

Capítulo 2 – Estática dos Fluidos

ME4310

25/02 e 04/03/2010

Solução do segundo problema

a) $\rightarrow p_F = ?$

Pelo teorema de Stevin e lembrando que:

$$\gamma_r = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}}$$

$$p_1 - p_0 = 5 \times \gamma_{H_2O} = 5 \times 10^4$$

Escala efetiva :

$$p_1 = 50000 \frac{N}{m^2}$$

$$p_2 - p_1 = \gamma \times 1 = \gamma_r \times \gamma_{H_2O} \times 1$$

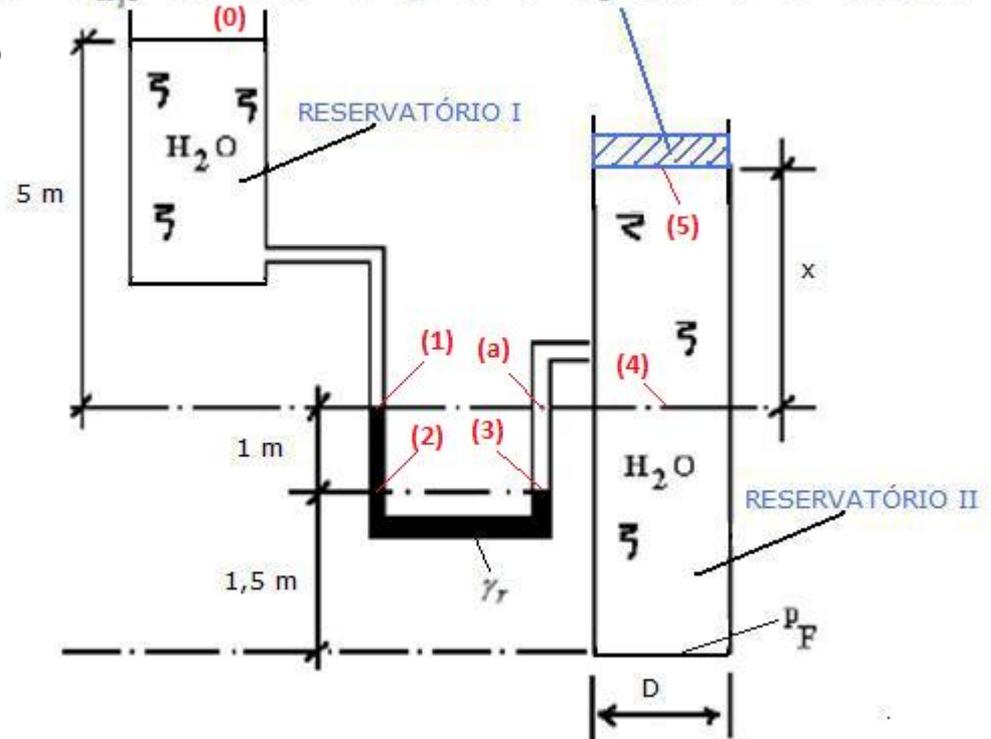
$$p_2 - 50000 = 100000 \therefore p_2 = 150000 \text{ kPa}$$

$$p_2 = p_3$$

$$p_3 - p_a = 1 \times \gamma_{H_2O} \Rightarrow 150000 - p_a = 10000$$

$$p_a = 140000 \frac{N}{m^2}$$

Dados: $\gamma_{H_2O} = 10^4 \text{ N/m}^3$; $\gamma_r = 10$; $G_2 = 50 \text{ N}$; $D = 79,79 \text{ cm}$



$$p_a = p_4$$

$$p_F - p_4 = 2,5 \times \gamma_{H_2O} \Rightarrow p_F - 140000 = 25000$$

$$p_F = 165000 \frac{N}{m^2} = 165 \text{ kPa}$$

Solução do segundo problema (cont)

$$b) \rightarrow p_{F_{abs}} = p_F + p_{atm_{local}}$$

$$\text{Considerando } \gamma_{Hg} = 136000 \frac{N}{m^3} \Rightarrow$$

$$p_{F_{abs}} = 165000 + 0,7 \times 136000$$

$$p_{F_{abs}} = 260200 \text{ Pa} = 260,2 \text{ kPa}$$

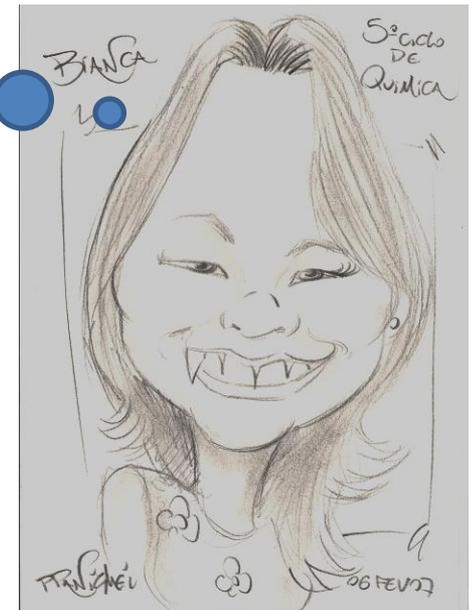
$$c) \rightarrow p_4 - p_5 = x * \gamma_{H_2O} \rightarrow p_5 = \frac{G}{A} = \frac{4 \times G}{\pi \times D^2}$$

$$140000 - \frac{4 \times 50}{\pi \times 0,7979^2} = x * 10000$$

$$x = 13,99 \text{ m}$$

Importante observar que poderíamos ter resolvido o exercício pela equação manométrica!

O QUE VEM A SER EQUAÇÃO MANOMÉTRICA?



É a equação que aplicada nos manômetros de coluna de líquidos, resulta em uma diferença de pressão entre dois pontos fluidos, ou na pressão de um ponto fluido. Ela é válida quando o sistema considerado estiver em repouso.

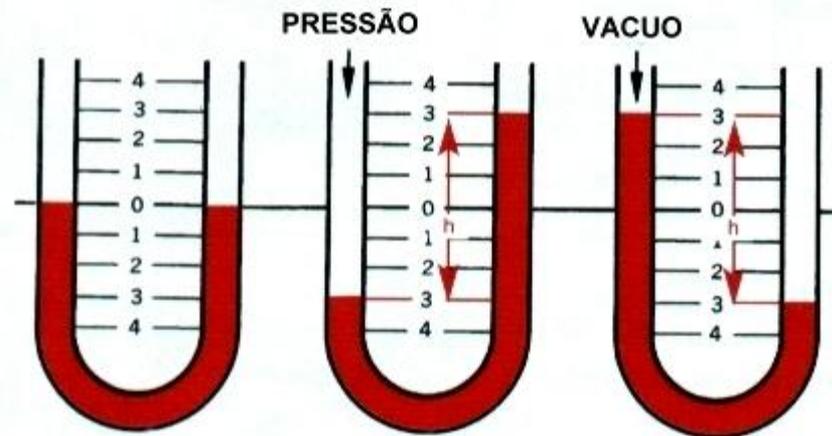
POR FAVOR, FALE UM
POUCO MAIS SOBRE OS
MANÔMETROS DE
COLUNA.



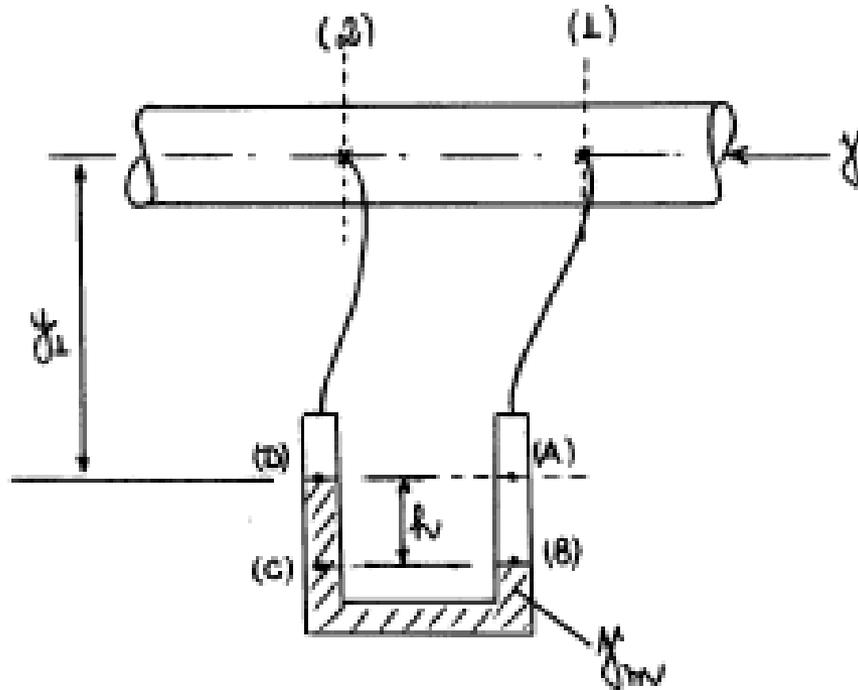
Um dos manômetros de coluna mais usado é o manômetro diferencial de tubo em forma de U.

Com o Manômetro de tubo em “U” podemos fazer três tipos de medição tais como:

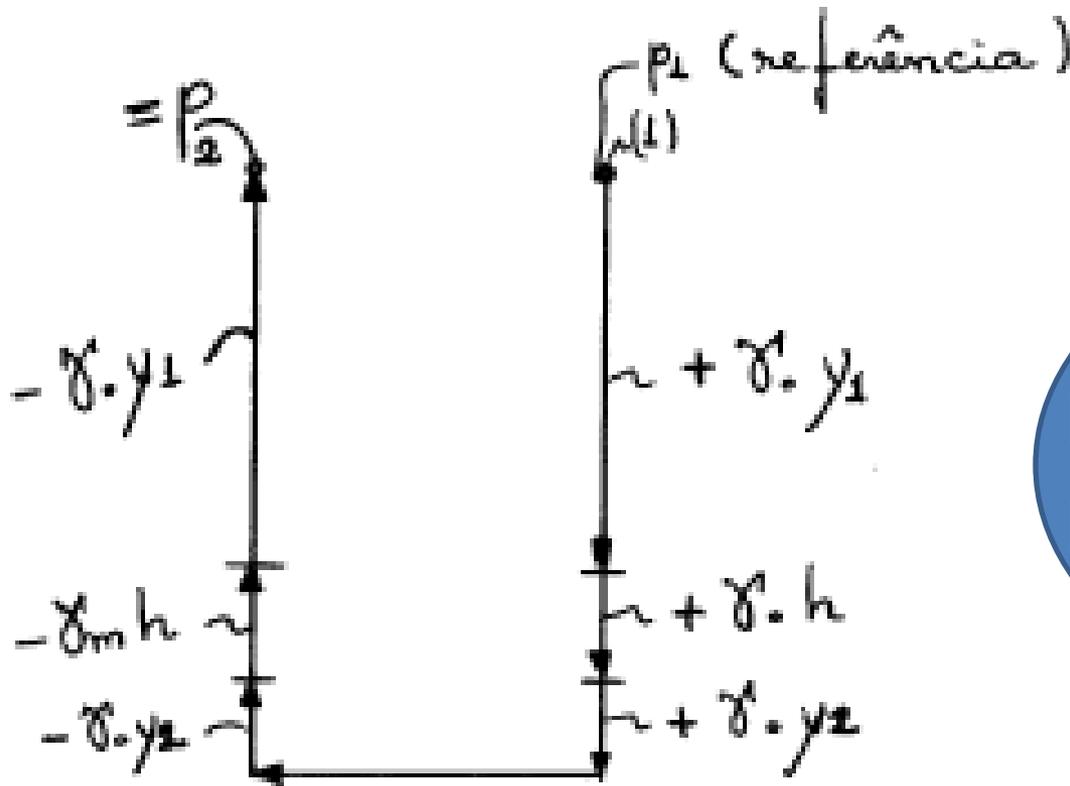
1. Medição de Pressão Positiva: maior do que a pressão atmosférica.
2. Medição de Pressão Negativa ou de Vácuo: menor do que a pressão atmosférica.
3. Medição de Pressão Diferencial: igual à diferença entre duas pressões aplicadas simultaneamente



Considerando o esquema representado pela figura abaixo, aplicamos a equação manométrica para a determinação da diferença de pressão $p_1 - p_2$.



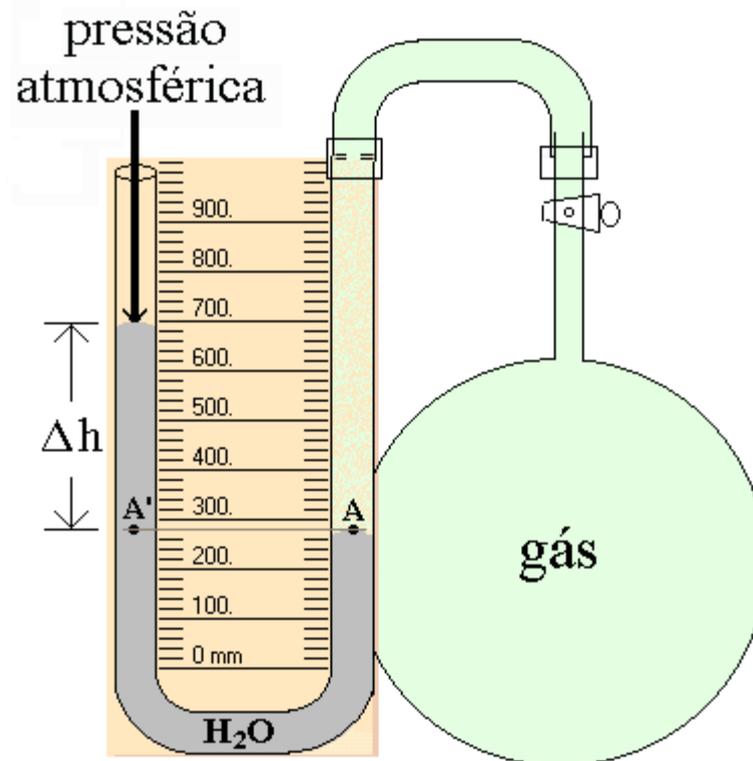
Através de uma regra prática, onde se adota um dos dois pontos fluidos como referência e escreve-se a pressão que age no mesmo, a esta pressão somam-se as colunas descendentes ($+\gamma h$) e subtraem-se as colunas ascendentes ($-\gamma h$), igualando-se a expressão assim obtida à pressão que atua no outro ponto fluido (aquele não escolhido como referência).



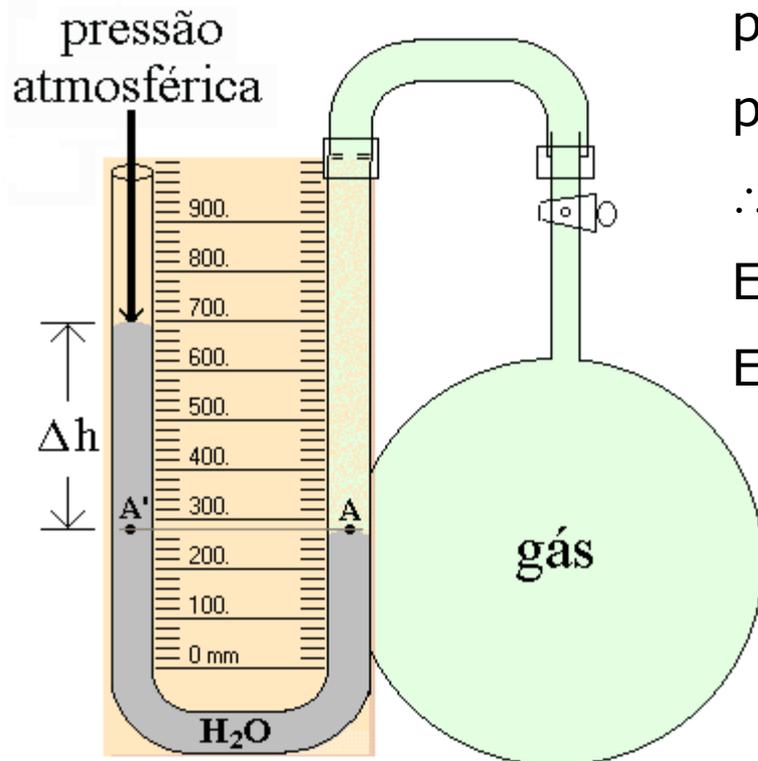
$$p_1 + \gamma \times h - \gamma_m \times h = p_2$$

$$p_1 - p_2 = h \times (\gamma_m - \gamma)$$

IMPORTANTE NOTAR QUE OS GASES EM INSTRUMENTAÇÕES APRESENTAM A SUA PRESSÃO CONSTANTE, JÁ QUE O PRODUTO DO SEU PESO ESPECÍFICO PELA DIFERENÇA DE COTA SERIA DESPREZÍVEL.



Na determinação da pressão do gás tanto pode-se recorrer ao teorema de Stevin, com a equação manométrica.



$$p_A = p_{\text{gás}} = p_{A'}$$

$$p_{A'} - p_{\text{atm}} = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \times \Delta h$$

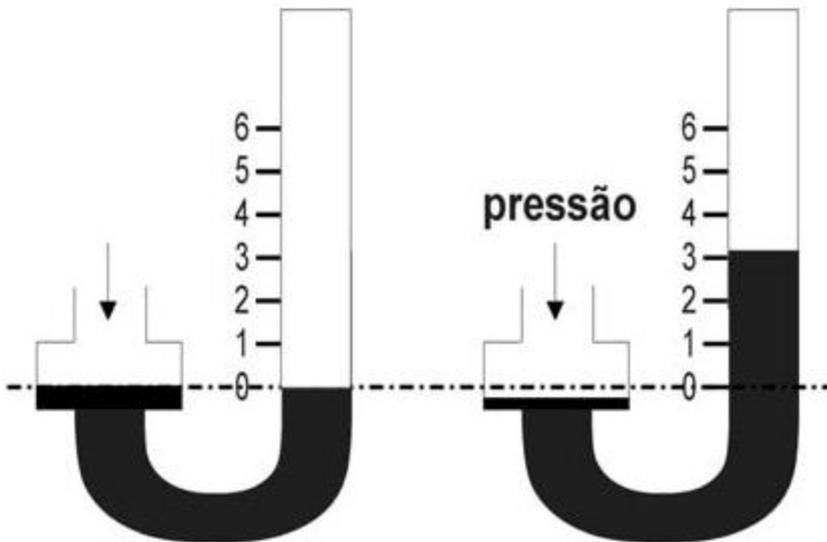
$$\therefore p_{\text{gás}} = p_{\text{atm}} + \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \times \Delta h$$

$$\text{Escala efetiva} \Rightarrow p_{\text{gás}} = \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \times \Delta h$$

$$\text{Escala absoluta} \Rightarrow p_{\text{gás}_{\text{abs}}} = p_{\text{atm}} + \gamma_{\text{H}_2\text{O}} \times \Delta h$$

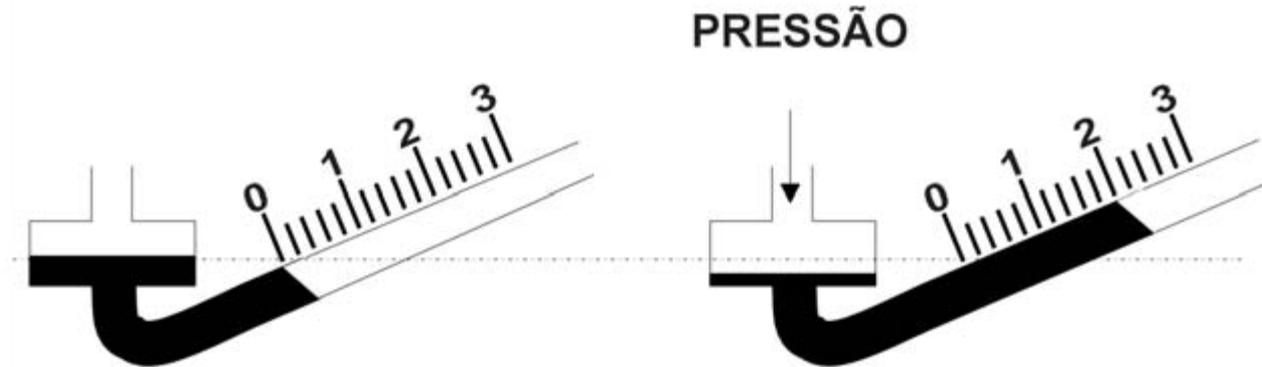
OUTROS EXEMPLOS DE MANÔMETROS DIFERENCIAIS

MANÔMETROS DE TUBO RETO COM RESERVATÓRIO



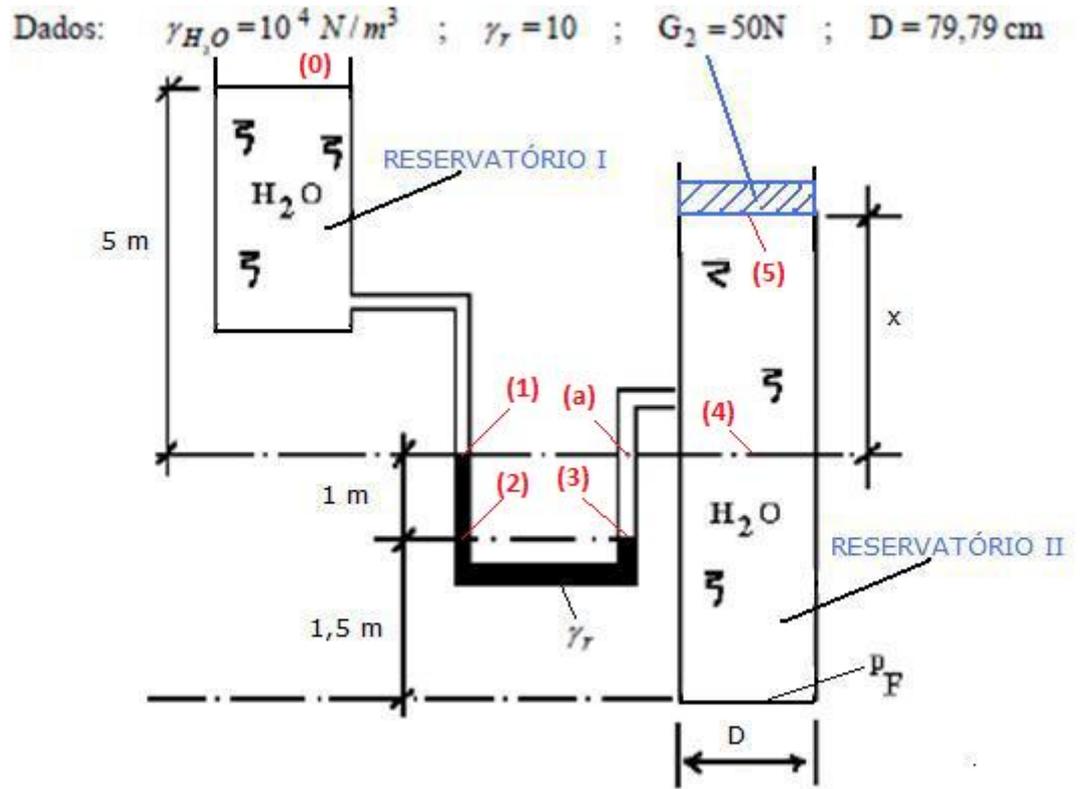
1. A “Pressão Maior” deverá ser sempre ligada à conexão do reservatório;
2. A “Pressão Menor” a ser medida deve ser sempre ligada ao cabeçote superior;
3. Quando da medição de Pressão Diferencial, a “Pressão Maior” a ser medida deve ser ligada à conexão do reservatório. Portanto, em qualquer tipo de medição, a fonte de pressão deverá ser ligada de tal maneira que provoque o levantamento do fluido manométrico no tubo indicador. A pressão real segue os mesmos princípios anteriormente descritos e é medida pela diferença entre as superfícies do fluido manométrico.

MANÔMETRO DE TUBO INCLINADO COM RESERVATÓRIO



Quando a necessidade de se fazer medições de baixa pressão, ou de diferencial de pressão muito baixo torna-se uma questão fundamental, deve-se usar o manômetro de tubo inclinado com reservatório.

Equação manométrica de (0) a (F)



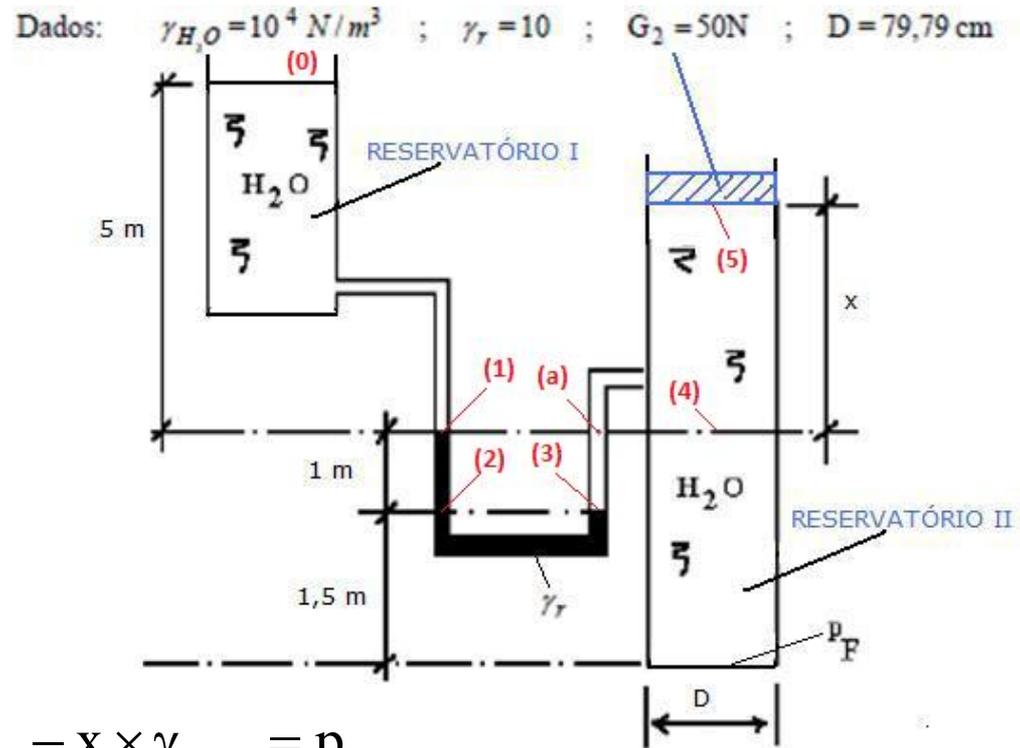
$$p_0 + 5 \times \gamma_{H_2O} + 1 \times \gamma_r \times \gamma_{H_2O} - 1 \times \gamma_{H_2O} + 2,5 \times \gamma_{H_2O} = p_F$$

$$p_{\text{atm}_{\text{local}}} + 5 \times \gamma_{H_2O} + 1 \times 10 \times \gamma_{H_2O} - 1 \times \gamma_{H_2O} + 2,5 \times \gamma_{H_2O} = p_F$$

Escala efetiva:

$$0 + 16,5 \times \gamma_{H_2O} = p_F \therefore p_F = 165000 \text{ Pa} = 165 \text{ kPa}$$

Equação manométrica de (0) a (5)



$$p_0 + 5 \times \gamma_{H_2O} + 1 \times \gamma_r \times \gamma_{H_2O} - 1 \times \gamma_{H_2O} - x \times \gamma_{H_2O} = p_5$$

$$p_{\text{atm}_{\text{local}}} + 5 \times \gamma_{H_2O} + 1 \times 10 \times \gamma_{H_2O} - 1 \times \gamma_{H_2O} - x \times \gamma_{H_2O} = \frac{G}{A}$$

Escala efetiva e $\frac{G}{A} = \frac{4 \times 50}{\pi \times 0,7979^2} = 100 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$:

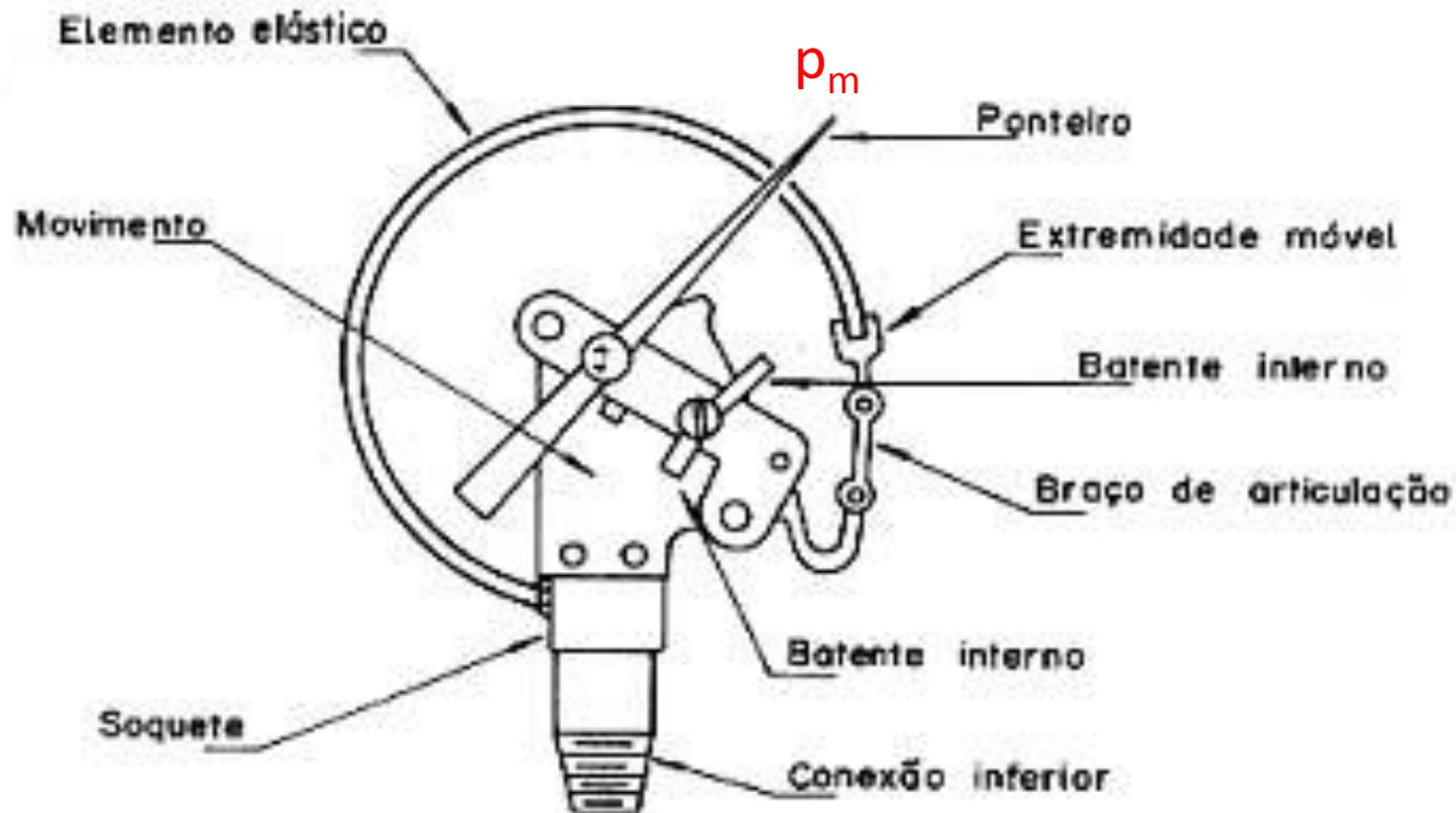
$$0 + 14 \times \gamma_{H_2O} - x \times \gamma_{H_2O} = 100 \therefore x = \frac{140000 - 100}{10000} = 13,99 \text{ m}$$

Manômetro metálico tipo Bourdon



p_m = pressão manométrica

$$p_m = p_{\text{int}} - p_{\text{ext}}$$

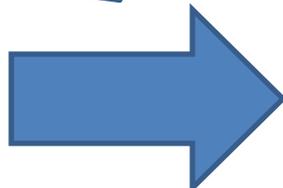


SÓ ESCALA
POSITIVA =
MANÔMETRO

SÓ ESCALA
NEGATIVA =
VACUÔMETRO

AS DUAS ESCALAS =
MANOVACUÔMETRO

OUTRAS
INFORMAÇÕES





De acordo com a faixa de pressão a ser medida e a compatibilidade com o fluido é que determinamos o tipo de material a ser utilizado na confecção de Bourdon. A tabela a seguir indica os materiais mais utilizados na confecção do tubo de Bourdon.

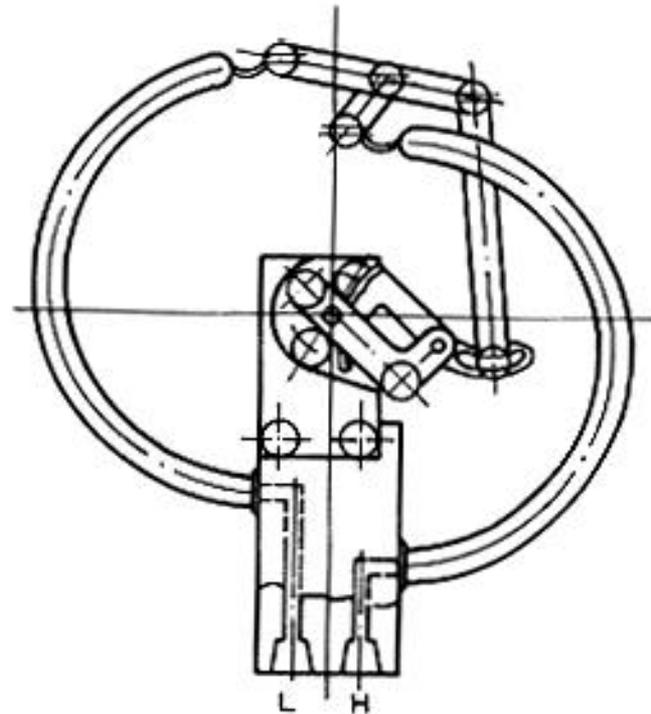
MATERIAL	COMPOSIÇÃO	COEFICIENTE DE ELASTICIDADE	FAIXA DE UTILIZAÇÃO
Bronze	Cu 60 ~ 71 e Zn	1.1×10^8 kgf/cm ²	~ 50 kgf/cm ²
Alumibras	Cu 76, Zn 22, Al12	1.1×10^4 kgf/cm ²	~ 50 kgf/cm ²
Aço Inox	Ni 10 ~ 14, Cr 16 ~ 18 e Fe	1.8×10^4 kgf/cm ²	~ 700 kgf/cm ²
Bronze Fosforoso	Cu 92, Sn 8, P 0.03	1.4×10^4 kgf/cm ²	~ 50 kgf/cm ²
Cobre berílio	Be 1 ~ 2, Co 0,35 e Cu	1.3×10^4 kgf/cm ²	~ 700 kgf/cm ²
Liga de Aço	Cr 0.9 ~ 1.2, Mo 0.15 ~ 30 e Fe	2.1×10^4 kgf/cm ²	~ 700 kgf/cm ²

Com exceção dos manômetros utilizados como padrão, a pressão normal medida deve estar compreendida na faixa de 20 a 75% da escala do manômetro.

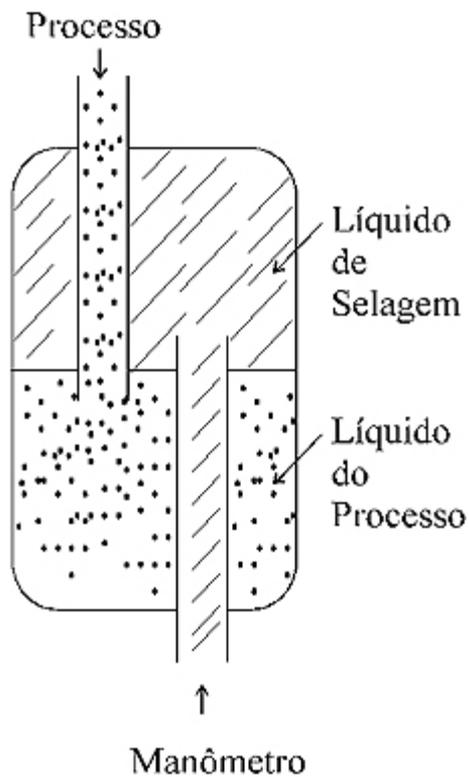
Manômetro de pressão diferencial

Este tipo construtivo, é adequado para medir a diferença de pressão entre dois pontos quaisquer do processo. É composto de dois tubos de Bourdon dispostos em oposição e interligados por articulações mecânicas.

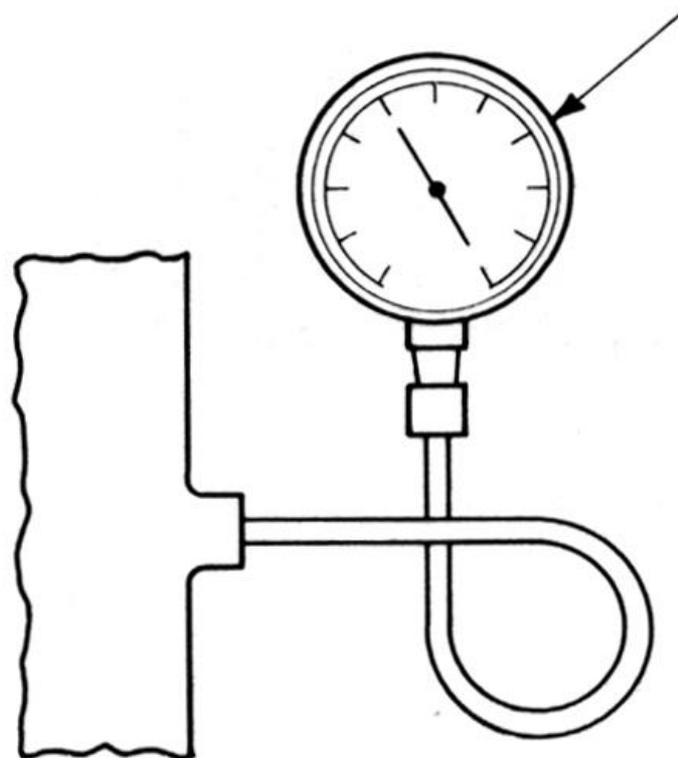
A pressão indicada é resultante da diferença de pressão aplicada em cada Bourdon. Por utilizar tubo de Bourdon, sua faixa de utilização é de aproximadamente 2 kgf/cm² a 150 kgf/cm². Sua aplicação se dá geralmente em medição de nível, vazão e perda de carga em filtros.



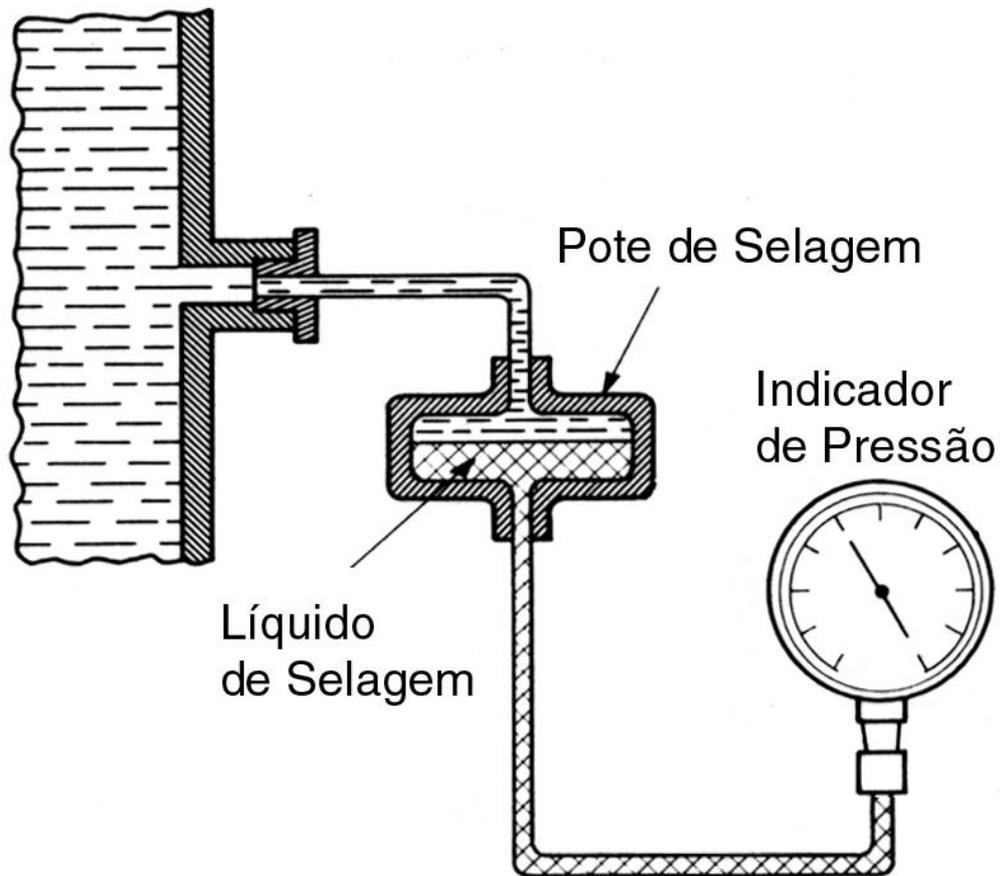
Em processos industriais que manipulam fluidos corrosivos, viscosos, tóxicos, sujeitos à alta temperatura e/ou radioativos, a medição de pressão com manômetro tipo elástico se torna impraticável pois o Bourdon não é adequado para essa aplicação, seja em função dos efeitos da deformação proveniente da temperatura, seja pela dificuldade de escoamento de fluidos viscosos ou seja pelo ataque químico de fluidos corrosivos. Nesse caso, a solução é recorrer a utilização de algum tipo de isolamento para impedir o contato direto do fluido do processo com o Bourdon. Existem basicamente dois tipos de isolamento, (que tecnicamente é chamado de selagem), utilizada. Um com selagem líquida, utilizando um fluido líquido inerte em contato com o Bourdon e que não se mistura com o fluido do processo. Nesse caso é usado um pote de selagem conforme figura 19. Outro, também com selagem líquida porém utilizando um diafragma como selo. O fluido de selagem mais utilizado nesse caso é a glicerina, por ser inerte a quase todos os fluidos. Este método é o mais utilizado e já é fornecido pelos fabricantes quando solicitados, um exemplo desse tipo é mostrado na figura do próximo slide.



Indicador de Pressão



Selo por Sifão



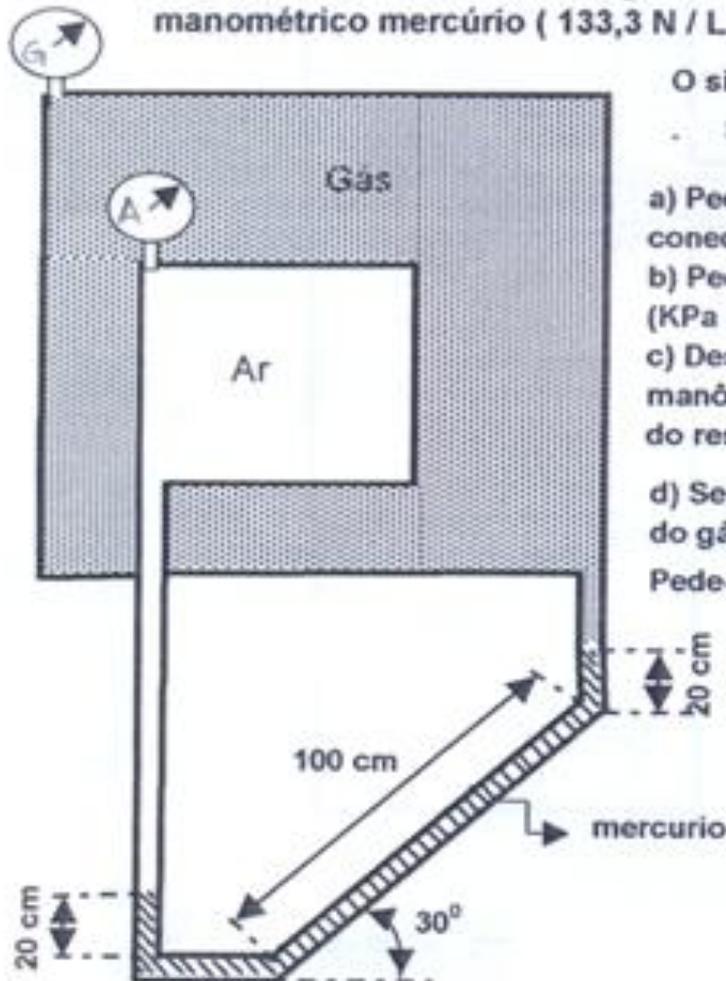
Selo por reservatório de líquido

Terceiro problema

O reservatório com Ar de 150 litros, é interno ao reservatório com Gás, de capacidade 300 litros, contendo portanto 150 litros de gás. A leitura do manômetro metálico conectado ao reservatório de gás indica 300 KPa. A leitura barométrica local é de 740 mm Hg.

O manômetro diferencial interligando o interior dos dois reservatórios utiliza como fluido manométrico mercúrio (133,3 N / Litro)

O sistema está em equilíbrio térmico, com 27^o C de temperatura
Sendo: $R_{ar} = 287 \text{ m}^2 / \text{s}^2 \cdot \text{K}$.



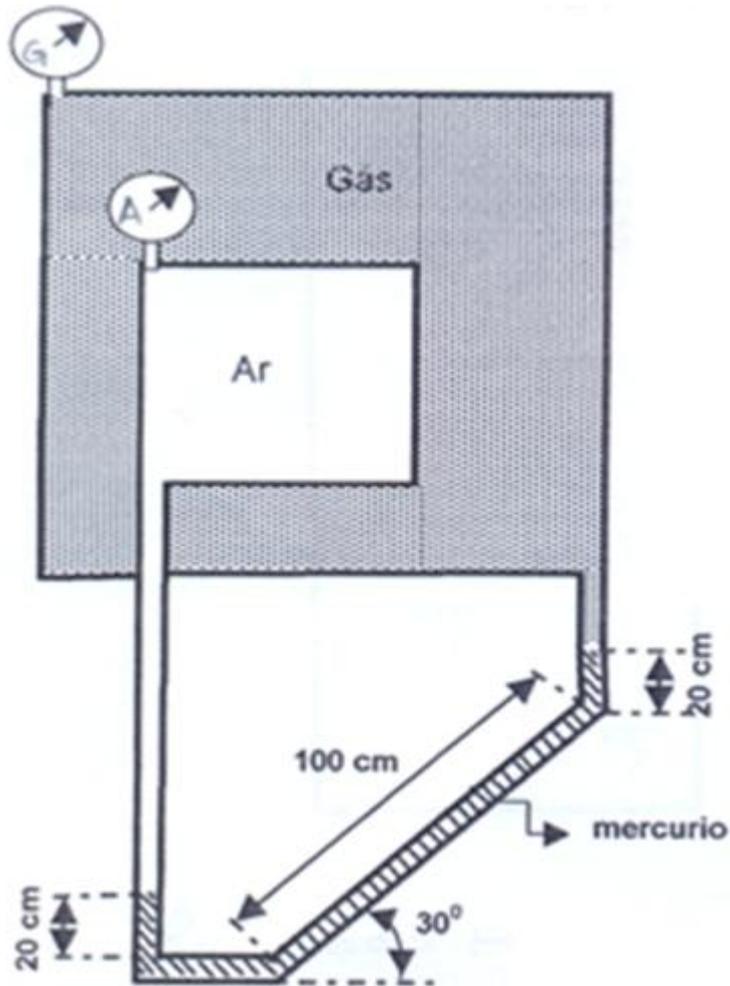
a) Pedese determinar a leitura do manômetro metálico conectado ao reservatório com Ar (KPa); $\rightarrow (1,0)$

b) Pedese, a pressão absoluta no interior do reservatório de Ar (KPa abs); $\rightarrow (1,0)$

c) Desprezando-se os volumes de gás e de Ar nos ramos do manômetro diferencial. Pedese, determinar a massa no interior do reservatório de Ar (gramas). $(1,0)$

d) Se para a condição de equilíbrio térmico a massa específica do gás é 3 Kg / m³.

Pedese a constante do gás. ($R_{gás} = ?$) ($\text{m}^2 / \text{s}^2 \cdot \text{K}$). $\rightarrow (0,5)$



$$a) p_{ar} = p_{gás} + 0,5 \times \gamma_{Hg} \rightarrow (1)$$

$$p_{mA} = p_{ar} - p_{gás} \rightarrow (2)$$

$$\text{De (2) em (1)} \Rightarrow p_{mA} = 0,5 \times \gamma_{Hg} = 0,5 \times 133,3 \times 10^3 = 66650 \text{ Pa}$$

$$b) p_{atm_{local}} = 740 \text{ mmHg} = 0,74 \times 133,3 \times 10^3 = 98642 \text{ Pa}$$

$$p_{mG} = p_{gás} \therefore p_{gás} = 300000 \text{ Pa}$$

$$66650 = p_{ar} - 300000 \Rightarrow p_{ar} = 366650 \text{ Pa}$$

$$p_{ar_{abs}} = 366650 + 98642 = 465292 \text{ Pa}$$

$$c) p \times V = m \times R_g \times T \Rightarrow m_{ar} = \frac{465292 \times 0,15}{287 \times 300} = 0,8106 \text{ kg} = 810,6 \text{ g}$$

$$d) R_{gás} = \frac{300000 + 98642}{3 \times 300} \cong 442,9 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2 \times \text{K}}$$

Quarto problema

*O QUE VEM A SER VACUÔMETRO
SISTEMA JUMO (BENNERT)?*

COMO FUNCIONA?

