

Hidrostática

Estudaremos neste capítulo as interações macroscópicas que os fluidos, ou seja, gases e líquidos fazem entre si e os sólidos ao redor, submersos ou parcialmente submersos.

Conceitos necessários:

- ❖ Força;
- ❖ Área;
- ❖ Densidade;
- ❖ Massa específica;
- ❖ Pressão exercida por um fluido;
- ❖ Pressão Atmosférica;
- ❖ Volume de um corpo;

Pressão (P) ->[Pascal]: Pressão sobre uma superfície é a relação entre a força exercida (F) e a área (A) onde esta força está sendo aplicada.

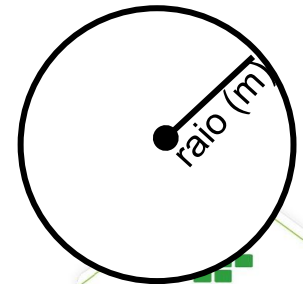
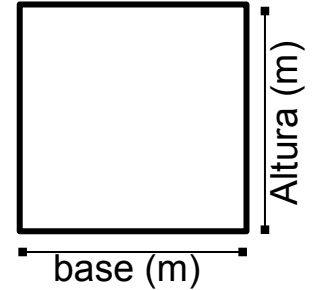
$$P = \frac{F}{A} \quad \frac{F}{A} \rightarrow \frac{N}{m^2} \rightarrow Pascal$$

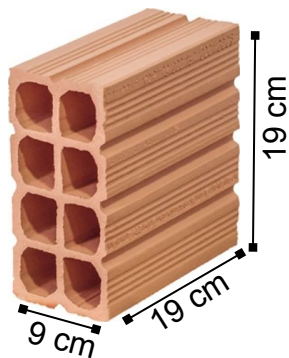
Força (F): $F_r = m \cdot a \rightarrow P = m \cdot g \rightarrow N$

Área (A): Depende do formato do objeto/corpo que está exercendo a força.

Exemplo: área do quadrado $A = b \cdot h$ (base (m) x altura (m)) $\rightarrow m^2$;

área do círculo $A = \pi \cdot r^2$ (Pi . [raio (m)]²) $\rightarrow m^2$

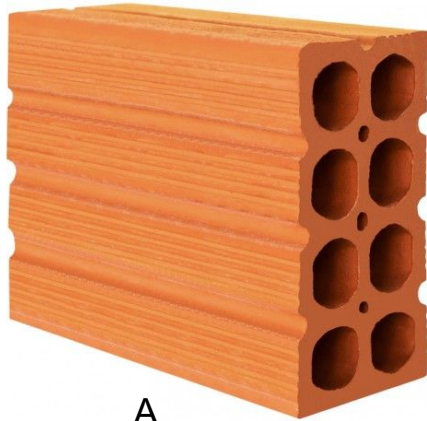




Observe o tijolo ao lado, quantas faces (lados) ele possui?
Todas as suas faces apresentam a mesma área?
Quais as maiores faces?
Quais as menores?

[Vamos calcular!](#)

Voltando a pressão, será que a forma com que colocamos o tijolo sobre uma mesa altera a pressão exercida pelo tijolo?



A



B



C

Massa Específica (μ) -> [Kg/m³]: É a quantidade de matéria por unidade de volume que uma determinada substância possui, em outras palavras, é a quantidade de massa que um determinado volume da substância tem.

$$\mu = \frac{m(kg)}{V(m^3)}$$

<i>Material</i>	<i>Massa específica (kg/m³)</i>
<i>Vácuo de laboratório</i>	<i>10⁻¹⁷</i>
<i>Ar a 20°C e pressão de 1 atm</i>	<i>1,21</i>
<i>Ar a 20°C e pressão de 50 atm</i>	<i>60,5</i>
<i>Alcool etílico</i>	<i>0,81.10³</i>
<i>Água</i>	<i>1.10³</i>
<i>Água do mar</i>	<i>1,03.10³</i>
<i>Sangue</i>	<i>1,06.10³</i>
<i>Concreto</i>	<i>2.10³</i>
<i>Alumínio</i>	<i>2,7.10³</i>
<i>Planeta Terra (média)</i>	<i>5,5.10³</i>
<i>Mercúrio (metal)</i>	<i>13,6.10³</i>
<i>Ouro</i>	<i>19,3.10³</i>
<i>Ósmio</i>	<i>22,5.10³</i>
<i>Buraco negro</i>	<i>1.10¹⁹</i>

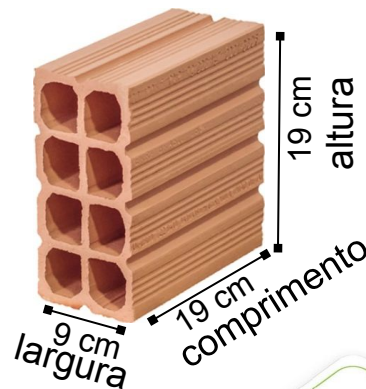
Densidade (d ou ρ) -> [Kg/m³]: É a quantidade de matéria por unidade de volume que um determinado corpo possui, em outras palavras, é a quantidade de massa que um determinado volume de um corpo.

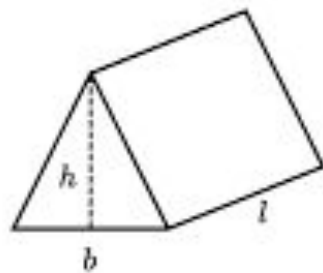
$$d = \frac{m(kg)}{V(m^3)}$$

Mas o que é volume?

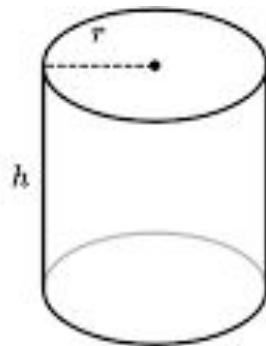
Vivemos em um mundo que tem três dimensões espaciais, altura, largura e comprimento, logo volume é o quanto de espaço um corpo ocupa, segundo as três dimensões espaciais.

Obs: o tijolo contém buracos que contam como volume dele, isso também quer dizer que a densidade está relacionada com corpos que podem conter mais de um tipo de substância em sua constituição.

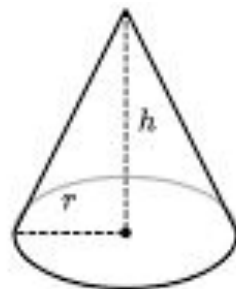




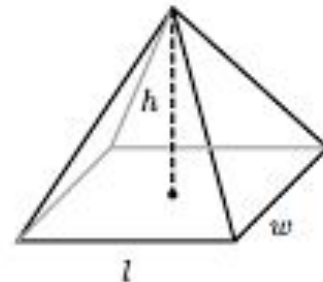
$$V = \frac{b \cdot h \cdot l}{2}$$



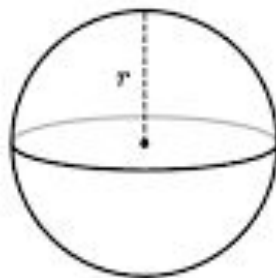
$$V = \pi r^2 h$$



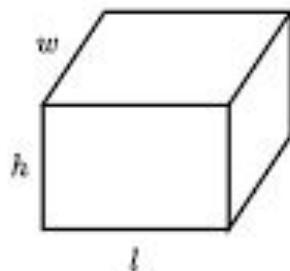
$$V = \frac{\pi r^2 h}{3}$$



$$V = \frac{l \cdot w \cdot h}{3}$$



$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$



$$V = l \cdot w \cdot h$$

Pressão no interior de um fluido – cada porção do fluido está sob ação da gravidade (g) e das forças exercidas pelo restante do fluido.

Equação fundamental da hidrostática (vide figura):

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h$$

isto é, a diferença de pressão entre dois pontos, P_1 e P_2 , depende da diferença de altura dos dois pontos (h) e da densidade do líquido (ρ). Não depende da área.

Variação da pressão com a profundidade (lei de Stevin).

$$P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$$

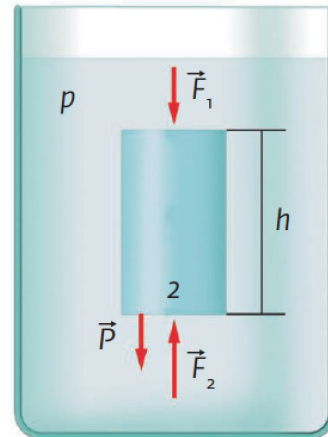


Figura 9.19. A porção cilíndrica mostrada está em equilíbrio sob a ação de seu próprio peso e das forças que o restante do líquido exerce sobre ela.

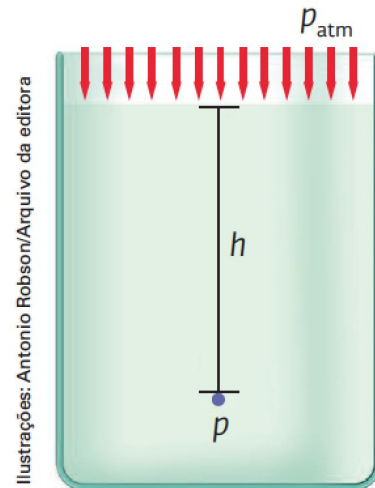


Figura 9.20. A pressão a uma profundidade h é dada por $p = p_{atm} + \rho gh$.

Gráfico da variação da pressão no interior de um líquido.

$$P = P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h$$

P -> Pressão no ponto estudado [Pa -> Pascal];

P_{atm} -> Pressão atmosférica [Pa];

ρ -> Densidade do fluido [kg/m^3];

g -> Aceleração da gravidade [m/s^2];

h -> altura da coluna de líquido acima [m]

Figura 9.22. A pressão no fundo desses recipientes é a mesma, embora eles contenham quantidades diferentes de um mesmo líquido.

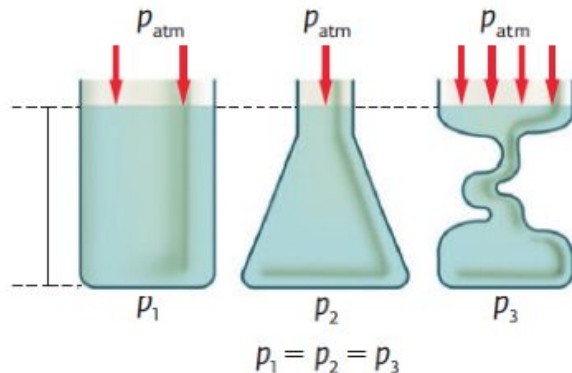
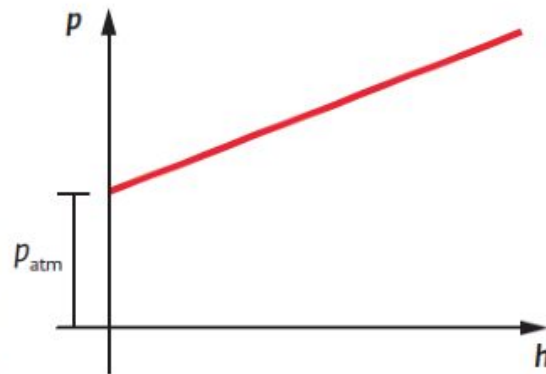


Figura 9.21. Este gráfico mostra como a pressão p no interior de um líquido varia com a profundidade h .

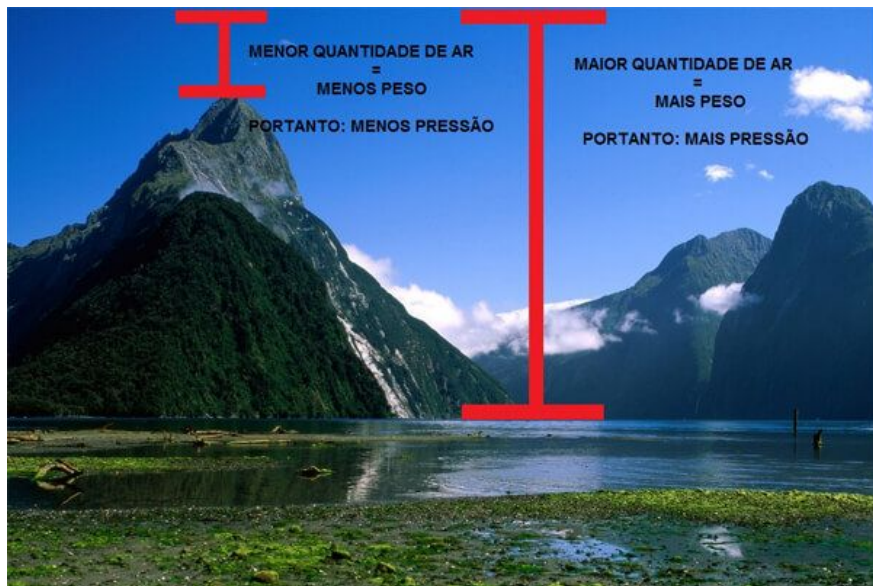


Pressão Atmosférica (P_{atm}) [Pa]

Pressão atmosférica é a pressão que os gases que compõem a atmosfera dos planetas exercem sobre tudo que está em sua superfície.

No caso do planeta terra é a pressão que a atmosfera terrestre exerce sobre tudo aquilo que está em sua superfície e tem valor estimado de 1 atm [uma atmosfera] ao nível do mar, que equivale a:

$$1 \text{ atm} = 1.10^5 \text{ Pa}$$



EM ELEVADAS ALTITUDES
Aqui, a força da gravidade na atmosfera é menos intensa, e as moléculas de ar ficam distantes umas das outras. Portanto, quanto mais o alpinista à direita subir, menor a pressão atmosférica sobre ele e mais rarefeito o ar.

PERTO DA SUPERFÍCIE
Os gases da atmosfera se deformam com a força da gravidade e se concentram, conforme indica o desenho. Quanto mais próximo do nível do mar e do centro da Terra, maior a pressão atmosférica.

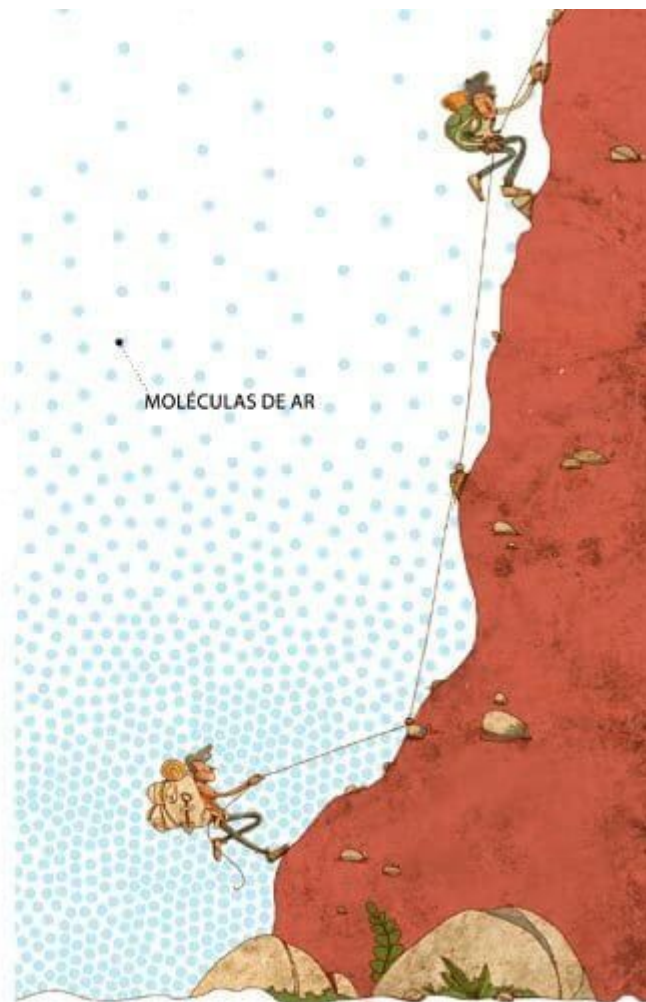
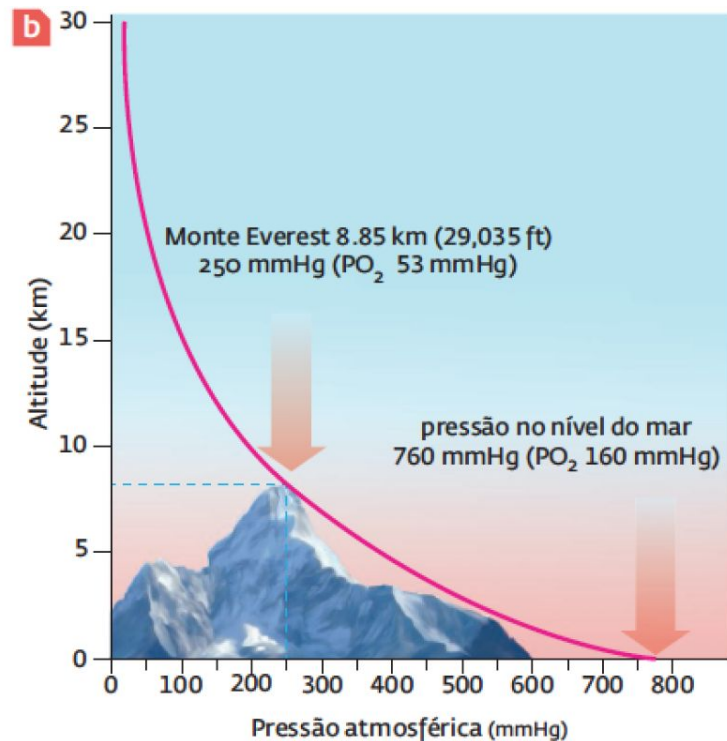
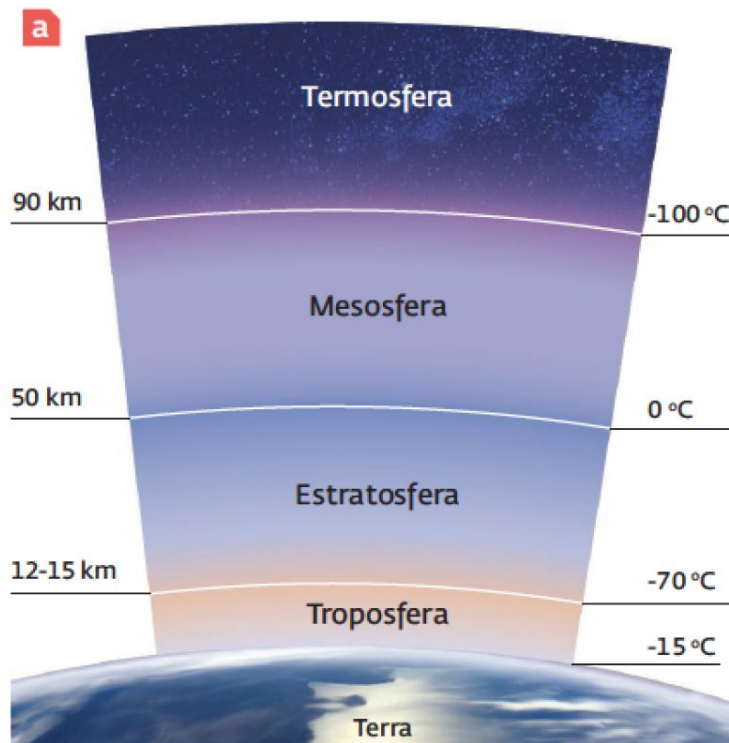
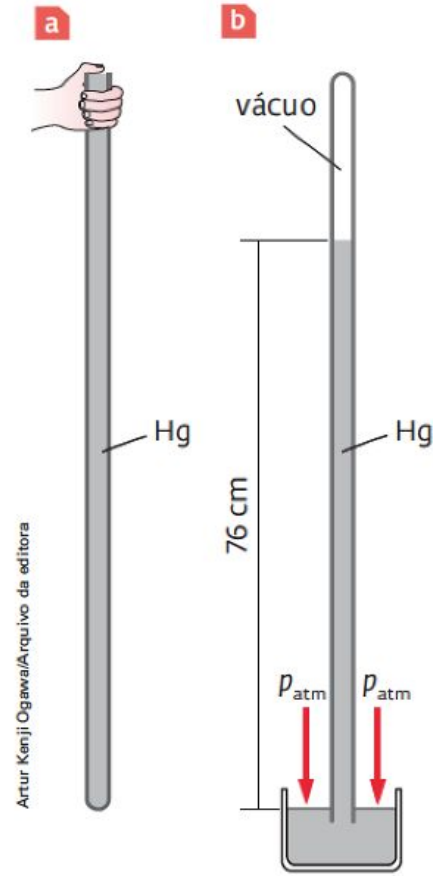


Figura 9.10. (a) A atmosfera é usualmente classificada em cinco camadas, segundo as variações de temperatura e de altitude: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. Representação artística e em cores fantasia. **(b)** Gráfico mostrando que a pressão diminui rapidamente com a altura acima da superfície terrestre.



Tubo completamente preenchido com Hg (a).
Emborcado em uma cuba com Hg (b), o nível do
mercúrio desce até a marca de 76 cm, equilibrando a
pressão atmosférica sobre a superfície do Hg na cuba.
Se o líquido fosse água, em lugar do Hg, a coluna no
tubo teria 10,3 m de altura.



Vasos comunicantes

Recipientes com bases ligadas por meio de um tubo. As pressões em pontos de uma mesma horizontal são iguais.

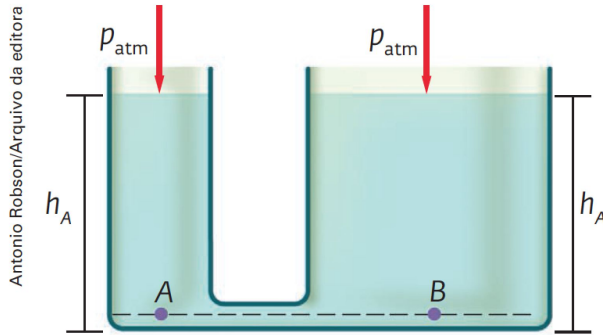


Figura 9.24. Neste sistema de vasos comunicantes, a pressão no ponto A é igual à pressão no ponto B.

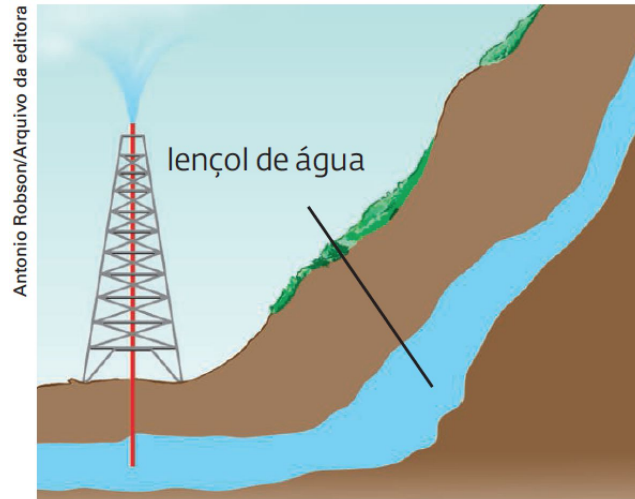


Figura 9.28. Em um lençol de água como o representado na figura, a água jorra do poço artesiano sem que haja necessidade do emprego de bombas.

Exemplo

Princípio de Pascal

O acréscimo de pressão em um ponto de um líquido em equilíbrio transmite-se a todos os pontos do líquido:

$$\Delta P_1 = \Delta P_2$$

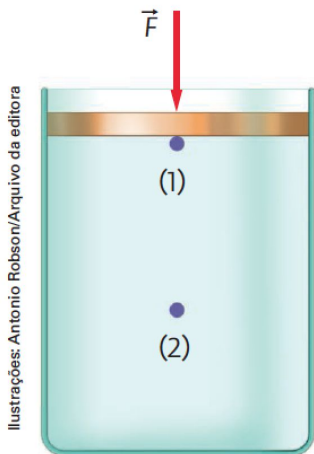


Figura 9.29.

O aumento de pressão no ponto (1) é transmitido integralmente ao ponto (2).

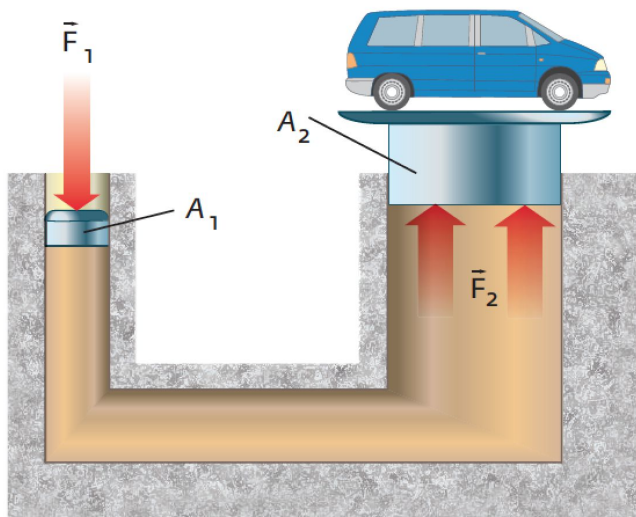


Figura 9.31. O elevador hidráulico costuma ser utilizado em oficinas mecânicas para trocas de óleo e outros serviços. Com esse dispositivo, é possível equilibrar uma grande força por meio de outra muito menor.

O princípio de Pascal nos diz que a mudança de pressão é transmitida integralmente para todos os pontos do fluido, em uma situação de fluido confinado. Desta forma, quando olhamos para a figura 9.31, o elevador hidráulico, podemos perceber que se a pressão se distribui de forma igual, $P_1 = P_2$ e como $P = F/A$, logo:

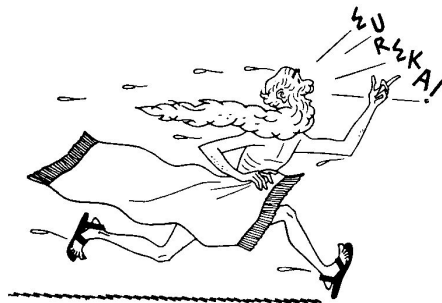
$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

[Exemplo](#)

Empuxo (E) [N]

Empuxo é uma **Força vertical para cima** exercida sobre um objeto imerso em um fluido.

Um líquido exerce pressão em todas as direções sobre um objeto mergulhado. Como a pressão aumenta com a profundidade, as forças exercidas na parte inferior são maiores que na parte superior do objeto, resultando uma força para cima.



Artur Kenji Ogawa/Arquivo da editora

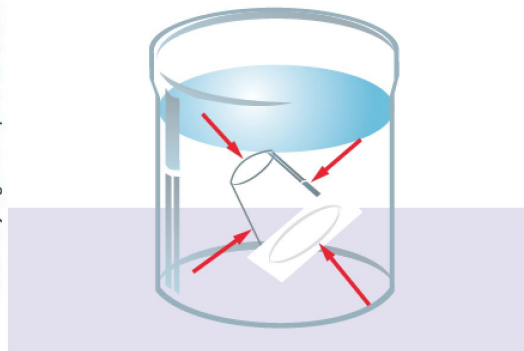
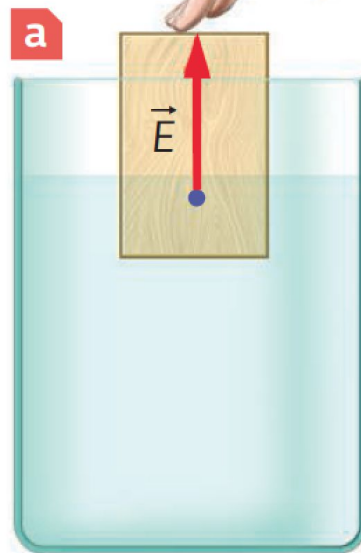


Figura 9.35. Um líquido exerce pressão sobre um objeto nele mergulhado em todas as direções, inclusive de baixo para cima.



Ilustrações: Paulo César Pereira/Arquivo da editora

Empuxo (E) [N]

O valor do empuxo (E) que atua em um objeto mergulhado em um líquido é igual ao peso do líquido deslocado pelo objeto.

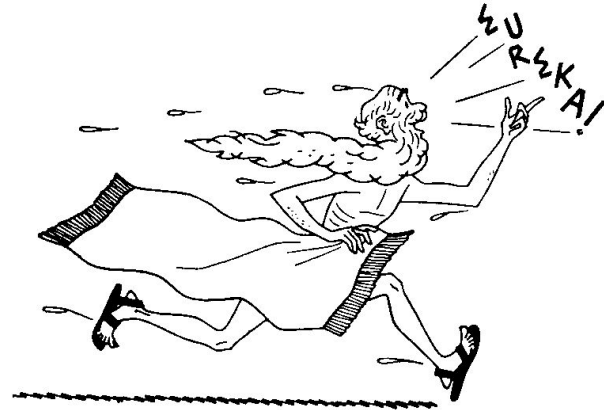
$$E = \rho_{\text{líquido}} \cdot g \cdot V_{\text{líquido deslocado}}$$

E-> empuxo [N];

ρ -> densidade do líquido [kg/m³];

V-> Volume de líquido deslocado pela parte submersa do corpo [m³].

[Exemplo](#)



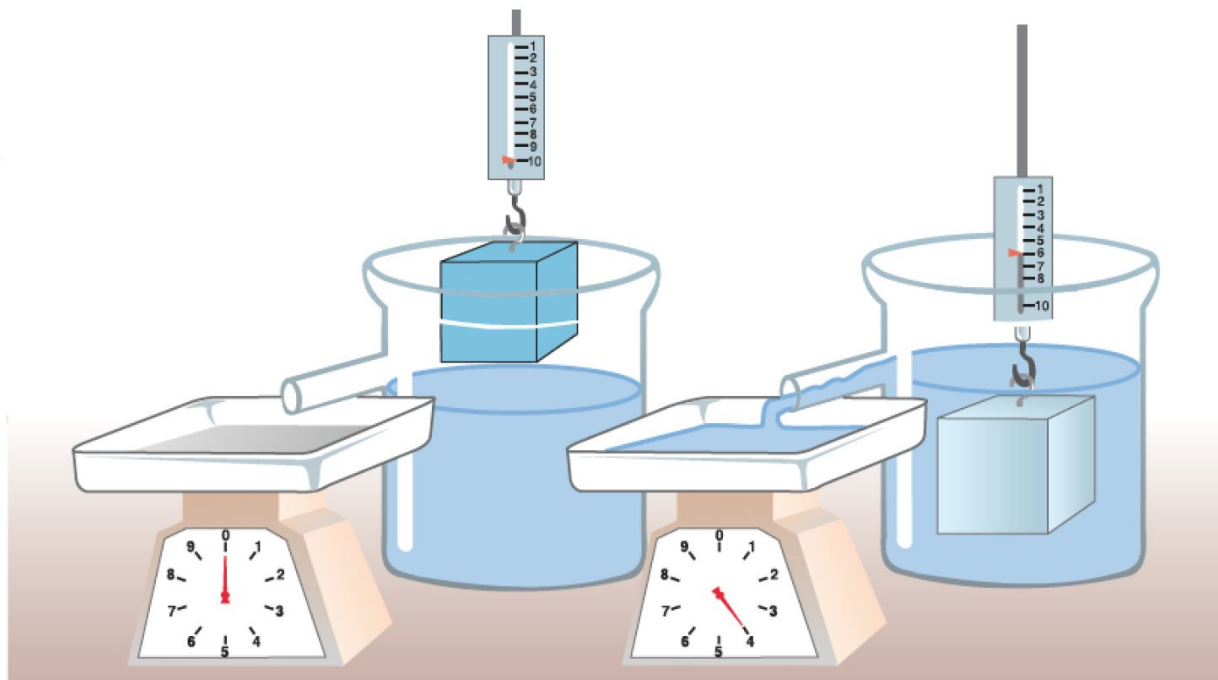


Figura 9.39. O bloco de peso $P = 10 \text{ N}$ (indicado pelo dinamômetro) recebeu um empuxo $E = 10 \text{ N} - 6 \text{ N} = 4 \text{ N}$ ao ser mergulhado no líquido do recipiente. Na escala da balança, vemos que o peso do líquido deslocado pelo bloco também é igual a 4 N . Portanto, essa experiência nos mostra que o valor do empuxo é igual ao peso do líquido deslocado.

Condições de flutuação

$E < mg$ – o objeto tende a afundar.

$E = mg$ – o objeto permanece imerso em equilíbrio.

$E > mg$ – o objeto tende a subir

Paulo César Pereira/Arquivo da editora

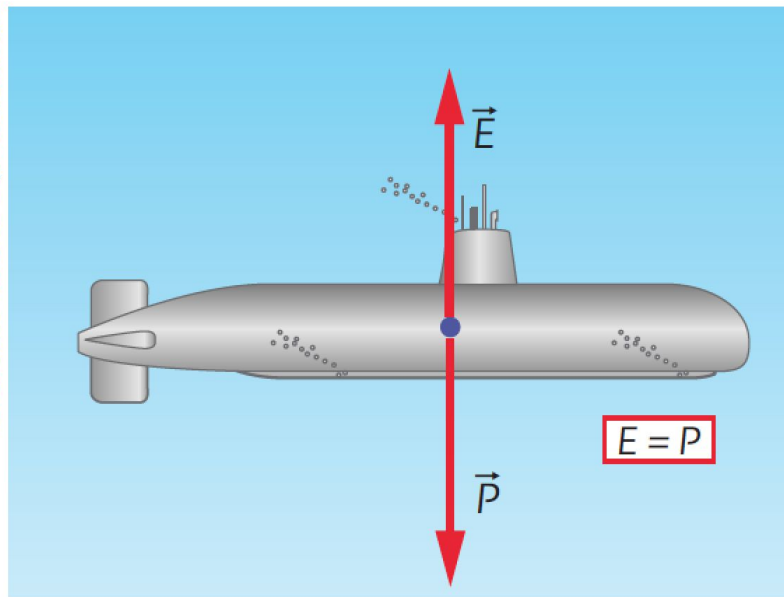


Figura 9.41. Se um objeto está flutuando totalmente mergulhado em um líquido, seu peso é igual ao empuxo que ele está recebendo.

Viscosidade

característica da estrutura molecular das substâncias que tende a dificultar o deslocamento do fluido. Quanto mais alto o coeficiente de viscosidade, maior a resistência ao deslocamento de suas partículas.

Tipos de escoamento: laminar (ou estacionário) e turbulento.

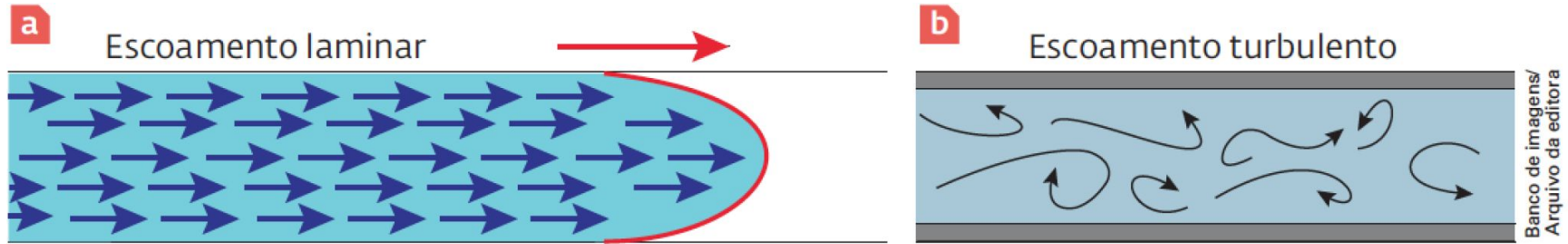


Figura C.5. Se a velocidade de um fluido não for muito grande, ele deverá escoar em regime laminar (a). Entretanto, para velocidades grandes, o fluido pode se mover em regime turbulento, ou seja, pode escoar irregularmente com formação de redemoinhos (b).

Vazão (Z) [m³/s]

Volume de líquido que atravessa uma seção transversal de um tubo por unidade de tempo:

$$Z = \frac{V}{\Delta t} \quad \frac{V}{\Delta t} \rightarrow \frac{m^3}{s}$$

Equação da continuidade – em dois pontos de um tubo com seções transversais distintas, atravessados por um fluido vale a relação: quanto menor a área, maior é a velocidade que o fluido terá!

Desta forma: $A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$

Onde: A_1 e A_2 são as diferentes seções transversais do tubo;
 V_1 é a **velocidade do fluido** que passa na área 1 e V_2 é a **velocidade do fluido** que passa na área 2.

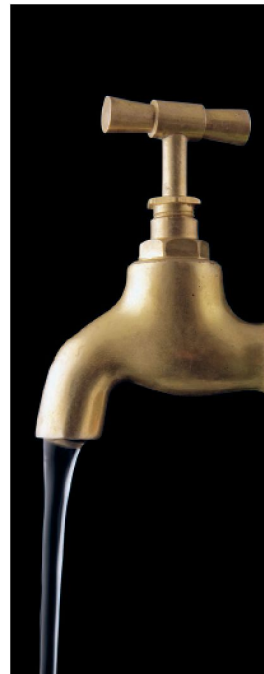


Figura C.7. Escoamento de um filete de água sob ação da gravidade. À medida que avança, o fluxo de água torna-se mais estreito.

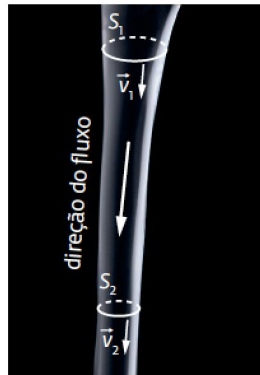


Figura C.8. A velocidade é máxima no centro do tubo, pois a força de atrito tangencial diminui a velocidade do fluido nas paredes do tubo.

Equação de Bernoulli

Para elevar um líquido em um duto de uma altura h é necessário que as forças nele atuantes realizem um trabalho. Esse trabalho das forças F_1 , F_2 e gravitacional é igual à variação da energia cinética do sistema. Daí, chega-se à equação de Bernoulli:

$$P_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} = P_2 + \rho \cdot g \cdot h_2 + \frac{\rho \cdot V_2^2}{2}$$

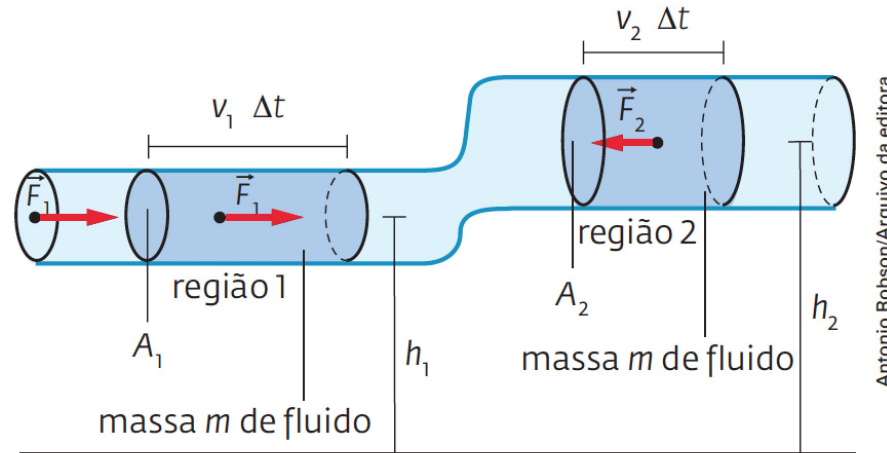


Figura C.10. Representação, sem escala e em cores fantasia, de fluido escoando por um duto que sofre uma elevação.



Daniel Bernoulli
(1700- 1782)

$$p + \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante}$$

p = pressão

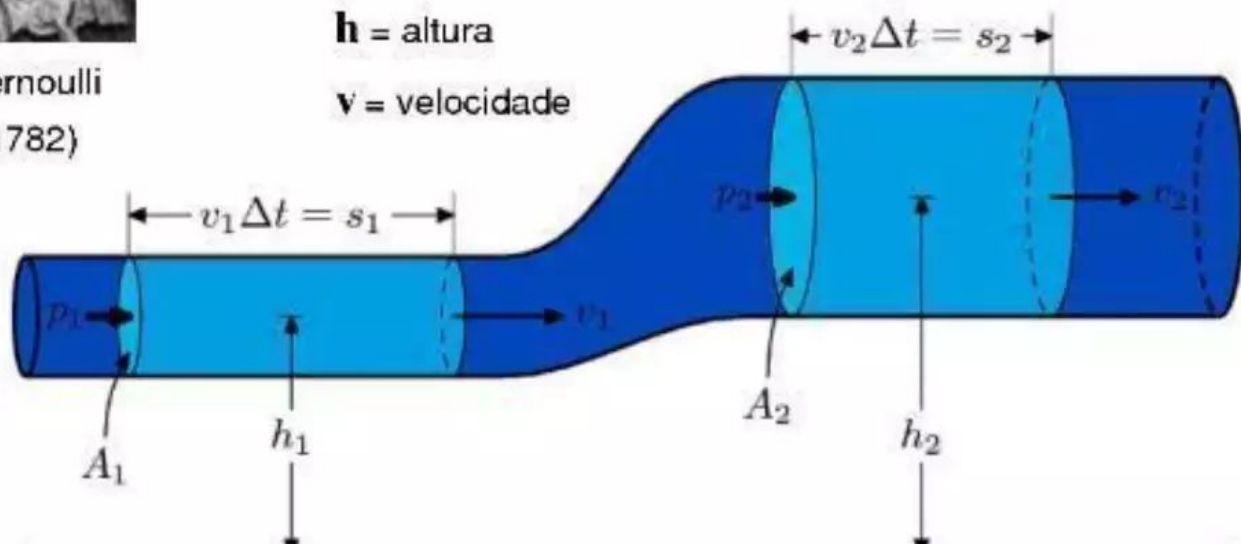
ρ = densidade do fluido

h = altura

v = velocidade

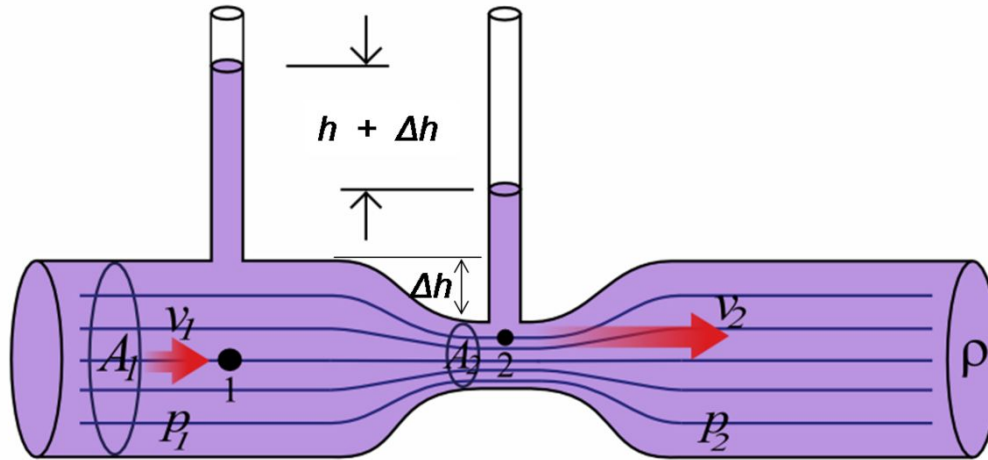
Supondo:

- Fluido incompressível
- Viscosidade nula
- Regime estacionário



Tubo de Venturi

Tubo de Venturi é um equipamento que indica a variação da pressão de um fluido em escoamento em regiões com áreas transversais diferentes. **Onde a área é menor, haverá maior velocidade, assim a pressão será menor.** A recíproca é verdadeira.



$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

$$P_1 + \frac{\rho \cdot V_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho \cdot V_2^2}{2}$$

(Uncisal) Em um laboratório, as substâncias são identificadas no rótulo pelo nome e por algumas propriedades químicas. No intuito de descobrir qual a substância armazenada num frasco no qual o rótulo foi retirado, um estudante aplicado de física propôs um experimento. Foram colocados num sistema constituído por vasos comunicantes o líquido desconhecido e álcool. Como são líquidos imiscíveis, é possível estimar a densidade do líquido medindo a altura das colunas líquidas a partir da superfície de separação desses líquidos. Esses valores são mostrados na figura a seguir. Consultando a tabela com os valores das densidades de alguns líquidos, disponível nesse laboratório, é provável que o líquido desconhecido seja:

Líquidos	Densidade [g/cm ³]
Álcool	0,79
Benzeno	0,90
Água	1,00
Mercúrio	13,60
Hexano	0,66
Nitroglicerina	1,60

