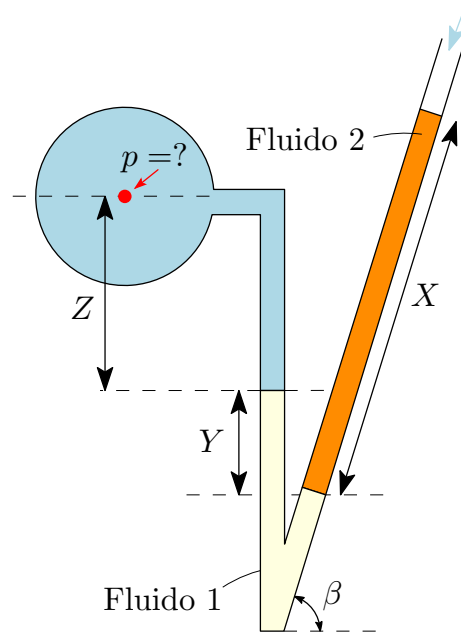


# 1 Primeira questão

Calcular a pressão relativa no ponto indicado da tubulação. Resposta em Pa com uma casa decimal.

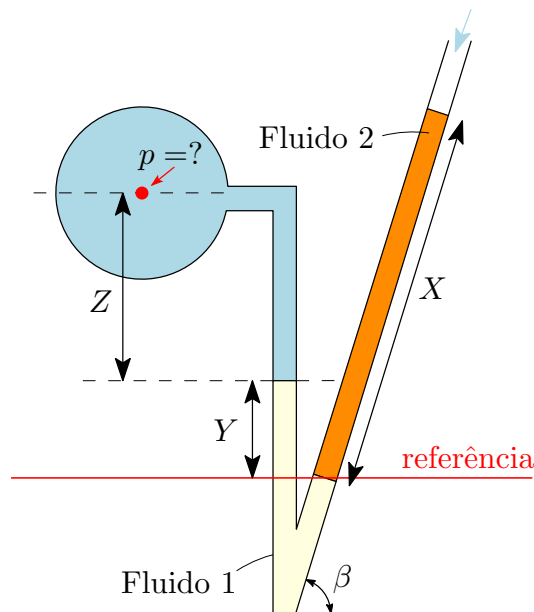
## Dados:

- Massa específica do fluido 1 =  $13.1 \text{ g/cm}^3$
- Massa específica do fluido 2 =  $8.3 \text{ g/cm}^3$
- Massa específica da água =  $1000 \text{ kg/m}^3$
- $X = 18.4 \text{ cm}$
- $Y = 8.3 \text{ cm}$
- $Z = 21.9 \text{ cm}$
- $\beta = 67.4^\circ$

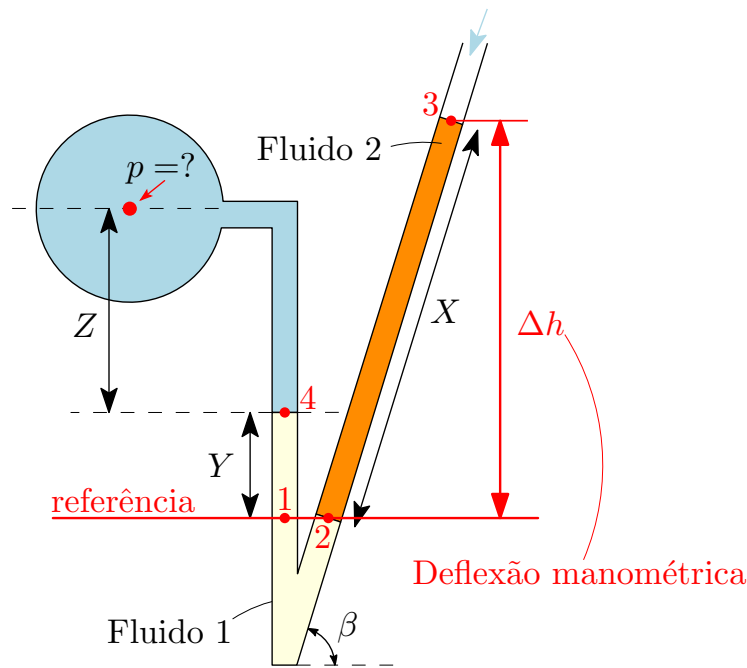


## 1.1 Solução

- (1) Estabelecer um referencial. É comum adotar a interface líquido-líquido mostrada.



- (2) Após estabelecer a cota de referência deve-se demarcar os pontos que serão analisados quanto a variação de pressão. Nesse caso, foram definidos dois pontos pertencentes à cota (1 e 2) e um ponto na superfície superior do fluido 2 (3) já que a pressão atmosférica na região simplifica os cálculos.



- (3) Agora basta aplicar a lógica assimilada na parte de manômetros diferenciais e formular as equações para cada par de pontos como é visto abaixo

$$\begin{cases} p_1 - p_4 = \gamma_1 \cdot Y \\ p_4 - p = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z \end{cases}$$

Consequentemente

$$p_1 - p = \gamma_1 \cdot Y + \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z \quad (1)$$

- (4) Aplicando os conceitos vistos em hidrostática, sabemos que pontos na mesma cota e **fluido** apresentam a mesma pressão (1 e 2), logo

$$p_1 = p_2 \quad (2)$$

Ao analisar o tubo contendo o fluido 2

$$p_2 - p_3 = \gamma_2 \cdot X \cdot \sin \beta \quad (3)$$

Como  $p_3 = 0$  e  $p_1 = p_2$

$$p_1 = \gamma_2 \cdot X \cdot \sin \beta \quad (4)$$

Voltando em (1) e substituindo chegamos que

$$p = \gamma_2 \cdot X \cdot \sin \beta - \gamma_1 \cdot Y - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z \quad (5)$$

- (5) Por fim, é necessário considerar as unidades no SI e converter as massas específicas dadas em gramas por centímetro cúbico ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) para quilogramas por metro cúbico ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$$\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-3} \text{ kg}}{(10^{-2})^3 \text{ m}^3} \quad (6)$$

$$= \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-6} \text{ m}^3} \quad (7)$$

$$= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad (8)$$

- (6) Ao multiplicar os valores de massa específica em gramas por centímetro cúbico por 1000 e substituir o restante dos valores de comprimento (em metros) na equação obtida para  $p$

$$p = 8300 \cdot 0.184 \cdot \sin 67.4^\circ - 13\,100 \cdot 0.083 - 1000 \cdot 0.219 \quad (9)$$

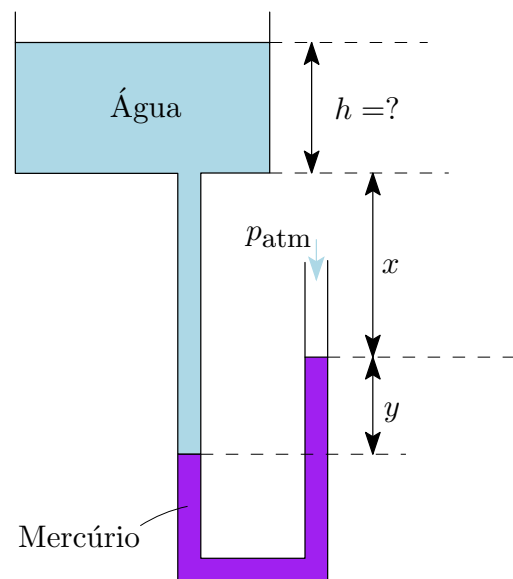
$$= 103.6 \text{ Pa} \approx 0.1 \text{ kPa} \quad (10)$$

## 2 Segunda questão

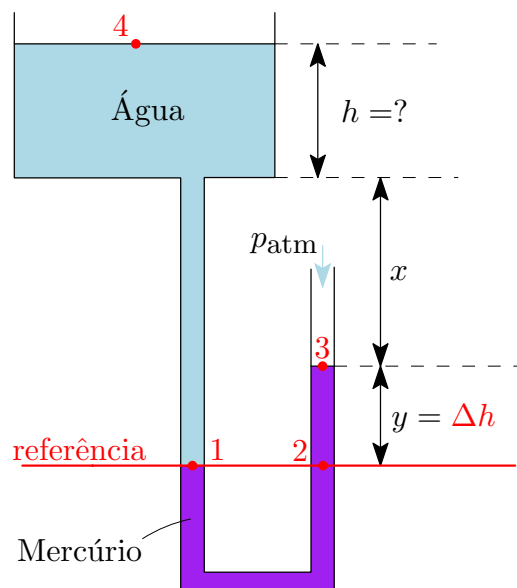
A figura abaixo ilustra um reservatório de água, cujo nível  $h$  pode ser determinado utilizando um manômetro. Calcule o valor de  $h$  em centímetros (cm) com uma casa decimal.

### Dados:

- Reservatório contém água
- Manômetro contém líquido manométrico: Mercúrio
- Peso específico da água:  
 $\gamma_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kgf/m}^3$
- Peso específico do mercúrio:  
 $\gamma_{\text{Hg}} = 13\,600 \text{ kgf/m}^3$
- $x = 29.2 \text{ cm}$
- $y = 10.9 \text{ cm}$



- (1) De maneira análoga a que foi usada na questão anterior, foi feito o estabelecimento de uma cota de referência e a marcação dos pontos para formular as equações



(2) As equações obtidas são

$$\begin{cases} p_1 - p_4 = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (x + y + h) \\ p_2 - p_3 = \gamma_{\text{Hg}} \cdot y \end{cases}$$

Assim

$$p_1 = p_2 \quad (11)$$

$$\gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot (x + y + h) = \gamma_{\text{Hg}} \cdot y \quad (12)$$

$$h = \frac{(\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot y - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot x}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (13)$$

Considerando que

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N} \quad (14)$$

temos

$$h = \frac{9.81 \cdot (13600 - 1000) \cdot 10.9 \cdot 10^{-2} - 9.81 \cdot 1000 \cdot 29.2 \cdot 10^{-2}}{9.81 \cdot 1000} \quad (15)$$

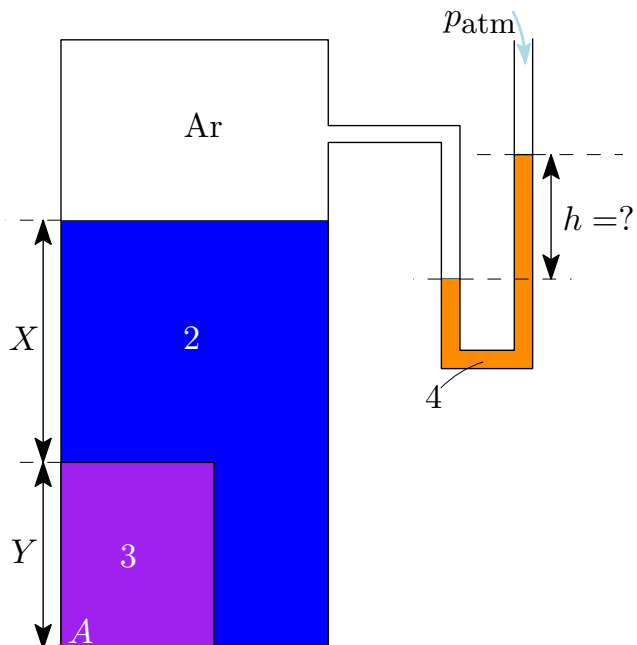
$$= 1.0814 \text{ m} \approx 108.1 \text{ cm} \quad (16)$$

### 3 Terceira questão

Calcular a altura  $h$  em cm e apresentar o resultado com duas casas decimais.

**Dados:**

- Pressão no ponto  $A$ :  
 $p_A = 148.67 \text{ kPa}$
- $X = 59.4 \text{ cm}$
- $Y = 65.5 \text{ cm}$
- Densidade do ar é desprezível.  
Pode-se assumir que a pressão é a mesma em todo o volume ocupado pelo ar.
- $\rho_1 = 1 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_2 = 13.6 \text{ g/cm}^3$
- $\gamma_4 = 0.13 \text{ lbf/in}^3$ 
  - $1 \text{ lbf} = 4.448 \text{ N}$
  - $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$
  - $g = 9.81 \text{ m/s}^2$



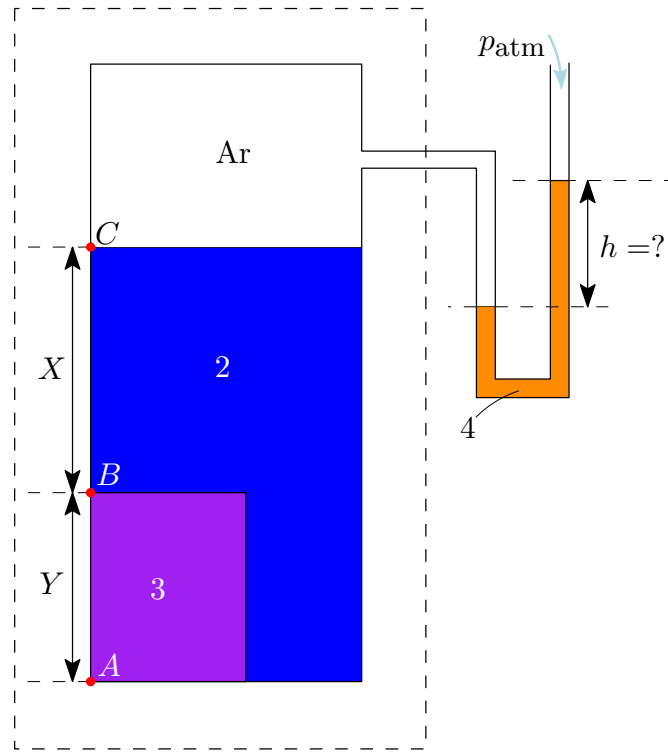
- (1) Ao analisar o tubo contendo ar e o fluido 4, é preciso estabelecer o referencial igual ao que foi feito anteriormente, porém nesse exercício a pressão que o ar exerce no ponto 1 não é desprezível, tendo em vista que suas moléculas confinadas no volume, ao serem aproximadas (compressão), mantêm em equilíbrio o fluido presente no tubo. Para encontrar a equação que relaciona  $X$ ,  $Y$ ,  $\gamma_2$ ,  $\gamma_3$  podem ser utilizados alguns caminhos. A partir de um sistema de equações como é visto a seguir, temos

$$\text{eqs.} \begin{cases} p_A - p_B = \gamma_3 \cdot Y \\ p_B - p_{Ar} = \gamma_2 \cdot X \end{cases}$$

Ao somar as duas equações

$$p_A - p_{Ar} = \gamma_2 \cdot X + \gamma_3 \cdot Y$$

$$p_{Ar} = p_A - \gamma_2 \cdot X - \gamma_3 \cdot Y$$

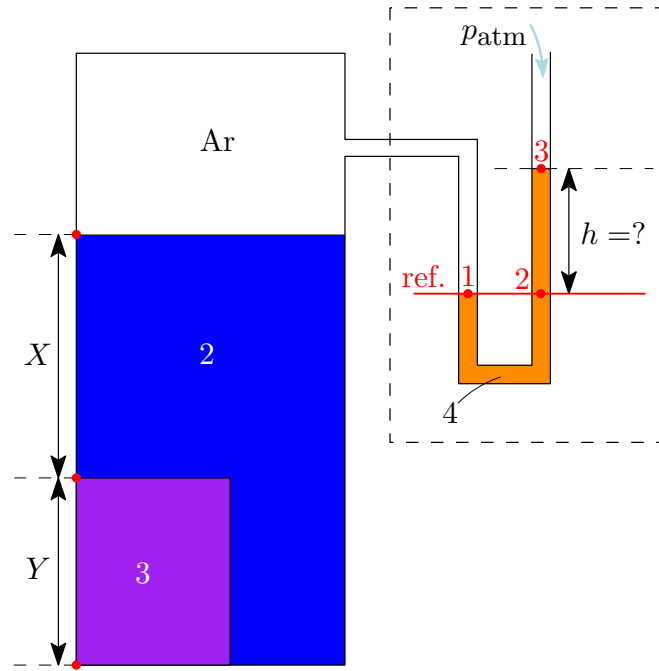


- (2) Substituindo os dados do exercício conforme o SI, vem

$$p_{Ar} = 148\,670 - 1000 \cdot 0.594 - 13600 \cdot 0.655 \quad (17)$$

$$= 139\,168 \text{ Pa} \quad (18)$$

- (3) Após analisar o tubo com o fluido 4 e estabelecer o referencial visto abaixo, temos



$$p_{Ar} = p_2 = p_3 + \gamma_4 \cdot h \quad (19)$$

Como  $p_3$  é desprezível

$$h = \frac{p_{Ar}}{\gamma_4} \quad (20)$$

- (4) Antes de substituir é preciso converter o peso específico fornecido em lbf/in<sup>3</sup> para N/m<sup>3</sup>

$$\gamma_4 = 0.13 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^3} \quad (21)$$

$$= \frac{0.13 \cdot 4.448}{0.0254^3} \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad (22)$$

$$= 35\,286.369\,785\,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad (23)$$

- (5) Assim

$$h = 3.9439 \text{ m} = 394.39 \text{ cm} \quad (24)$$

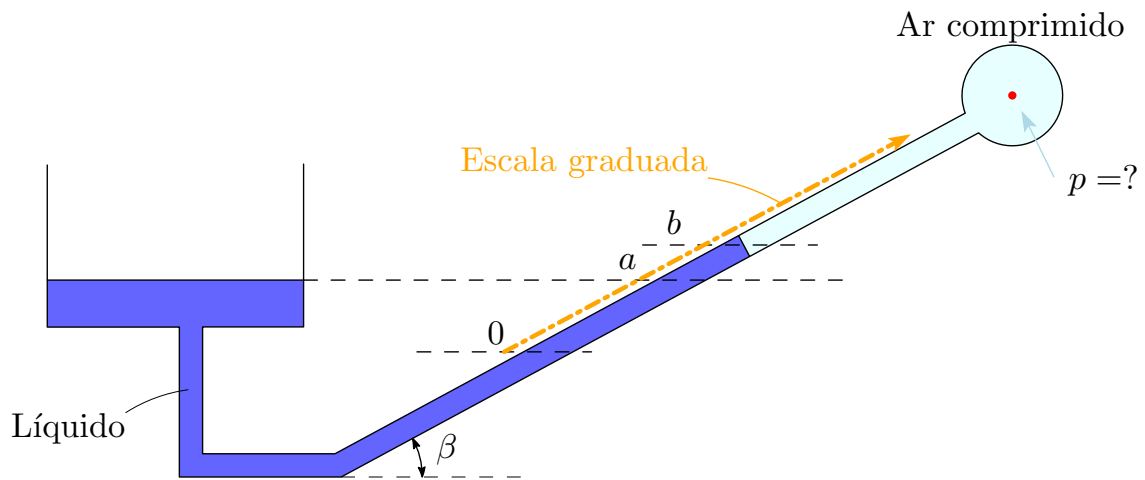
## 4 Quarta questão

Para a figura apresentada, calcular a pressão absoluta no final do tubo, onde há uma câmara contendo ar comprimido. Resposta em kPa com uma casa decimal.

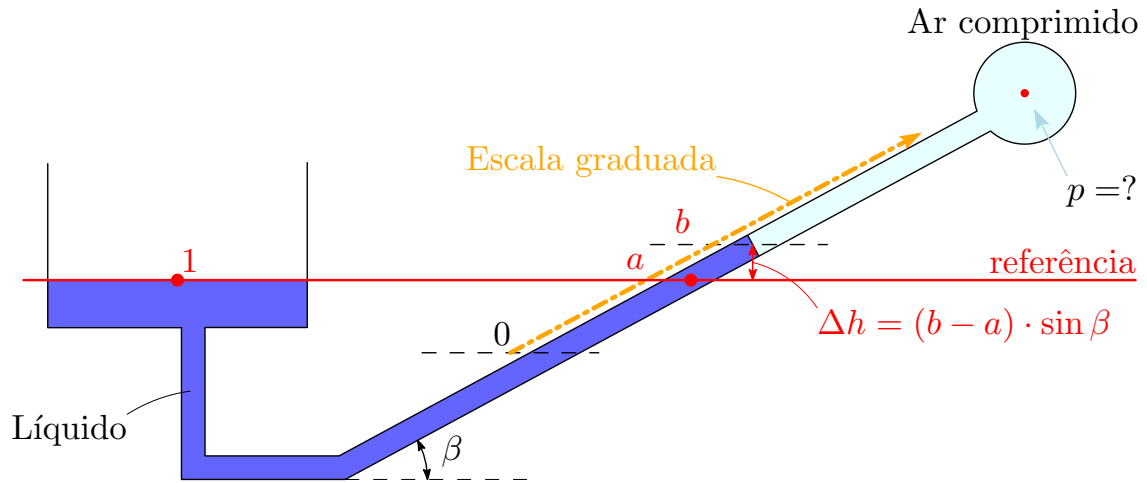
**Dados:**

- $a = 4 \text{ in}$
- $b = 16.4 \text{ in}$

- $\beta = 72.7^\circ$
- $d_l = 9.5$
- $p_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ N/m}^2$
- $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$
- $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$  (substância padrão)
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- Dica: A massa específica do ar é desprezível e pode-se assumir que a pressão é a mesma em todo o volume ocupado por ar comprimido.



Após marcar o ponto 1 e considerar que ele está sujeito à pressão atmosférica, adotando o referencial apresentado abaixo é possível escrever



$$p_1 = p_{\text{atm}} = p_a \quad (25)$$

Fazendo  $p_a - p_b$  temos

$$p_a - p_b = \gamma_l \cdot \Delta h \quad (26)$$

$$= \gamma_l \cdot (b - a) \cdot \sin \beta \quad (27)$$

$$= \rho_l \cdot g \cdot (b - a) \cdot \sin \beta \quad (28)$$

$$= 9500 \cdot 9.81 \cdot (16.4 - 4) \cdot 0.0254 \cdot \sin 72.7^\circ \quad (29)$$

$$= 28\,024.804\,646\,2 \text{ Pa} \quad (30)$$

Como  $p_1 = p_a$  podemos escrever

$$101\,325 - p_b = 28\,024.804\,646\,2 \quad (31)$$

$$p_b = 73\,300.195\,353\,8 \text{ Pa} \quad (32)$$

$$p_b = p = 73.3 \text{ kPa} \quad (33)$$

Como a pressão absoluta é dada pela soma da pressão relativa (no ponto) e a pressão atmosférica, temos

$$(p_{\text{abs}})_b = p_{\text{atm}} + \overbrace{p_b}^{\text{relativa}} \quad (34)$$

$$= 101.325 + 73.3 \approx 174.6 \text{ kPa} \quad (35)$$

## 5 Quinta questão

Calcule a pressão relativa indicada pelo manovacuômetro para a situação ilustrada abaixo. Resposta em mbar (milibar) com uma casa decimal. Caso a pressão seja negativa, o resultado deve conter o sinal negativo.

**Dados:**

1. Densidade dos fluidos indicados no desenho:

- $d_A = 2.3$
- $d_B = 5.4$
- $d_C = 1.3$
- $d_D = 6.9$

2. Comprimento em polegadas (")

3.  $1 \text{ in} = 2.53 \text{ cm}$

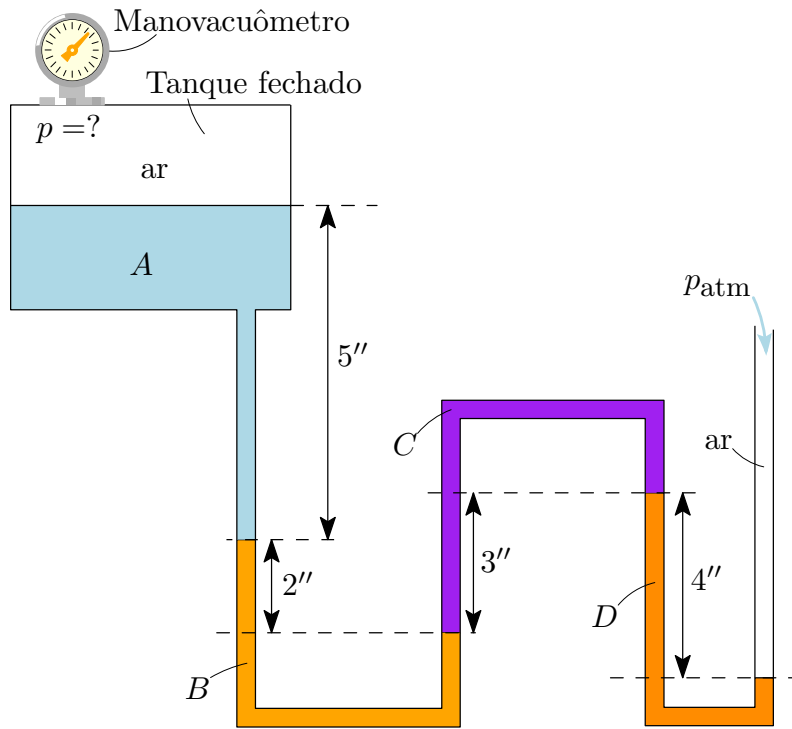
4. Massa específica da água (substância padrão):

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

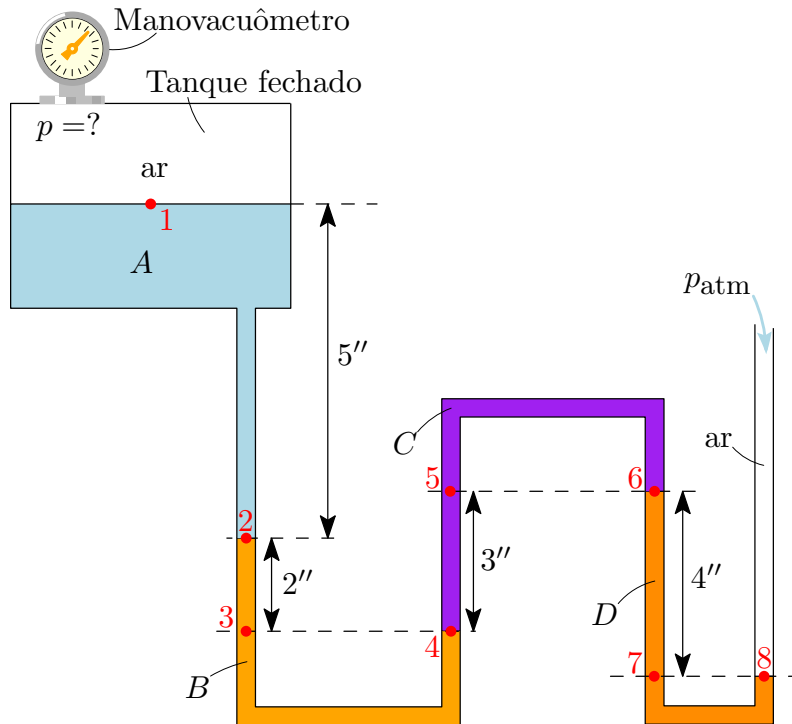
5.  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

6. A massa específica do ar é desprezível e pode-se assumir que a pressão é a mesma em todo o volume do tanque ocupado por ar.





Com base nas cotas tracejadas feitas nos tubos ao realizar a análise percorrendo o sistema partindo do tubo com a extremidade sujeita à pressão atmosférica e tendo como referência os pontos numerados de 1 a 8



$$p_8 = p_7 = p_{\text{atm}} = 0 \quad (36)$$

$$p_7 - p_6 = \gamma_D \cdot 4'' \quad (37)$$

$$p_6 = p_5 = -\gamma_D \cdot 4'' \quad (38)$$

$$p_4 - p_5 = \gamma_C \cdot 3'' \quad (39)$$

$$p_4 = \gamma_C \cdot 3'' - \gamma_D \cdot 4'' \quad (40)$$

Como  $p_4 = p_3$

$$p_3 - p_2 = \gamma_B \cdot 2'' \quad (41)$$

$$p_2 = \gamma_C \cdot 3'' - \gamma_D \cdot 4' - \gamma_B \cdot 2'' \quad (42)$$

$$p_2 - p_1 = \gamma_A \cdot 5'' \quad (43)$$

$$p_1 = \gamma_C \cdot 3'' - \gamma_D \cdot 4'' - \gamma_B \cdot 2'' - \gamma_A \cdot 5'' \quad (44)$$

$$p_1 = p \quad (45)$$

$$= (\rho_C \cdot 3 - \rho_D \cdot 4 - \rho_B \cdot 2 - \rho_A \cdot 5) \cdot g \cdot \xi \quad (46)$$

$$= (1300 \cdot 3 - 6900 \cdot 4 - 5400 \cdot 2 - 2300 \cdot 5) \cdot 9.81 \cdot 0.0254 \quad (47)$$

$$= -11\,462.004 \text{ Pa} \quad (48)$$

$$= -11.462004 \cdot 0.01 \quad (49)$$

$$= -114.6 \text{ mbar} \quad (50)$$