

FENOMENOS DE TRANSPORTE

2º Semestre de 2012

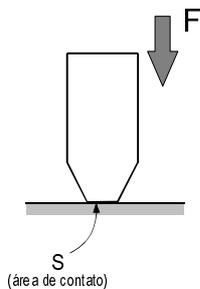
Prof. Maurício Fabbri

© 2006-12

3ª SÉRIE DE EXERCÍCIOS

Hidrostática
Hidrodinâmica

PRESSÃO – DEFINIÇÃO E UNIDADES



$$P = \frac{F}{S}$$

força
área

UNIDADES:

Pascal : $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$

$1\text{bar} = 10^5\text{Pa}$

$1\text{psi} = 1\text{libra/pol}^2 = 6895\text{Pa}$

$1\text{atm} = 1,013 \times 10^5\text{Pa} = 1,013\text{bar} = 14,7\text{lb/pol}^2$

$1\text{mmHg} = 1\text{torr} = 133,3\text{Pa}$

$1\text{atm} = 760\text{mmHg}$

Exercício 1. Que força deve ser feita ao pressionar um alfinete sobre uma superfície rígida, de modo a exercer uma pressão de 30lb/pol^2 ? Suponha que a ponta do alfinete seja um círculo de raio $0,1\text{mm}$. (resposta com dois significativos)

Resp.: $0,0065\text{N}$ (correspondente a $\approx 0,65\text{gramas}$)

Exercício 2. A pressão atmosférica, ao nível do mar, é cerca de 10^5Pa . Qual a força que a atmosfera exerce sobre a superfície de um ladrilho quadrado com 10cm de lado?

Resp.: 1000N (correspondente a $\approx 100\text{Kg}$)

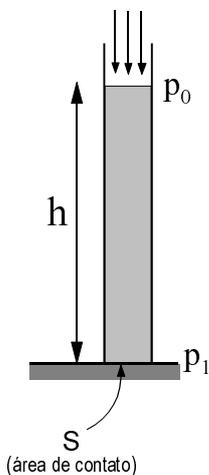
Exercício 3. A pressão manométrica de vapor no interior de uma panela de pressão deve ser estabilizada em $0,8\text{atm}$. Calcule a massa do pino da válvula de alívio, que se apoia sobre uma abertura de diâmetro interno 3mm . Use $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Resp.: 58g



LEI DE STEVIN

PRESSÃO EXERCIDA POR UMA COLUNA DE LÍQUIDO



p_0 = pressão sobre a superfície livre do líquido

p_1 = pressão exercida na base

h = altura da coluna de líquido

ρ = densidade do líquido

$$p_1 = p_0 + \rho gh$$

(lei de Stevin)

g = aceleração da gravidade ($9,8\text{m/s}^2$) OBS.: $1\text{N} = 1\text{kg.m/s}^2$

A *pressão manométrica* é a diferença entre a pressão absoluta e a pressão atmosférica.

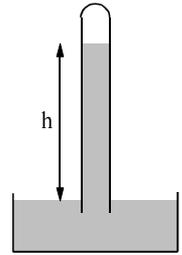
No caso de colunas de líquido, a pressão manométrica é também chamada de pressão hidrostática.

A pressão hidrostática na base de uma coluna de líquido de altura h é igual a ρgh .

Exercício 4. Qual a pressão sobre a base exercida por uma coluna vertical de água com 2m de altura, aberta no topo? (use $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, e dê a resposta em atm com dois significativos)

Resp.: absoluta: 1,2atm manométrica: 0,2atm

Exercício 5. (TORRICELLI) Um tubo cheio de mercúrio é emborcado verticalmente sobre um reservatório. Evita-se a entrada de ar no tubo. Qual a altura de equilíbrio do mercúrio no tubo? (a densidade do mercúrio é $13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$). Use $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, e dê a resposta com três significativos.



Resp.: 760 mm

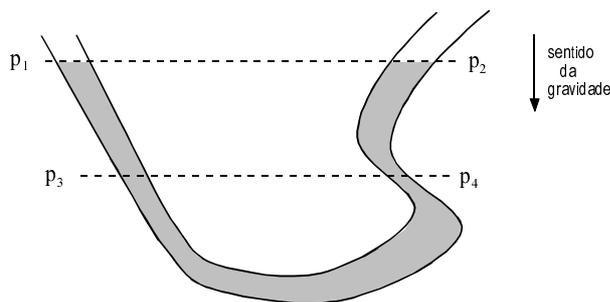
OBS.: Torricelli utilizou o mercúrio nesse experimento porque (1) a densidade do mercúrio é alta, e assim a altura de equilíbrio não é muito grande, e (2) a pressão de vapor do mercúrio é muito pequena; se fosse utilizado um líquido comum, o espaço vazio no topo do tubo seria preenchido com vapor. O inconveniente sério é que o mercúrio é altamente tóxico. Muitos cientistas antigos (inclusive Newton) sofreram consequências graves por intoxicação.

Exercício 6. A densidade média da água do mar é $1,03 \text{ g/cm}^3$. A que profundidade a pressão atinge 100 atmosferas? Resp.: 994m

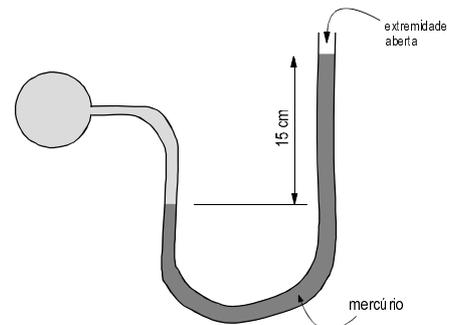
VASOS COMUNICANTES

O PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES

A pressão exercida sobre os pontos de um fluido em repouso é constante sobre uma mesma horizontal.

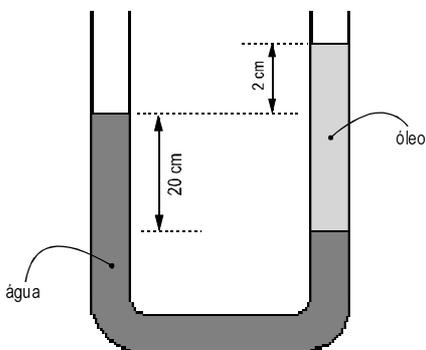


$$\begin{aligned}
 p_1 &= p_2 \\
 p_3 &= p_4 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$



Exercício 7. (MANÔMETRO) Qual a pressão exercida pelo gás que está confinado no balão?

Resp.: 910mmHg ou 1,20 atm



Exercício 8. A diferença de nível é de 2cm. Qual a densidade do óleo utilizado?

Resp.: $0,91 \text{ g/cm}^3$

Exercício 9)⁴ Uma caixa d'água de $(1,2 \times 0,5) \text{ m}$ e altura de 1m pesa 540 Kg.

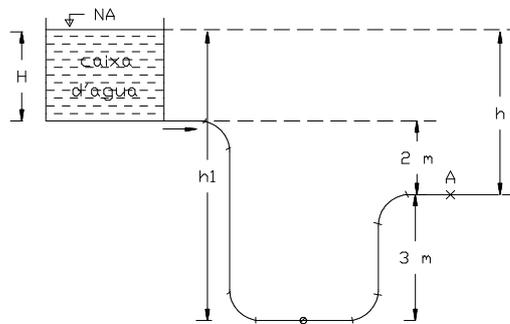
Calcule a pressão manométrica, em psi, que ela exerce sobre o solo: a) vazia b) cheia

Resp.: (a) 1,28psi (b) 2,70psi

Exercício 10)⁴ A pressão da água numa torneira fechada (A) é de $2,8 \text{ N/cm}^2$. Se a diferença de nível entre (A) e o fundo da caixa é de 2m, Calcular:

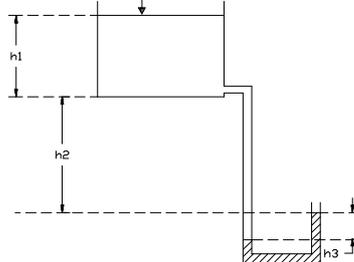
- a) a altura da água (H) na caixa
b) a pressão no ponto (B), situado 3 m abaixo de (A)

Resp.: (a) 86cm (b) $5,7 \text{ N/cm}^2$



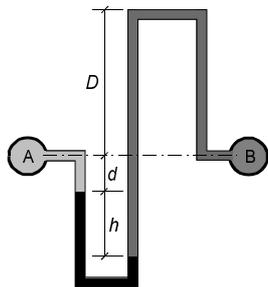
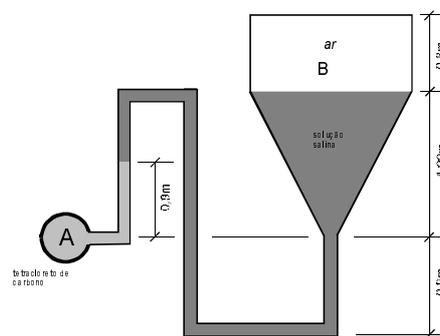
Exercício 11)⁴ Um manômetro diferencial de mercúrio é utilizado como indicador do nível de uma caixa d'água, conforme ilustra a figura ao lado. Qual o nível da água na caixa (h_1) sabendo-se que $h_2 = 15 \text{ m}$ e $h_3 = 1,3 \text{ m}$?

Resp.: (a) 1,4m



Exercício 12)⁵ O tubo A da figura contém tetracloreto de carbono (densidade = 1,60) e o tanque B contém uma solução salina (densidade = 1,15). Determine a pressão do ar no tanque B se a pressão no tubo A é de 1,72 bar. Resp.: 1,54 bar

(bar = 10^5 Pa ; use $9,8 \text{ m/s}^2$ para a aceleração da gravidade)



Exercício 13)⁵ Na figura, o manômetro de mercúrio indica uma leitura diferencial $h = 12 \text{ cm}$ quando a pressão no tubo B é de 500 mmHg . O tubo A contém água e o tubo B contém óleo (densidade relativa = 0,92). Se $d = 6 \text{ cm}$ e $D = 20 \text{ cm}$, qual a pressão no tubo A? Resp.: 388 mmHg

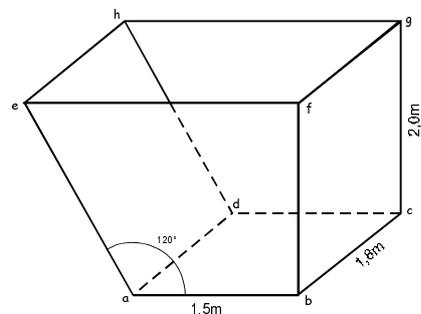
($1 \text{ mmHg} = 133,3 \text{ Pa}$; use $9,8 \text{ m/s}^2$ para a aceleração da gravidade)

Exercício 14)⁴ Uma superfície vertical quadrada com 1.80m de lado tem aresta horizontal superior à flor d'água. A que profundidade se deve traçar uma linha horizontal, que a divida em duas partes sujeitas à mesma força de pressão? Resp.: 93,6cm, considerando pressão absoluta; 1,273m, considerando pressão hidrostática

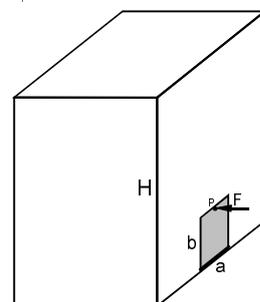
Exercício 15) A caçamba ao lado está cheia de água. Calcule a força hidrostática sobre:

- (a) O fundo da caçamba **abcd**
(b) A parede direita **bcfg**
(c) A parede inclinada **adhe**

Resp.: (a) $5,3 \times 10^4 \text{ N} \cong 5,4 \text{ Ton}$
(b) $3,5 \times 10^4 \text{ N} \cong 3,6 \text{ Ton}$
(c) $4,1 \times 10^4 \text{ N} \cong 4,2 \text{ Ton}$

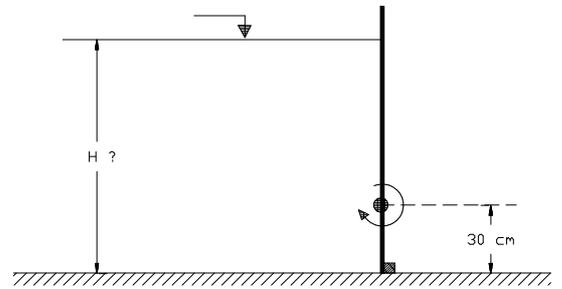


Exercício 16) Uma caixa de água com profundidade $H = 2,5 \text{ m}$ é equipada com uma portinhola vedada, de dimensões $a = 30 \text{ cm}$ e $b = 45 \text{ cm}$, que abre com uma dobradiça em a . Estime a força F , perpendicular à parede, que deve ser feita no ponto P , de modo a manter a portinhola fechada quando a caixa estiver completamente cheia. Use $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Resp.: $1,5 \text{ kN}$ ($\cong 150 \text{ kg}$)



Exercício 17)⁴ Determinar a altura da lâmina d'água (H) para que a comporta automática se abra, sabendo-se que a altura da articulação em relação ao solo é de 30 cm.

Resp.: 90cm

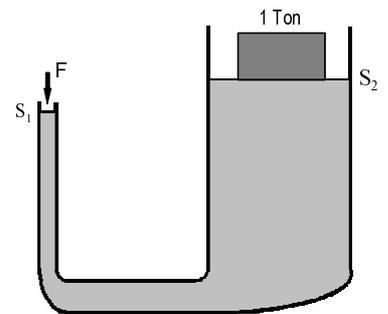


O PRINCÍPIO DE PASCAL

Um líquido em equilíbrio transmite integralmente acréscimos de pressão a todos os seus pontos.

Exercício 18. (elevador hidráulico) Se a área do êmbolo S_1 é 5 cm^2 e da plataforma S_2 é 6 m^2 , qual a força mínima que deve ser exercida no êmbolo de modo a erguer o carro de 1 Ton ?

Resp.: 83g (correspondente a 0,82N)



EMPUXO E O PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Um corpo mergulhado em um líquido fica sujeito a uma força de baixo para cima (contrária à gravidade), chamada *empuxo*.

O empuxo é igual ao peso do líquido que foi deslocado pelo corpo.

Seja

- V o volume total do corpo
- V_s o volume do corpo que fica submerso
- ρ a densidade do corpo
- ρ_{liq} a densidade do líquido

A força de empuxo é dada por $E = \rho_{liq} g V_s$, onde g é a aceleração da gravidade.

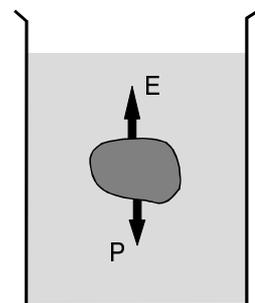
Um corpo maciço vai flutuar se $\rho < \rho_l$, e vai afundar se $\rho > \rho_l$

Se o corpo for oco, ele pode flutuar mesmo que a densidade do material de que é feito seja maior do que a densidade do líquido (por isso navios flutuam!).

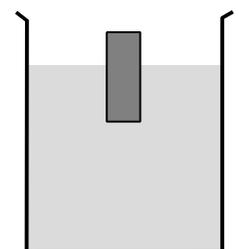
OBS.: O peso de um corpo de massa m é dado por $P = mg$, onde g é a aceleração da gravidade. Próximo à superfície da Terra, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. Em unidades SI, a massa é dada em quilogramas (kg) e o peso em Newtons (N).

Exercício 19. Um pino maciço de madeira (densidade 680 kg/m^3), de altura 6cm, flutua sobre a água na posição vertical. Qual o comprimento do pino que fica submerso?

Resp.: 4,1 cm



P = peso do corpo
E = empuxo



Exercício 20. Uma lata de altura externa 15cm e diâmetro externo 10cm é feita de latão (densidade $8,6 \text{ g/cm}^3$) com espessura de 2mm. Ela é posta a flutuar sobre a água. Qual a altura que fica submersa? Resp.: 11,7cm

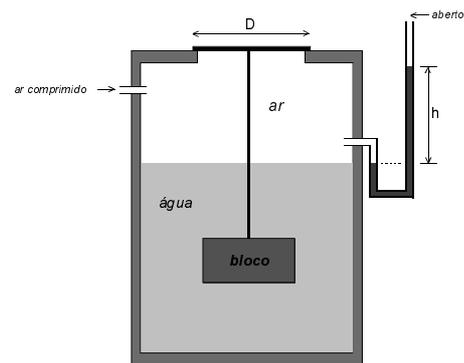
Exercício 21) (a) Uma esfera oca de plástico de diâmetro externo 20cm e espessura 1cm flutua na água. 2/3 do seu volume fica submerso. Qual a densidade do plástico? *Resp.: 2,5 g/cm³.*

(b) Qual deveria ser a espessura dessa esfera para que metade de seu volume ficasse submerso?

Resp.: 7,2mm

Exercício 22)⁵ Uma placa com peso desprezível fecha um furo de diâmetro D localizado na superfície superior de um tanque que contém ar e água. Um bloco de concreto (densidade 2,41) com volume de 50 litros está suspenso na placa e permanece completamente imerso na água. Ar comprimido é injetado no tanque. Qual o valor de D para que a placa comece a levantar do furo quando a leitura h do manômetro de mercúrio for 120mm? *Resp.: 235 mm*

(1mmHg = 133,3Pa ; use 9,8m/s² para a aceleração da gravidade)



FLUIDOS NEWTONIANOS - VISCOSIDADE

Exercício 23) Um cubo sólido, com 25cm de lado e massa 84kg desliza livremente sobre um plano inclinado liso, lubrificado com óleo de viscosidade 0,78N.s/m². Se a velocidade terminal do bloco é 60cm/s, estime a espessura do filme de óleo entre o bloco e o plano. A inclinação do plano é de 15° com a horizontal. *(use 9,8m/s² para a aceleração da gravidade)* *Resp.: 137 μm*

Exercício 24) Estime a força necessária para fazer com que o bloco da questão anterior suba o plano com velocidade constante de 20cm/s. A força é aplicada no bloco, paralela à superfície de contato. Suponha que a espessura do filme de óleo seja a mesma (137 μm). *Resp.: 284N*

O NÚMERO DE REYNOLDS

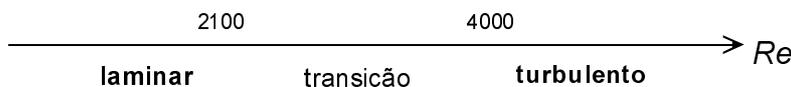
Para escoamento em dutos, $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$

ρ = densidade do fluido

V = velocidade média do escoamento

D = diâmetro do tubo

μ = viscosidade do fluido



Exercício 25) A 20°C, o leite tem viscosidade 3,6cps e densidade 1,02. Calcule o tempo mínimo para encher uma jarra com 620ml de leite através de um canudo de diâmetro 3mm, mantendo o escoamento laminar. Suponha que o valor crítico para o número de Reynolds é 2100. *Resp.: 36 segundos*

Dados: $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$; $\rho = 0,1N.s/m^2$

Exercício 26) A 20°C, a gasolina tem viscosidade 0,6cps e densidade 0,72. Em 4 minutos, uma mangueira de diâmetro 1,5cm enche um tanque de 45 litros inicialmente vazio. Qual a velocidade da gasolina e o número de Reynolds na mangueira? *Resp.: 1,1m/s e ≈ 19000*

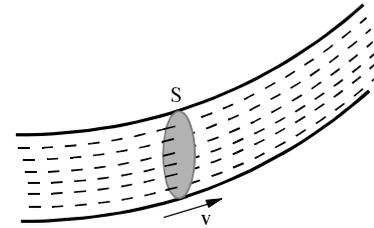
ESCOAMENTOS SIMPLES

Vazão volumétrica

ϕ = volume de fluido por segundo que atravessa a área de secção transversal S

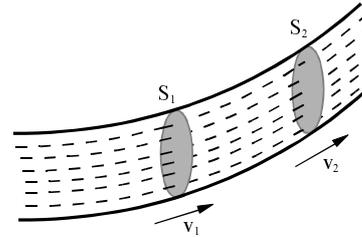
v = velocidade do fluido quando passa por S

$$\phi = S \cdot v$$



Continuidade

Se o fluido for incompressível, $S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2$

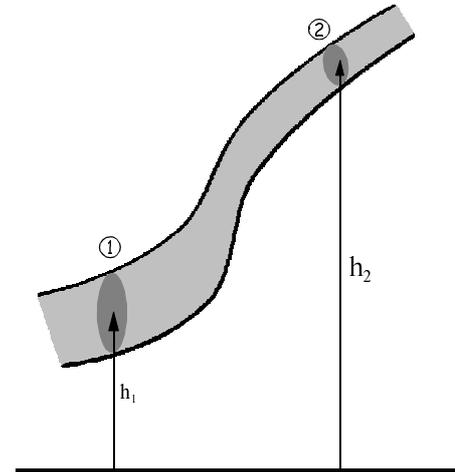


Equação de Bernoulli

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

(válida para escoamento laminar estacionário de fluido não-viscoso e incompressível)

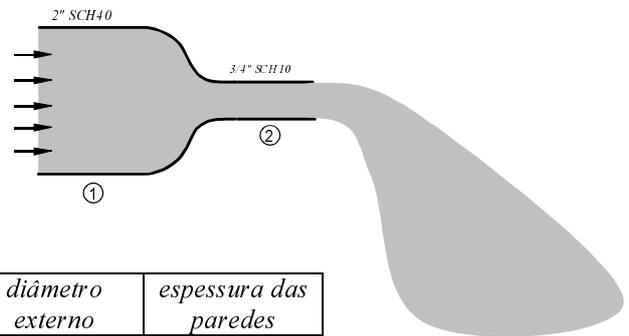
p = pressão local
v = velocidade local
h = altura local do centro de massa
g = aceleração da gravidade
 ρ = densidade do fluido



Exercício 27) Um conduto de 100 mm de diâmetro tem uma descarga de 6 litros/s. Qual a velocidade média de escoamento? *Resp.: 76cm/s*

Exercício 28) O bico da figura verte 9 litros de água em dois minutos.

- (a) Qual a velocidade da água nos trechos 1 e 2?
(b) Qual o tipo de escoamento nos trechos 1 e 2?



Use as propriedades da água a 20°C:
densidade 998,2 kg/m³
viscosidade 1,002×10⁻³ N.s/m²

	diâmetro externo	espessura das paredes
3/4" SCH10	1.05"	0.083"
2" SCH40	2.375"	0.154"

Resp.: (a) 2,9cm/s e 15,9cm/s (b) 1: laminar 2: transição (quase turbulento)

Exercício 29) Dois litros de água por segundo entram pelo cano maior, de diâmetro 15cm, com pressão de 10atm.



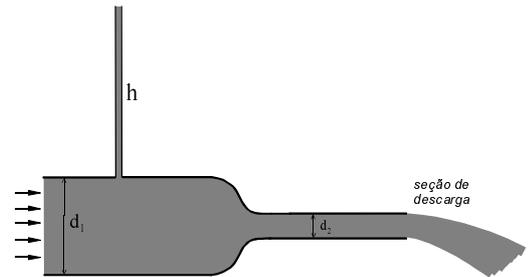
- (a) Calcule a velocidade de entrada da água em metros por segundo
 (b) Calcule com que velocidade e pressão a água passa pelo cano menor, de diâmetro 8cm
 (c) Repita os cálculos para uma vazão de entrada de 40 litros por segundo a 1atmosfera

(respostas com três significativos)
 Despreze a perda de carga

Resp.: (a) 0,113 m/s (b) 0,398m/s e 10,0 atm (c) 2,26m/s 7,96m/s 0,713atm

Exercício 30) Água escoar em regime permanente na tubulação mostrada, onde $d_1 = 32,4\text{mm}$ e $d_2 = 20,5\text{mm}$. Se a vazão é de meio litro por segundo, qual é a altura h da coluna de água no tubo vertical? use $9,8\text{m/s}^2$ para a aceleração da gravidade

Resp.: 98 mm



Exercício 31) (Young & Freedman) A água entra em uma casa através de um cano com diâmetro interno de 2,0cm com uma pressão absoluta igual a $4,0 \times 10^5$ Pa (cerca de 4atm). Um cano com diâmetro interno de 1,0cm se liga ao banheiro do segundo andar a 5,0m de altura. Sabendo que no tubo de entrada a velocidade é igual a 1,5m/s, ache a velocidade de escoamento, a pressão e a vazão volumétrica no banheiro em litros por segundo. Respostas com dois significativos. Despreze a perda de carga.

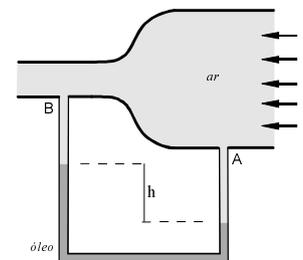
Resp.: 6m/s ; $3,3 \times 10^5$ Pa ; 0,47 litros/segundo

Exercício 32) No medidor Venturi da figura, o desnível h é de 12cm. Os diâmetros são de 15cm e 8cm. Estime a velocidade com que o ar entra por A, supondo que o fluxo é laminar.

Dados: $\rho_{\text{oleo}} = 0,96 \text{ g/cm}^3$; $\rho_{\text{ar}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$. Use $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Despreze a compressibilidade do ar.

Resp.: 13m/s



REFERÊNCIAS

1. Young, H.D. e Freedman, R.A. *Física II*, Addison Wesley, 2003
2. Keller, J.K.; Gettys, W.E. e Skove, M.J. *Física*, Vol.1, Makron, 1997
3. Ramalho Jr., F.; Ferraro, N.G. e Toledo Soares, P.A. *Física 1*, Ed. Moderna, 1993
4. Duarte, S.N.; Botrel, T.A. e Furlan, R.A., *Exercícios de Hidráulica*, ESALQ, 1966, <http://docentes.esalq.usp.br/tabotrel/>
5. Young, D.F., Munson, B.R. e Okiishi, T.H. "Uma Introdução Concisa à Mecânica dos Fluidos". Edgard Blücher, 2005