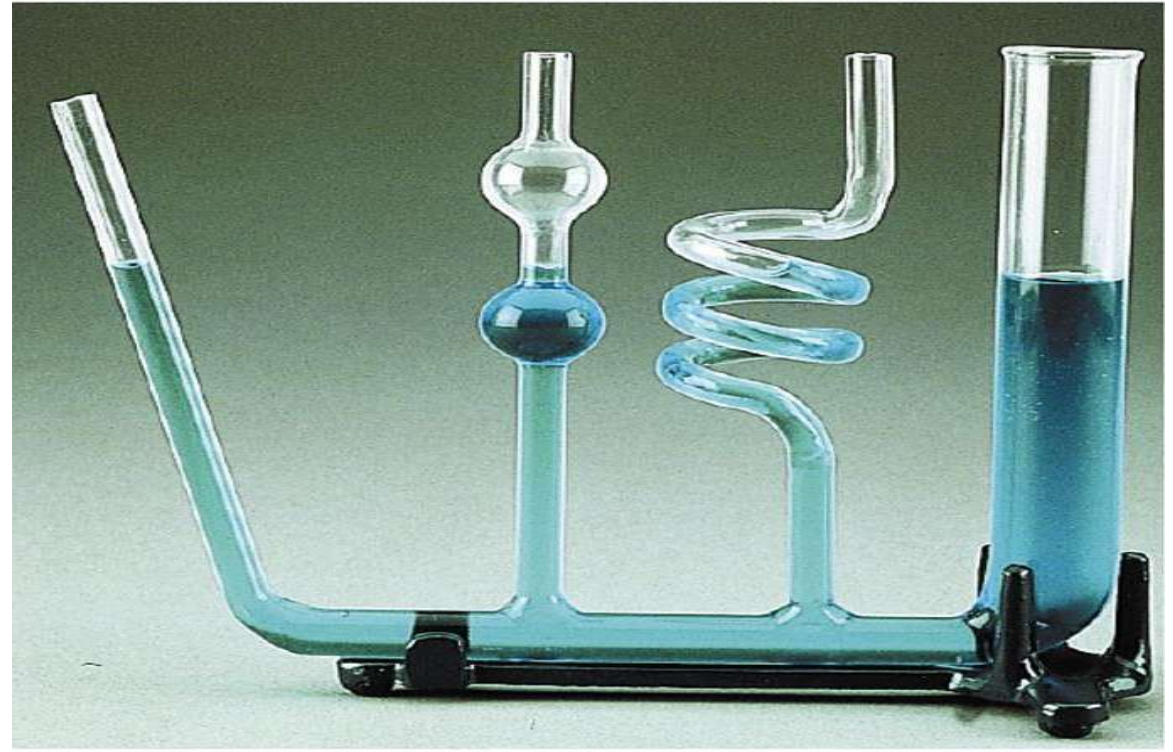




Propriedades dos fluidos

Propriedades

- massa volúmica
- peso volúmico
- densidade relativa
- compressibilidade
- viscosidade
- tensão de vapor
- tensão superficial / capilaridade

Massa volúmica – massa por unidade de volume

Unidades: kg / m³

Água = 1000 kg / m³

Mercúrio = 13600 kg / m³

Varia pouco com a pressão (→ incompressíveis) e bastante com a temperatura

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

Peso volúmico – peso por unidade de volume

Unidades: N / m³

Água 9800 N / m³

$$\gamma = \frac{P}{V} = \rho g$$

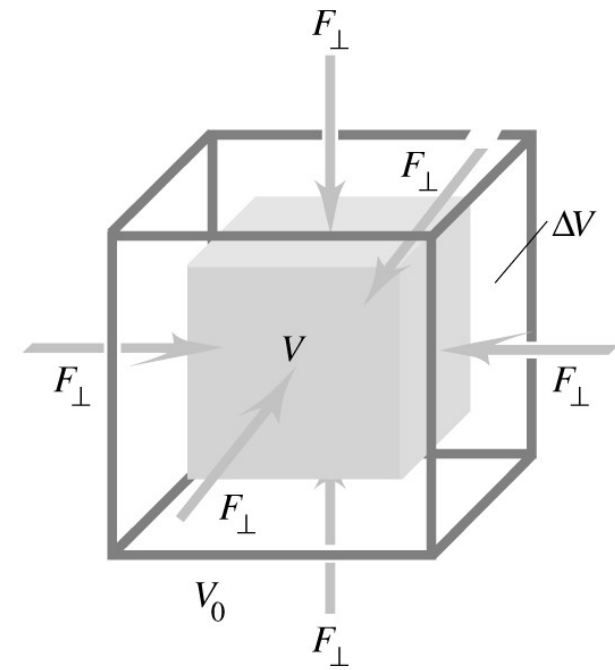
Densidade relativa – massa vol. da substância / massa vol. da água

$$d = \frac{\rho}{\rho_{\text{água}}}$$

$$\rho = d \times 1000 \text{ kg/m}^3$$

Compressibilidade

$$p = \frac{F_{\perp}}{A}$$



pressão $\leftarrow \boxed{\Delta p} = -B \boxed{\frac{\Delta V}{V_0}} \rightarrow$ deformação

B - módulo de elasticidade volumétrica

Unidade SI: Pa

Compressibilidade (k):

$$k = \frac{1}{B} \rightarrow \Delta p = - \frac{1}{k} \frac{\Delta V}{V_0}$$

Unidade SI: Pa^{-1}

Líquido	Compressibilidade, k
	$\text{Pa}^{-1} \times 10^{-11}$
Álcool etílico	110
Glicerina	21
Mercúrio	3.7
Água	45.8

Questão:

À profundidade de 4000 m, a pressão hidrostática é de $4 \times 10^7 \text{ N m}^{-2}$. Qual a variação de volume sofrida?

Líquidos são considerados incompressíveis
 $\rho = \text{constante}$

Viscosidade

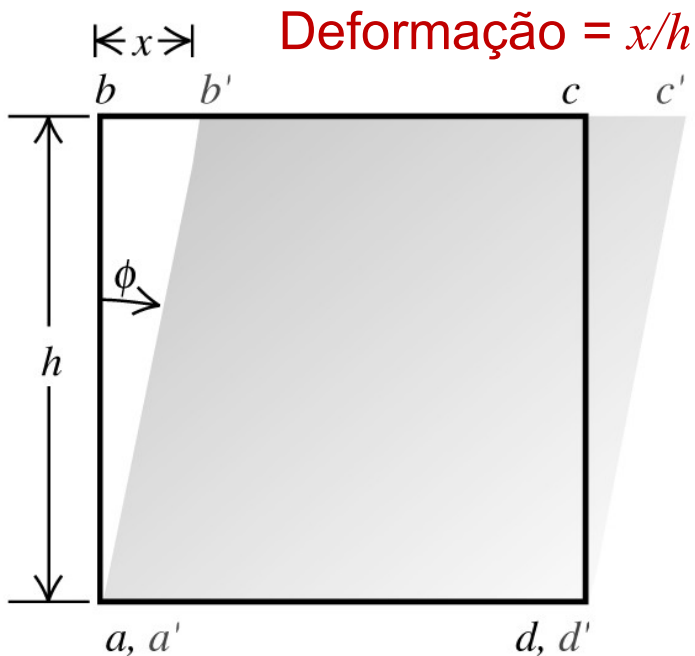
Fluidos ideais – sem viscosidade (= fluidos inviscíveis)

- Em qq secção considerada, só existem forças perpendiculares (**forças de pressão**)

Fluidos reais – desenvolvem-se sempre tensões tangenciais (forças de atrito) quando os líquidos entram em movimento devido à coesão

As forças de atrito originam uma propriedade dos fluidos chamada **viscosidade**, que é uma medida da resistência dos fluidos à deformação

Sólidos



$$\frac{F}{A} = S \frac{x}{h}$$

μ - viscosidade dinâmica

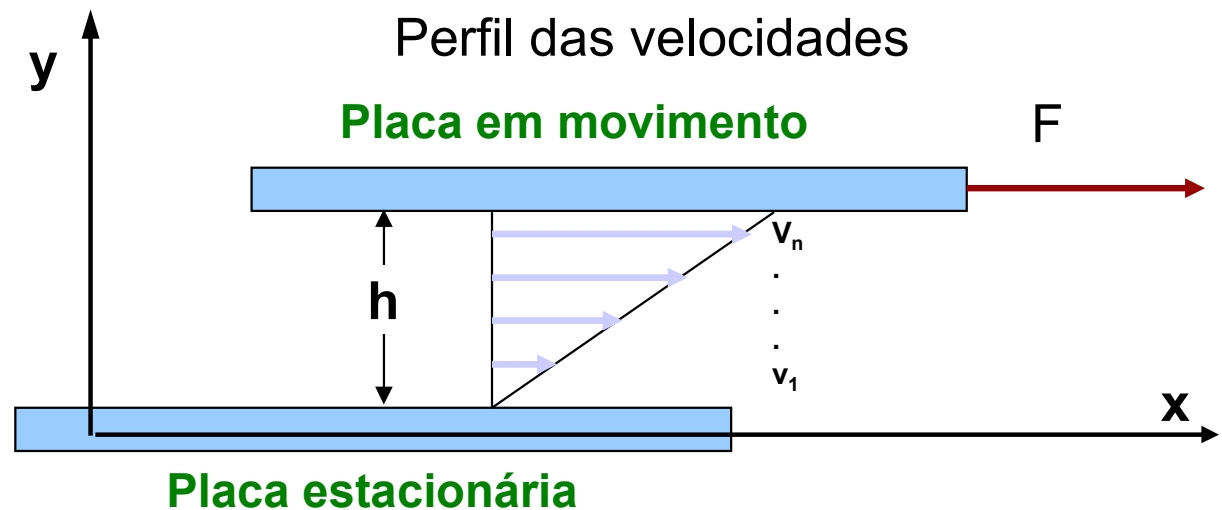
$\text{Pa} \cdot \text{s}$

Poise

1 P = 0.1 Pa s

Líquidos

Taxa de deformação = $(x/h)/t = v/h$



$$\frac{F}{A} = \mu \frac{v}{h} = \mu \frac{v-0}{y_1-0} = \mu \frac{\Delta v}{\Delta y}$$

$$\frac{F}{A} = \tau = \mu \frac{dv}{dy}$$

tensão de corte

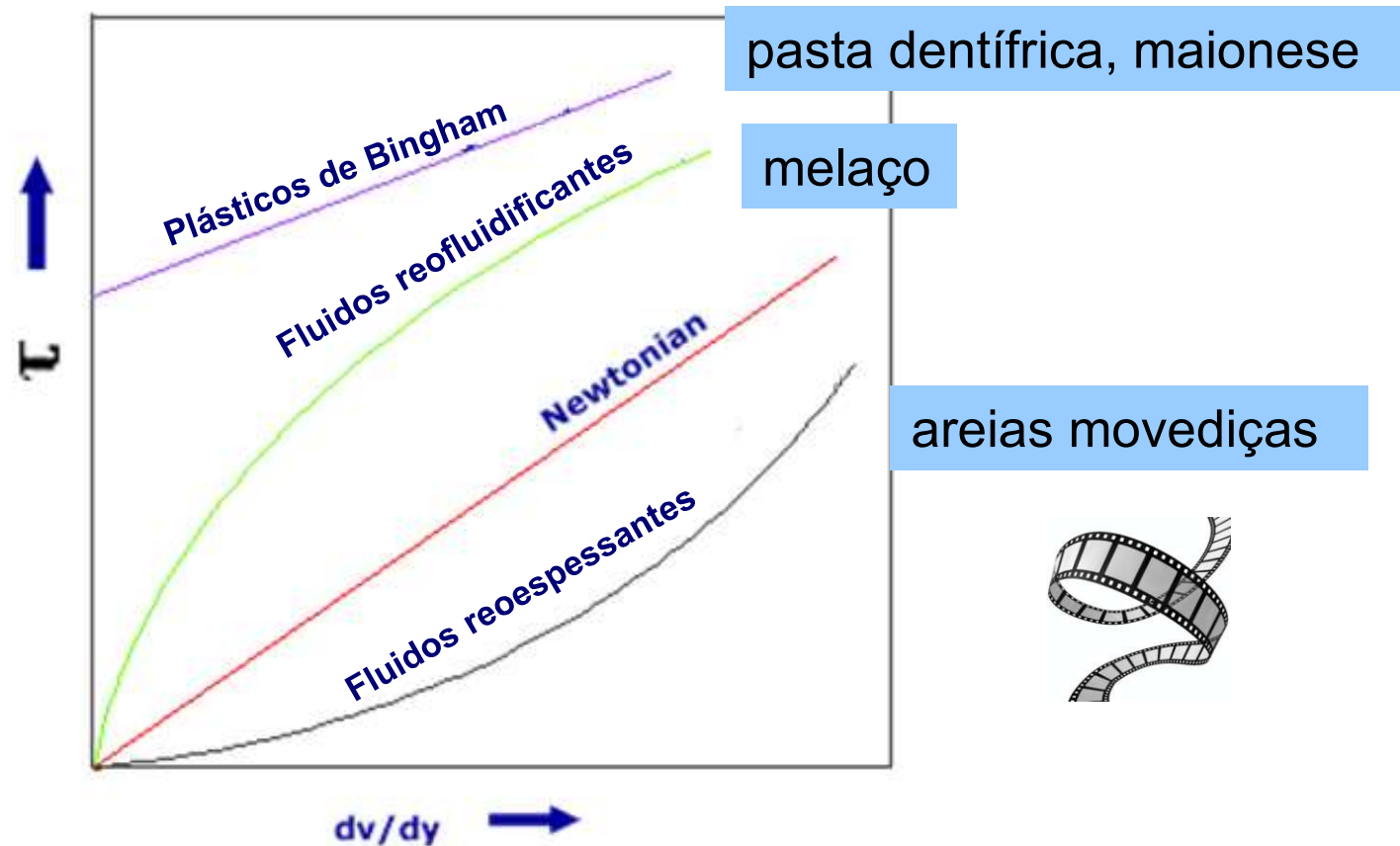
Lei de Newton da viscosidade

Fluidos newtonianos

a tensão de cisalhamento é directamente proporcional à taxa de deformação – **viscosidade constante**

Fluidos não newtonianos

a viscosidade varia consoante a tensão de cisalhamento



Viscosidade cinemática, ν

$$\nu = \mu / \rho$$

μ – viscosidade dinâmica

ρ - massa volúmica do fluido

$$\frac{m^2}{s}$$

Stoke

$$1 \text{ St} = 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$$

Variação da viscosidade da água com a temperatura

t (°C)	Visc. cinemática (m ² / s)
0	1.79 x 10 ⁻⁶
10	1.31 x 10 ⁻⁶
20	1.0 x 10 ⁻⁶
30	0.79 x 10 ⁻⁶
40	0.65 x 10 ⁻⁶
50	0.56 x 10 ⁻⁶

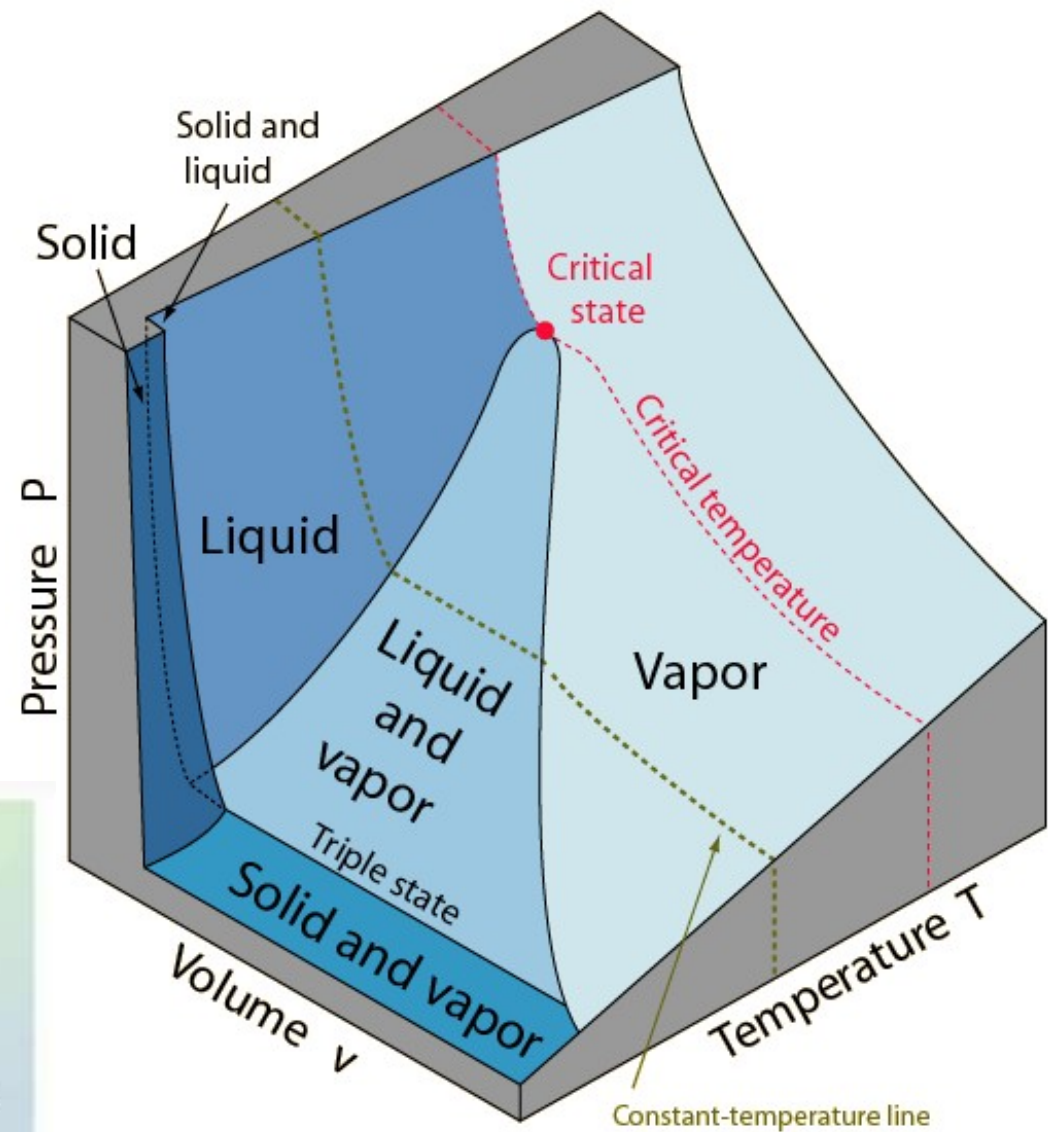
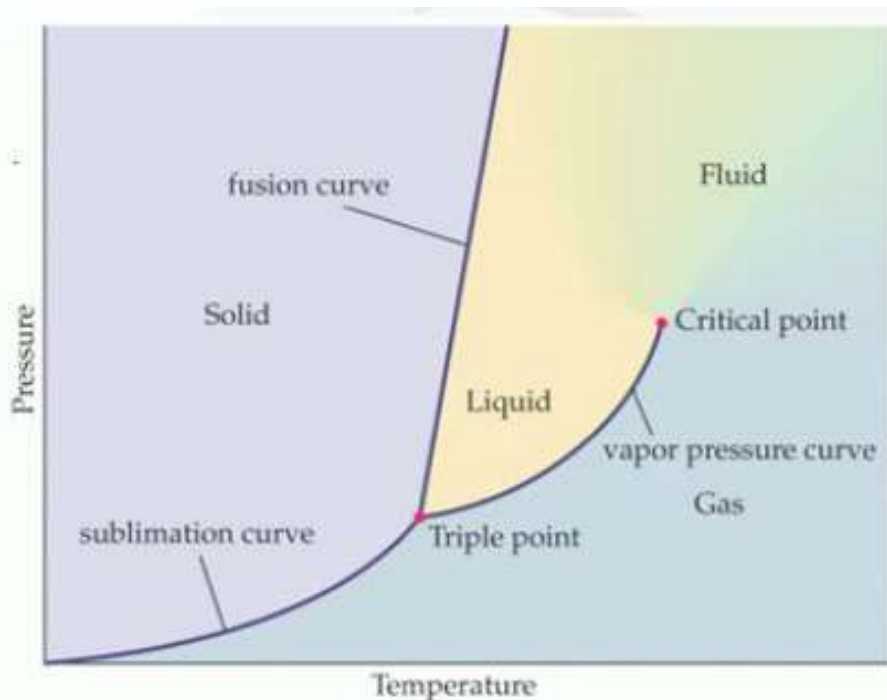
A viscosidade da água diminui cerca de 2.4% por °C

$$\nu = \left(83.9192 t^2 + 20707.5 t + 551173 \right)^{-1}$$

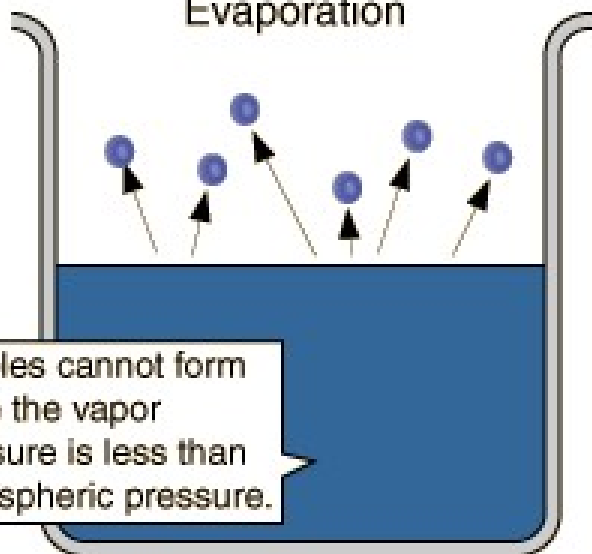
t °C

ν m²/s

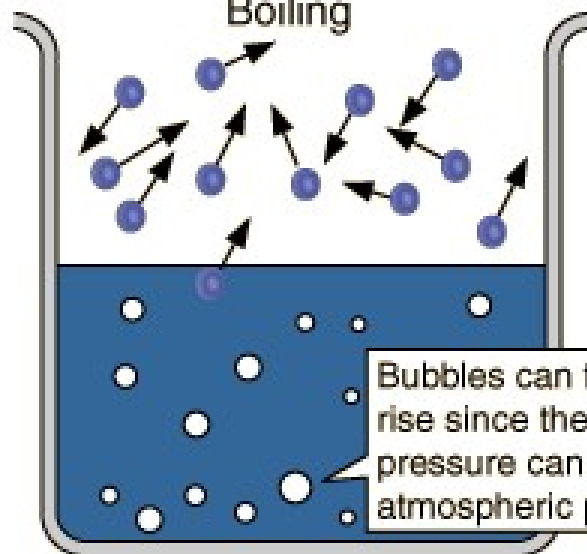
Tensão de vapor



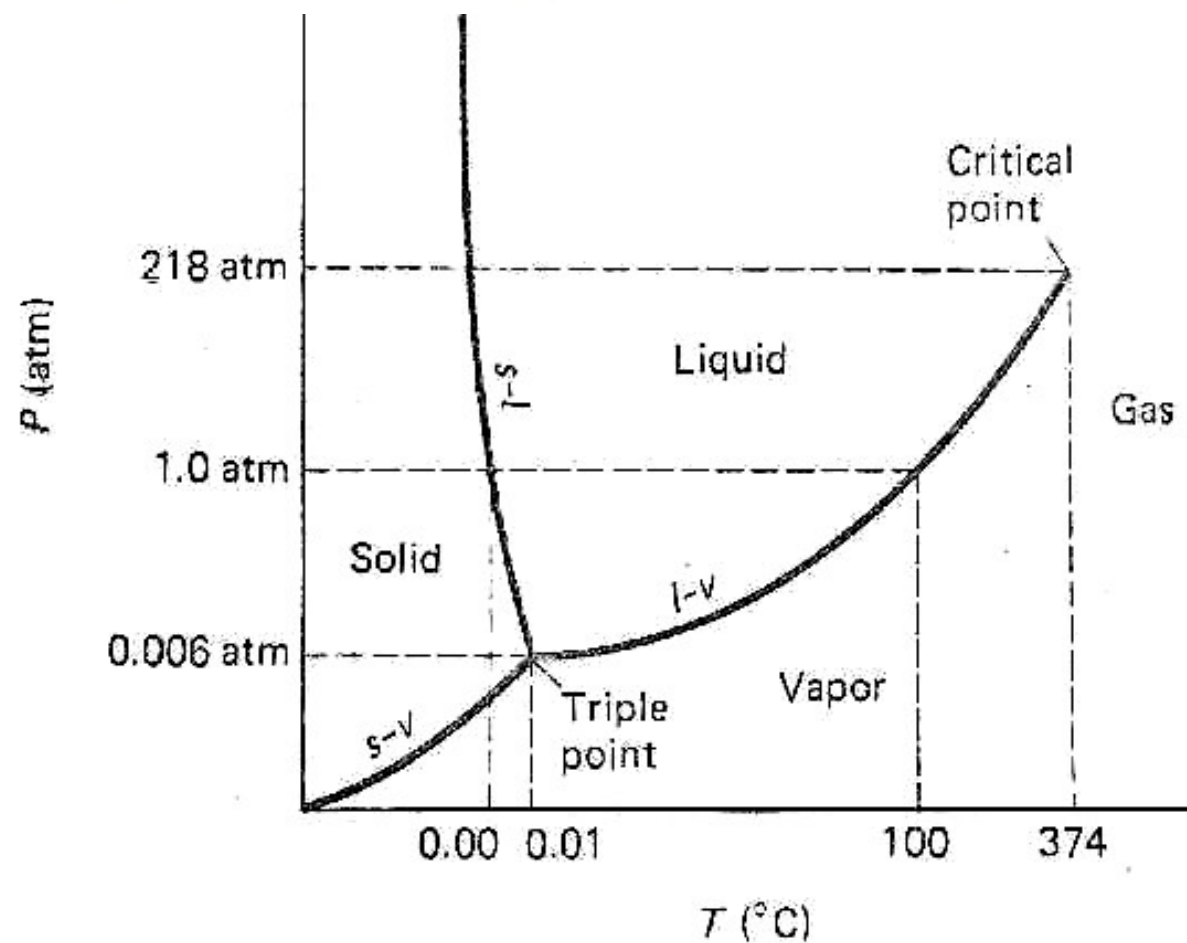
Evaporation



Boiling



Evaporação vs ebulição



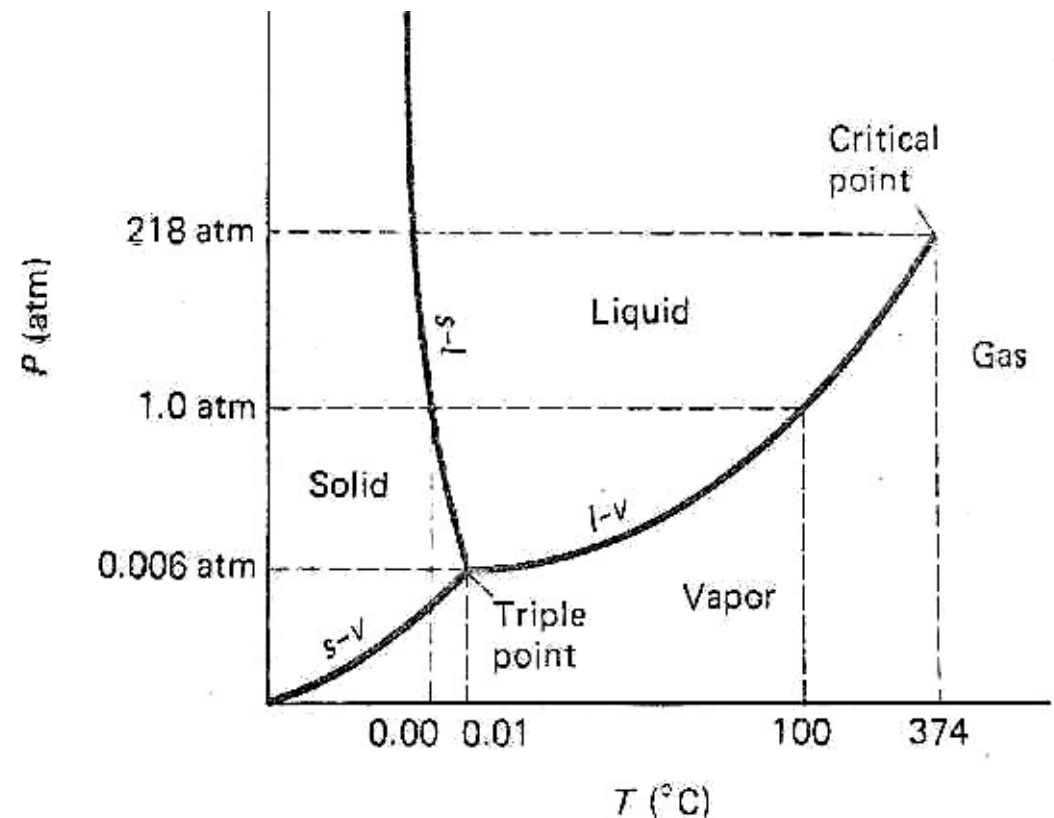
- a **ebulição** ocorre quando a **pressão absoluta** é menor ou igual à pressão de vapor do líquido e atinge-se fazendo variar a temperatura
- a **cavitação** é a formação de bolhas de vapor no líquido devido a uma diminuição da pressão (aumento da velocidade)

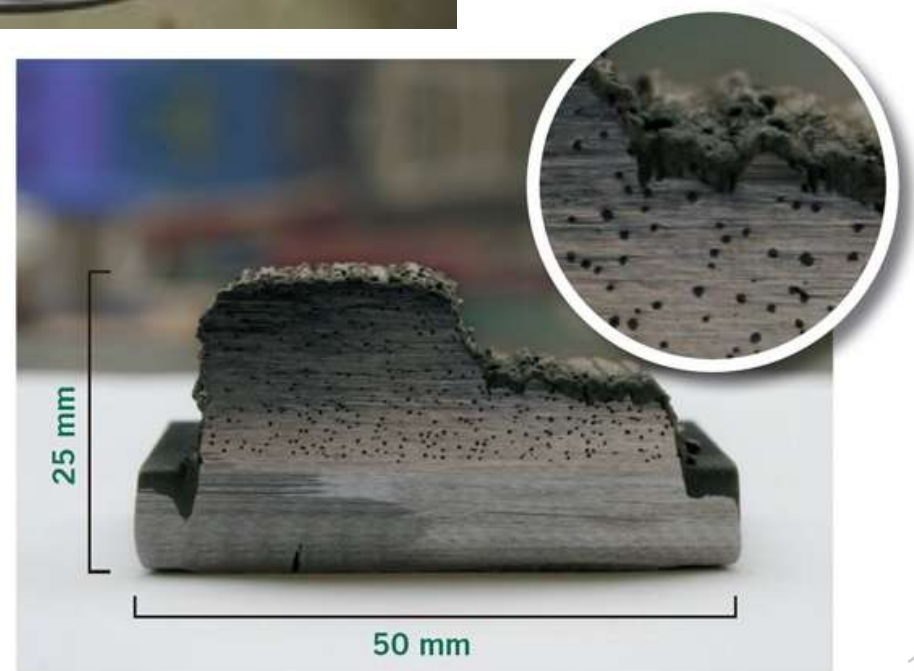
A cavitação deve ser evitada já que causa danos estruturais, ruídos e diminui a eficiência do sistema

$$e_s(t) = 610.8 e^{\frac{17.27t}{237.3+t}}$$

(Pa)

(°C)

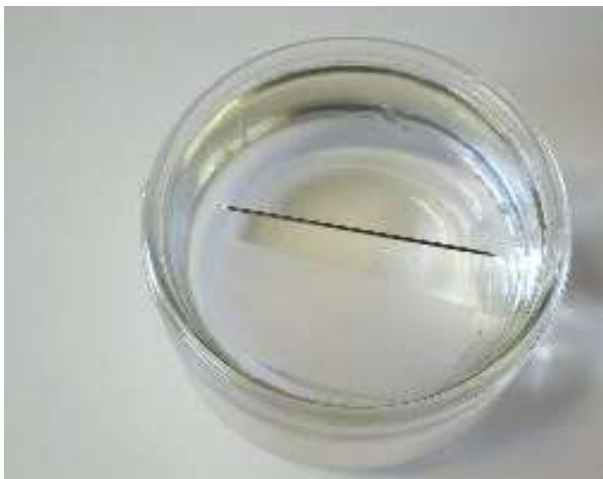




Tensão superficial

Força que se desenvolve na interface de 2 líquidos imiscíveis ou entre um líquido e um gás ou sólido devido às forças de coesão

Esta força faz com que a superfície do líquido se comporte como uma membrana



Tensão superficial é importante

- Movimento da água em tubos capilares (solos, plantas)
- Formação de gotas
- Instrumentos de medição (erros de leitura)

Capilaridade

$$F_y = P$$

$$\gamma L \cos \theta = \rho g V$$

$$\gamma 2 \pi r \cos \theta = \rho g \pi r^2 y$$

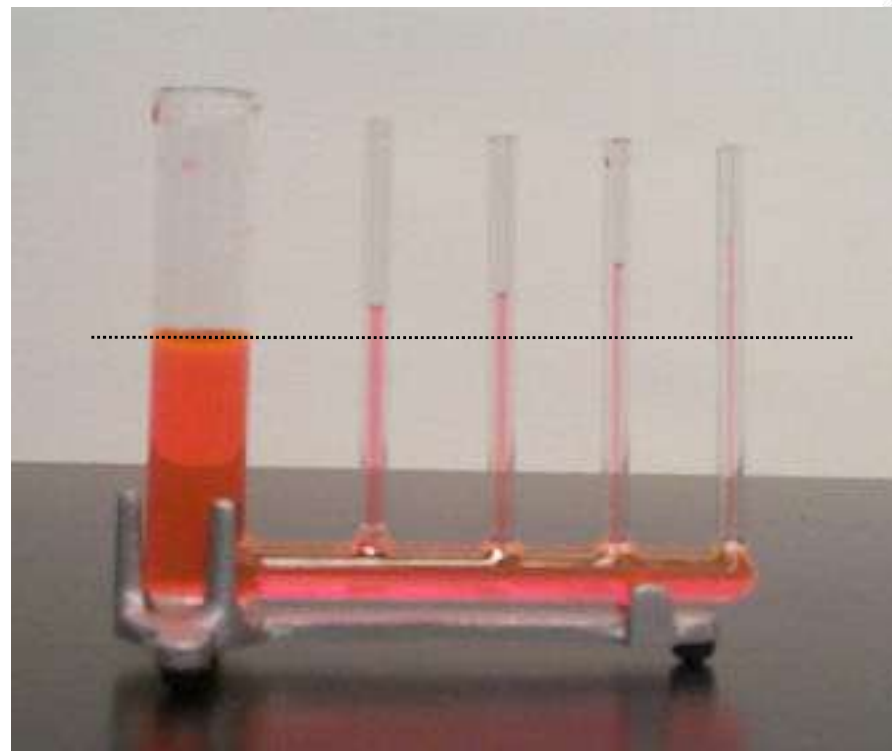
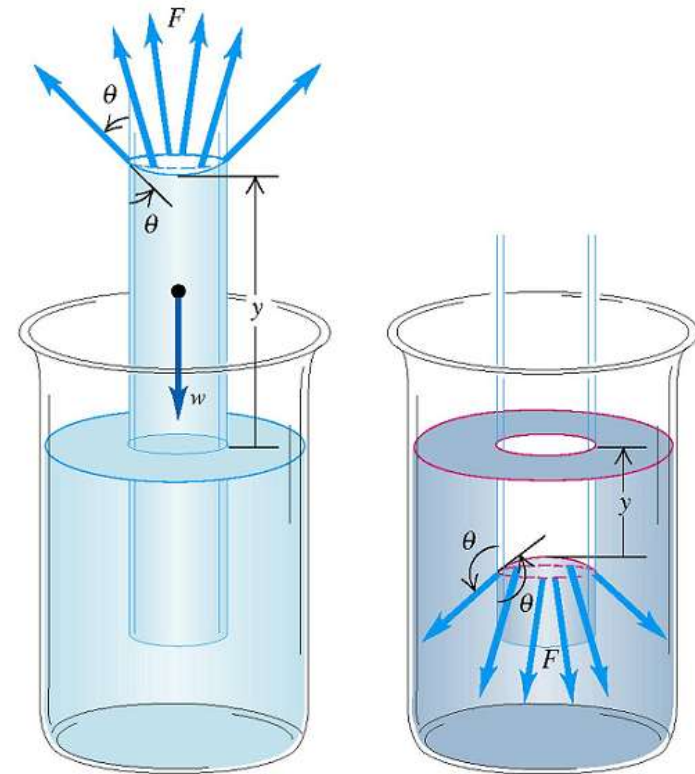
$$y = \frac{2 \gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

$$\gamma_{\text{água}} = 72 \text{ mN/m}$$

$$\theta \approx 70^\circ$$

$$d = 1 \text{ cm}$$

$$y \approx 1 \text{ mm}$$



Hidrostática

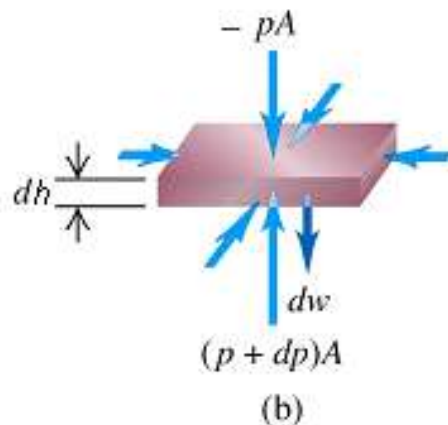
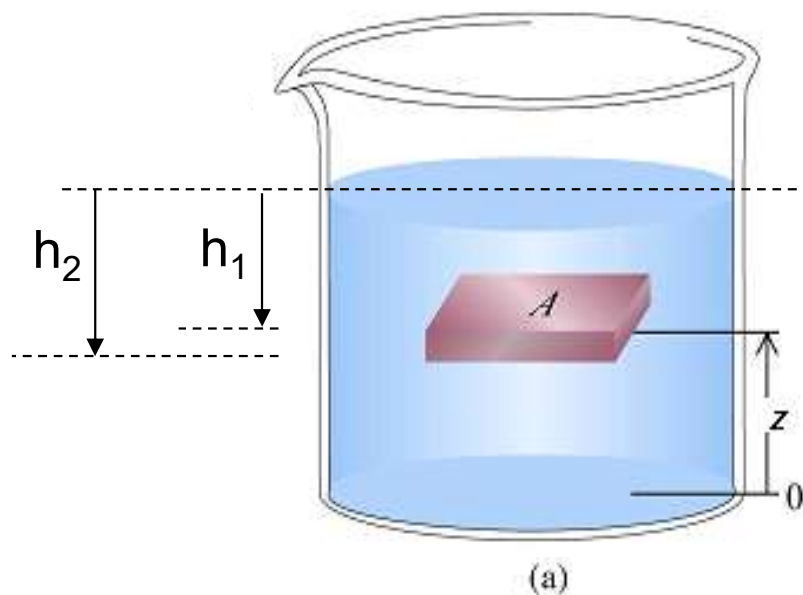
Fluidos não resistem a tensões de cisalhamento → os fluidos em repouso (**Hidrostática**) só estão sujeitos a forças perpendiculares (forças de pressão)

Pressão

$$p = F/A$$

Unidades da pressão

Unidade	Definição ou Relação
1 pascal (Pa) – unidade SI	$1 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-2} = 1 \text{ N m}^{-2}$
1 bar	$1 \times 10^5 \text{ Pa}$
1 atmosfera (atm)	$1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$
760 mm Hg	1 atm



$$\sum \vec{F} = \vec{0}$$

$$(p + dp)A - p \cdot A - dW = 0$$

$$(p + dp)A - p \cdot A - d(mg) = 0$$

$$(p + dp)A - p \cdot A - \rho \cdot dV \cdot g = 0$$

$$(p + dp)A - p \cdot A - \rho \cdot A \cdot dh \cdot g = 0$$

$$dp = \rho \cdot g \cdot dh$$

$$p = \int_0^h \rho g dh = \rho \cdot g \cdot h + p_0$$

Equação fundamental da Hidrostática

$$p = \rho g h (+ p_0)$$

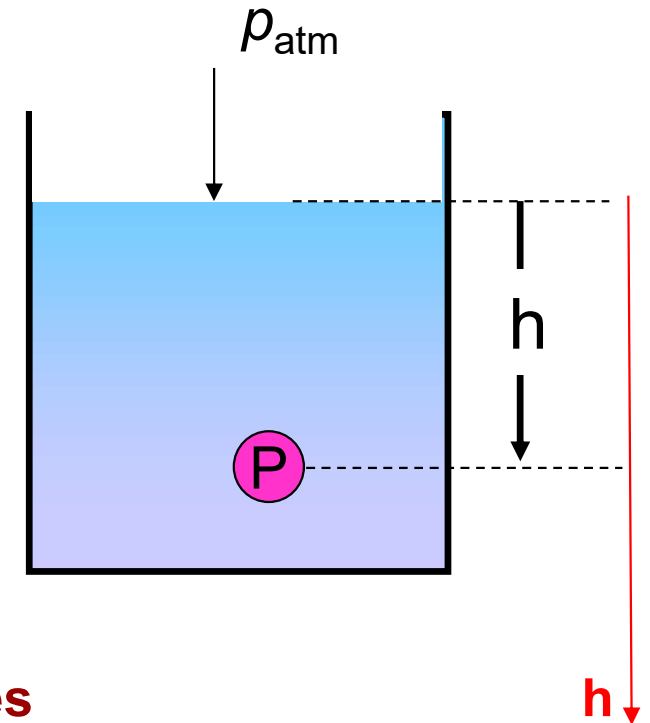
- Se o ponto 0 se localizar na superfície livre, a pressão p_0 é a pressão atmosférica, p_{atm}

$$p = \rho g h$$

pressão hidrostática - relativa

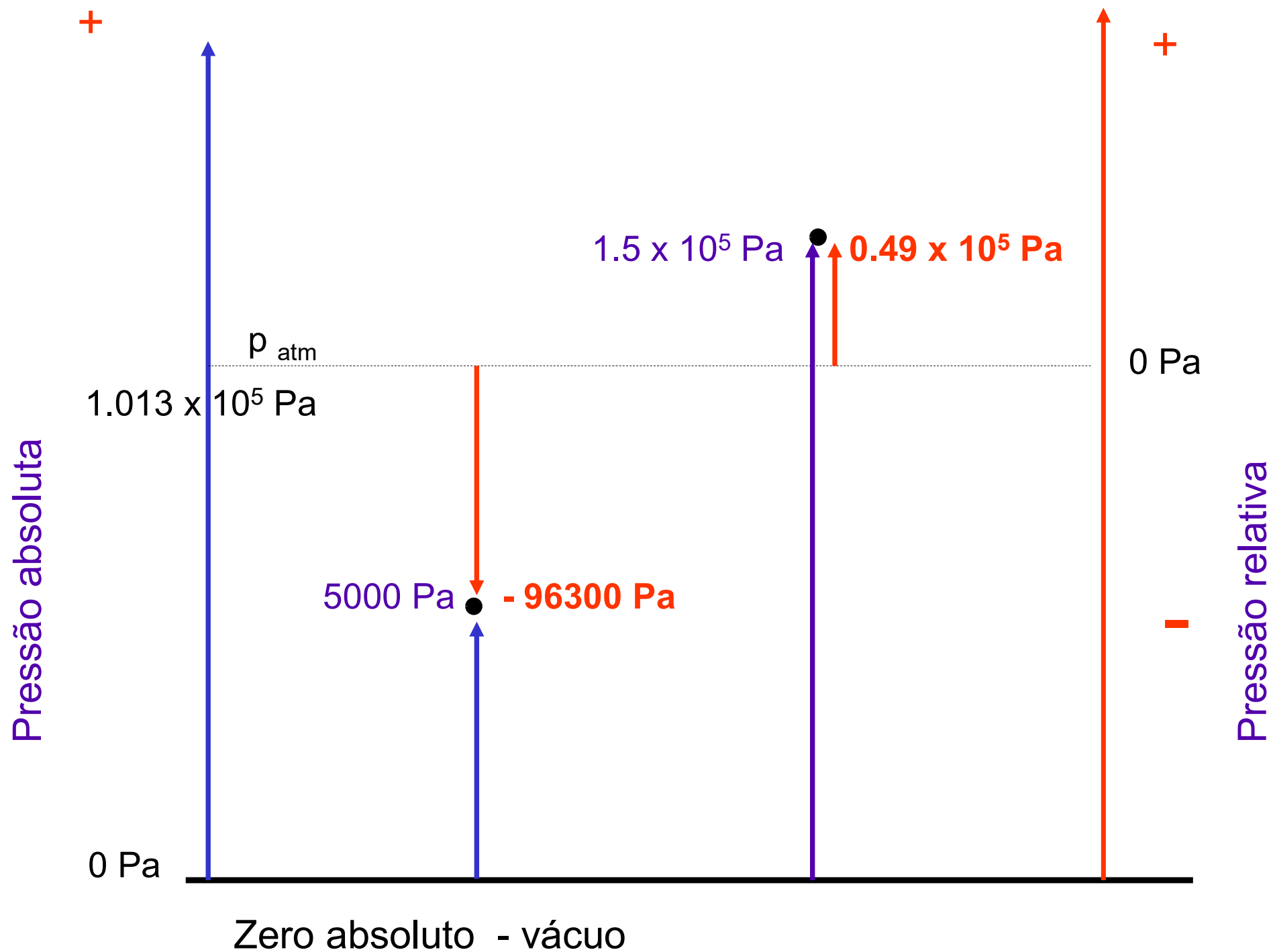
$$p = \rho g h + p_{atm}$$

pressão absoluta (ou total)



Escalas para a medição de pressões

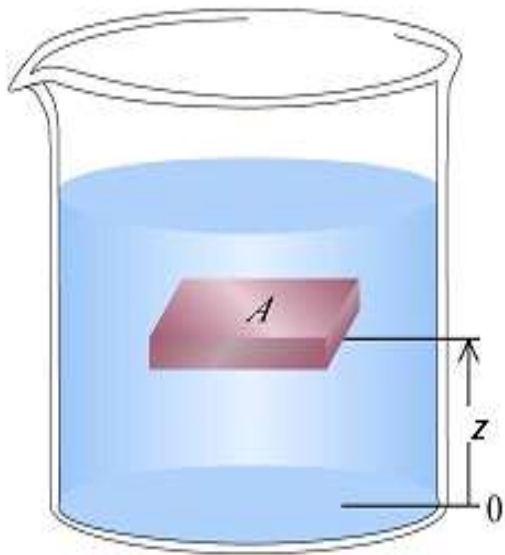
- **Pressão absoluta:** p_{abs} é medida numa escala que tem como **origem o vácuo**; é sempre **positiva**. **Usa-se na maioria dos problemas que envolvem gases (termodinâmica)**
- **Pressão relativa:** p_{rel} é medida numa escala que tem como **origem a pressão atmosférica local**; pode ser **negativa** (abaixo da pressão atmosférica) ou **positiva** (acima da pressão atmosférica). **Utiliza-se na maioria dos problemas que envolvem líquidos**



$$p = \rho g h$$

$$h = \frac{p}{\rho g} = \frac{p}{\gamma}$$

Altura representativa da pressão
= altura piezométrica



$$dp = \rho g dh$$

$$dp = -\rho g dz$$

$$p_2 - p_1 = -\int_1^2 \rho \cdot g \cdot dz = -[\rho \cdot g \cdot z]_1^2$$

$$p_2 - p_1 = \rho \cdot g \cdot z_1 - \rho \cdot g \cdot z_2$$

$$p_2 + \rho \cdot g \cdot z_2 = p_1 + \rho \cdot g \cdot z_1 = \text{constante}$$

$$\frac{p}{\gamma} + z = \text{constante}$$

Altura piezométrica

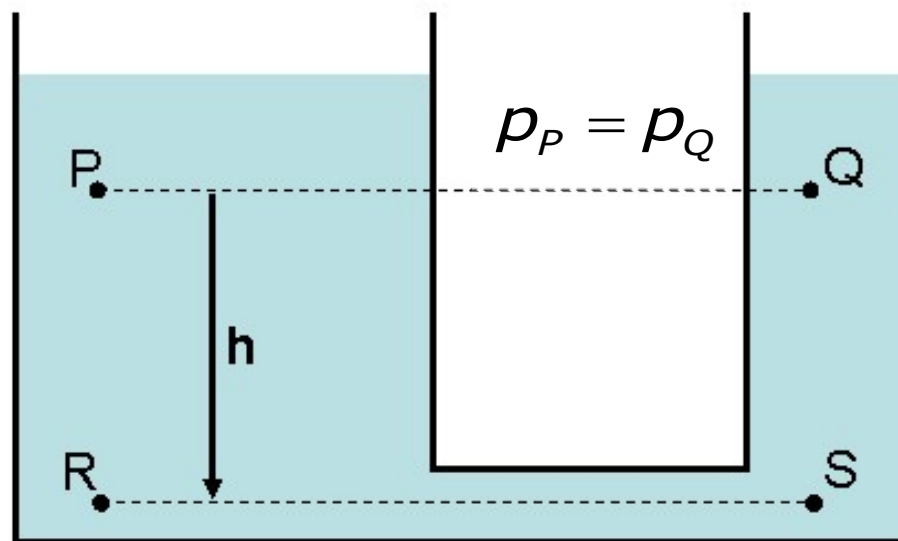
+

Cota geométrica

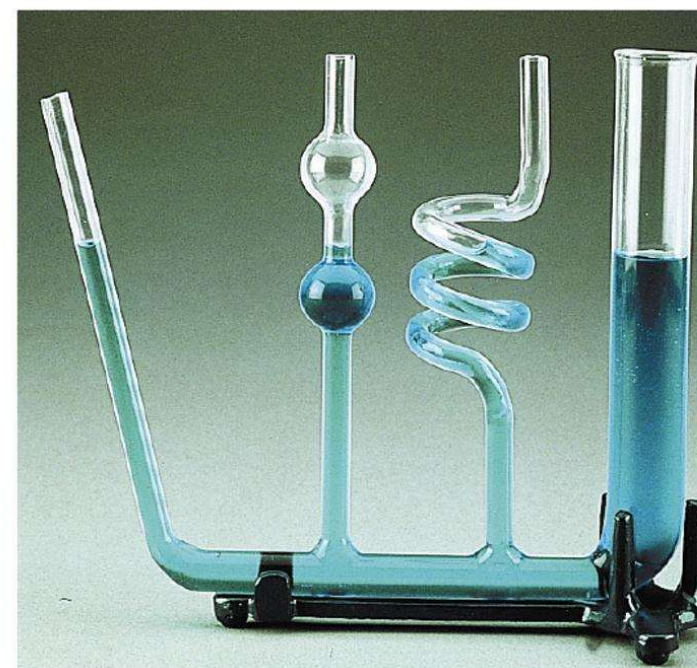
Carga piezométrica

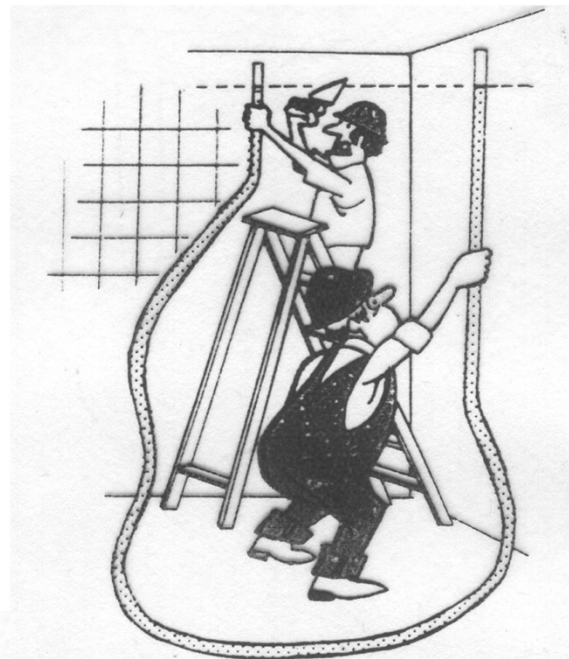
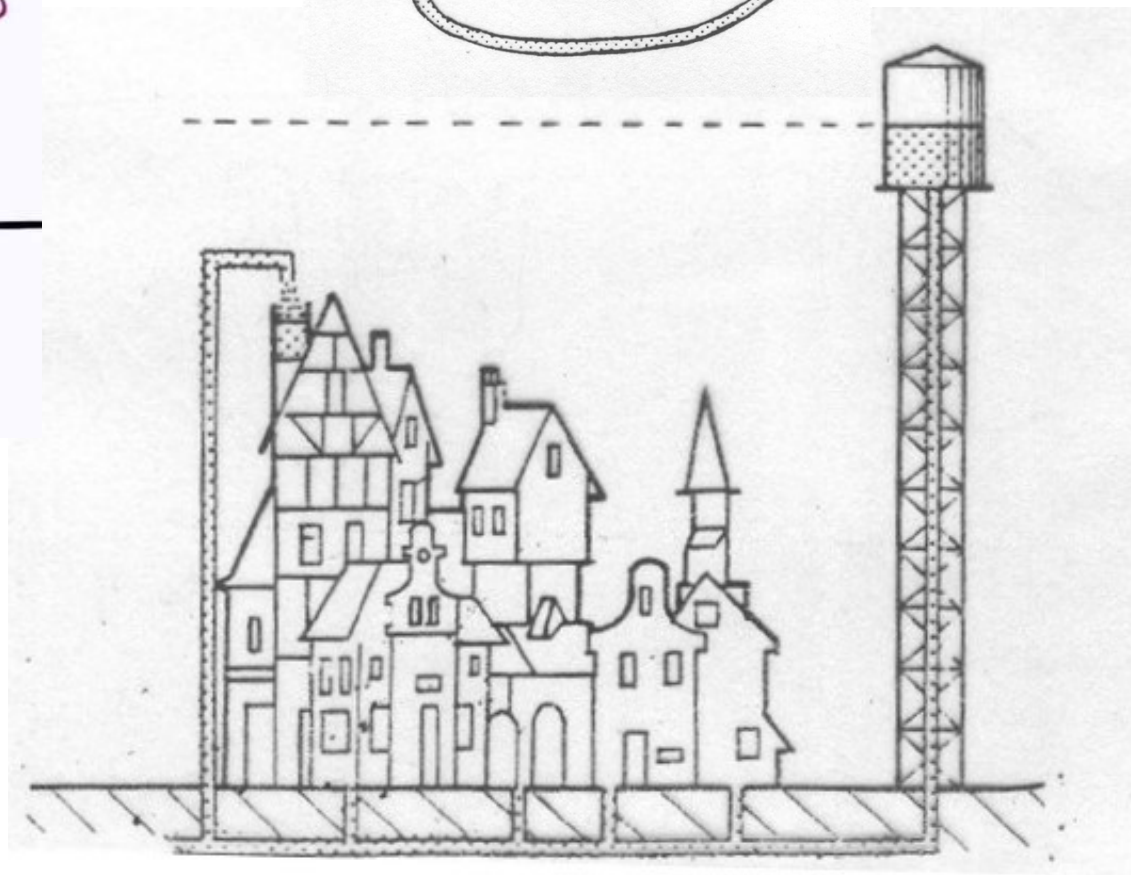
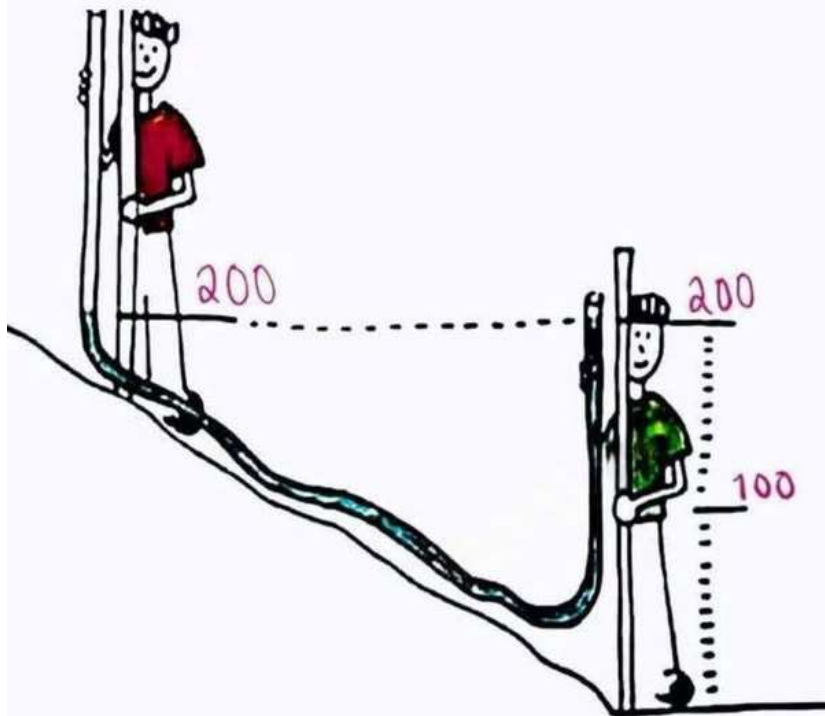
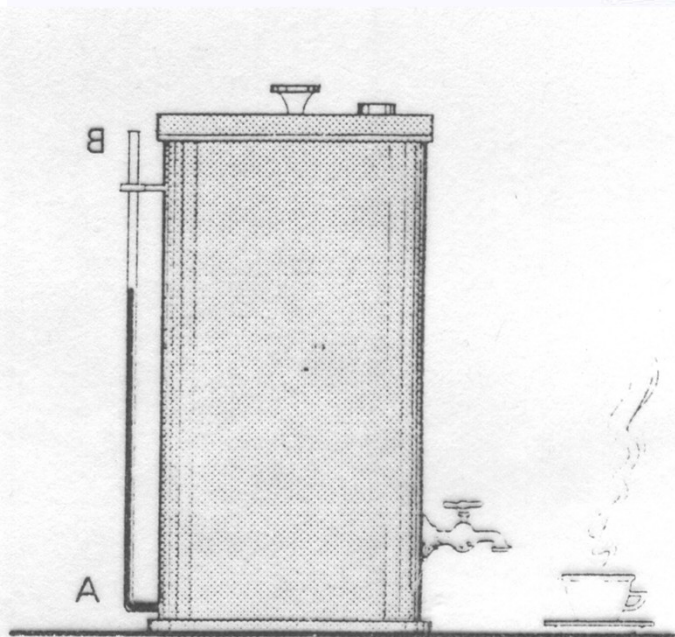
Num fluido em repouso todos os pontos têm a mesma carga piezométrica

Consequência do princípio fundamental da hidrostática: a pressão hidrostática é igual em todos os pontos que no interior do mesmo fluido estejam à mesma profundidade

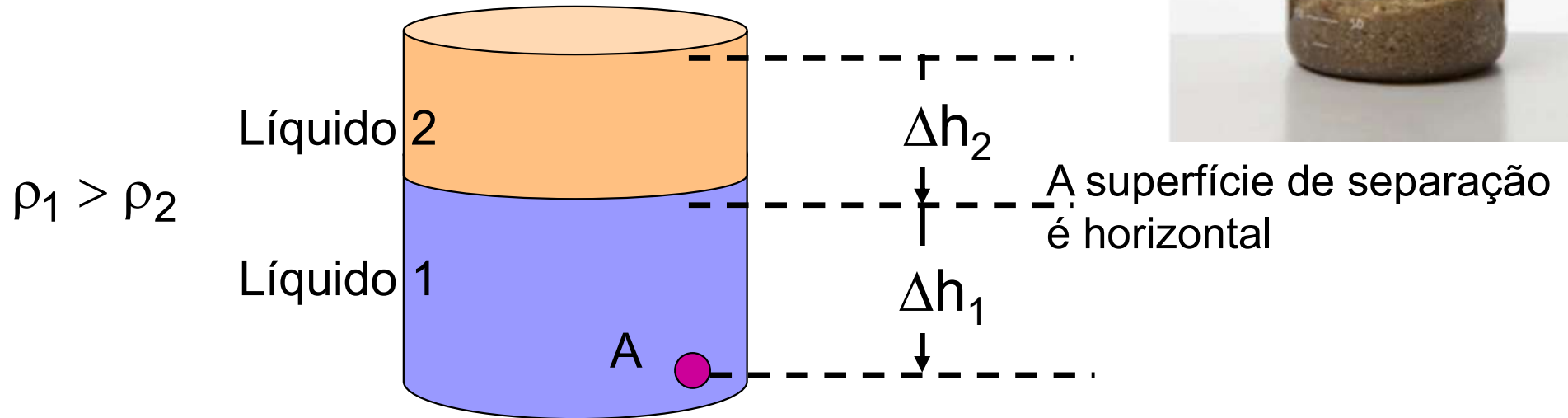


$$p_R = p_S$$





Se o reservatório contém vários líquidos imiscíveis



Pressão no ponto A:

$$p_A = \underbrace{0 + \rho_2 \cdot g \cdot \Delta h_2}_{p_{\text{interface}}} + \rho_1 \cdot g \cdot \Delta h_1$$

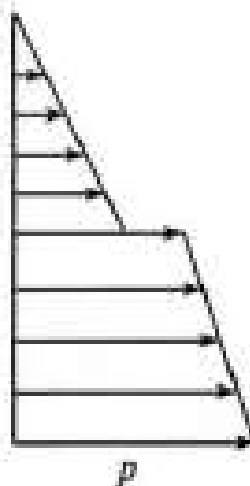
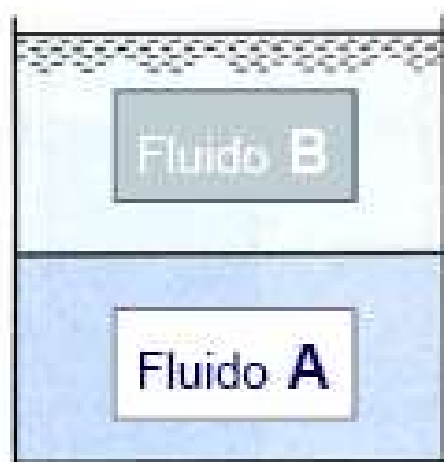
Pressão hidrostática
(relativa)

$$p_{A_{abs}} = p_{atm} + \rho_2 \cdot g \cdot \Delta h_2 + \rho_1 \cdot g \cdot \Delta h_1$$

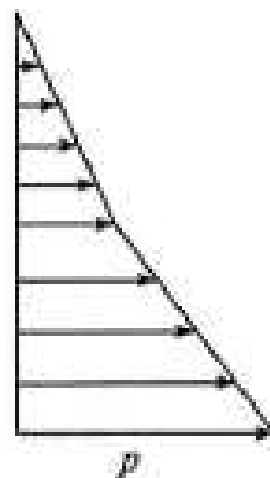
Pressão absoluta

Qual o gráfico que traduz correctamente a variação da pressão com a profundidade?

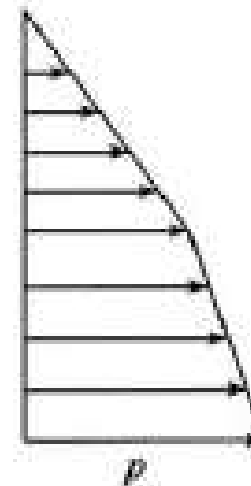
$$\rho_A > \rho_B$$



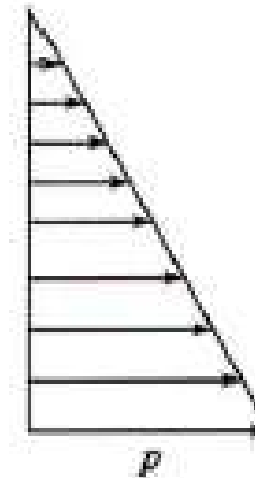
(a)



(b)



(c)



(d)

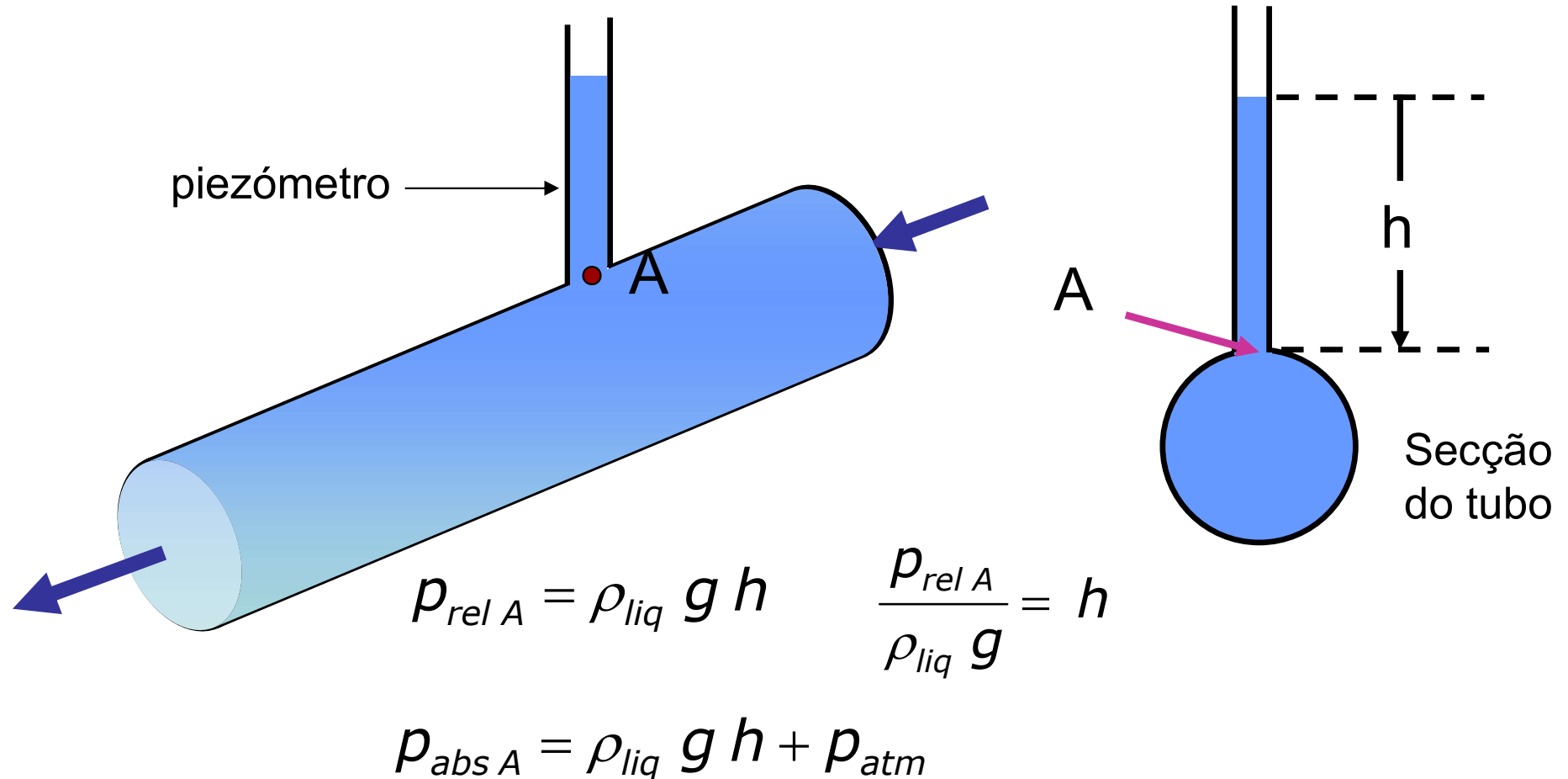


Medidores de pressão - manómetros

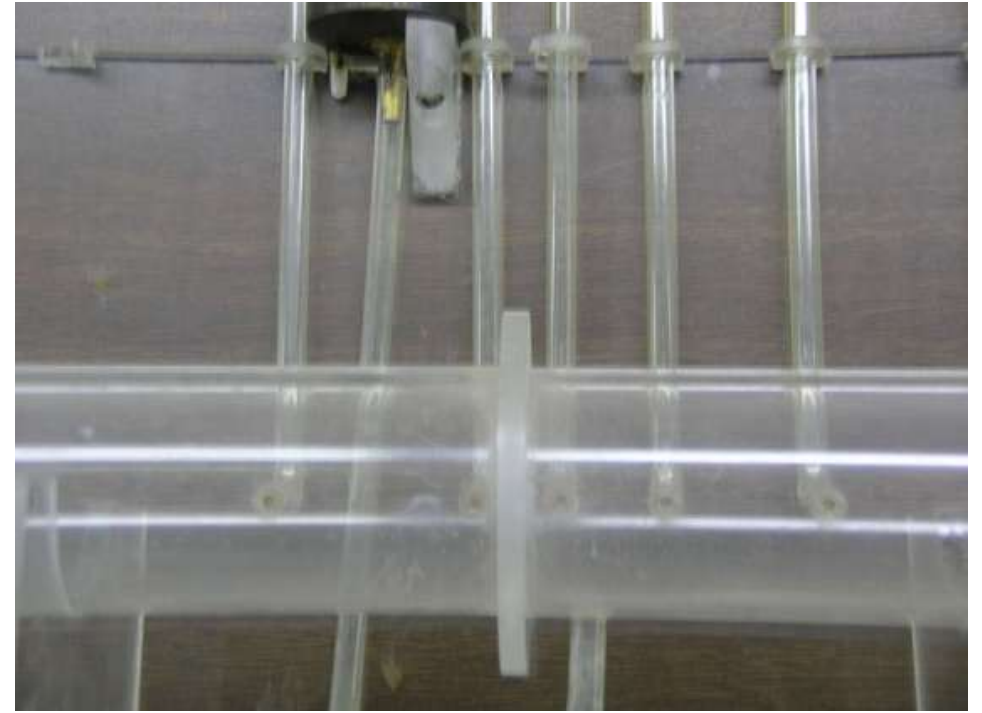
Um manómetro é um instrumento para medir pressões relativas (manométricas) em fluidos

- **Manómetros de tubo:** baseados na relação entre pressão e altura de líquido
- **Manómetros mecânicos:** a diferença de pressão origina uma deformação cujo valor depende da diferença de pressão.
- **Transdutores de pressão:** a diferença de pressão é transformada num sinal eléctrico.

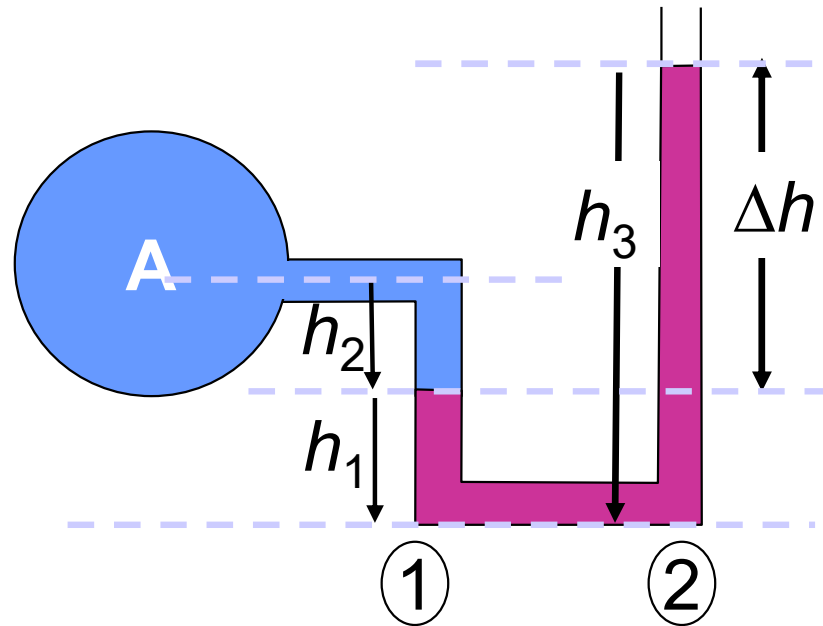
Manómetro simples - Piezómetro



- ❖ Não é adequado para medir pressões muito elevadas
- ❖ Não é adequado para medir pressões em gases
- ❖ Não é adequado para medir pressões relativas negativas



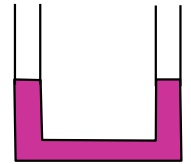
Manómetro simples em U



$$p_1 = p_A + \rho_2 g h_2 + \rho_1 g h_1$$

$$p_2 = \rho_1 g h_3$$

b) Com líquido manométrico



$$p_1 = p_2$$

$$p_A + \rho_2 g h_2 + \rho_1 g h_1 = \rho_1 g h_3$$

$$p_A = \rho_1 g h_3 - \rho_1 g h_1 - \rho_2 g h_2$$

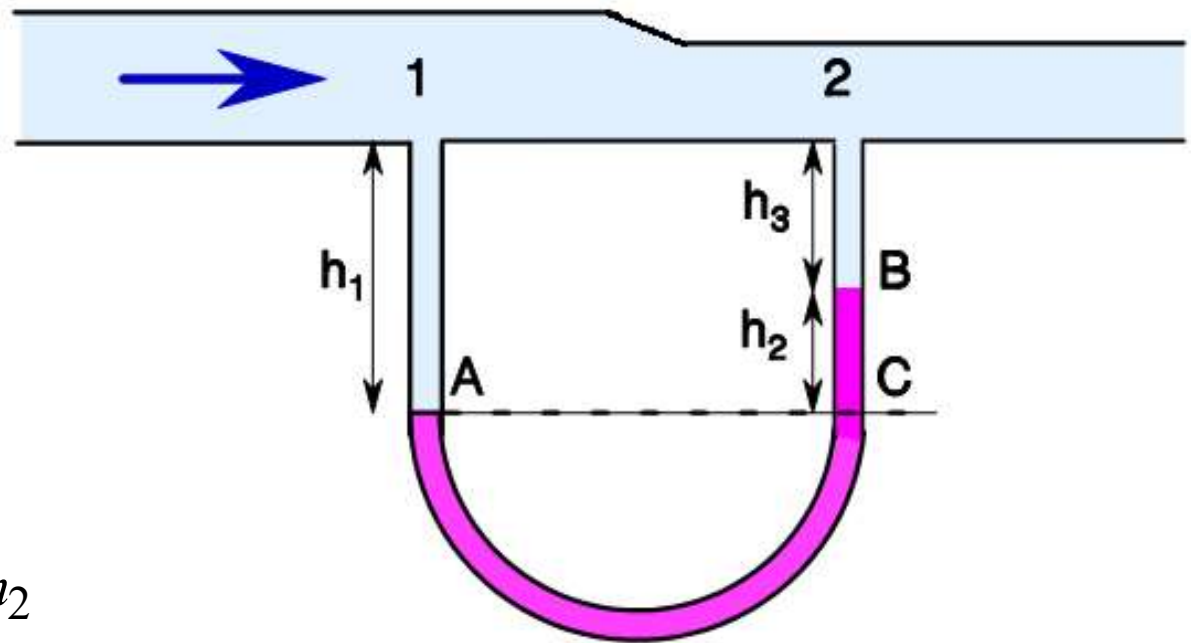
$$p_A = \rho_1 g (h_3 - h_1) - \rho_2 g h_2$$

$$p_{rel A} = \rho_1 g \Delta h - \rho_2 g h_2$$

Se o fluido A for um gás, $\rho_2 \ll \rho_1 \Rightarrow \rho_2$ é desprezável

$$p_{rel A} = \rho_1 g \Delta h$$

Manómetro diferencial



$$p_A = p_C$$

$$p_A = p_1 + \rho g h_1$$

$$p_C = p_2 + \rho g h_3 + \rho_{\text{man}} g h_2$$

$$p_1 + \rho g h_1 = p_2 + \rho g h_3 + \rho_{\text{man}} g h_2$$

$$p_1 - p_2 = \rho_{\text{man}} g h_2 - \rho g (h_1 - h_3)$$

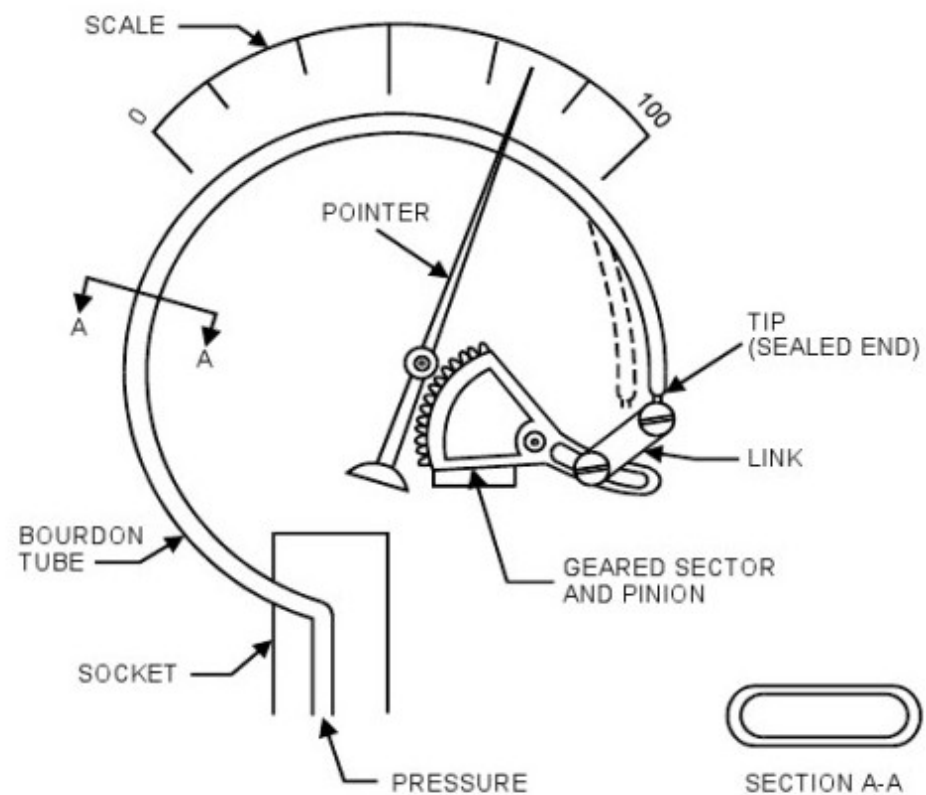
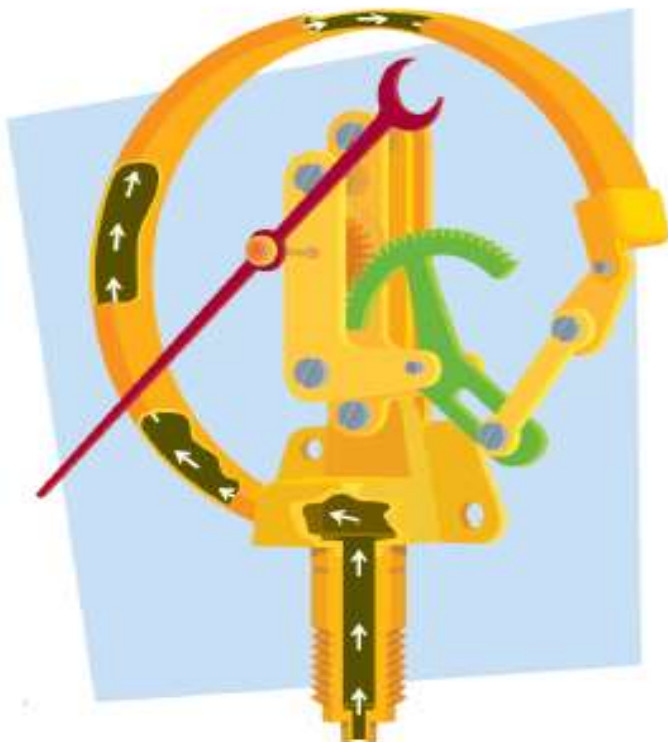
$$h_1 - h_3 = h_2 = \Delta h$$

$$p_1 - p_2 = (\rho_{\text{man}} - \rho) g \Delta h$$

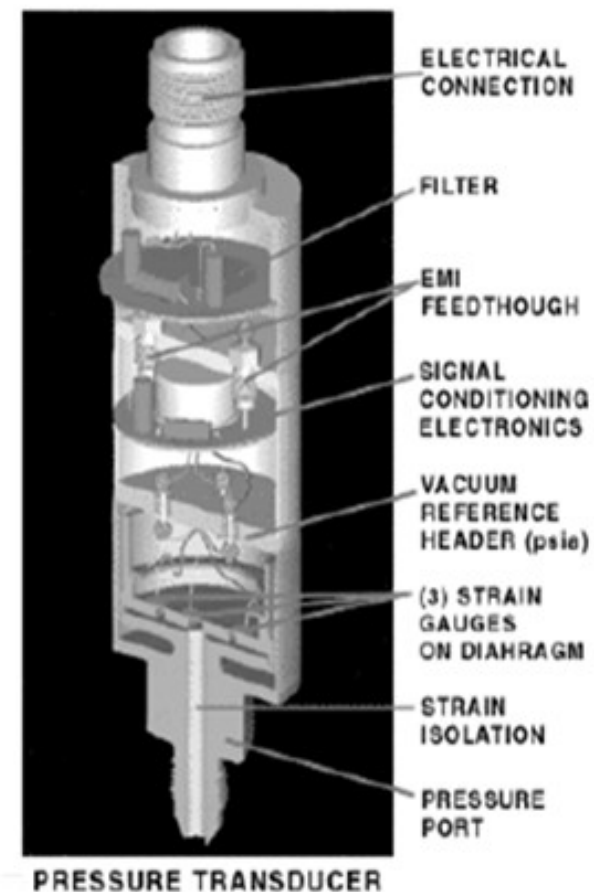
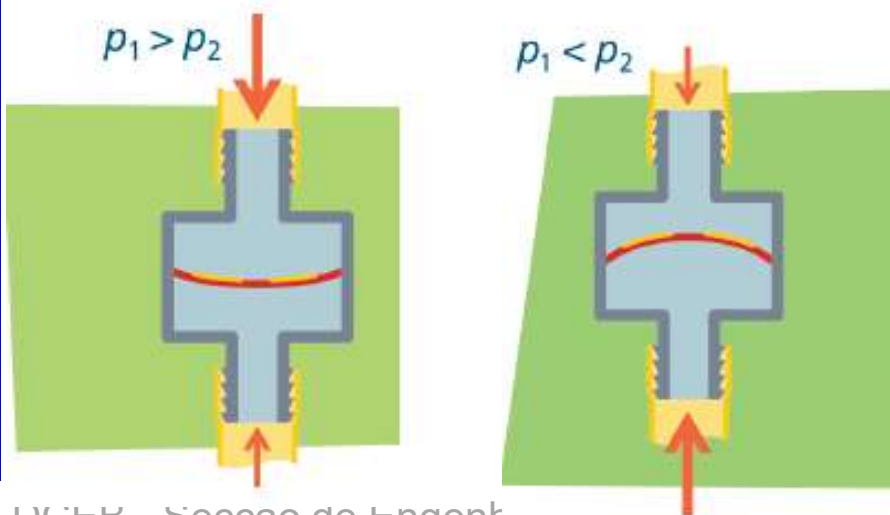
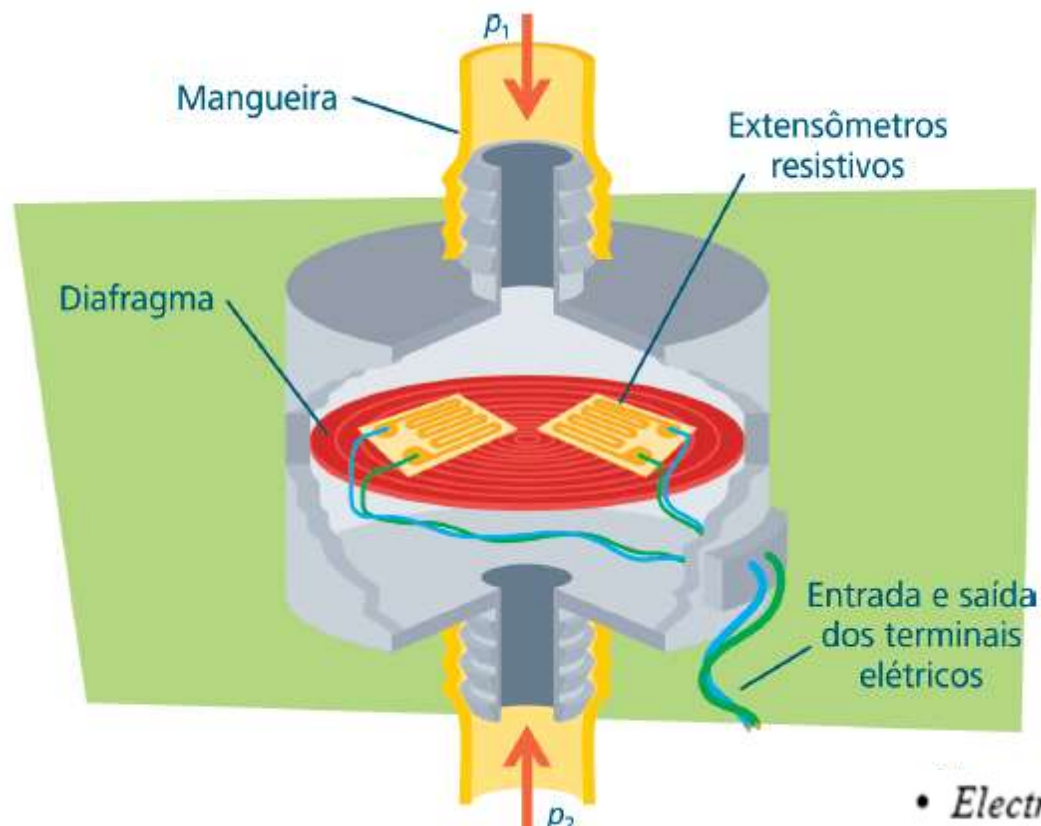
Manómetro de Bourdon



- Pode medir pressões positivas ou negativas
- Grande gama de medição (-1 → 7000 bar)



Transdutores de pressão



- *Electrical pressure transducer* converts displacement of a diaphragm to an electrical signal.

