exercida na parte de baixo e na parte de cima do objeto:



$$F_{P,sup} = P_{sup} * A = (P_{atm} + \rho g h_1) A$$

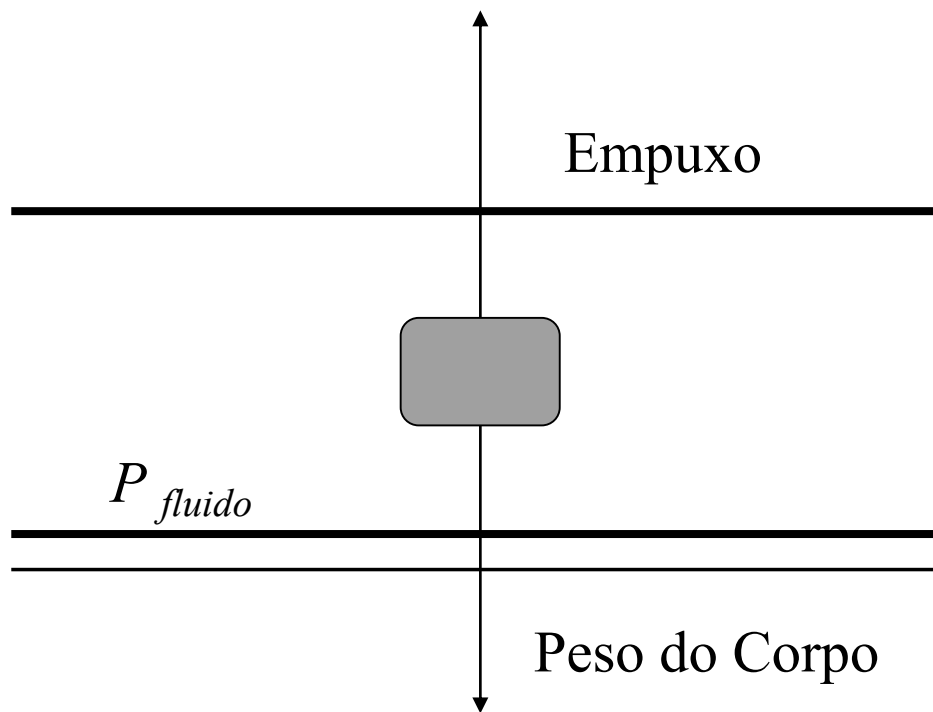
$$F_{P,inf} = P_{inf} * A = (P_{atm} + \rho g (h_1 + h_2)) A$$

$$Empuxo = F_{P,inf} - F_{P,sup}$$

$$Empuxo = \rho_{fluido} g h A$$

$$Empuxo = \rho_{fluido} g V$$

Empuxo



Força resultante $\rightarrow F_R = E - P$

$$E = \rho g V = \gamma * V$$

Peso específico do corpo

Volume deslocado

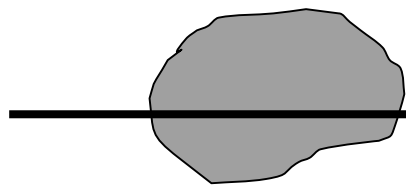
Princípio de Arquimedes: Todo corpo totalmente imerso ou parcialmente imerso em um líquido fica sujeito a uma força vertical de baixo para cima, igual ao peso da porção de líquido deslocado pelo corpo.

$$F_R = \rho_{fluido} g V - m g$$

Empuxo

$\rho < \rho_{\text{fluido}}$ então $F_R > 0$

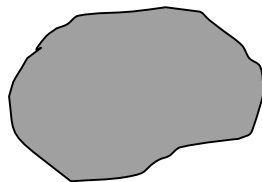
Corpo flutuante



$\rho = \rho_{\text{fluido}}$ então $F_R = 0$

Corpo suspenso

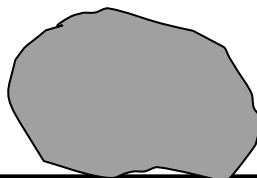
$$F_R = E - P$$



ρ_{fluido}

$\rho > \rho_{\text{fluido}}$ então $F_R < 0$

Corpo afunda



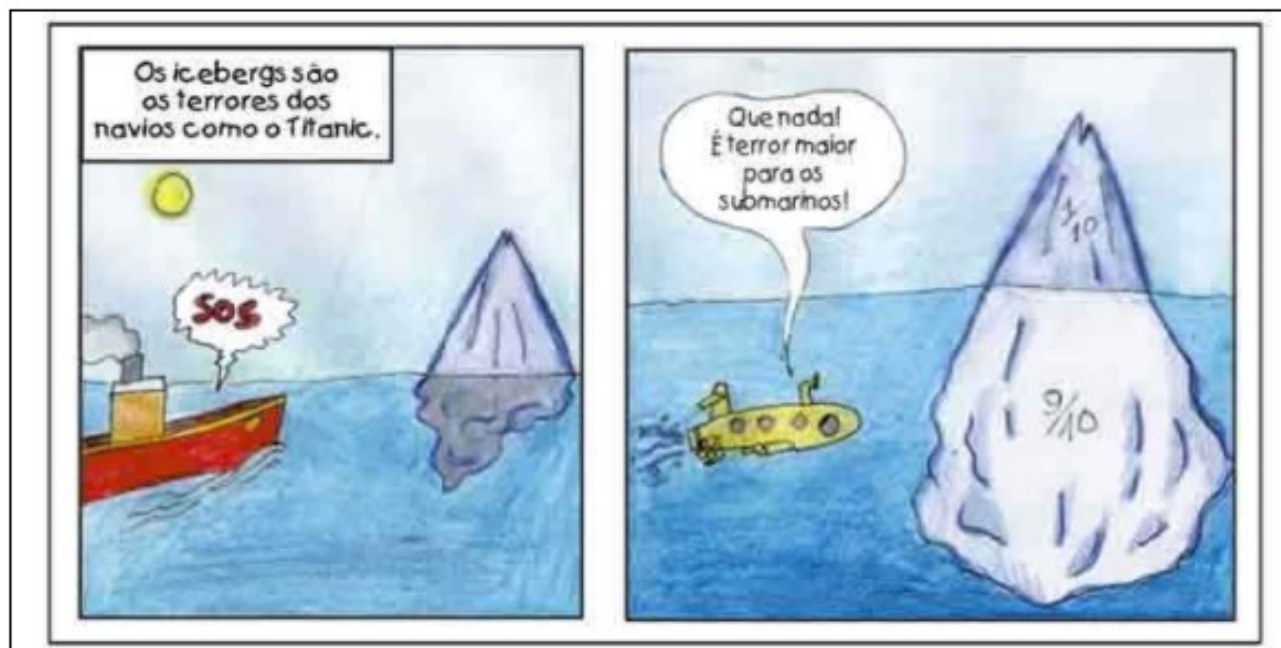
O empuxo do ar
geralmente pode ser
desprezado

Empuxo

O gelo flutua na água devido à menor densidade que a água em estado líquido:

$$\rho_{\text{água do mar líquida}} = 1,03 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$

$$\rho_{\text{água do mar sólida}} = 0,92 \frac{\text{kg}}{\text{L}}$$



Como a diferença entre as densidades é pequena, **a maior parte do iceberg permanece submersa**, apenas 10% de seu corpo fica para fora da água.



EXERCÍCIOS – Princípio de Arquimedes