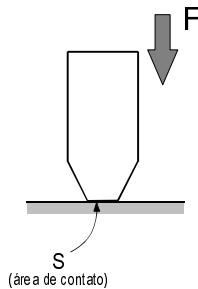


**2ª SÉRIE DE EXERCÍCIOS**

Hidrostática  
Hidrodinâmica

**PRESSÃO – DEFINIÇÃO E UNIDADES**



$$P = \frac{F}{S} \quad \frac{\text{força}}{\text{área}}$$

**UNIDADES:**

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

1 bar =  $10^5$  Pa

1 psi = 1 libra/pol<sup>2</sup> = 6895 Pa

1 atm =  $1,013 \times 10^5$  Pa = 1,013 bar = 14,7 lb/pol<sup>2</sup>

1 mmHg = 1 torr = 133,3 Pa

1 atm = 760 mmHg

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

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

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

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

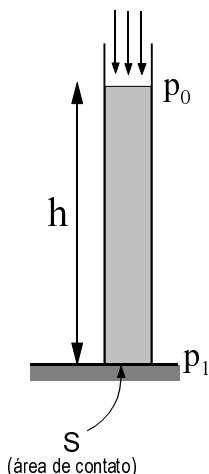
**Exercício 3.** A pressão manométrica de vapor no interior de uma panela de pressão deve ser estabilizada em 0,8atm. Calcule a massa do pino da válvula de alívio, que se apoia sobre uma abertura de diâmetro interno 3mm. Use  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ .

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

$\rho$  = densidade do líquido

$$p_1 = p_0 + \rho gh \quad (\text{lei de Stevin})$$

$g$  = 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.

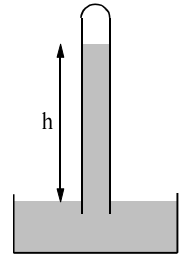
No caso de colunas de líquido, a pressão manométrica é também chamada de pressão hidrostática.

A pressão hidrostática na base de uma coluna de líquido de altura  $h$  é igual a  $\rho gh$ .

**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

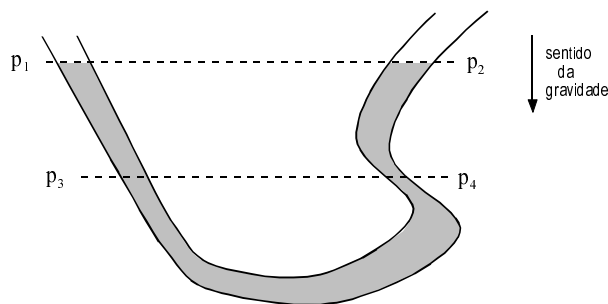
OBS.: Torricelli utilizou o mercúrio nesse experimento porque (1) a densidade do mercúrio é alta, e assim a altura de equilíbrio não é muito grande, e (2) a pressão de vapor do mercúrio é muito pequena; se fosse utilizado um líquido comum, o espaço vazio no topo do tubo seria preenchido com vapor. O 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

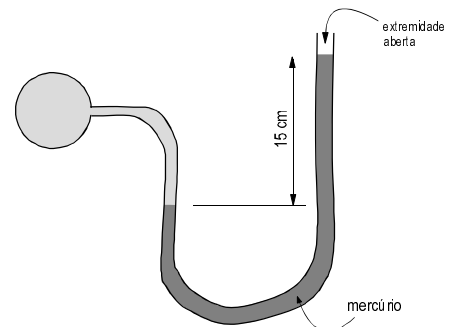
## VASOS COMUNICANTES

### O PRINCÍPIO DOS VASOS COMUNICANTES

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

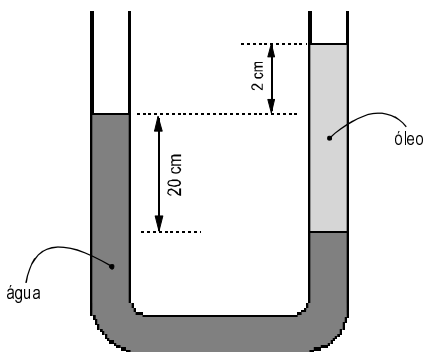


$$\begin{aligned}
 p_1 &= p_2 \\
 p_3 &= p_4 \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 &\vdots
 \end{aligned}$$



**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)**<sup>4</sup> 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

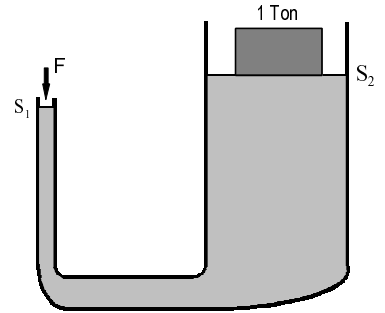
Resp.: (a) 1,28psi (b) 2,70psi

## O PRINCÍPIO DE PASCAL

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

**Exercício 10.** (elevador hidráulico) Se a área do êmbolo  $S_1$  é  $5 \text{ cm}^2$  e da plataforma  $S_2$  é  $6 \text{ m}^2$ , 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
- $\rho$  a densidade do corpo
- $\rho_{liq}$  a densidade do líquido

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

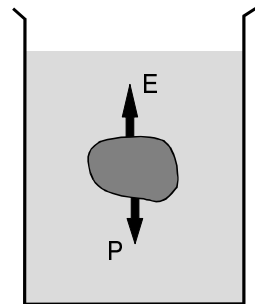
Um corpo maciço vai flutuar se  $\rho < \rho_l$ , e vai afundar se  $\rho > \rho_l$

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).

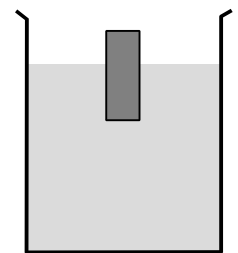
**Exercício 11.** Um pino maciço de madeira (densidade  $680 \text{ kg/m}^3$ ), de altura 6cm, flutua sobre a água na posição vertical. Qual o comprimento do pino que fica submerso?

*Resp.: 4,1 cm*



**P** = peso do corpo  
**E** = empuxo

**Exercício 12.** 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 13)** (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.:  $2,5 \text{ g/cm}^3$ .*

(b) Qual deveria ser a espessura dessa esfera para que metade de seu volume ficasse submerso?  
*Resp.: 7,2mm*

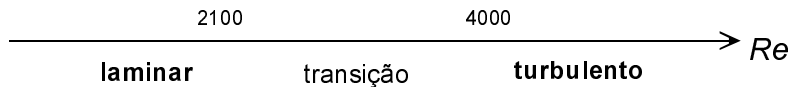
## FLUIDOS NEWTONIANOS - VISCOSIDADE

**Exercício 14)** Um cubo sólido, com 25cm de lado e massa 84kg desliza livremente sobre um plano inclinado liso, lubrificado com óleo de viscosidade  $0,78\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ . Se a velocidade terminal do bloco é  $60\text{cm}/\text{s}$ , estime a espessura do filme de óleo entre o bloco e o plano. A inclinação do plano é de  $15^\circ$  com a horizontal. (use  $9,8\text{m}/\text{s}^2$  para a aceleração da gravidade) Resp.:  $137\mu\text{m}$

**Exercício 15)** Estime a força necessária para fazer com que o bloco da questão anterior suba o plano com velocidade constante de  $20\text{cm}/\text{s}$ . A força é aplicada no bloco, paralela à superfície de contato. Suponha que a espessura do filme de óleo seja a mesma ( $137\mu\text{m}$ ). Resp.:  $284\text{N}$

## O NÚMERO DE REYNOLDS

Para escoamento em dutos,  $Re = \frac{\rho V D}{\mu}$  
 $\left\{ \begin{array}{l} \rho = \text{densidade do fluido} \\ V = \text{velocidade média do escoamento} \\ D = \text{diâmetro do tubo} \\ \mu = \text{viscosidade do fluido} \end{array} \right.$



**Exercício 16)** A  $20^\circ\text{C}$ , o leite tem viscosidade  $3,6\text{cps}$  e densidade  $1,02$ . Calcule o tempo mínimo para encher uma jarra com  $620\text{ml}$  de leite através de um canudo de diâmetro  $3\text{mm}$ , mantendo o escoamento laminar. Suponha que o valor crítico para o número de Reynolds é  $2100$ . Resp.:  $36\text{segundos}$

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

**Exercício 17)** A  $20^\circ\text{C}$ , a gasolina tem viscosidade  $0,6\text{cps}$  e densidade  $0,72$ . Em  $4$  minutos, uma mangueira de diâmetro  $1,5\text{cm}$  enche um tanque de  $45$  litros inicialmente vazio. Qual a velocidade da gasolina e o número de Reynolds na mangueira? Resp.:  $1,1\text{m}/\text{s}$  e  $\approx 19000$

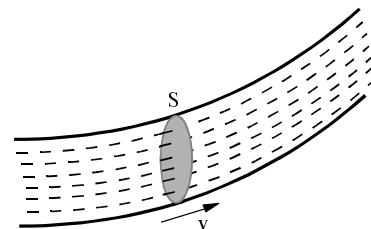
## ESCOAMENTOS SIMPLES

### Vazão volumétrica

$\phi$  = volume de fluido por segundo que atravessa a área de secção transversal  $S$

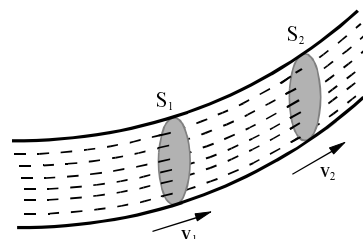
$v$  = velocidade do fluido quando passa por  $S$

$$\phi = S \cdot v$$



### Continuidade

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

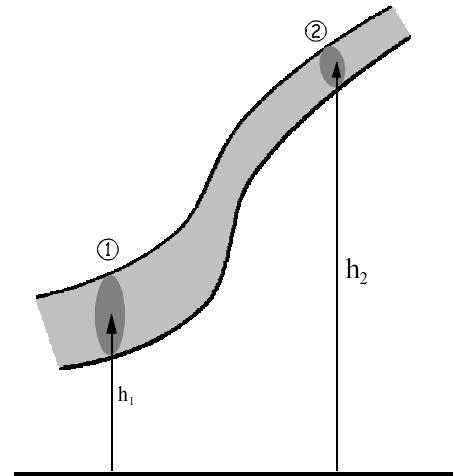


## Equação de Bernoulli

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

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

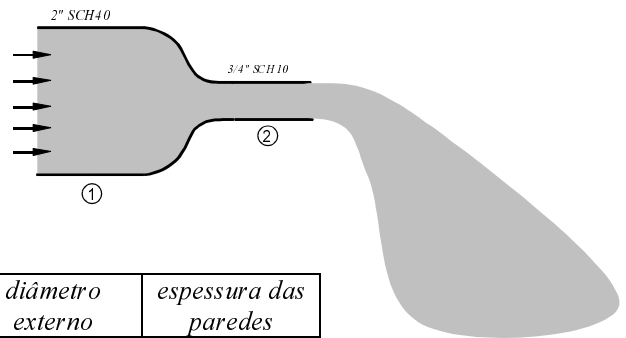
$p$  = pressão local  
 $v$  = velocidade local  
 $h$  = altura local do centro de massa  
 $g$  = aceleração da gravidade  
 $\rho$  = densidade do fluido



**Exercício 18)** Um conduto de 100 mm de diâmetro tem uma descarga de 6 litros/s. Qual a velocidade média de escoamento? *Resp.: 76cm/s*

**Exercício 19)** 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/m<sup>3</sup>  
 viscosidade 1,002×10<sup>-3</sup> N.s/m<sup>2</sup>

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



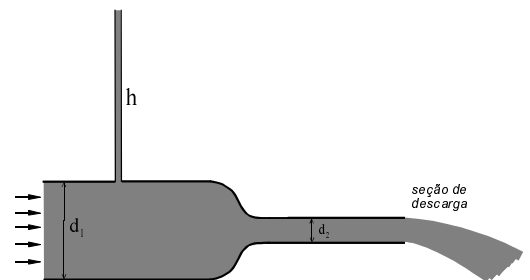
- (a) Calcule a velocidade de entrada da água em metros por segundo  
 (b) Calcule com que velocidade e pressão a água passa pelo cano menor, de diâmetro 8cm  
 (c) Repita os cálculos para uma vazão de entrada de 40 litros por segundo a 1atmosfera

*(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 21)** Água escoam 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 9,8m/s<sup>2</sup> para a aceleração da gravidade*

*Resp.: 98 mm*

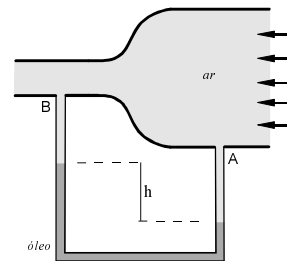


**Exercício 22)** No medidor Venturi da figura, o desnível  $h$  é de 12cm. Os diâmetros são de 15cm e 8cm. Estime a velocidade com que o ar entra por A, supondo que o fluxo é laminar.

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

---

© 2006-12 Mauricio Fabbri  
MCT/INPE: <http://www.las.inpe.br/~fabbri>  
Universidade São Francisco – USF  
Itatiba/Campinas – <http://www.saofrancisco.edu.br>  
São Paulo - Brazil  
Permitido uso livre para fins educacionais,  
sem ônus, desde que seja citada a fonte.