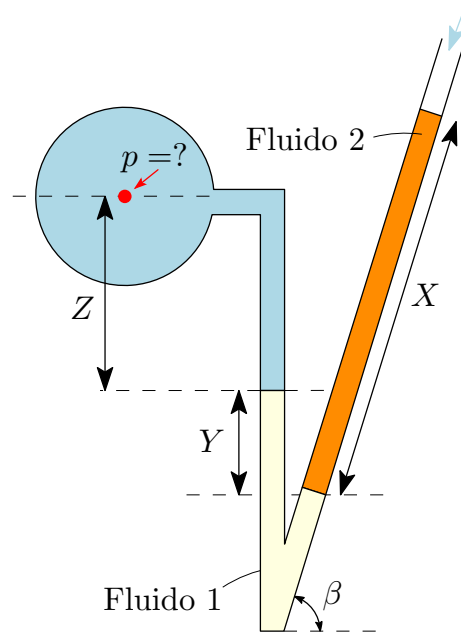


1 Primeira questão

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

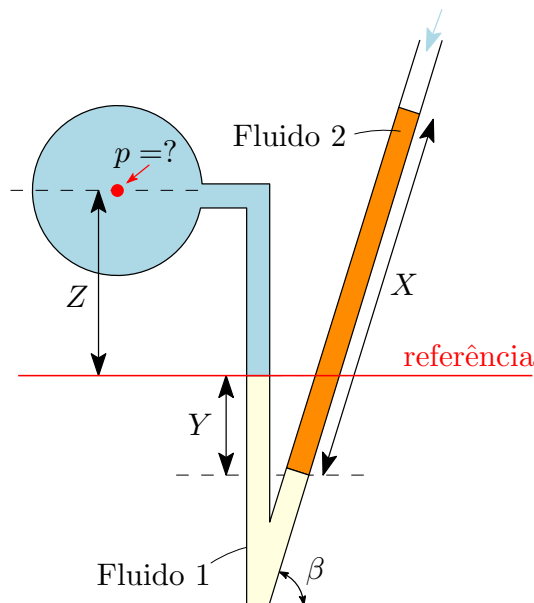
Dados:

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

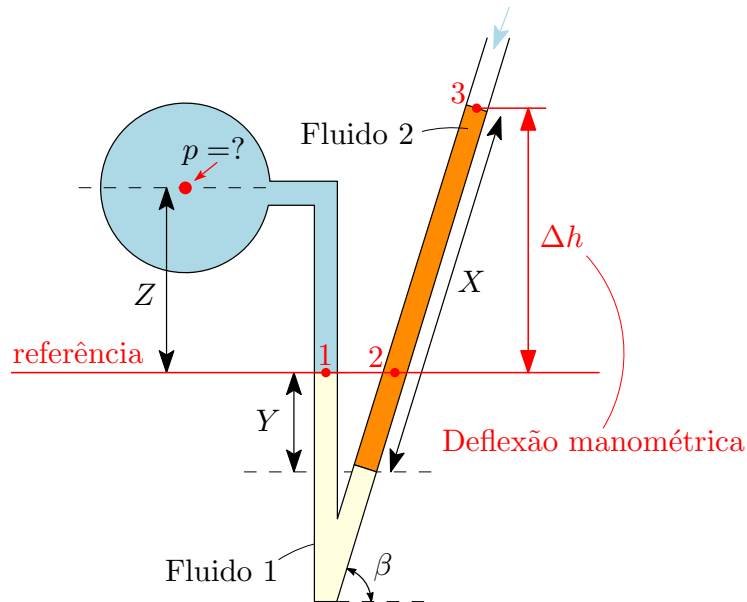


1.1 Solução

- (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

$$\begin{cases} p_1 - p = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z \\ p_2 - p_3 = \gamma_2 \cdot \Delta h \end{cases}$$

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

$$p_1 = p_2 \quad (1)$$

$$p + \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z = p_3 + \gamma_2 \cdot \Delta h \quad (2)$$

- (5) Como a pressão atuante em 3 é a atmosférica podemos desprezá-la para o sistema analisado, assim ao isolar p obtemos

$$p = \gamma_2 \cdot \Delta h - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z \quad (3)$$

- (6) Podemos considerar, por trigonometria, que $\Delta h = X \cdot \sin(\beta) - Y$ e que $\gamma = \rho \cdot g$, então

$$p = \rho_2 \cdot g \cdot (X \cdot \sin(\beta) - Y) - \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot g \cdot Z \quad (4)$$

$$= g \cdot (\rho_2 \cdot (X \cdot \sin(\beta) - Y) - \rho_{\text{H}_2\text{O}} \cdot Z) \quad (5)$$

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

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

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

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

- (8) 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 , obtemos que p será

$$p = 9.81 \cdot (8300 \cdot (18.4 \cdot 10^{-2} \cdot \sin 67.4^\circ - 8.3 \cdot 10^{-2}) - \quad (9)$$

$$- 1000 \cdot 21.9 \cdot 10^{-2}) \quad (10)$$

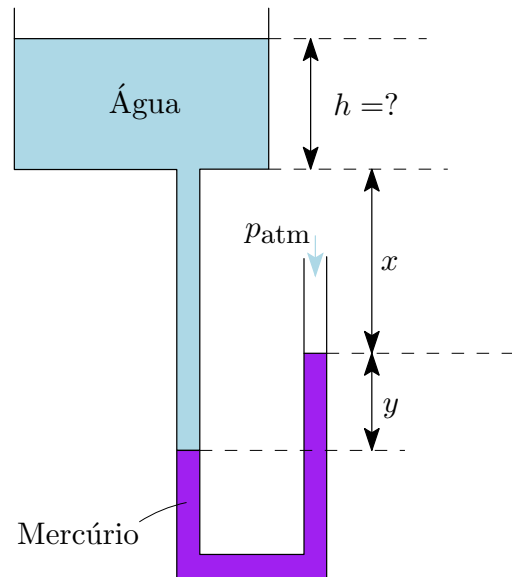
$$= 4924.9 \text{ Pa} \approx 4.9 \text{ kPa} \quad (11)$$

2 Segunda questão

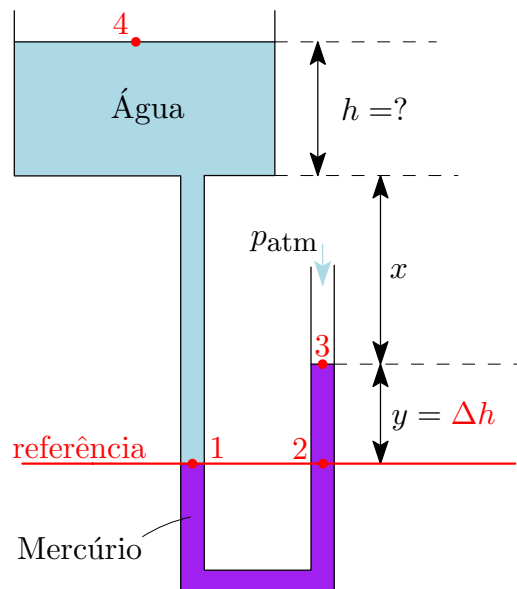
A figura abaixo ilustra um reservatório de água, cujo nível h pode ser determinado utilizando um manômetro. Calcule o valor de h em centímetros (cm) com uma casa decimal.

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

$$p_1 = p_2 \quad (12)$$

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

$$h = \frac{(\gamma_{\text{Hg}} - \gamma_{\text{H}_2\text{O}}) \cdot y - \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \cdot x}{\gamma_{\text{H}_2\text{O}}} \quad (14)$$

Considerando que

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N} \quad (15)$$

temos

$$h = \frac{9.81 \cdot (13600 - 1000) \cdot 10.9 \cdot 10^{-2} - 9.81 \cdot 1000 \cdot 29.2 \cdot 10^{-2}}{9.81 \cdot 1000} \quad (16)$$

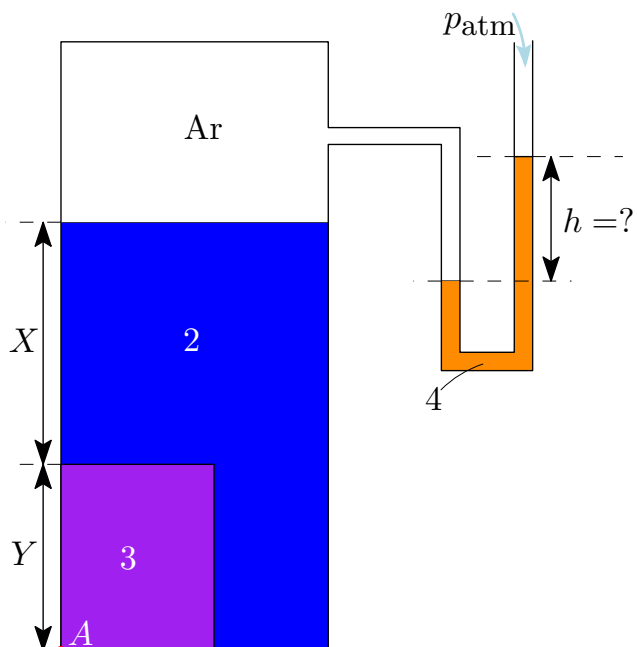
$$= 1.0814 \text{ m} \approx 108.1 \text{ cm} \quad (17)$$

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.
- $\rho_1 = 1 \text{ g/cm}^3$
- $\rho_2 = 13.6 \text{ g/cm}^3$
- $\gamma_4 = 0.13 \text{ lbf/in}^3$
 - $1 \text{ lbf} = 4.448 \text{ N}$
 - $1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$
 - $g = 9.81 \text{ m/s}^2$



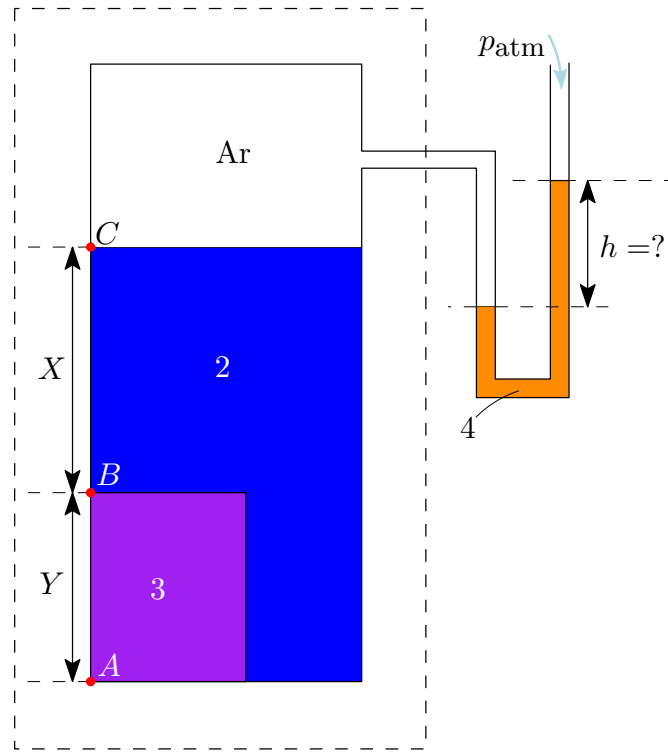
- (1) Ao analisar o tubo contendo ar e o fluido 4, é preciso estabelecer o referencial igual ao que foi feito anteriormente, porém nesse exercício a pressão que o ar exerce no ponto 1 não é desprezível, tendo em vista que suas moléculas confinadas no volume, ao serem aproximadas (compressão), mantêm em equilíbrio o fluido presente no tubo. Para encontrar a equação que relaciona X , Y , γ_2 , γ_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

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

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

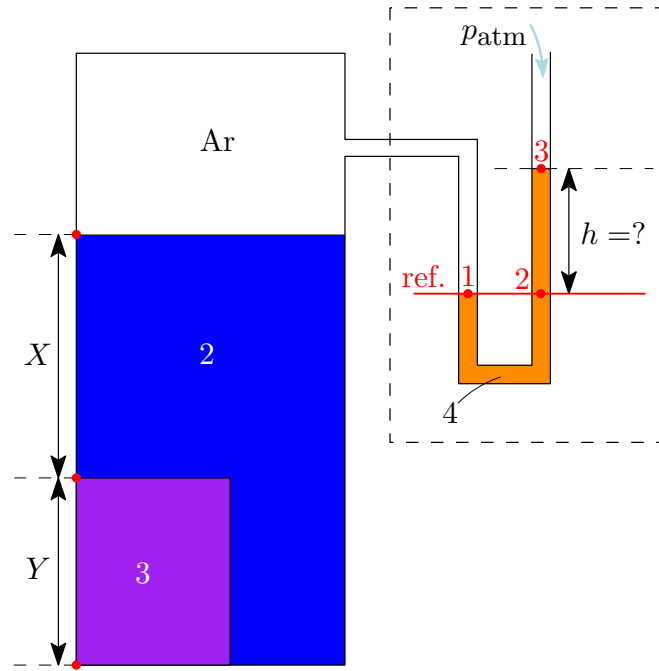


- (2) Substituindo os dados do exercício conforme o SI, vem

$$p_{Ar} = 148\,670 - 1000 \cdot 0.594 - 13600 \cdot 0.655 \quad (18)$$

$$= 139\,168 \text{ Pa} \quad (19)$$

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



$$p_{Ar} = p_2 = p_3 + \gamma_4 \cdot h \quad (20)$$

Como p_3 é desprezível

$$h = \frac{p_{Ar}}{\gamma_4} \quad (21)$$

- (4) Antes de substituir é preciso converter o peso específico fornecido em lbf/in³ para N/m³

$$\gamma_4 = 0.13 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^3} \quad (22)$$

$$= \frac{0.13 \cdot 4.448}{0.0254^3} \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad (23)$$

$$= 35\,286.369\,785\,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} \quad (24)$$

- (5) Assim

$$h = 3.9439 \text{ m} = 394.39 \text{ cm} \quad (25)$$

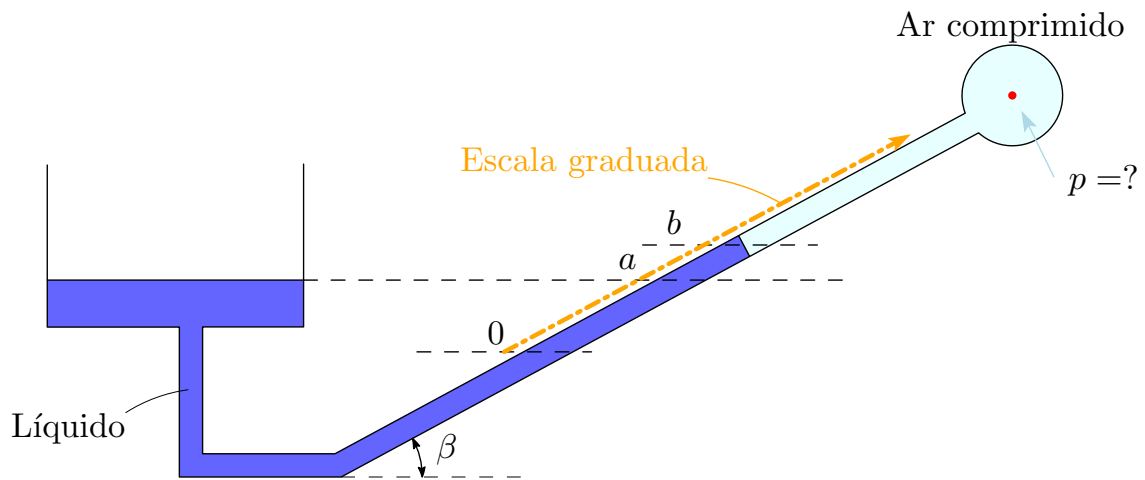
4 Quarta questão

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.

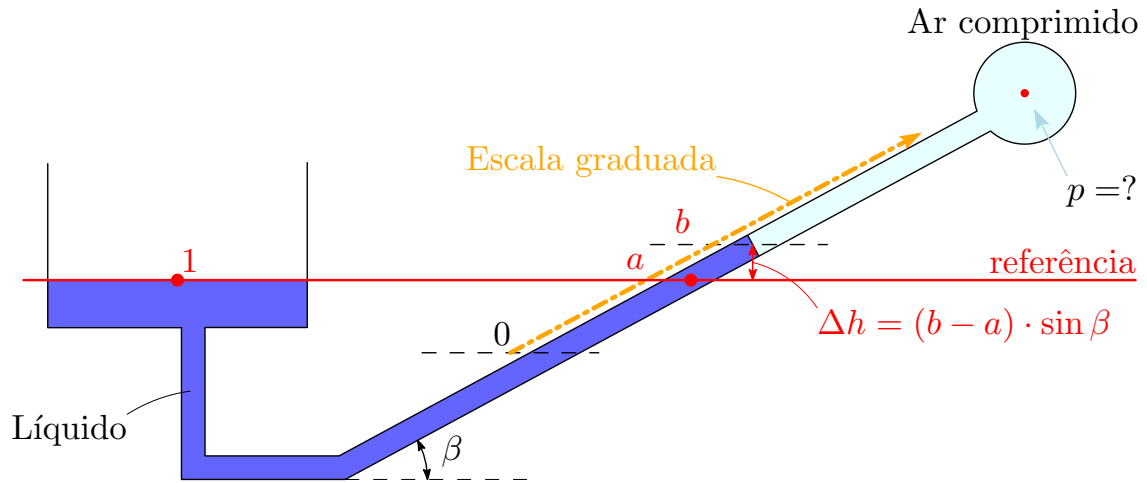
Dados:

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

- $\beta = 72.7^\circ$
- $d_l = 9.5$
- $p_{\text{atm}} = 101\,325 \text{ N/m}^2$
- $1 \text{ in} = 2.54 \text{ cm}$
- $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ (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



$$p_1 = p_{\text{atm}} = p_a \quad (26)$$

Fazendo $p_a - p_b$ temos

$$p_a - p_b = \gamma_l \cdot \Delta h \quad (27)$$

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

$$= \rho_l \cdot g \cdot (b - a) \cdot \sin \beta \quad (29)$$

$$= 9500 \cdot 9.81 \cdot (16.4 - 4) \cdot 0.0254 \cdot \sin 72.7^\circ \quad (30)$$

$$= 28\,024.804\,646\,2 \text{ Pa} \quad (31)$$

Como $p_1 = p_a$ podemos escrever

$$101\,325 - p_b = 28\,024.804\,646\,2 \quad (32)$$

$$p_b = 73\,300.195\,353\,8 \text{ Pa} \quad (33)$$

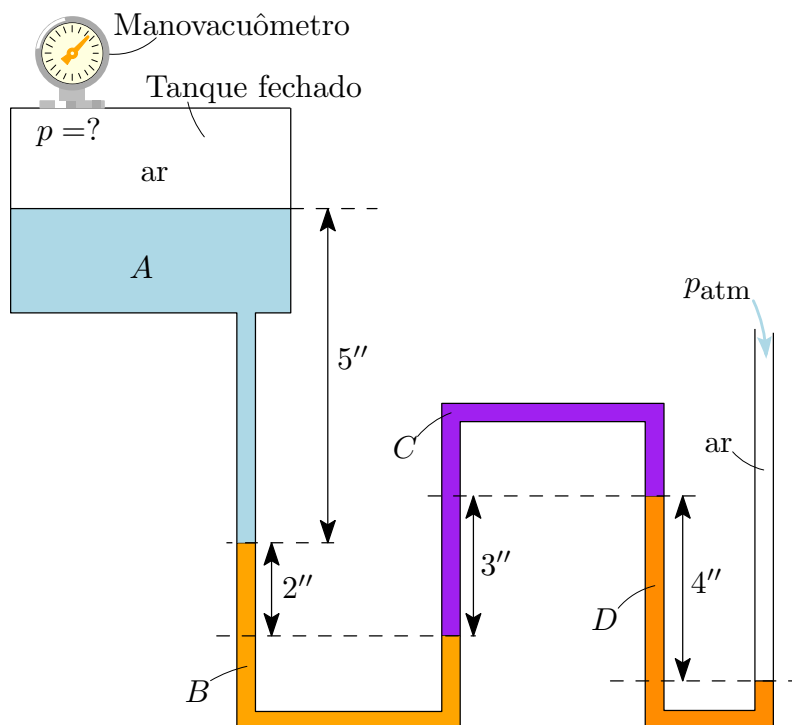
$$p_b = p = 73.3 \text{ kPa} \quad (34)$$

5 Quinta questão

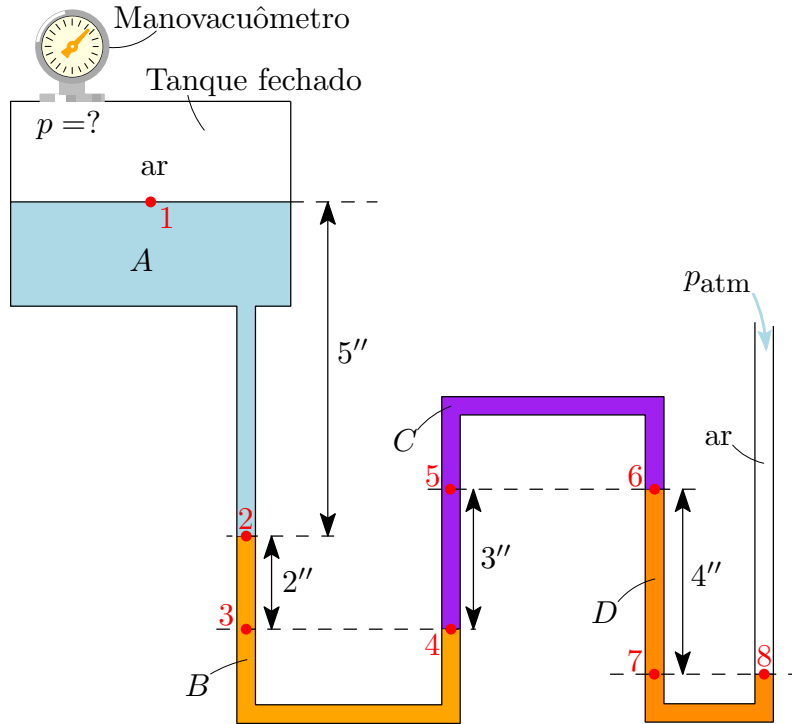
Calcule a pressão relativa indicada pelo manovacuômetro para a situação ilustrada abaixo. Resposta em mbar (milibar) com uma casa decimal. Caso a pressão seja negativa, o resultado deve conter o sinal negativo.

Dados:

- Densidade dos fluidos indicados no desenho:
 - $d_A = 2.3$
 - $d_B = 5.4$
 - $d_C = 1.3$
 - $d_D = 6.9$
- Comprimento em polegadas (")
- 1 in = 2.53 cm
- Massa específica da água (substância padrão):
 $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1000 \text{ kg/m}^3$
- $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
- 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



$$p_8 = p_7 = p_{\text{atm}} = 0 \quad (35)$$

$$p_7 - p_6 = \gamma_D \cdot 4'' \quad (36)$$

$$p_6 = p_5 = \gamma_D \cdot 4'' \quad (37)$$

$$p_4 - p_5 = \gamma_C \cdot 3'' \quad (38)$$

$$p_4 = \gamma_C \cdot 3'' + \gamma_D \cdot 4'' \quad (39)$$

Como $p_4 = p_3$

$$p_3 - p_2 = \gamma_B \cdot 2'' \quad (40)$$

$$p_2 = \gamma_C \cdot 3'' + \gamma_D \cdot 4'' - \gamma_B \cdot 2'' \quad (41)$$

$$p_2 - p_1 = \gamma_A \cdot 5'' \quad (42)$$

$$p_1 = \gamma_C \cdot 3'' + \gamma_D \cdot 4'' - \gamma_B \cdot 2'' - \gamma_A \cdot 5'' \quad (43)$$

$$p_1 = p \quad (44)$$

$$= (\rho_C \cdot 3 + \rho_D \cdot 4 - \rho_B \cdot 2 - \rho_A \cdot 5) \cdot g \cdot \xi \quad (45)$$

$$= (1300 \cdot 3 + 6900 \cdot 4 - 5400 \cdot 2 - 2300 \cdot 5) \cdot 9.81 \cdot 0.0254 \quad (46)$$

$$= 2292.4008 \text{ Pa} \quad (47)$$

$$= 2.2924008 \cdot 0.01 \quad (48)$$

$$= 22.9 \text{ mbar} \quad (49)$$