

FENÔMENOS DE
TRANSPORTE

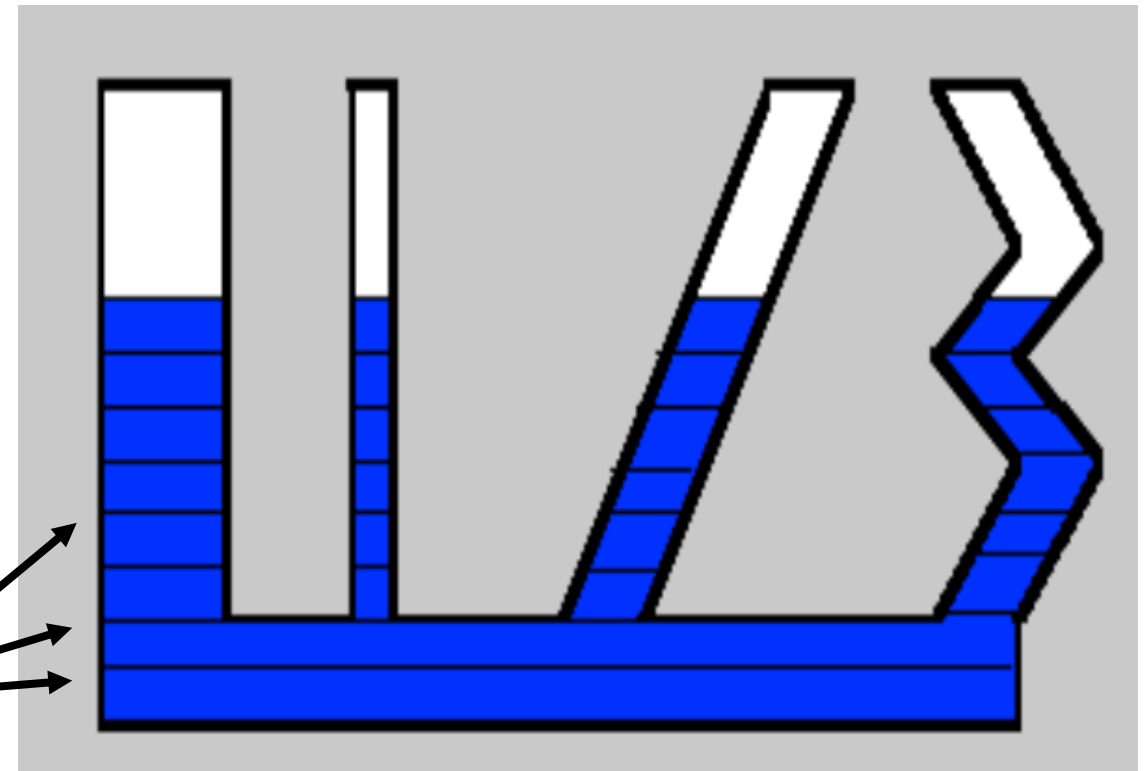
MANOMETRIA



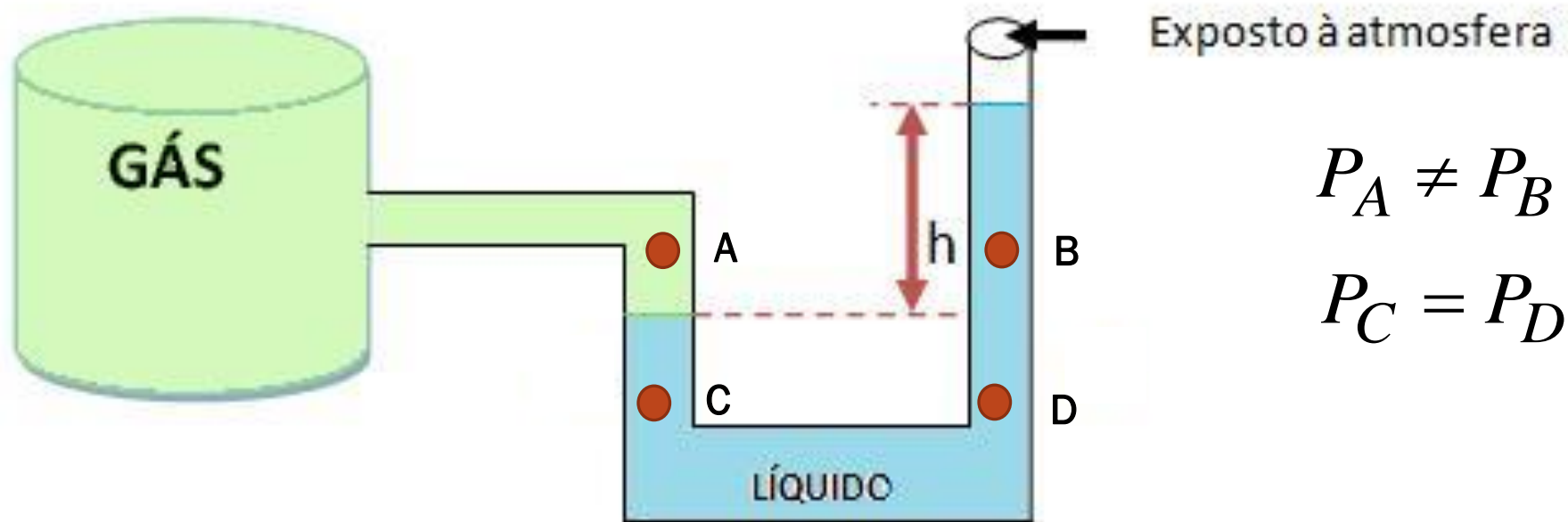
Uniube

Num fluido qualquer, a pressão não é a mesma em todos os pontos. Se um fluido homogêneo estiver em repouso, todos os pontos em uma mesma altura estarão à mesma pressão.

Linha de mesma pressão



ISSO SÓ É VERDADE ESTIVERMOS TRATANDO DE UM SÓ FLUIDO!



Pressão exercida pela coluna de um líquido, o volume de um líquido é:

$$V = h.A$$

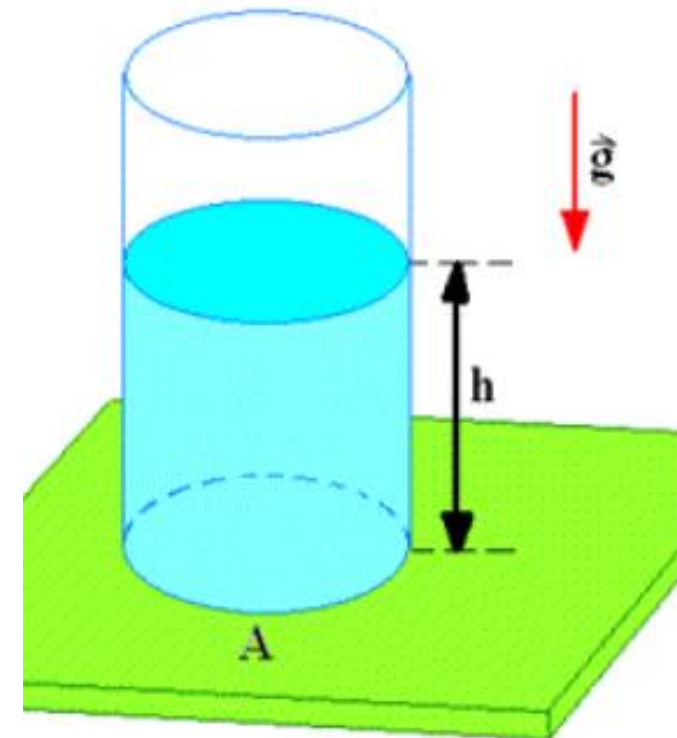
O peso específico então será:

$$Peso = V\gamma = Ah\gamma$$

$$\gamma = \frac{Peso}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

Portanto, pela definição de pressão, têm-se:

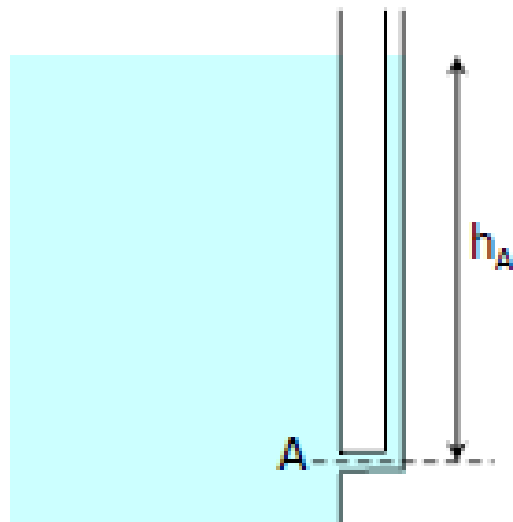
$$P = \frac{F}{A} = \frac{Ah\gamma}{A} = h\gamma = \rho gh$$



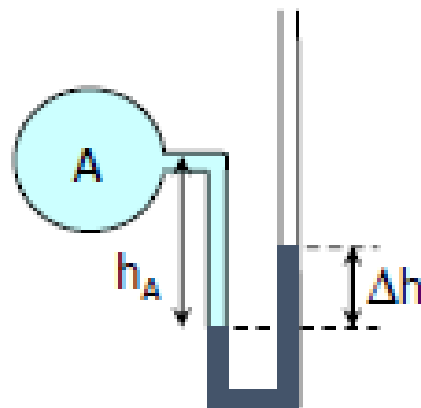
Altura da coluna de fluido para exercer uma certa pressão P:

$$P = \rho gh$$

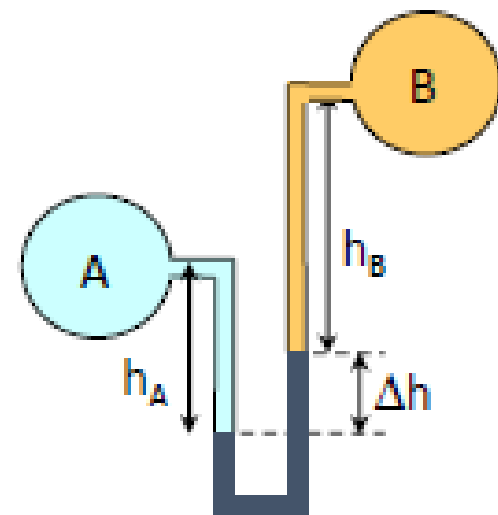
Piezômetros



Tubo em U aberto



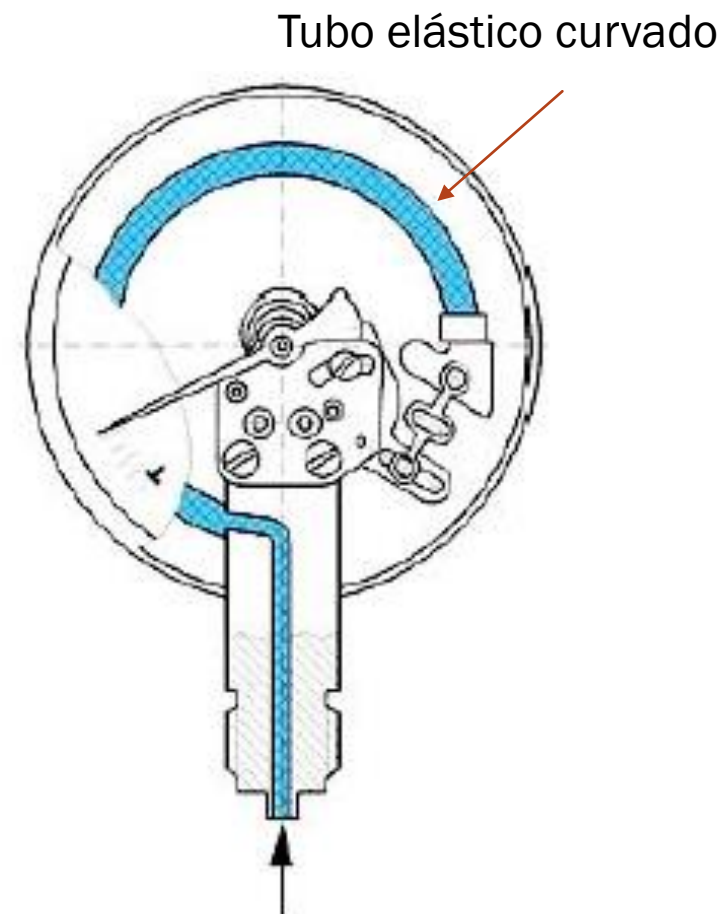
Manômetro diferencial



Dispositivo para medir pressão:



Manômetro de Bourdon – Pressão relativa



MANOMETRIA



Uniube

Dispositivo para medir pressão:



Barômetro – Medição da pressão atmosférica (absoluta)

Dispositivo para medir pressão:

O diafragma deflete, e esta deflexão é convertida em um sinal elétrico.



Transdutor de pressão



Sensor de pressão

Exercício: Determinar a pressão manométrica e absoluta em A, devido a deflexão do mercúrio do manômetro "U" da figura.

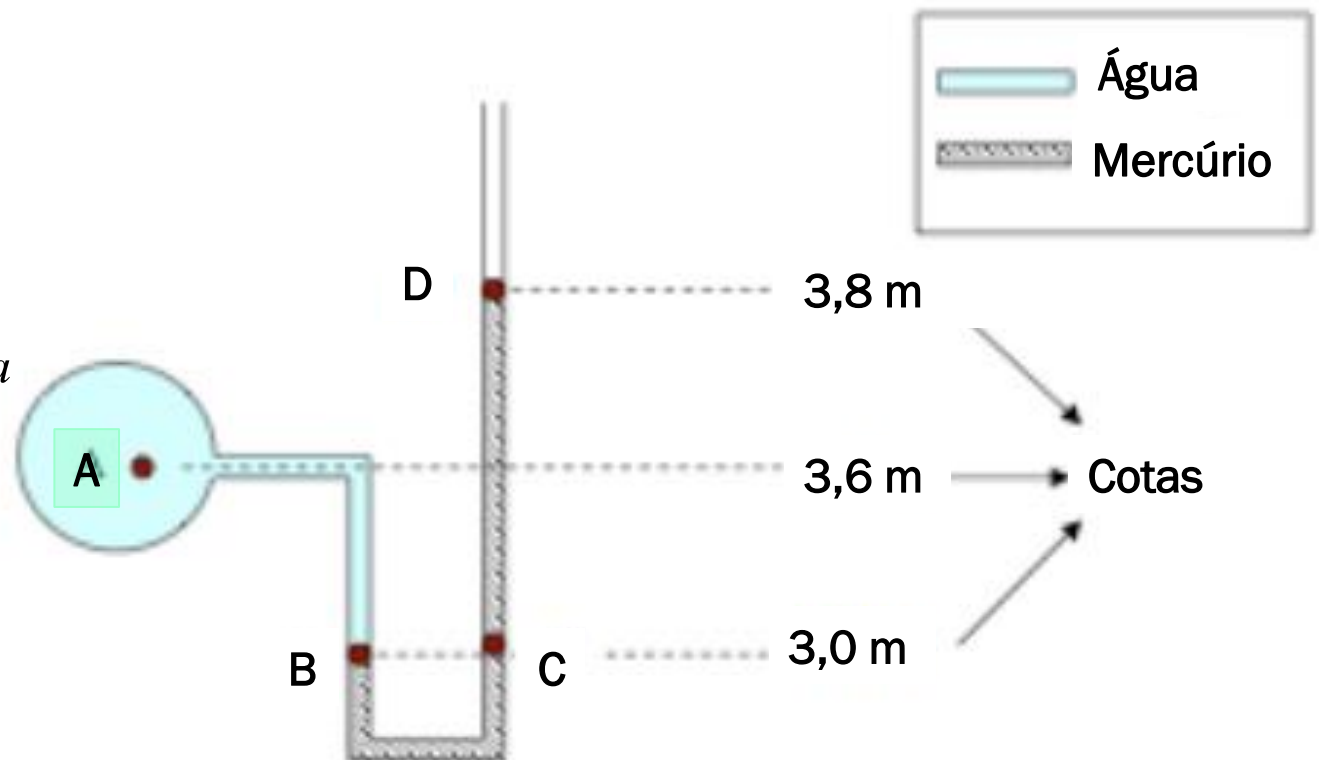
$$(P_{\text{atm}} = 101,3 \text{ kPa}; \gamma_{\text{água}} = 9810 \text{ N/m}^3 \text{ e } \gamma_{\text{Hg}} = 133368 \text{ N/m}^3)$$

Pela manometria, temos que:

$$P_B = P_C$$

$$P_B = P_A + \rho g h_{AB} \quad P_B = P_A + 0,6 \gamma_{\text{água}}$$

$$P_C = \rho g h_{DC} \quad P_C = 0,8 \gamma_{\text{Hg}}$$



Exercício: Determinar a pressão manométrica e absoluta em A, devido a deflexão do mercúrio do manômetro "U" da figura.

$$(P_{\text{atm}} = 101,3 \text{ kPa}; \gamma_{\text{água}} = 9810 \text{ N/m}^3 \text{ e } \gamma_{\text{Hg}} = 133368 \text{ N/m}^3)$$

Isolando P_A

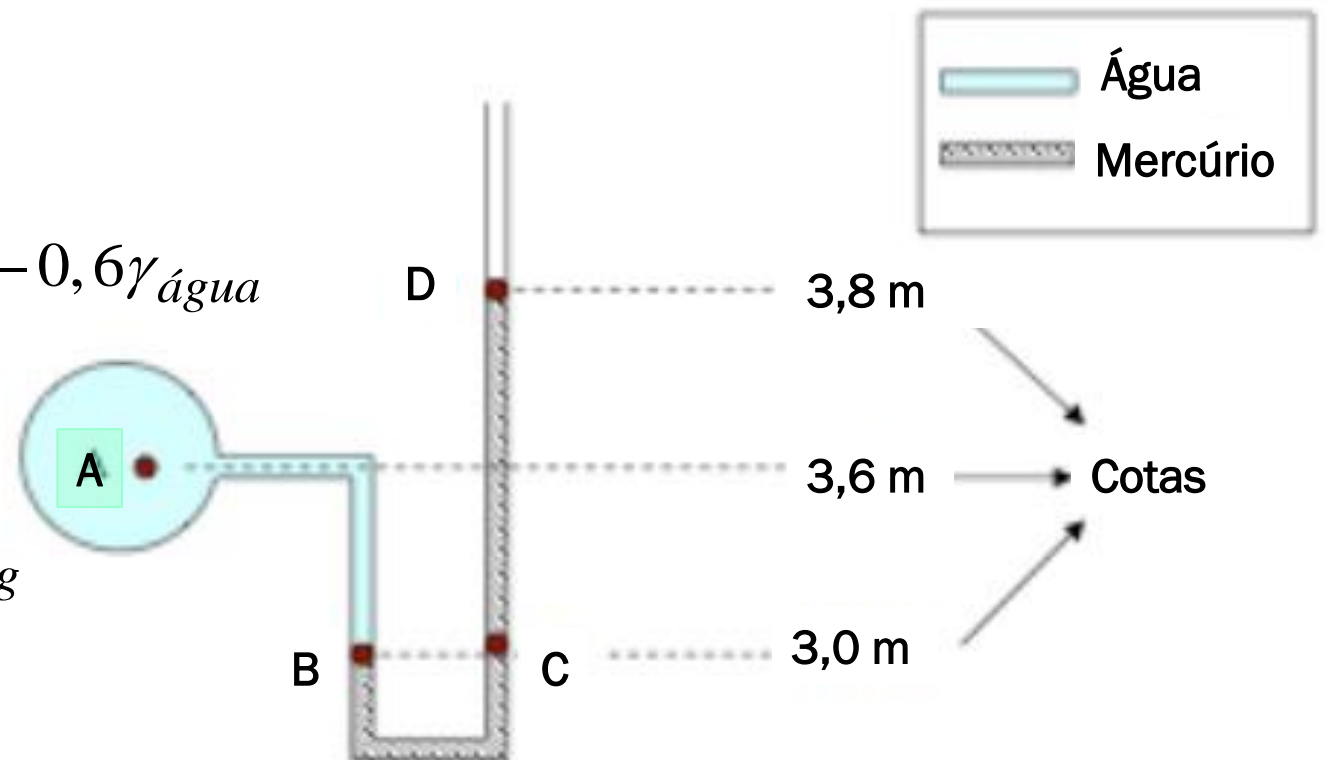
$$P_B = P_A + 0,6\gamma_{\text{água}} \Rightarrow P_A = P_B - 0,6\gamma_{\text{água}}$$

Como P_B é igual a P_C

$$P_A = P_C - 0,6\gamma_{\text{água}} \Rightarrow P_C = 0,8\gamma_{\text{Hg}}$$

$$P_A = 0,8 \cdot 133368 - 0,6 \cdot 9810$$

$$P_A = 100808,4 \text{ Pa}$$



Exercício: Determinar a pressão manométrica e absoluta em A, devido a deflexão do mercúrio do manômetro "U" da figura.

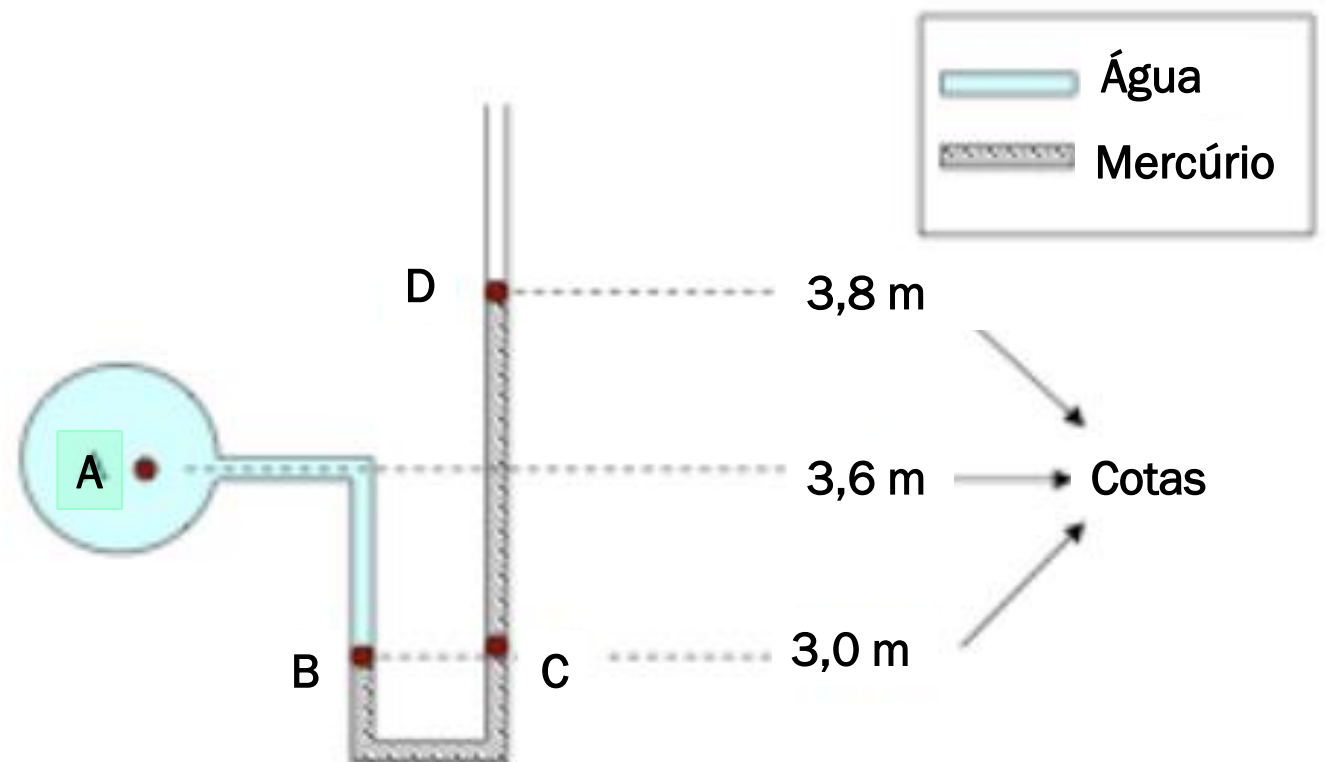
$$(P_{\text{atm}} = 101,3 \text{ kPa}; \gamma_{\text{água}} = 9810 \text{ N/m}^3 \text{ e } \gamma_{\text{Hg}} = 133368 \text{ N/m}^3)$$

Para determinar a P_{ABS}

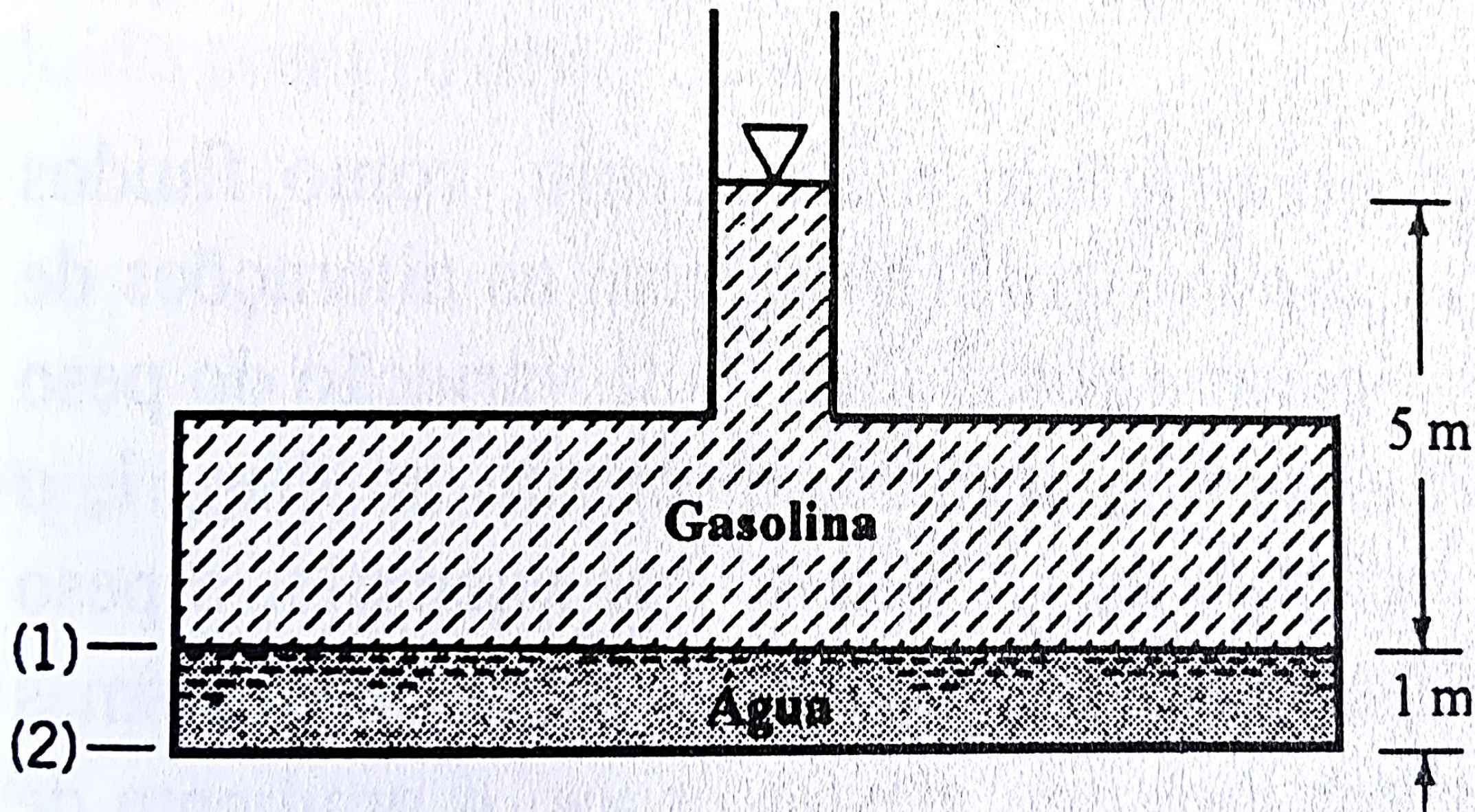
$$P_{ABS} = P_A + P_{ATM}$$

$$P_{ABS} = 100808,4 \text{ Pa} + 101300 \text{ Pa}$$

$$P_{ABS} = 202108,4 \text{ Pa}$$



Aberto



MANOMETRIA

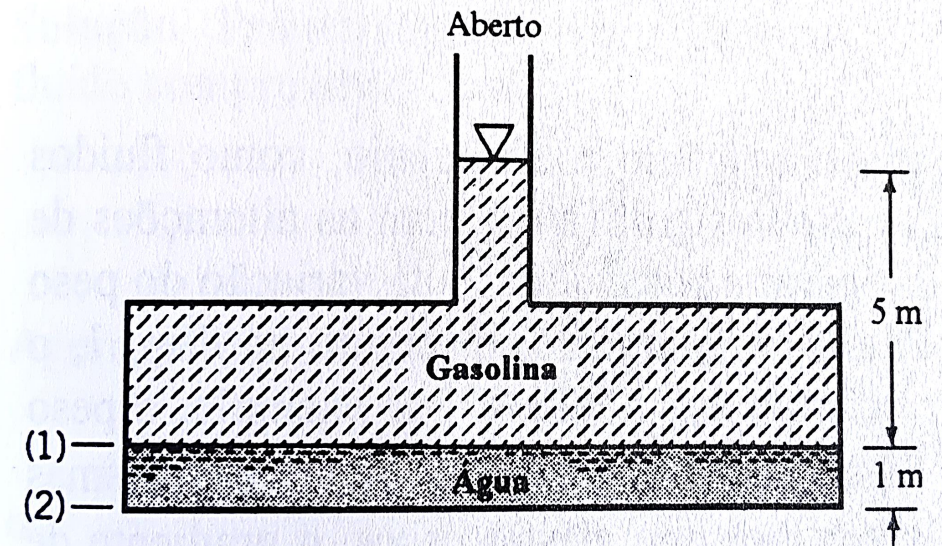
Exercício: Na imagem a seguir, é possível observar um tanque de combustível no qual houve infiltração. Sabendo que a massa específica da gasolina é 775kg/m^3 , determine a pressão absoluta no fundo do tanque.

$$P = P_{Atm} + P_{Gas} + P_{Água}$$

$$P = P_{Atm} + \rho_{Gas} \cdot g \cdot h_1 + \rho_{Água} \cdot g \cdot h_2$$

$$P = 101300 + 775 \times 9,81 \times 5 + 1000 \times 9,81 \times 1$$

$$P = 149120\text{Pa}$$



MANOMETRIA

Exercício: As tubulação A e B estão interligadas. Na ausência de escoamento e sabendo-se que a pressão A é de 140kPa, pede-se determinar a pressão em B.

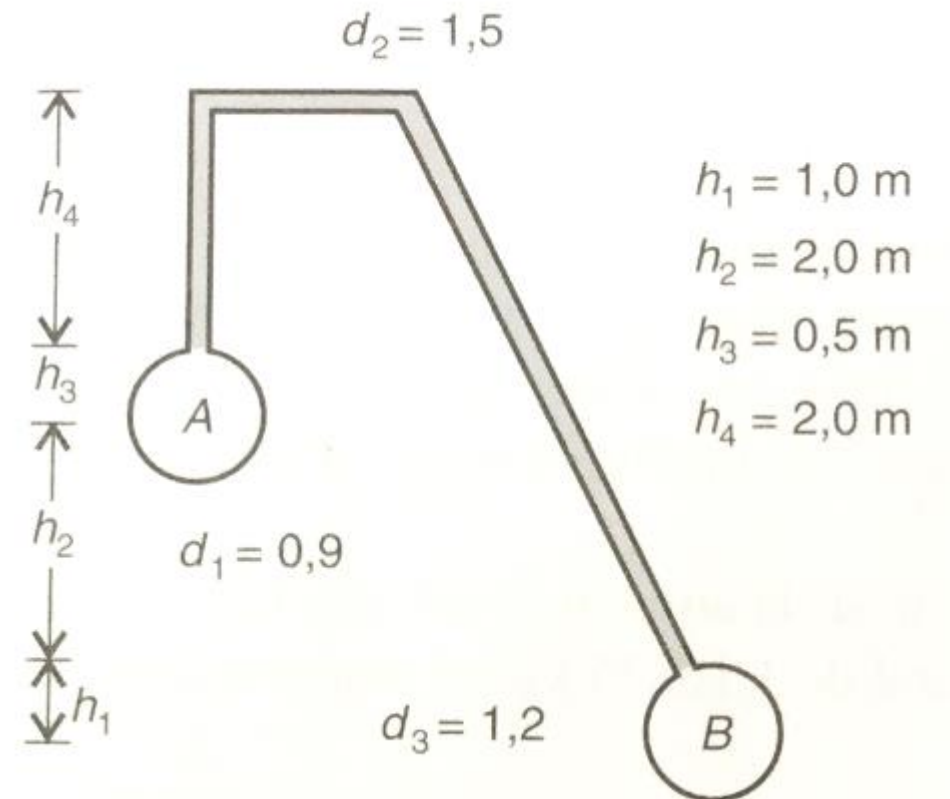
$$P_A - \rho_1 g h_3 - \rho_2 g h_4 + \rho_2 g h_4 + \rho_2 g h_3 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_1 = P_B$$

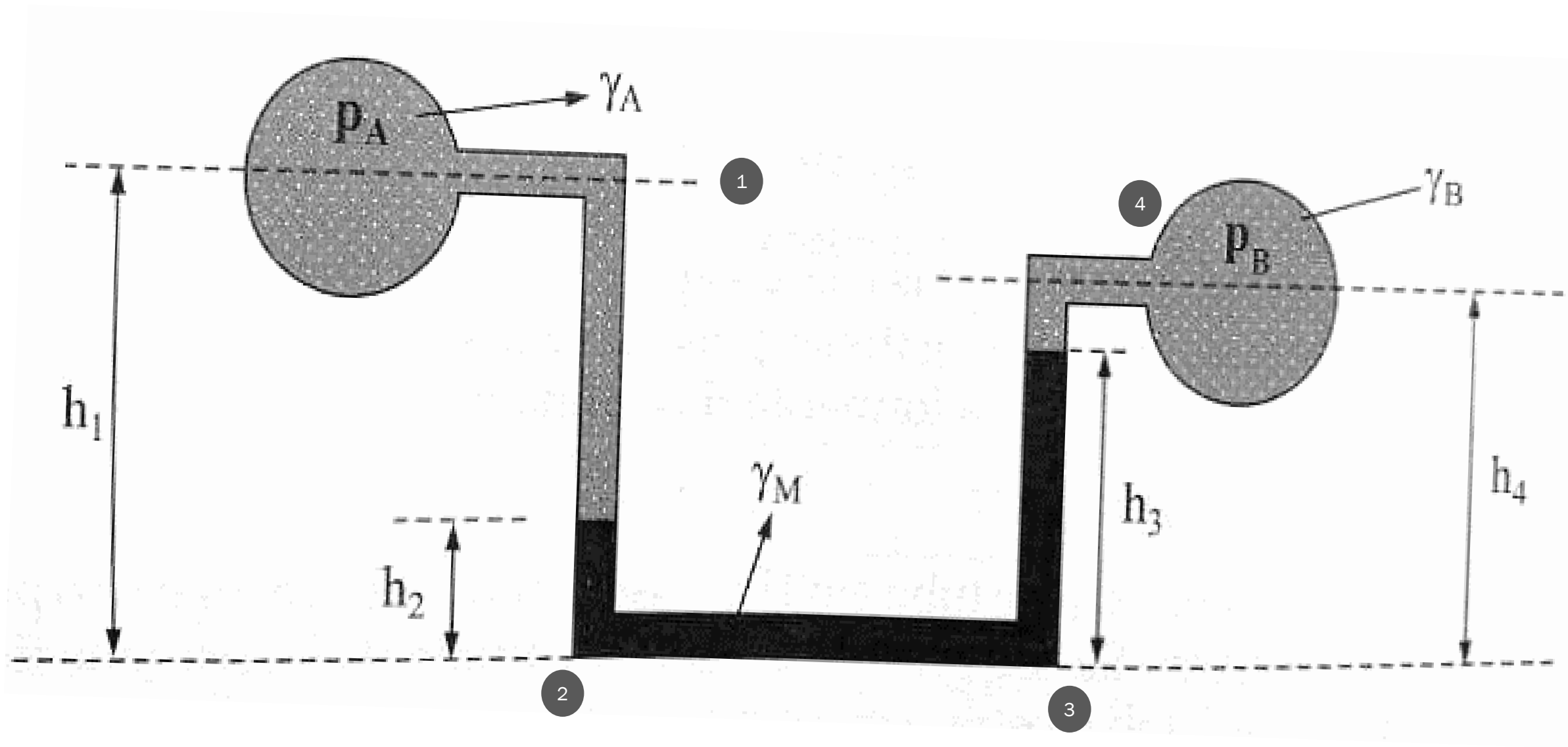
$$P_A - P_B = \rho_1 g h_3 - \rho_2 g h_3 - \rho_2 g h_2 - \rho_3 g h_1$$

$$= d_1 \rho_{\text{H}_2\text{O}} g h_3 - d_2 \rho_{\text{H}_2\text{O}} g h_3 - d_2 \rho_{\text{H}_2\text{O}} g h_2 - d_3 \rho_{\text{H}_2\text{O}} g h_1$$

$$= -4414,5 + 7357,5 + 29430 + 11772 = 44145 \text{ Pa}$$

$$P_B = 95,9 \text{ kPa.}$$

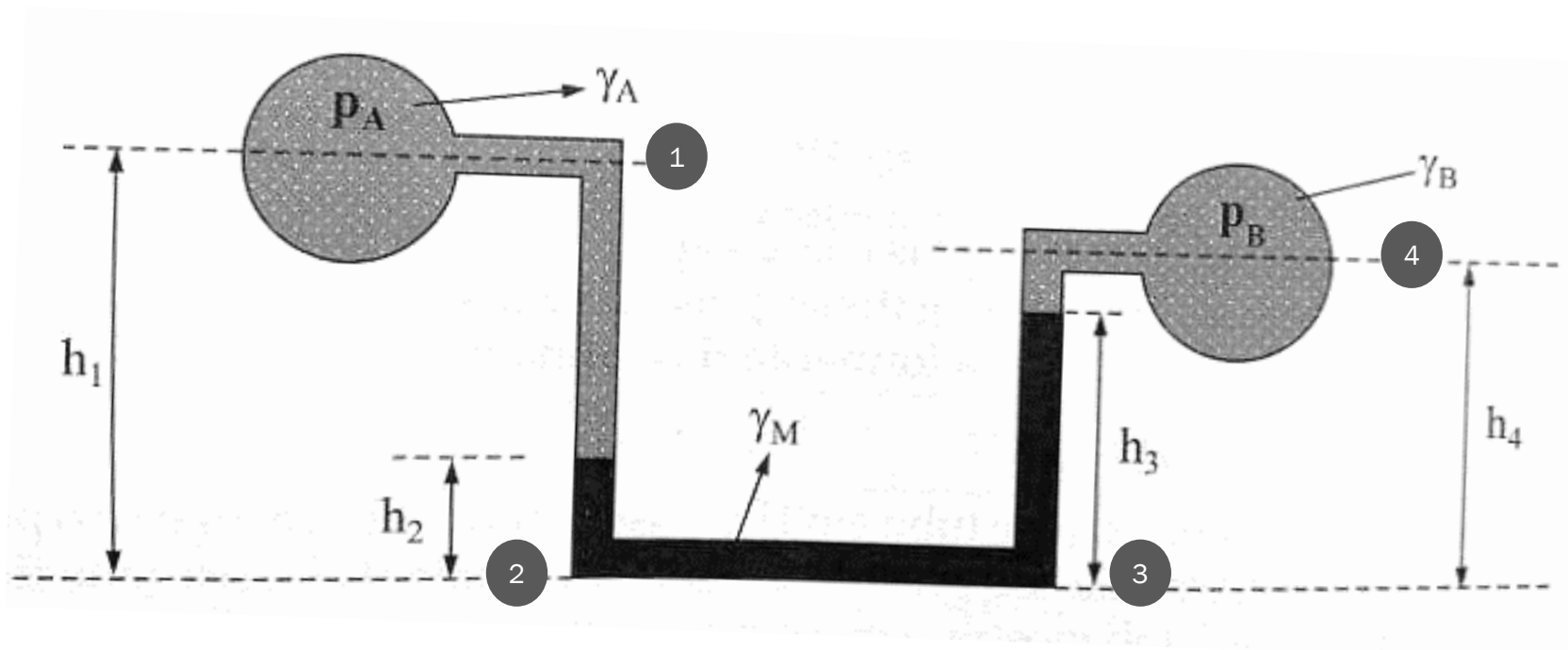




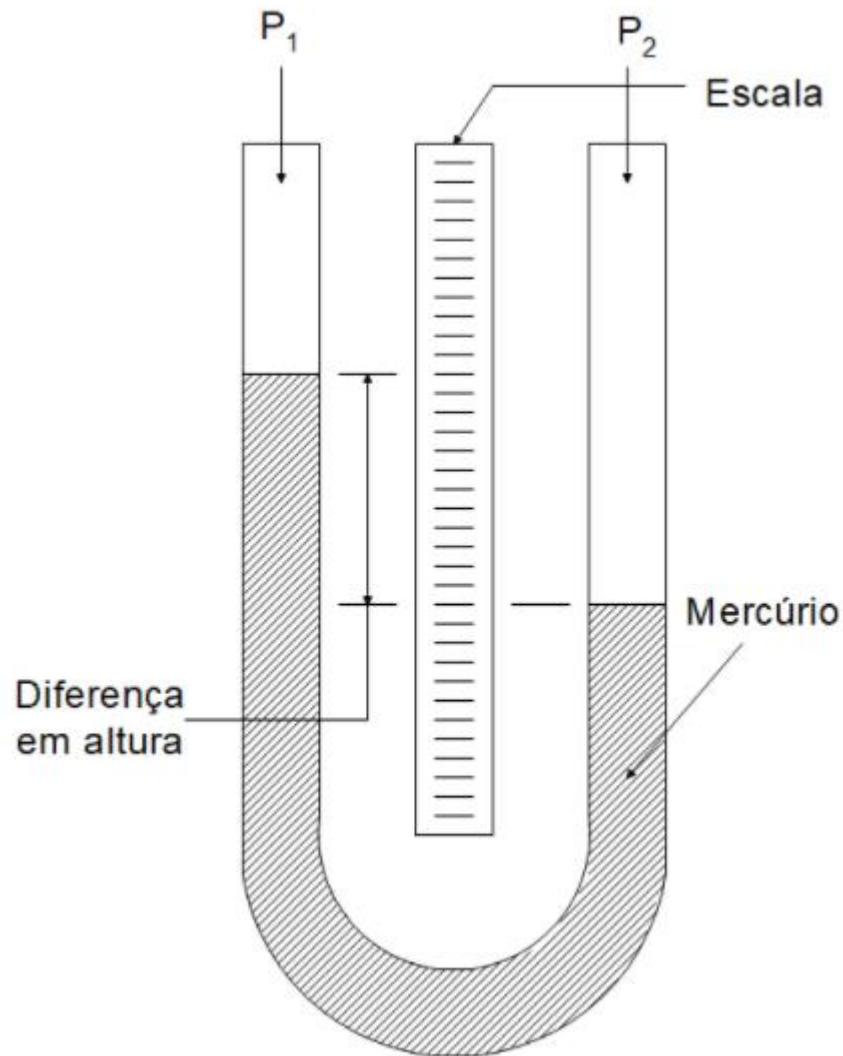
Exercício: Determine quais pontos possuem o mesmo valor de pressão e expresse o equacionamento que fornece o cálculo de P_B em função das alturas manométricas e dos diferentes fluidos manométricos.

$$P_2 = P_A + \gamma_A(h_1 - h_2) + \gamma_M h_2$$

$$P_B = P_A + \gamma_A(h_1 - h_2) - \gamma_M(h_3 - h_2) - \gamma_B(h_4 - h_3)$$



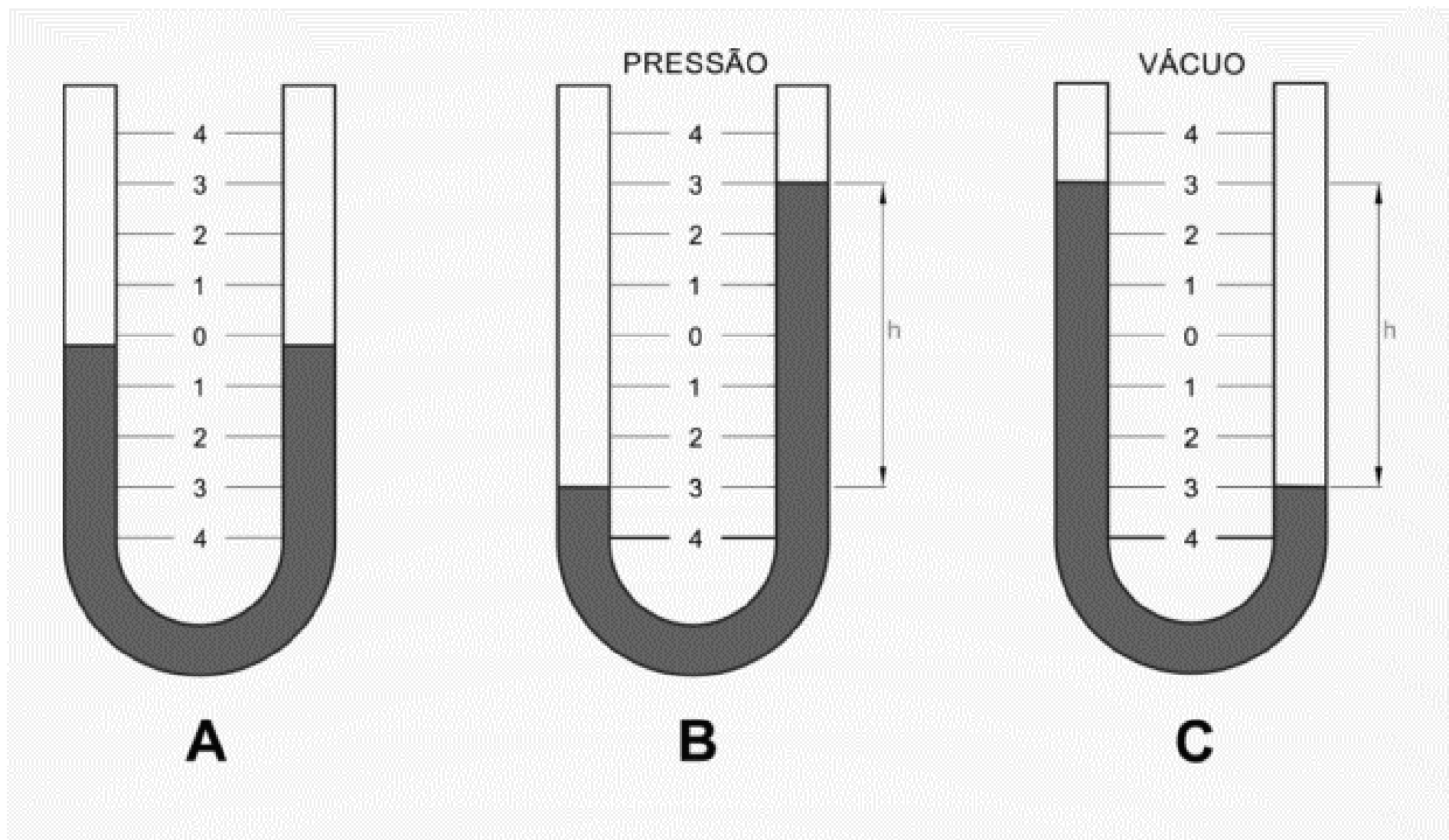
MANOMETRIA



Os Manômetros de Coluna em U é um aparelho de fácil utilização e de extrema importância. Nossos manômetros são **destinados a medir as pressões positivas, negativas e diferenciais**. São utilizados como padrão para calibração de outros aparelhos.

O Manômetro de Coluna U apresenta um tubo em forma de "U" que é preenchido com fluído manométrico até a sua metade. **As extremidades ficam abertas e seu princípio consiste na aplicação de pressão em um dos seus ramos**, o que faz com que o líquido desça por este ramo.

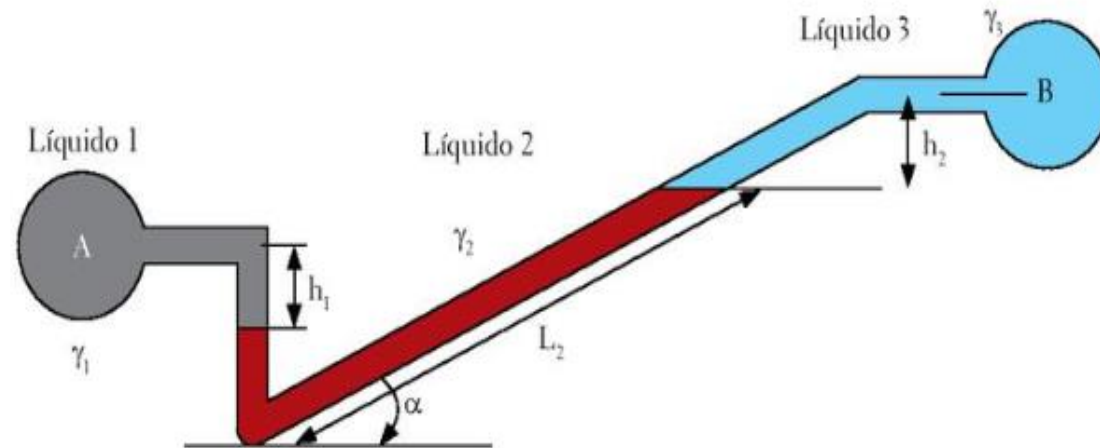
MANOMETRIA



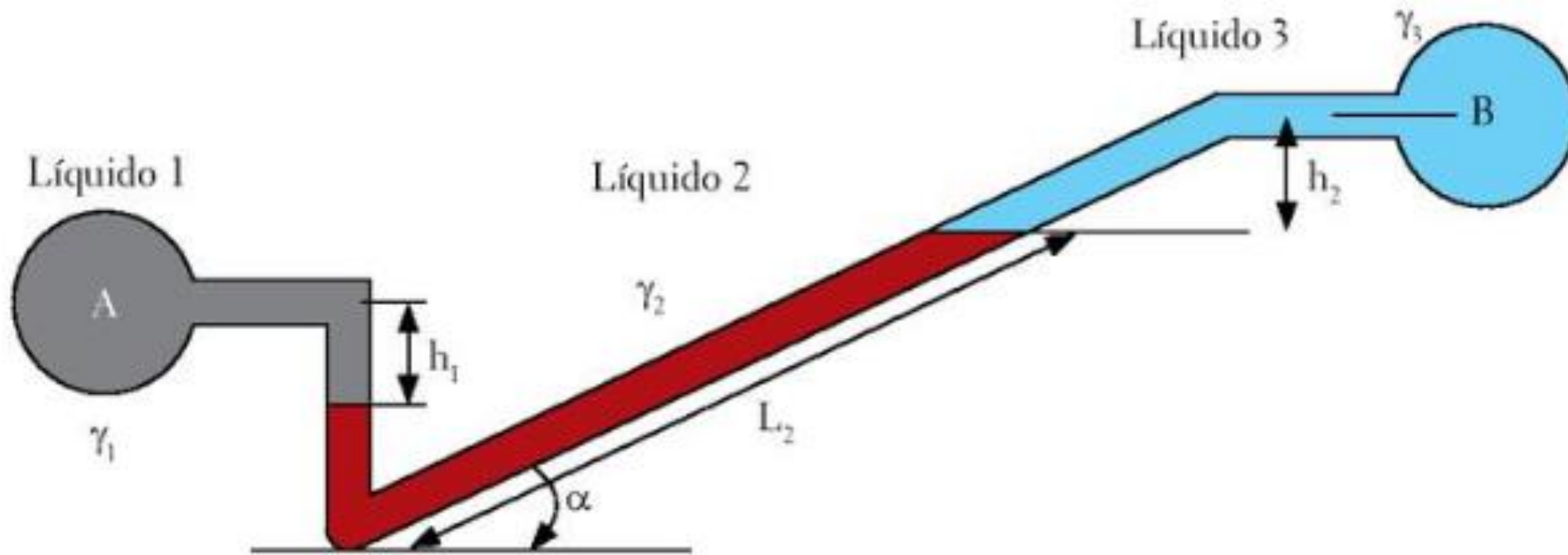
MANOMETRIA

Manômetro de Coluna Inclinada é recomendado para medições de baixa pressão, como em instalações de ar, gases, testes de vazamentos, queda de pressão em filtros, controle de tiragem de chaminés, ventilações, etc.

A posição inclinada do tubo permite que o líquido percorra uma distância mais longa em comparação com o modelo de tubo vertical, para uma mesma diferença de nível. Isso torna a leitura mais fácil e precisa quando medindo pressões de baixíssimos valores.



MANOMETRIA



$$P_B = P_A + \gamma_1 h_1 - \gamma_2 L_2 \sin \theta - \gamma_3 h_3$$

FENÔMENOS DE TRANSPORTE

RECUPERAÇÃO DE APRENDIZAGEM

**Entregar os exercícios
ímpares das listas de
exercícios 1 e 2.**

Prazo: Até data da Prova 2

Envio: Diário de Bordo

PROVA 2

07/11

- **Manometria**
- **Regime de Escoamento**
- **Frações mássicas e volumétricas**

CINÉTICA DOS FLUIDOS

REGIMES E TIPOS DE
ESCOAMENTOS



Uniube

REGIME PERMANENTE

- Se as propriedades de um fluido, em qualquer ponto do escoamento, não variam com o tempo, o escoamento é dito PERMANENTE.
- *Importante: qualquer propriedade pode variar de um ponto a outro, mas todas permanecem constantes em cada ponto com o tempo.*

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad \text{Onde } \eta \text{ é uma propriedade qualquer do escoamento}$$

REGIME TRANSIENTE

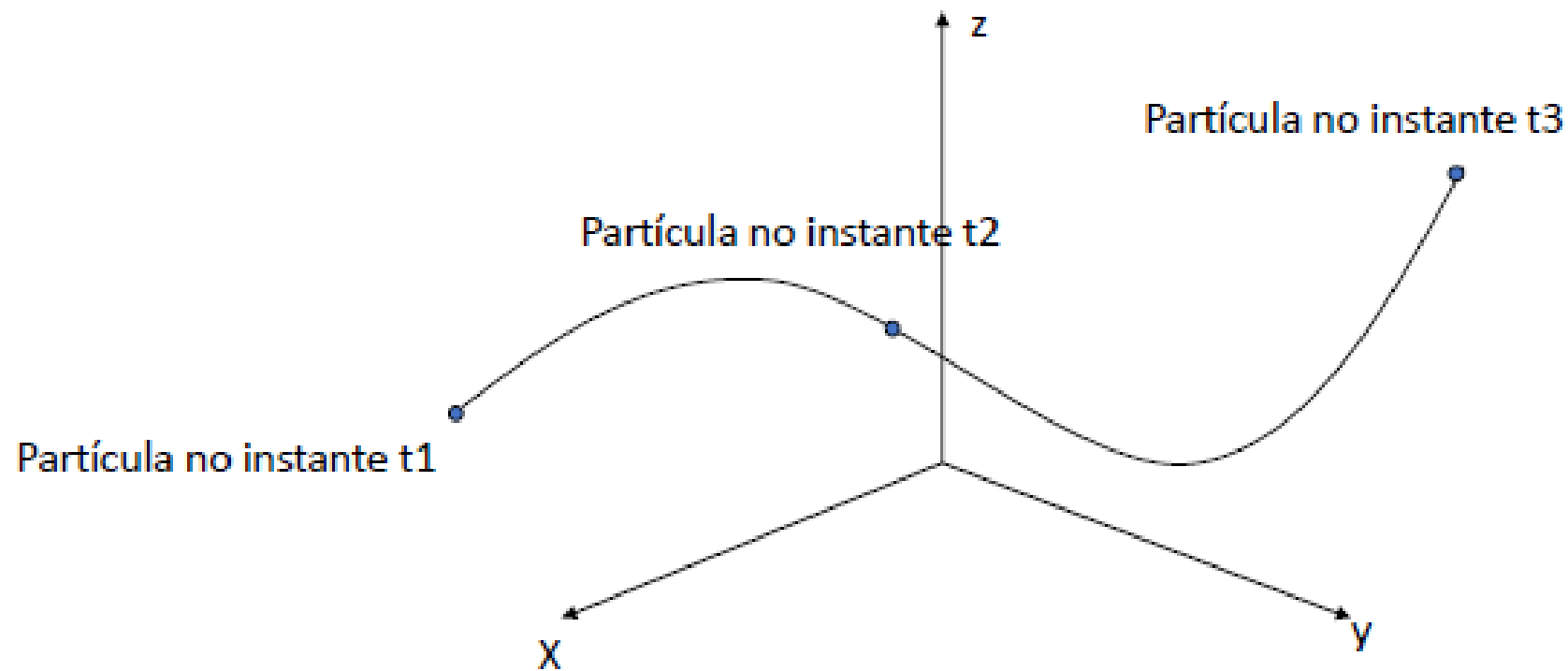
- Se as propriedades de um fluido, em qualquer ponto do escoamento, variar com o tempo, o escoamento é dito TRANSIENTE.



CINÉTICA DE ESCOAMENTO

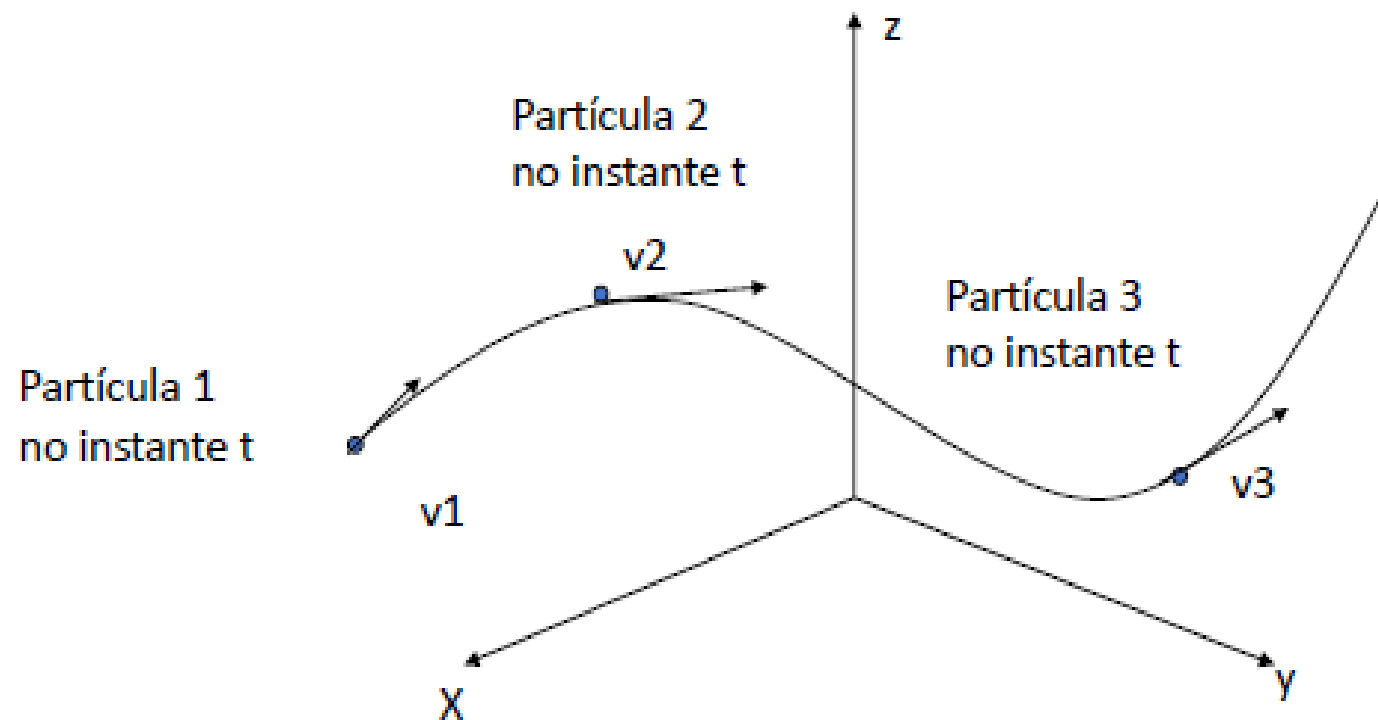
- A cinemática dos fluidos estuda o movimento dos fluidos em termos dos deslocamentos, velocidades e acelerações, sem levar em conta às forças que o produzem.

TRAJETÓRIA: Linha traçada por uma dada partícula ao longo de seu escoamento.



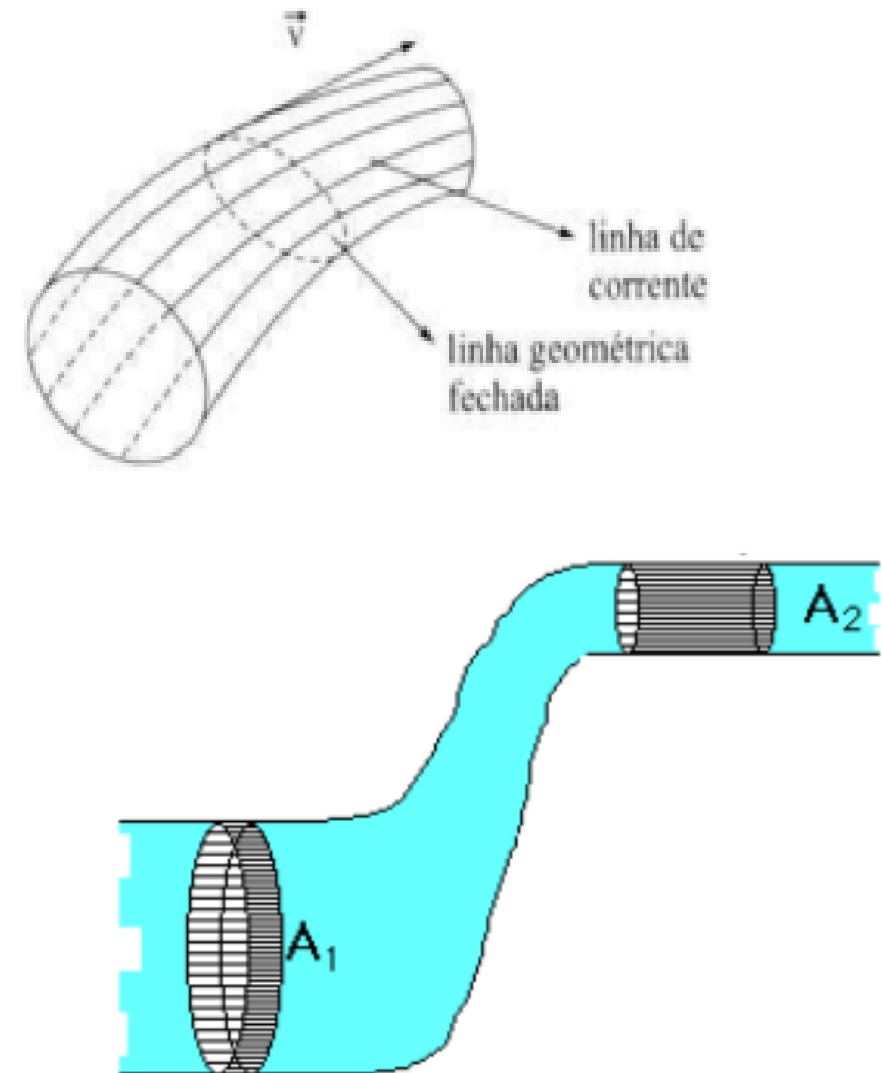
LINHA DE CORRENTE: Linha que tangencia os vetores velocidade de diversas partículas, umas após as outras; Duas linhas de corrente não podem se interceptar (o ponto teria duas velocidades).

<https://www.youtube.com/watch?v=fHW9YrKMcZo>



TUBO DE CORRENTE (TUBO DE FLUXO)

A superfície constituída pelas linhas de corrente formada no interior do fluido é denominada de tubo de corrente ou veia líquida. No interior de um fluido em escoamento existem infinitas linhas de corrente definidas por suas partículas fluidas.

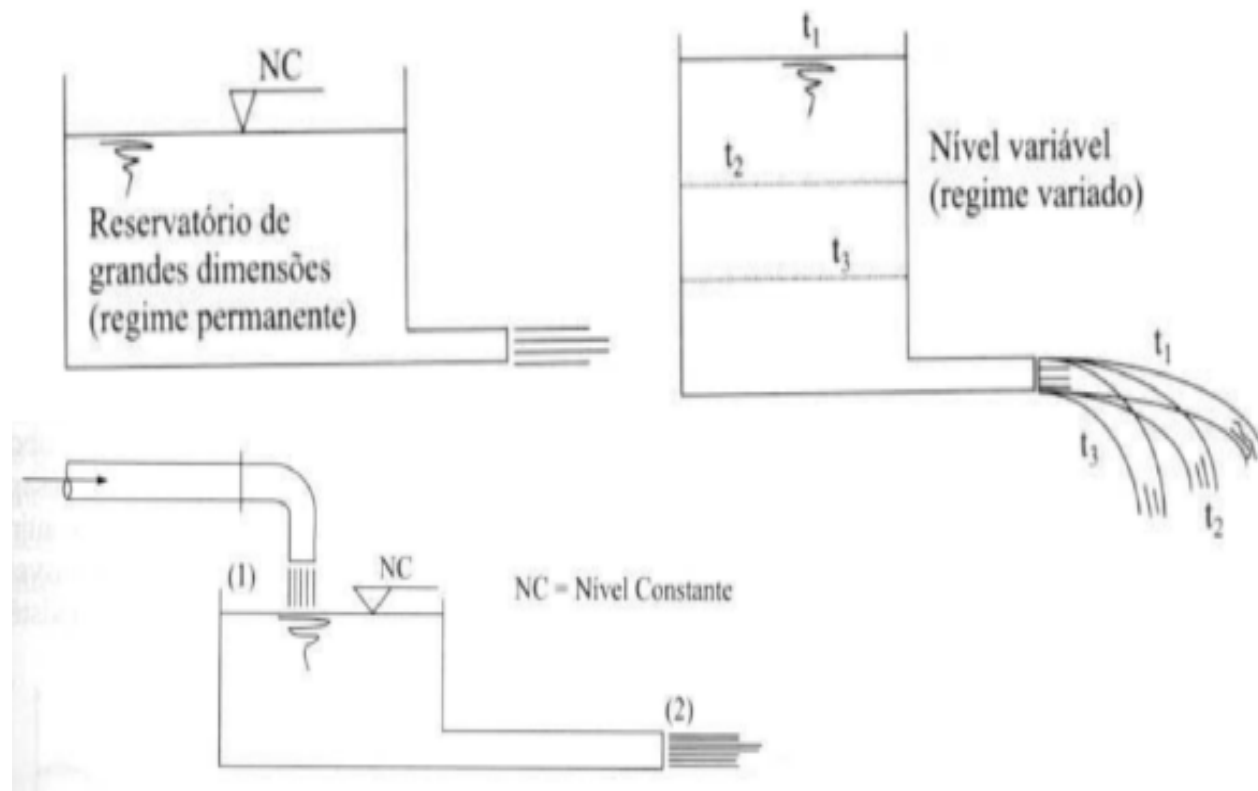


QUANTO A VARIAÇÃO NO TEMPO

Escoamento permanente: As propriedades médias estatísticas das partículas fluidas, contidas em um volume de controle permanecem constantes.

Escoamento variado: As propriedades do fluido mudam no decorrer do escoamento.

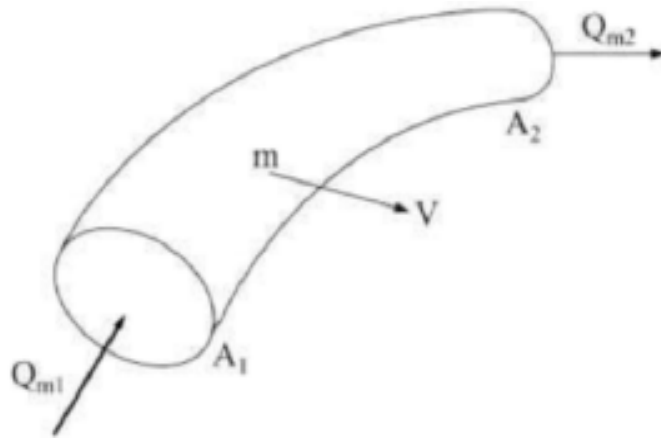
Dependência com o Tempo



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE



Uniube



Como o regime é permanente, Q_{m1} da entrada é igual a Q_{m2} na saída;

Desta forma tem-se que:

$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad \text{ou} \quad \rho_1 \cdot Q_1 = \rho_2 \cdot Q_2 \quad \text{ou} \quad \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2$$

Equação da continuidade

Se o fluido for incompressível, tem-se que: $\rho_1 = \rho_2$ e portanto:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2$$

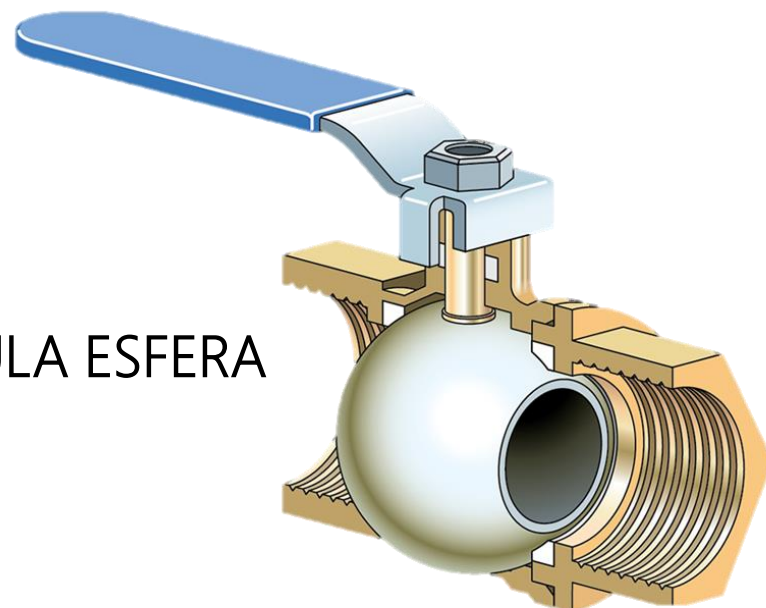
REGIME DE ESCOAMENTO



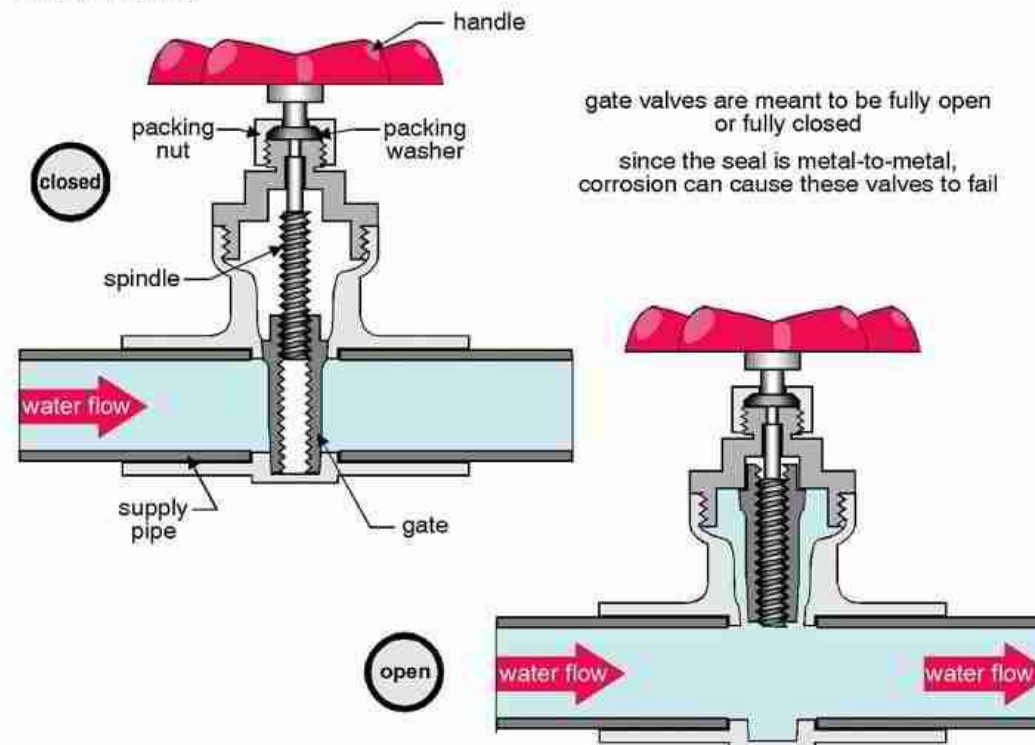
Uniube



VÁLVULA ESFERA

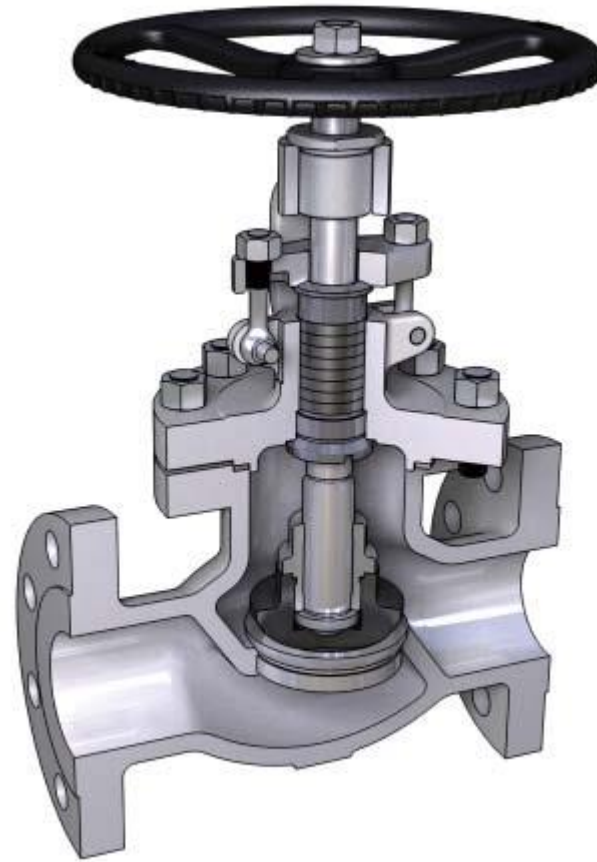


Gate valve



VÁLVULA GAVETA





VÁLVULA GLOBO

VÁLVULAS DE BLOQUEIO: Utilizadas para bloqueio do fluxo.

- Válvula Gaveta – Válvula muito barata, pouquíssimo controle de vazão.
- Válvula Esfera – Grande durabilidade, relativamente cara.

VÁLVULAS DE RETENÇÃO: Fluxo unidirecional

- Válvula Portinhola – Sistemas de bombas.

VÁLVULAS DE CONTROLE: Utilizadas para controle mais preciso de vazão.

- Válvula Globo – As válvulas globo são mais adequadas para controlar ou impedir a vazão ou pressão de fluido de um determinado líquido ou de um gás através de um tubo ou sistema de distribuição. Elas cumprem bem este papel, em razão de sua abertura linear e o fechamento mais eficaz do seu obturador. Como as válvulas globo oferecem um bom controle para regular o fluxo de líquido ou gás, elas geralmente são utilizadas em operações frequentes de abertura e fechamento de linhas, como acontece com a indústria de gás e petróleo, a qual exige um efetivo controle de vazão em qualquer nível desejado.
- Válvula Borboleta – Relativamente barata, muito comum, muito utilizada em sistemas de água. Não aguenta pressões muito altas.

CINÉTICA DOS FLUIDOS

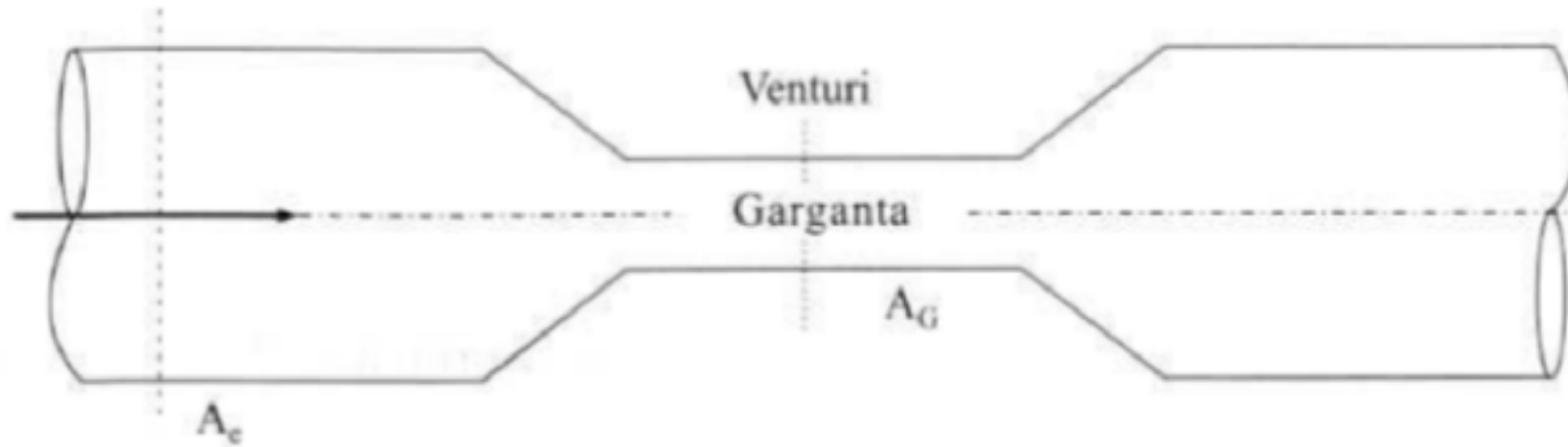
REGIMES E TIPOS DE
ESCOAMENTOS



Uniube

EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

O Venturi é um tubo convergente/divergente, como é mostrado na figura. Determinar a velocidade na seção mínima (garganta) de área 5 cm^2 , se na seção de entrada de área 20 cm^2 a velocidade é 2 m/s . O fluido é incompressível.

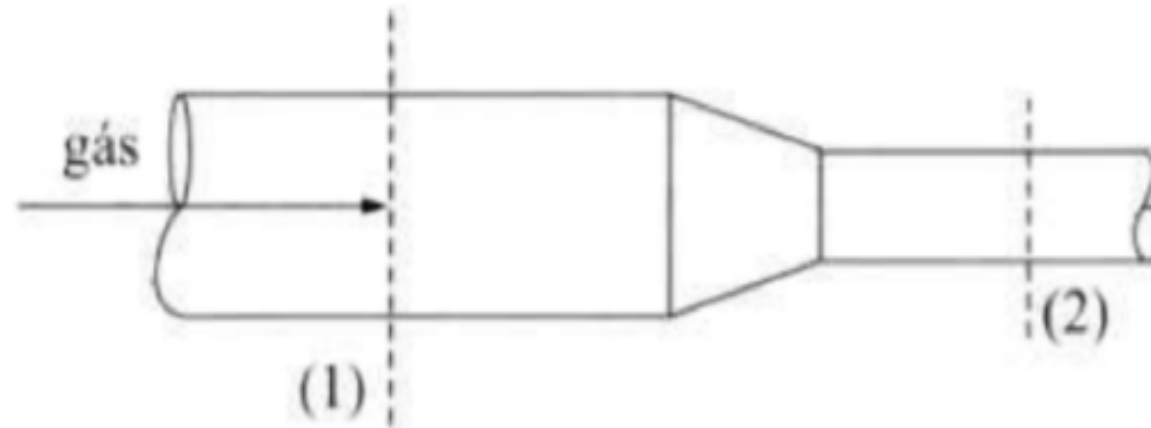


Pela eq. da continuidade: $v_e \cdot A_e = v_G \cdot A_G$

$$2 \cdot 20 = v_G \cdot 5$$

$$v_G = \frac{40}{5} = 8 \text{ m/s}$$

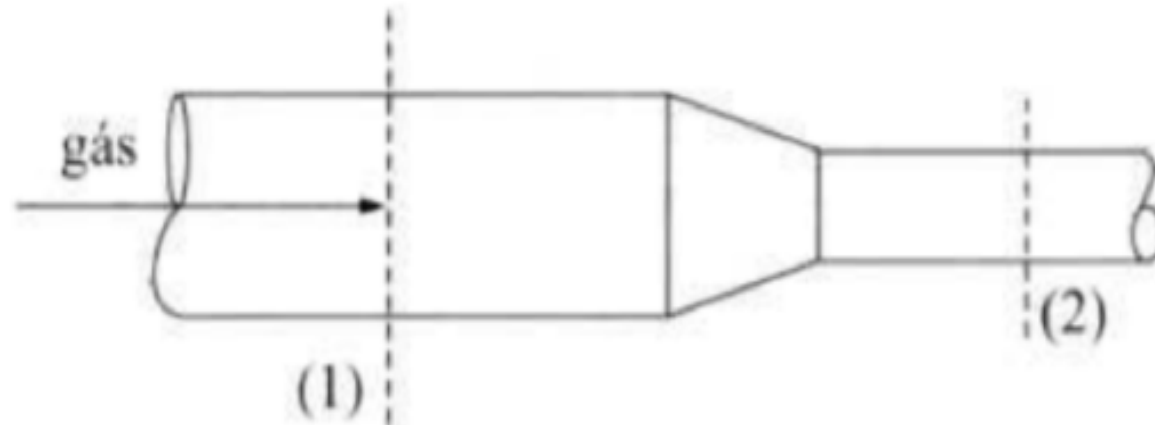
Um gás escoa em regime permanente no trecho de tubulação da figura. Na seção (1), tem-se $A_1 = 20 \text{ cm}^2$, $\rho_1 = 4 \text{ kg/m}^3$ e $v_1 = 30 \text{ m/s}$. Na seção (2), $A_2 = 10 \text{ cm}^2$, $\rho_2 = 12 \text{ kg/m}^3$. Qual é a velocidade na seção (2)?



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

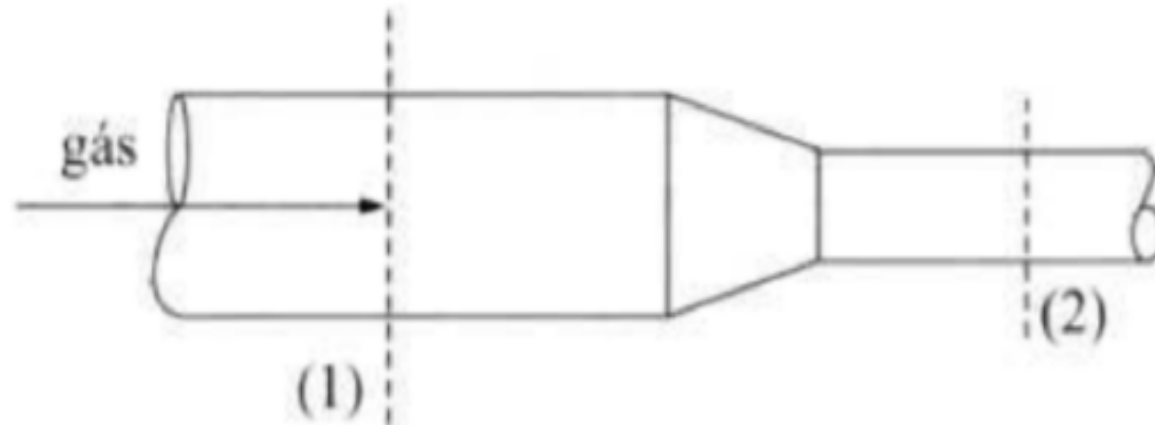
Um gás escoa em regime permanente no trecho de tubulação da figura. Na seção (1), tem-se $A_1 = 20 \text{ cm}^2$, $\rho_1 = 4 \text{ kg/m}^3$ e $v_1 = 30 \text{ m/s}$. Na seção (2), $A_2 = 10 \text{ cm}^2$, $\rho_2 = 12 \text{ kg/m}^3$. Qual é a velocidade na seção (2)?

$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad \therefore \quad \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2$$



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Um gás escoa em regime permanente no trecho de tubulação da figura. Na seção (1), tem-se $A_1 = 20 \text{ cm}^2$, $\rho_1 = 4 \text{ kg/m}^3$ e $v_1 = 30 \text{ m/s}$. Na seção (2), $A_2 = 10 \text{ cm}^2$, $\rho_2 = 12 \text{ kg/m}^3$. Qual é a velocidade na seção (2)?



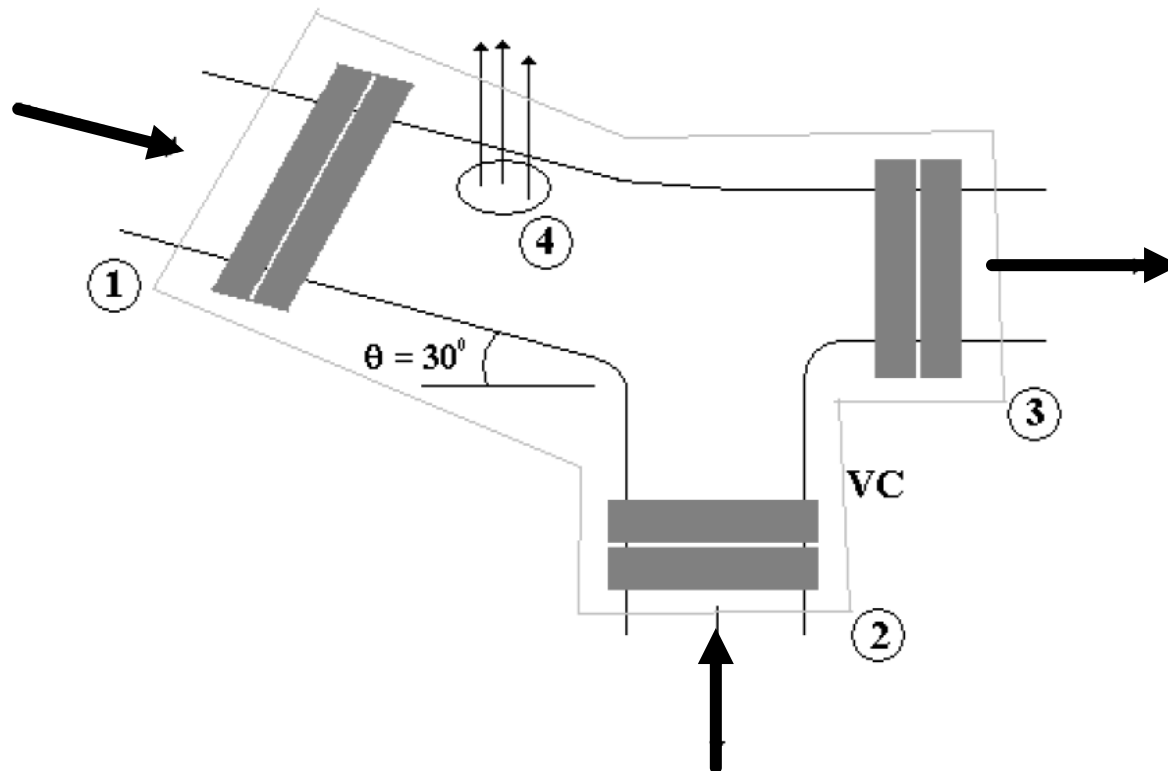
$$Q_{m1} = Q_{m2} \quad \therefore \quad \rho_1 \cdot v_1 \cdot A_1 = \rho_2 \cdot v_2 \cdot A_2$$

$$4 \cdot 30 \cdot 20 = 12 \cdot v_2 \cdot 10$$

$$v_2 = \frac{2400}{120} = 20 \text{ m/s}$$

EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Considere o escoamento permanente de água em uma junção de tubos conforme mostrado no diagrama. As áreas das seções são: $A_1 = 0,2 \text{ m}^2$; $A_2 = 0,2 \text{ m}^2$; $A_3 = 0,15 \text{ m}^2$. O fluido também vaza para fora do tubo através de um orifício no ponto 4, com uma vazão volumétrica estimada em $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$. As velocidades médias nas seções 1 e 3 são $u_1 = 5 \text{ m/s}$ e $u_3 = 12 \text{ m/s}$. Determine a velocidade do escoamento na seção 2.



$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4$$

$$V_1 A_1 + V_2 A_2 = V_3 A_3 + 0,1$$

$$5 \cdot 0,2 + V_2 \cdot 0,2 = 12 \cdot 0,15 + 0,1$$

$$V_2 = 4,5 \text{ m/s}$$

Um fluido incompressível escoa a 3 m/s em um tubo de área transversal igual a 100 cm². Qual é a velocidade desse fluido ao sair pelo outro lado do tubo, cuja área é de 42 cm²?

$$Q_1 = Q_2$$

$$v_1 A_1 = v_2 A_2$$

$$v_2 = 714,28 \text{ cm} / \text{s}$$

Sabe-se que para se encher o tanque de 20 m³ são necessários 1h e 10min, considerando que o diâmetro do tubo que alimenta o tanque é igual a 10 cm, calcule a velocidade média do fluido que alimenta o tanque.

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}}$$

$$Q = vA$$

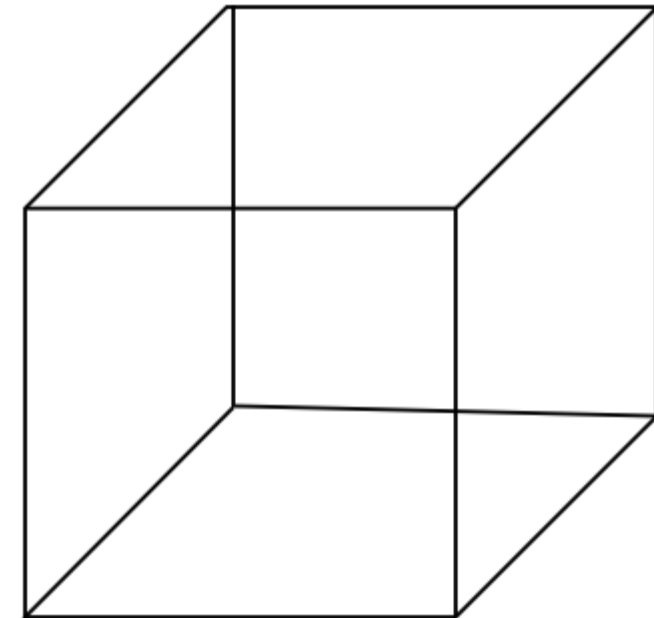
$$0,0047619 \frac{m^3}{s} = v \frac{\pi 0,1^2}{4}$$

$$v = 0,606 \frac{m}{s}$$

EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Água é descarregada de um tanque cúbico com 3m de aresta por um tubo de 3 cm de diâmetro (isso significa que o tanque está cheio e está sendo esvaziado pelo tubo). A vazão no tubo é de 7 L/s. A partir da equação da continuidade, determine:

- A – A velocidade de descida da superfície livre da água do tanque.
- B – O tempo o nível da água levará para descer 15 cm.
- C – A velocidade de descida da água na tubulação.



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Água é descarregada de um tanque cúbico com 3m de aresta por um tubo de 3 cm de diâmetro (isso significa que o tanque está cheio e está sendo esvaziado pelo tubo). A vazão no tubo é de 7 L/s. A partir da equação da continuidade, determine:

A – A velocidade de descida da superfície livre da água do tanque.

B – O tempo o nível da água levará para descer 15 cm.

C – A velocidade de descida da água na tubulação.

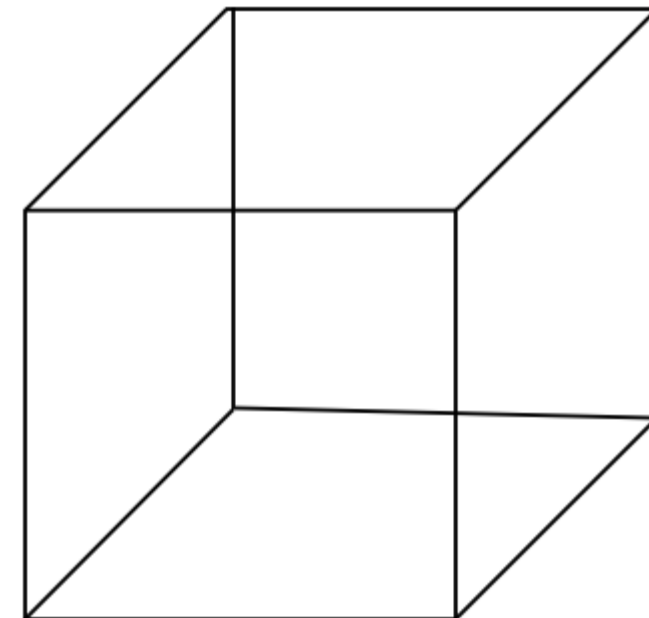
$$volume = área \times altura$$

$$vazão = volume \times tempo$$

$$velocidade = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$velocidade = \frac{300cm}{3857s} = 0,0777cm / s$$

$$\Delta s = \text{altura do tanque}$$



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE

Água é descarregada de um tanque cúbico com 3m de aresta por um tubo de 3 cm de diâmetro (isso significa que o tanque está cheio e está sendo esvaziado pelo tubo). A vazão no tubo é de 7 L/s. A partir da equação da continuidade, determine:

A – A velocidade de descida da superfície livre da água do tanque.

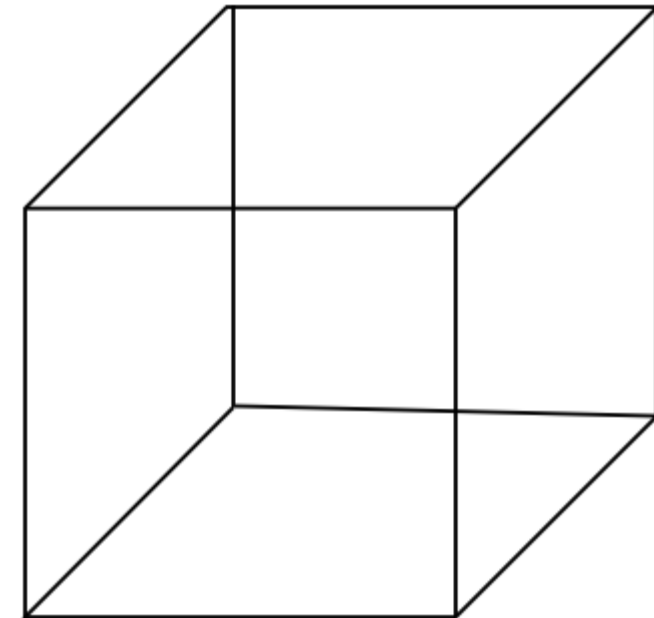
B – O tempo o nível da água levará para descer 15 cm.

C – A velocidade de descida da água na tubulação.

$$velocidade = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

$$\Delta s = 15\text{cm}$$

$$t = 193,05s$$



EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE



Uniube

Água é descarregada de um tanque cúbico com 3m de aresta por um tubo de 3 cm de diâmetro (isso significa que o tanque está cheio e está sendo esvaziado pelo tubo). A vazão no tubo é de 7 L/s. A partir da equação da continuidade, determine:

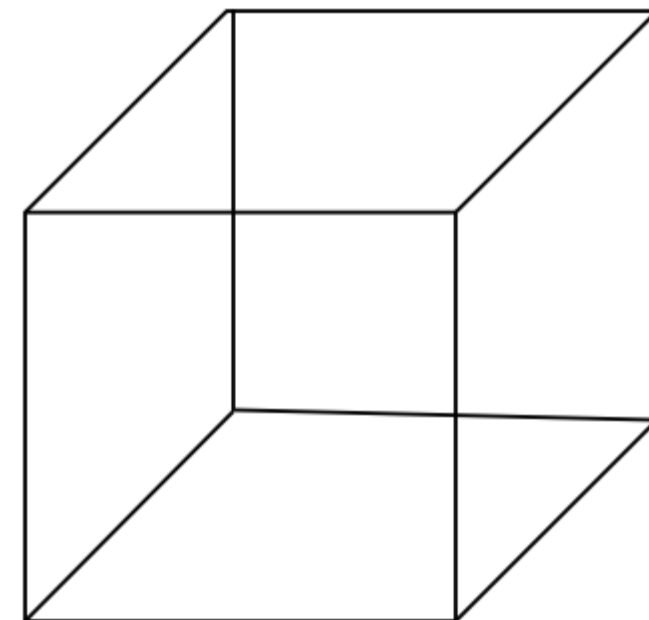
A – A velocidade de descida da superfície livre da água do tanque.

B – O tempo o nível da água levará para descer 15 cm.

C – A velocidade de descida da água na tubulação.

$$Q = v_t A$$
$$0,007 = v_t \frac{\pi 0,03^2}{4}$$

$$v_t = 9,90 m / s$$



A concentração mássica ou fração mássica (x_m) define a quantidade massa de um dado componente em relação ao quantidade mássica total do sistema.

$$x_m = \frac{\text{massa do componente}}{\text{massa total do sistema}}$$

Já a taxa mássica (Q_m) expressa a quantidade de massa que de um fluido em função do tempo.

$$Q_m = \rho Q = \left[\frac{kg}{s} \right]$$

A concentração volumétrica (x_v) é obtido pela razão do volume de um dado componente em relação ao volume total do sistema.

$$x_v = \frac{\text{volume do componente}}{\text{volume total do sistema}}$$

$$x_m = \frac{\text{massa do componente}}{\text{massa total do sistema}}$$

Qual a concentração mássica de 2kg de rocha fosfática em 100 litros de água?

$$x_m = \frac{2\text{kg}}{100\text{kg}+2\text{kg}}$$

$$x_m = 0,0196$$

Um tubo despeja água em um reservatório com uma vazão de 20 L/s e um outro tubo despeja um líquido de massa específica igual a 800 kg/m³ com uma vazão de 10 L/s. A mistura formada é descarregada por um tubo da área igual a 150 cm². Determinar a massa específica da mistura no tubo de descarga e calcule também qual é a velocidade de saída.

$$Q_1 + Q_2 = Q_3$$

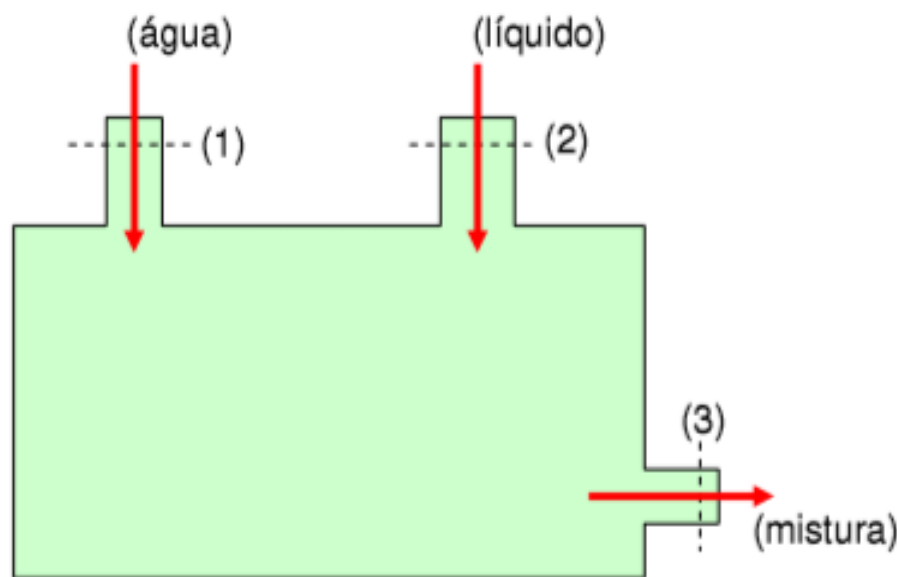
$$Q \left[\frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \right]$$

$$Q_3 \rightarrow v_3$$

$$Q_{m1} + Q_{m2} = Q_{m3}$$

$$Q_1 \rho_1 + Q_2 \rho_2 = Q_3 \rho_3$$

$$0,02 \times 1000 + 0,01 \times 800 = 0,03 \rho_3$$



$$\rho_3 = 933,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$0,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v_3 \cdot 150 \text{ cm}^2$$

$$0,03 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = v_3 \cdot 0,015 \text{ m}^2$$

$$v_3 = 2 \text{ m/s}$$

Um tanque cúbico de 2,4 m de lado, possui metade do seu volume preenchido com óleo ($\rho = 892 \text{ kg/m}^3$). Além do fluido, estão presentes areia e rocha fosfática, com 89,0 e 189kg, respectivamente.

A – Qual a concentração mássica da areia?

B – Qual a dimensão mínima da tubulação para o bombeamento de toda suspensão em 1 hora? Considere a velocidade média no fluido de 1,22 m/s. Considere a massa específica da areia igual a 1800 kg/m^3 e a massa específica da rocha igual a 3200 kg/m^3 .

Um tanque cúbico de 2,4 m de lado, possui metade do seu volume preenchido com óleo ($\rho = 892 \text{ kg/m}^3$). Além do fluido, estão presentes areia e rocha fosfática, com 89,0 e 189kg, respectivamente.

A – Qual a concentração mássica da areia?

$$x_m = \frac{\text{massa do componente}}{\text{massa total do sistema}}$$

$$x_{m-\text{areia}} = \frac{\text{massa de areia}}{\text{massa total do sistema}}$$

massa de óleo = ?

$$m_{\text{óleo}} = V_{\text{óleo}} \times \rho_{\text{óleo}}$$

$$m_{\text{óleo}} = 6165,5 \text{ kg}$$

$$x_{m-\text{areia}} = \frac{89}{89 + 189 + 6165,5} = 0,0138 = 1,38\%$$

Um tanque cúbico de 2,4 m de lado, possui metade do seu volume preenchido com óleo ($\rho = 892 \text{ kg/m}^3$). Além do fluido, estão presentes areia e rocha fosfática, com 89,0 e 189kg, respectivamente.

A – Qual a concentração mássica de cada sólido?

B – Qual a dimensão mínima da tubulação para o bombeamento de toda suspensão em 1 hora? Considere a velocidade média no fluido de 1,22 m/s. Considere a massa específica da areia igual a 1800 kg/m^3 e a massa específica da rocha igual a 3200 kg/m^3 .

$$Q_3 = v_3 A_3$$

$$Q_3 = 1,22 A_3$$

$$\text{volume total} = \text{volume óleo} + \text{volume areia} + \text{volume rocha}$$

$$vol_{\text{areia}} = \frac{\text{massa areia}}{\rho_{\text{areia}}}$$

$$vol_{\text{rocha}} = \frac{\text{massa rocha}}{\rho_{\text{rocha}}}$$

$$Q = \frac{\text{volume}}{\text{tempo}} \quad Q_3 = \frac{\text{volume total}}{3600s}$$

$$d = 0,0451m$$

Um tanque de alimentação possui 115 L de capacidade. Sabe-se que este está preenchido em 60% de seu volume com água. São adicionados ao líquido, 50 kg de sacarose e 22 kg de rocha fosfática. Sabe-se que as massas específicas da sacarose e rocha fosfáticas são 1590 e 3200 kg/m³, respectivamente. Quais as concentrações mássica e volumétrica de rocha fosfática na alimentação?

Um tanque de alimentação possui 115 L de capacidade. Sabe-se que este está preenchido em 60% de seu volume com água. São adicionados ao líquido, 50 kg de sacarose e 22 kg de rocha fosfática. Sabe-se que as massas específicas da sacarose e rocha fosfáticas são 1590 e 3200 kg/m³, respectivamente. **Quais as concentrações mássica e volumétrica de rocha fosfática na alimentação?**

$$V_{H_2O} = ?$$

$$x_{m-rocha} = \frac{\text{massa de rocha}}{\text{massa total do sistema}}$$

$$x_{m-rocha} = \frac{22}{22+50+69} =$$

$$V_{H_2O} = 115 \times 0,6 = 69L$$

Um tanque de alimentação possui 115 L de capacidade. Sabe-se que este está preenchido em 60% de seu volume com água. São adicionados ao líquido, 50 kg de sacarose e 22 kg de rocha fosfática. Sabe-se que as massas específicas da sacarose e rocha fosfáticas são 1590 e 3200 kg/m³, respectivamente. **Quais as concentrações mássica e volumétrica de rocha fosfática na alimentação?**

$$V_{Sac} = \frac{m_{Sac}}{\rho_{Sac}} \quad V_{Roc} = \frac{m_{Roc}}{\rho_{Roc}} \quad x_{v-rocha} = \frac{\text{volume de rocha}}{\text{volume total do sistema}} \quad V_{H_2O} = 115 \times 0,6 = 69L$$

$$V_{Sac} = \frac{50}{1590} = 0,03144m^3$$

$$V_{Roc} = \frac{22}{3200} = 0,006875m^3$$

$$x_{v-rocha} = \frac{0,006875}{0,069 + 0,006875 + 0,03144}$$