Aula 6

Fluidos – Parte A

Física Aplicada à Farmácia

Prof. Henrique A. M. Faria

Definição de um fluido, Houaiss

adjetivo

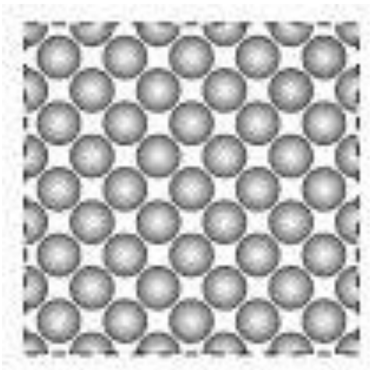
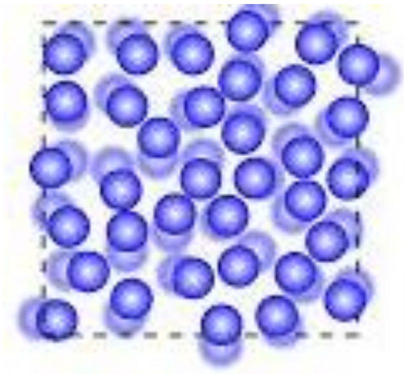
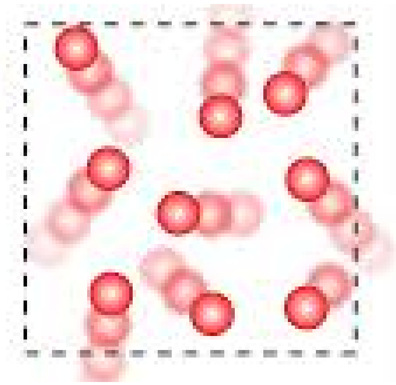
1 que corre ou se expande como líquido.
Ex.: *um óleo f.*

3 que flui facilmente; espontâneo, corrente, fluente.

substantivo masculino (mecânica dos fluidos).

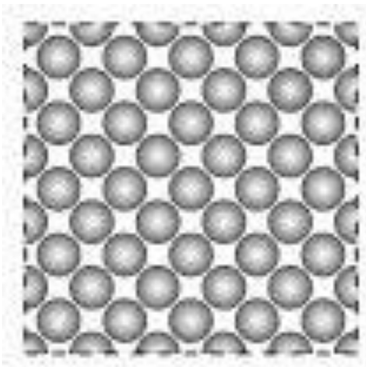
4 qualquer substância capaz de fluir (p.ex., os líquidos e gases) e que não resiste de maneira permanente às mudanças de forma provocadas pela pressão.

Estados da matéria

Sólido	Líquido	Gasoso
		
• Grande Interação • Forma rígida • Difícil compressão	• Interação curto alcance • Forma do recipiente • Difícil compressão	• Pouca interação • Preenche todo volume • Fácil compressão

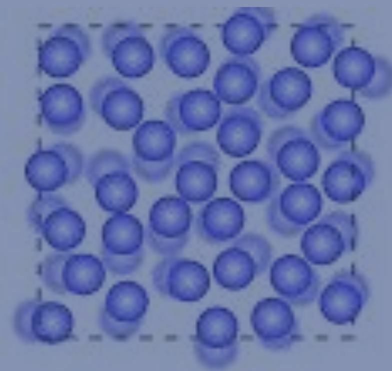
Estados da matéria

Sólido



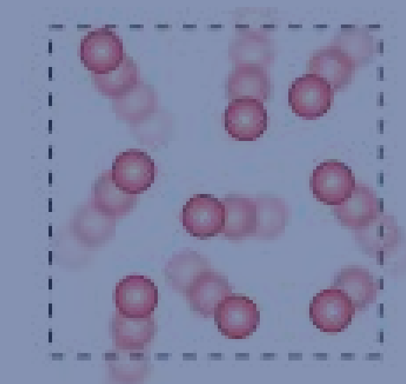
- Grande Interação
- Forma rígida
- Difícil compressão

Líquido



- Interação curto alcance
- Forma do recipiente
- Difícil compressão

Gasoso

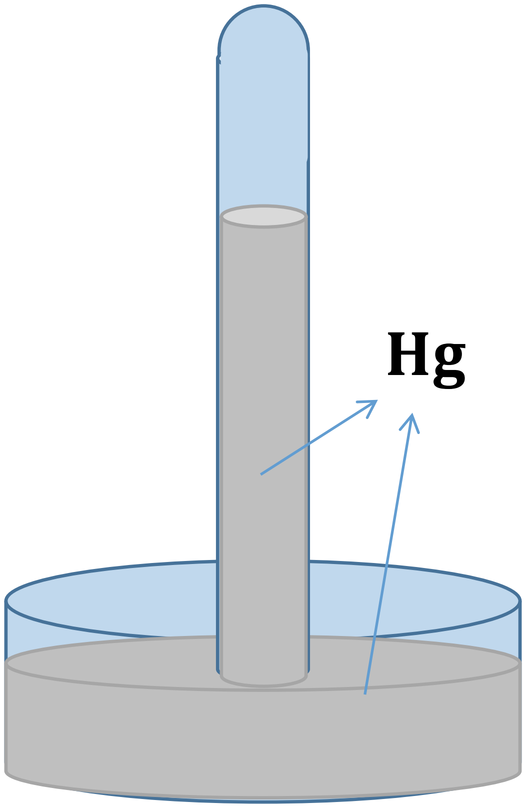


- Pouca interação
- Preenche todo volume
- Fácil compressão

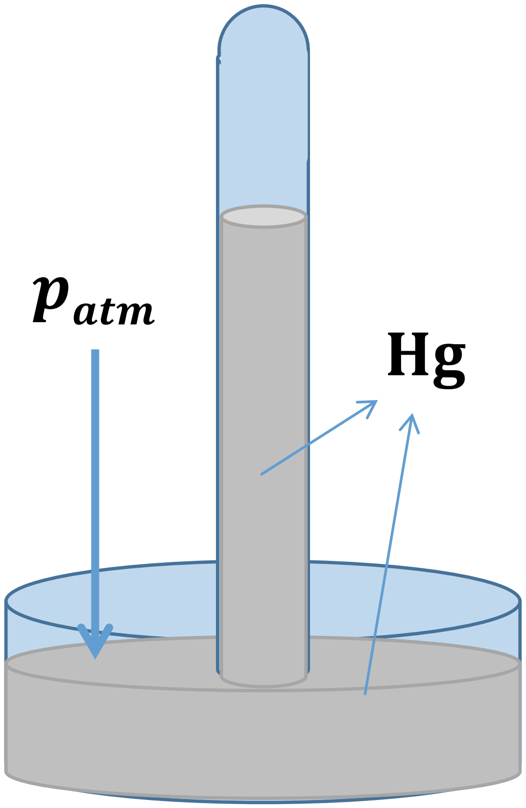
Pressão Atmosférica (p_{atm})

- Calculada pela primeira vez por Evangelista Torricelli (1608 - 1647);
- Utilizou um barômetros de mercúrio;
- O barômetro consiste de um tubo de vidro contendo Hg com extremidade imersa em uma cuba também com Hg.

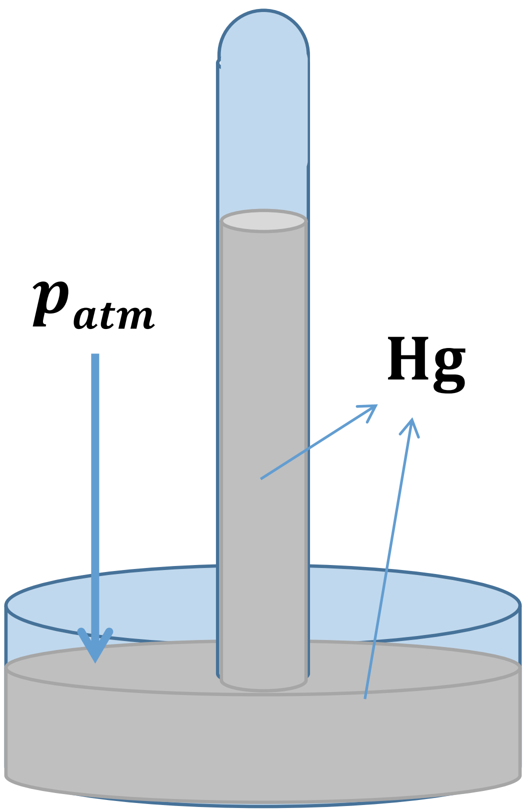
Pressão Atmosférica (p_{atm})

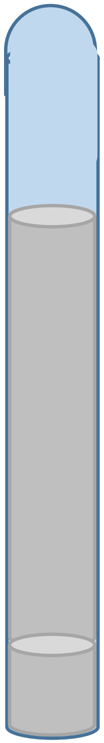


Pressão Atmosférica (p_{atm})

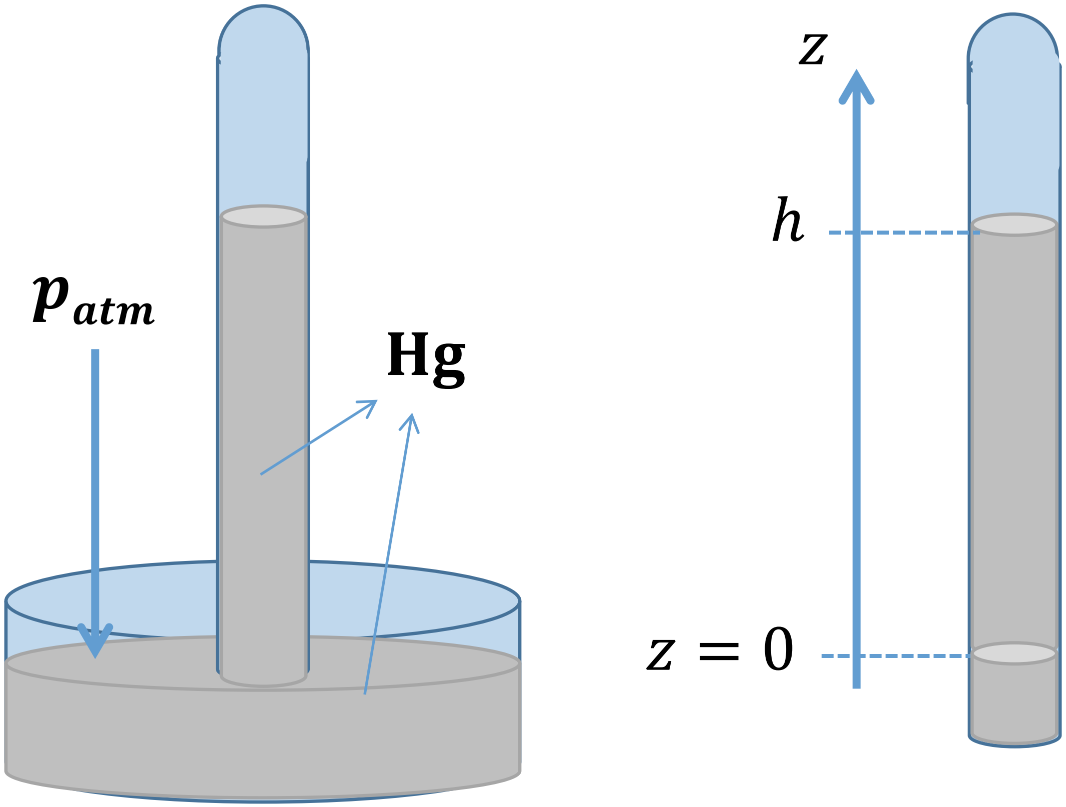


Pressão Atmosférica (p_{atm})

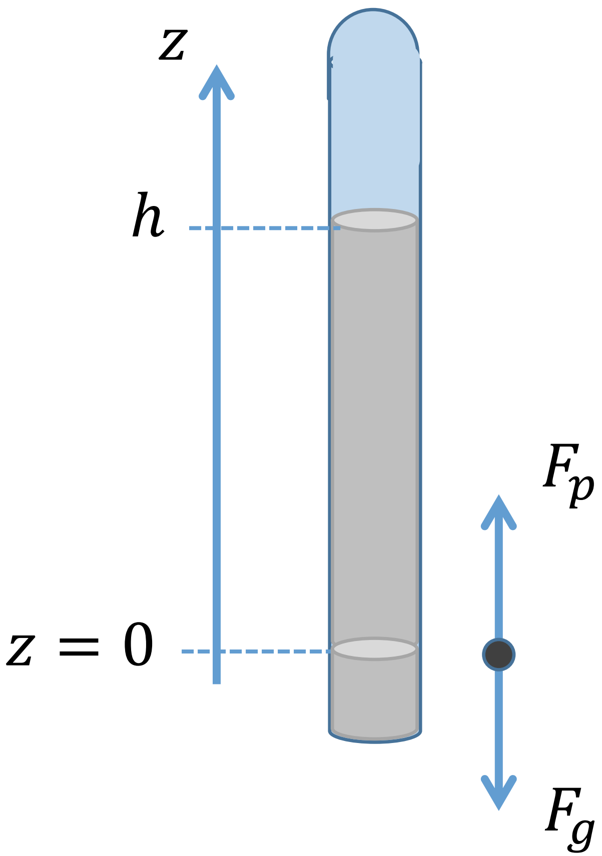




Pressão Atmosférica (p_{atm})



Pressão Atmosférica (p_{atm})

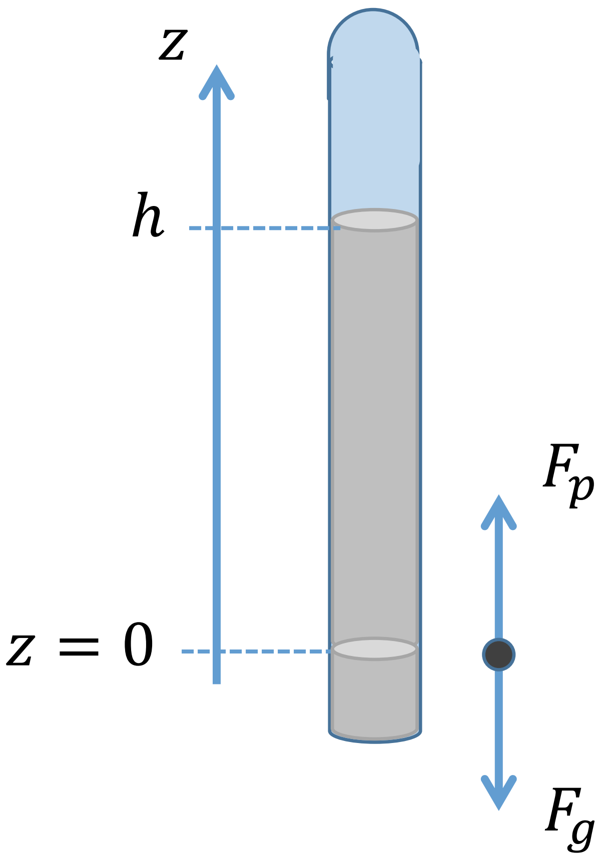


$Como\ a\ coluna\ de\ Hg$
$está\ em\ equilíbrio$:

$$F_p = F_g$$

$$F_p = mg$$

Pressão Atmosférica (p_{atm})



Como a coluna de Hg está em equilíbrio:

$$F_p = F_g$$

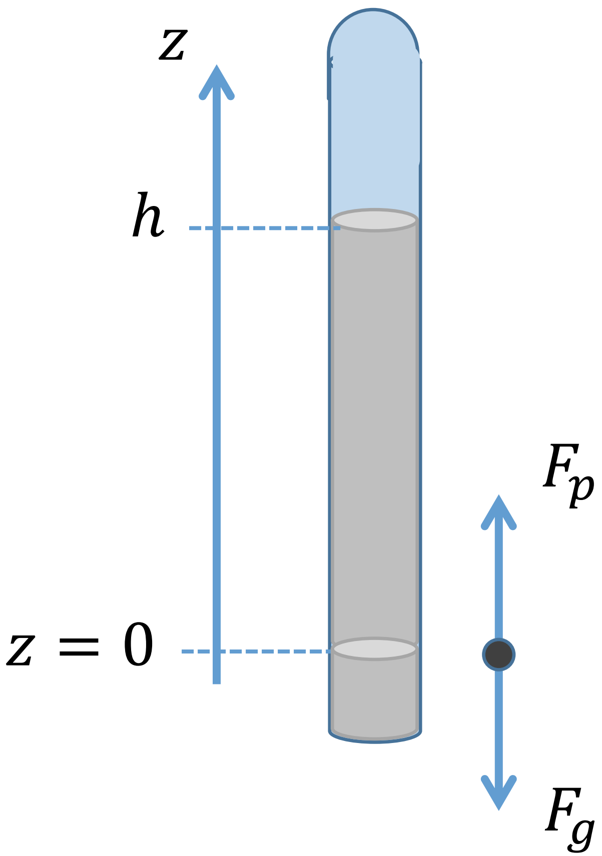
$$F_p = mg$$

Mas:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \rightarrow \quad m = \rho V$$

$\boldsymbol{\rho}$: *densidade*;
$\boldsymbol{m}$: *massa*;
$\boldsymbol{V}$: *volume*;

Pressão Atmosférica (p_{atm})

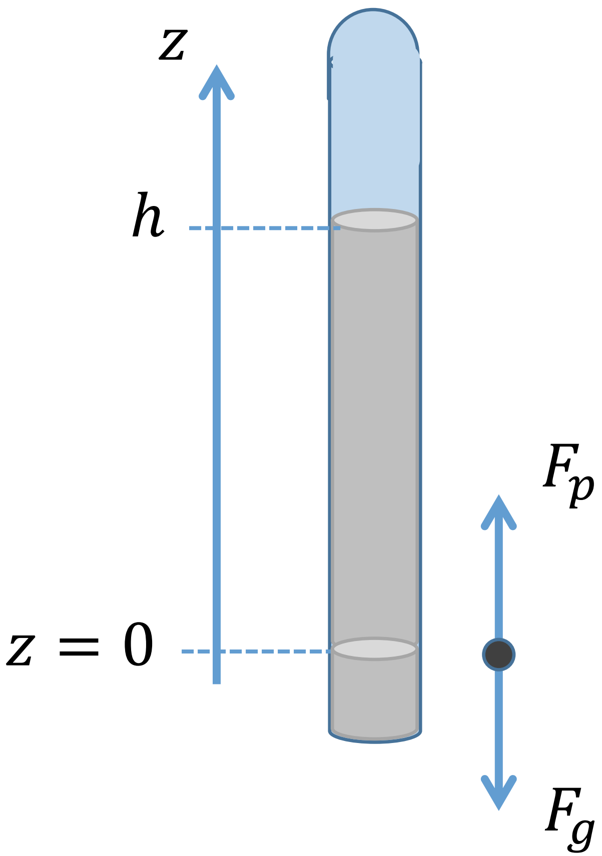


Substituindo $\boldsymbol{F_p}$ *e* $\boldsymbol{V}$ *na expressão*:

$$F_p = \rho_{Hg} V g$$

$$Ap = \rho_{Hg} A h g$$

Pressão Atmosférica (p_{atm})

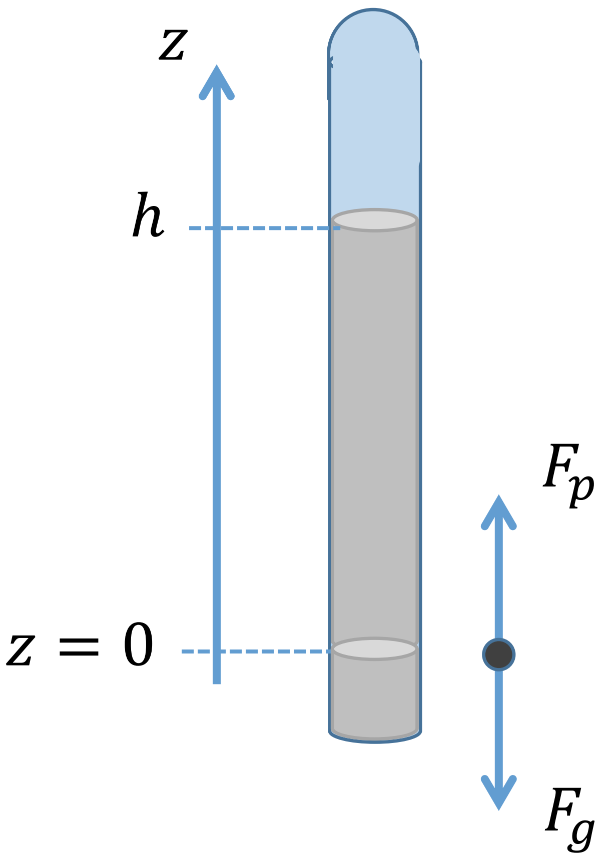


Substituindo $\boldsymbol{F_p}$ *e* $\boldsymbol{V}$ *na expressão*:

$$F_p = \rho_{Hg} V g$$

$$\cancel{A} p = \rho_{Hg} \cancel{A} h g$$

Pressão Atmosférica (p_{atm})



Substituindo $\boldsymbol{F_p}$ *e* $\boldsymbol{V}$ *na expressão*:

$$F_p = \rho_{Hg} V g$$

$$p = \rho_{Hg} h g$$

$$\boxed{p_{atm} = \rho_{Hg} g h}$$

$\boldsymbol{\rho_{Hg}}$: *densidade do mercúrio*;
$\boldsymbol{g}$: *aceleração da gravidade*;
$\boldsymbol{h}$: *altura da coluna*.

Pressão Atmosférica (p_{atm})

$$p_{atm} = \rho_{Hg} g h$$

- A pressão que mantém a coluna de Hg acima do nível de referência é a pressão atmosférica ($\boldsymbol{p_{atm}}$);
- No nível do mar a altura da coluna de Hg é 760 mm e a pressão corresponde a uma atmosfera.

Pressão Atmosférica (p_{atm})

$$p_{atm} = \rho_{Hg} g h$$

$$1\ atm = \rho_{Hg} g h$$

$$1\ atm = \left(13{,}6 \frac{g}{cm^3}\right) x \left(980 \frac{cm}{s^2}\right) x (76cm)$$

$$1\ atm = 1{,}013.10^6 \frac{g}{cm.s^2} = 1{,}013.10^6 \frac{10^{-3}kg}{10^{-2}m.s^2}$$

$$1\ atm = 1{,}013.10^5 \frac{kg}{m.s^2} = 1{,}013.10^5 \frac{N}{m^2}$$

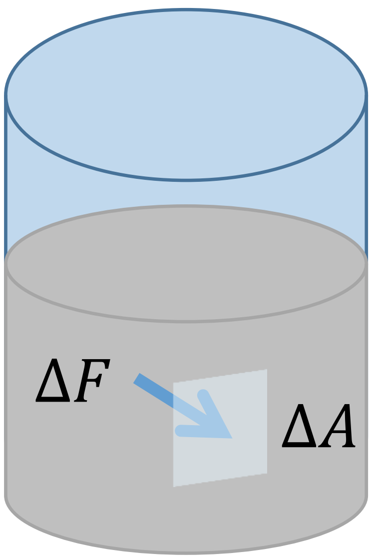
$$1\ atm = 1{,}013.10^5 Pa$$

Pressão Atmosférica (p_{atm})

- Pressão exercida pelo peso da camada de ar que se encontra sobre um ponto qualquer da superfície terrestre;
- A pressão atmosférica diminui exponencialmente com o aumento da altitude;
- Os seres vivos não são esmagados pela pressão do ar porque o interior dos seus corpos exerce uma pressão para o exterior de mesma intensidade.

Pressão Hidrostática (p)

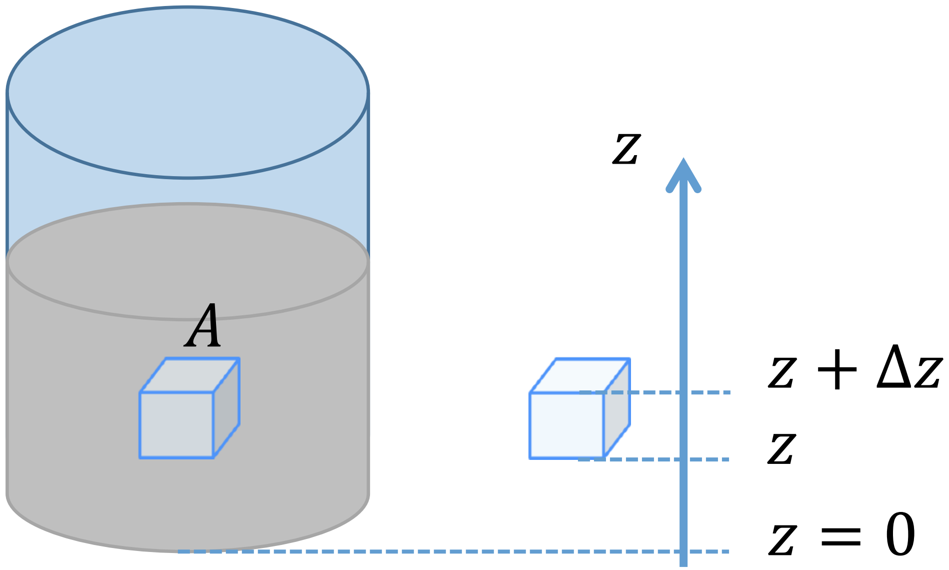
- Um fluido contido em um recipiente exerce sobre uma fração de área (ΔA) de sua parede uma força (ΔF) perpendicular a esse área;



$$p = \frac{\Delta F}{\Delta A}$$

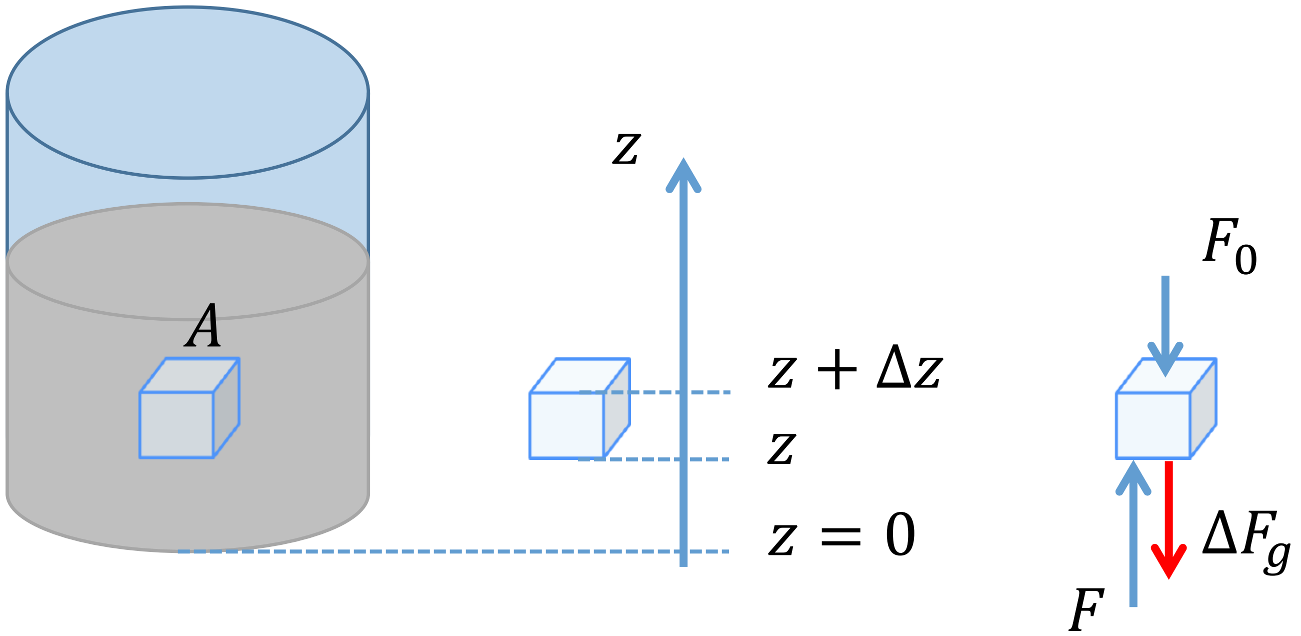
Pressão Hidrostática (p)

- Devido a força gravitacional, mesmo que o fluido esteja em equilíbrio, a pressão na vertical irá variar;



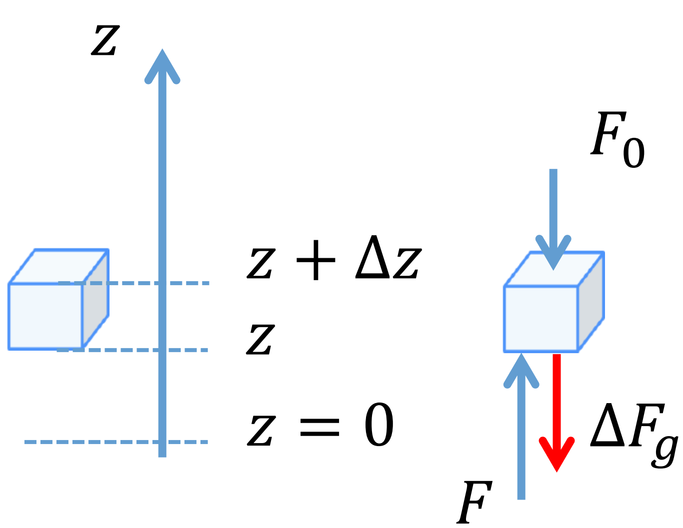
Pressão Hidrostática (p)

- Devido a força gravitacional, mesmo que o fluido esteja em equilíbrio, a pressão na vertical irá variar;



Pressão Hidrostática (*p*)

- Como o volume está em equilíbrio a força resultante será nula;
- Consideraremos que a densidade (ρ)do fluido é uniforme.



$$F - F_0 - \Delta F_g = 0$$

Mas:

$$\Delta F_g = \Delta m g = \rho \, \Delta V g$$

$$\Delta F_g = \rho \, A \Delta z g$$

Pressão Hidrostática (*p*)

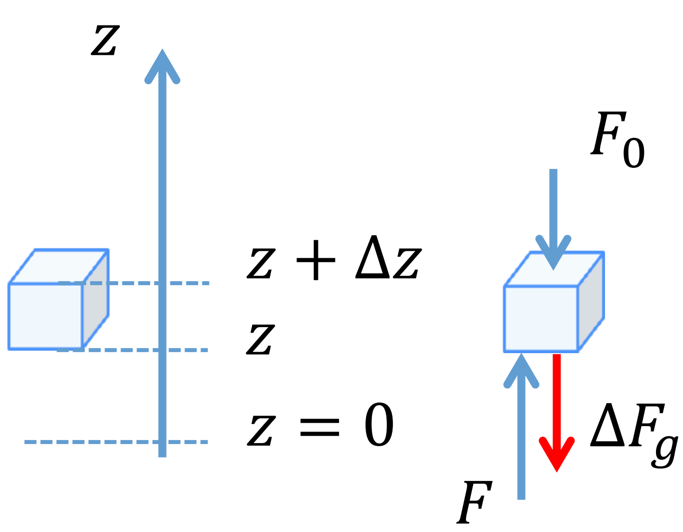
$Substituindo\ na\ expressão\ das\ forças$:

$$F - F_0 - F_g = 0$$

$$pA - p_0A - \rho A\Delta zg = 0$$

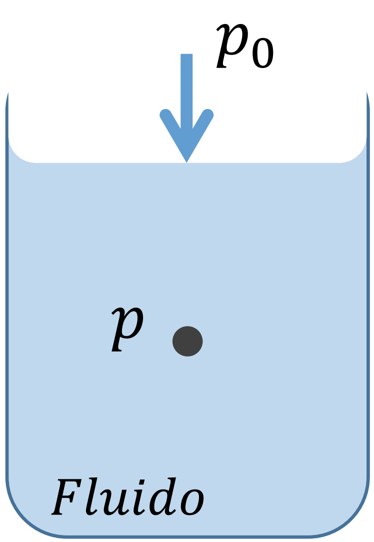
$$p\cancel{A} - p_0\cancel{A} - \rho\cancel{A}\Delta zg = 0$$

$$p - p_0 - \rho\Delta zg = 0$$



Pressão Hidrostática (p)

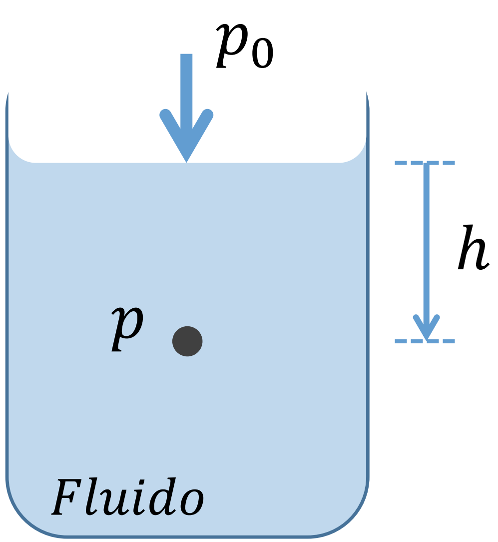
- É mais conveniente considerar p_0 como sendo a pressão na superfície do fluido;



$$p - p_0 - \rho \Delta z g = 0$$

Pressão Hidrostática (p)

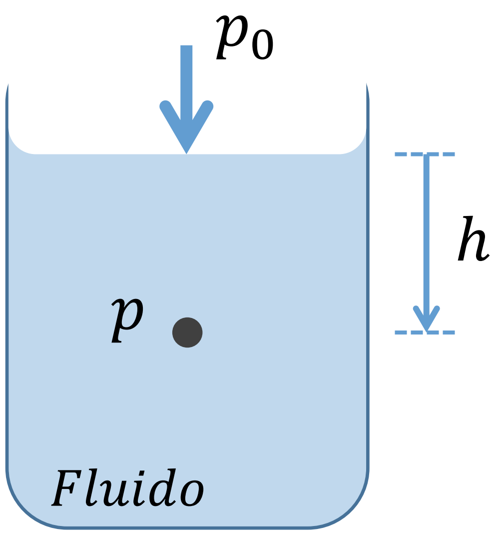
- É mais conveniente considerar p_0 como sendo a pressão na superfície do fluido;
- E $\Delta z = z_2 - z_1$ como sendo uma altura (h) de profundidade a partir da superfície.



$$p - p_0 - \rho \Delta z g = 0$$

Pressão Hidrostática (*p*)

- É mais conveniente considerar p_0 como sendo a pressão na superfície do fluido;
- E $\Delta z = z_2 - z_1$ como sendo uma altura (h) de profundidade a partir da superfície.

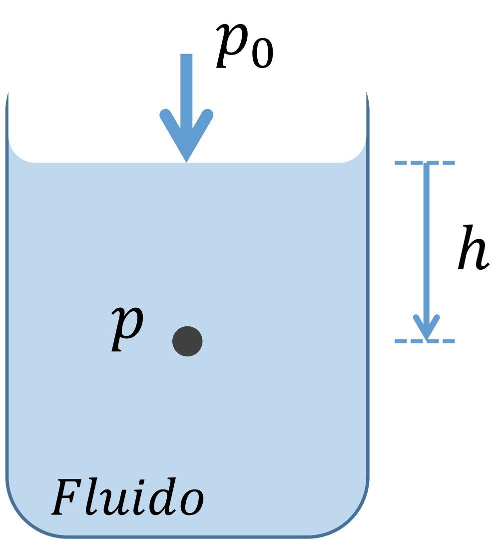


$$p - p_0 - \rho \Delta z g = 0$$

$$\boxed{p = p_0 + \rho g h}$$

Pressão Hidrostática (p)

- É mais conveniente considerar p_0 como sendo a pressão na superfície do fluido;
- E $\Delta z = z_2 - z_1$ como sendo uma altura (h) de profundidade a partir da superfície.



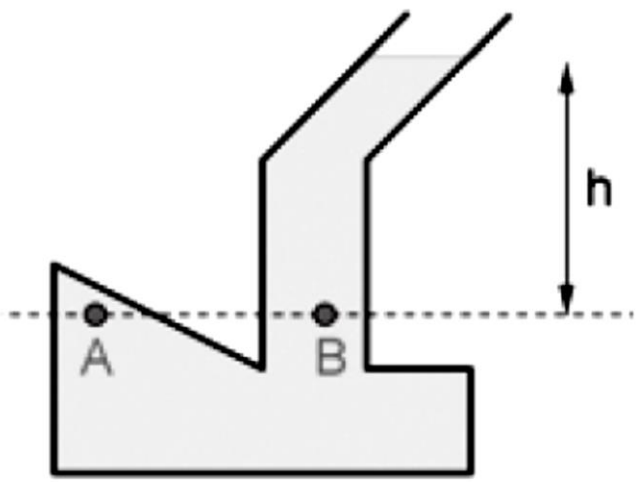
$$p - p_0 - \rho \Delta z g = 0$$

$$\boxed{p = p_0 + \rho g h}$$

$\boldsymbol{\rho}$: *densidade do fluido;*
$\boldsymbol{p_0}$: *pressão na superfície;*
$\boldsymbol{p}$: *pressão em um ponto qualquer;*
$\boldsymbol{g}$: *aceleração da gravidade local;*
$\boldsymbol{h}$: *altura da superfície ao ponto.*

Exemplo

Um recipiente, representado na Figura encontra-se cheio de água, aberto para a atmosfera em sua extremidade superior. Dado que a distância ***h*** vale **1 m**, calcule: (a) A pressão no ponto A; (b) A pressão no ponto B.



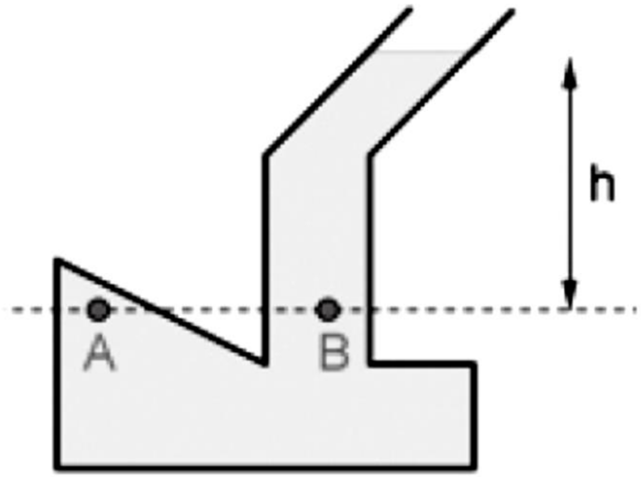
Dados:

$$\rho_{água} = 1\ {}^{g}/_{cm^3}$$

$$g = 10\ m/s^2$$

$$p_0 = 1\text{ atm} = 10^5\ Pa$$

Solução



$$h = 1\,m$$

$$\rho_{água} = 1\,g/cm^3 = 10^3\,kg/m^3$$

$$g = 10\,m/s^2 \qquad P_A = ?$$

$$P_0 = 1\,atm = 10^5 Pa \qquad P_B = ?$$

$$P = P_0 + \rho_f . g . h$$

$$P_A = P_B = P_0 + \rho_{água} . g . h = 10^5 + 10^3 . 10.1 = 10^5 + 10^4$$

$$P_A = P_B = 1{,}1\,10^5\,Pa = 1{,}1\,atm$$

Princípio de Arquimedes

- O que acontece se colocarmos uma chave em um recipiente com água?

Princípio de Arquimedes

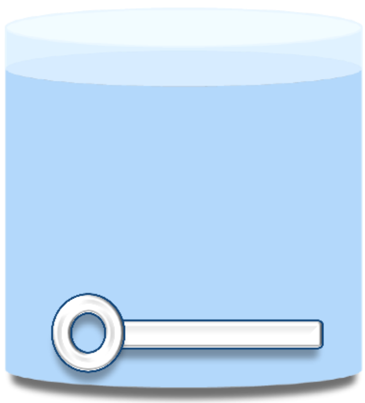
Chave

Princípio de Arquimedes

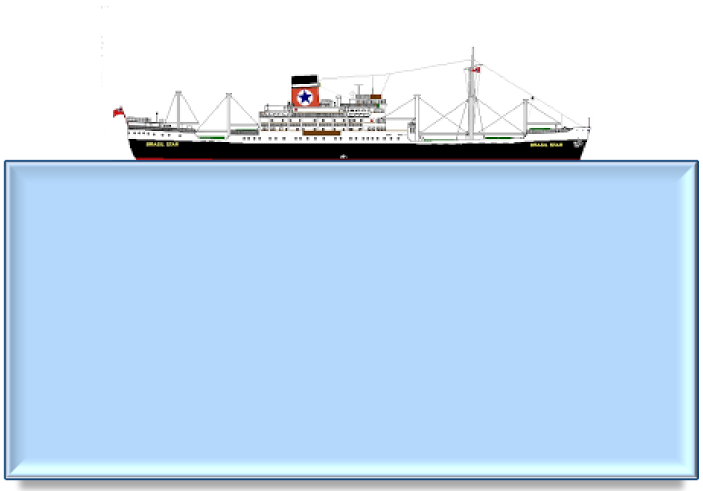
- O que acontece se colocarmos uma chave em um recipiente com água?

- E um grande navio feito de aço pesando milhares de toneladas?

Princípio de Arquimedes



Chave

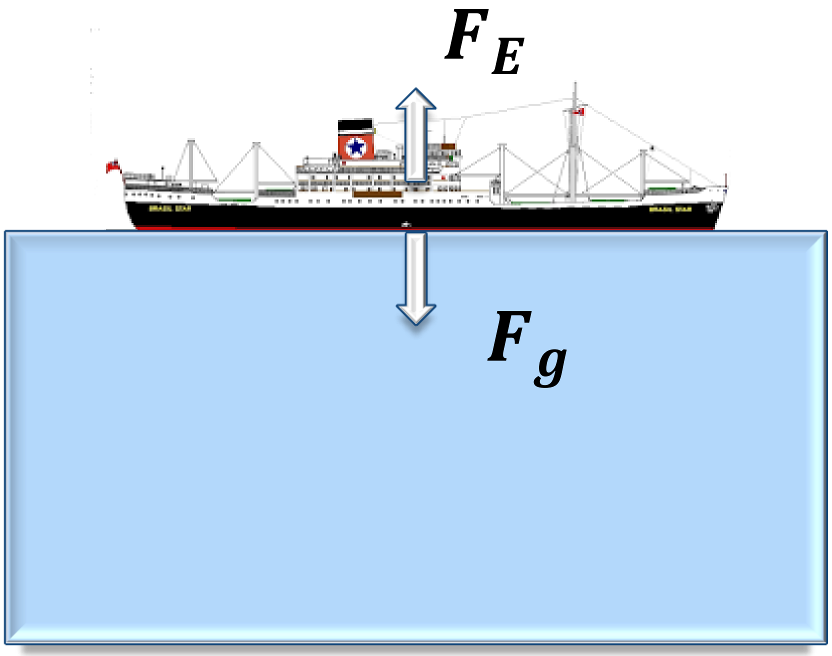


Navio em alto mar

Por que o navio não afunda?

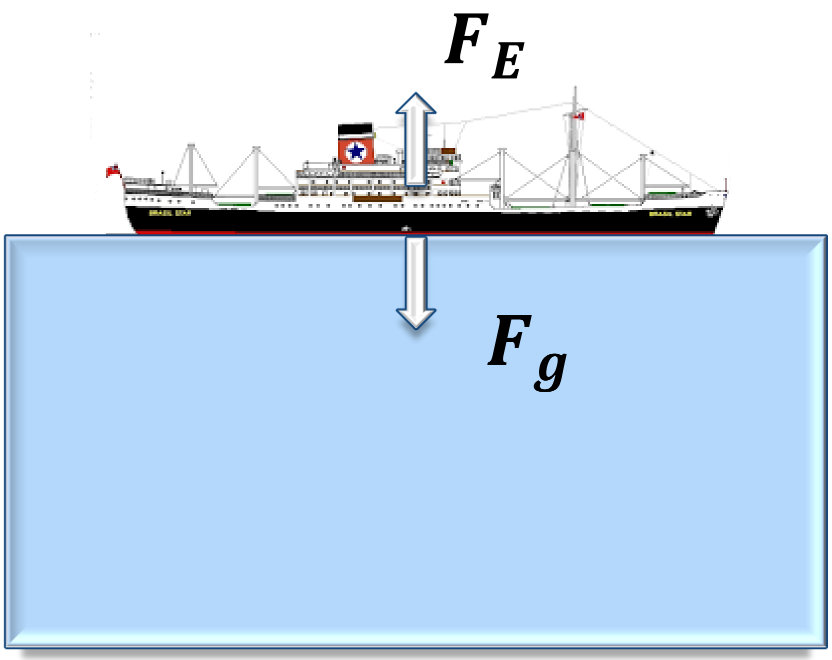
Princípio de Arquimedes

Outra força atua no navio além da força peso.



Princípio de Arquimedes

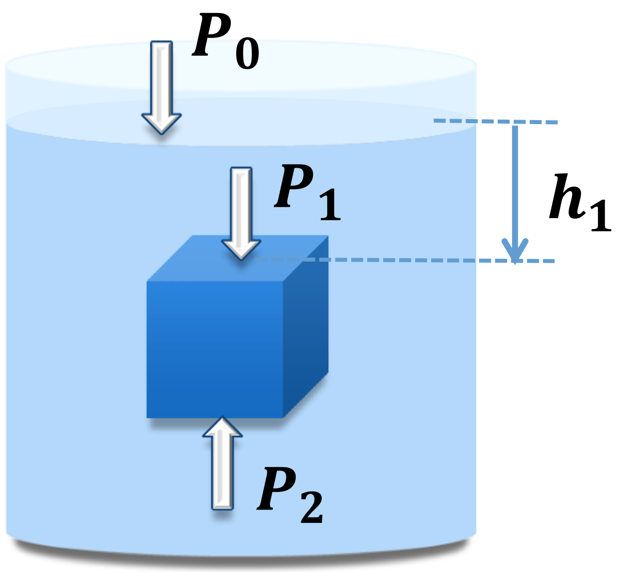
Outra força atua no navio além da força peso.



$\boldsymbol{F_E}$: força de empuxo;

$\boldsymbol{F_g}$: força peso;

Expressão para o empuxo



$$P = P_0 + \rho_f . g . h$$

$$P_1 = P_0 + \rho_f . g . h_1$$

$$P_1 < P_2$$

$$como: \quad P = \frac{F}{A}$$

$Se\ o\ corpo\ está\ em\ equilíbrio$:

$$F_E = F_g \quad \Rightarrow \quad \boxed{F_E = \rho_f . V . g}$$

Princípio de Arquimedes

" Quando um corpo está total ou parcialmente submerso em um fluido, uma força de empuxo exercida pelo fluido age sobre o corpo.

A força é dirigida para cima e tem um módulo igual ao peso do fluido deslocado pelo corpo."

(HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012, p. 68)

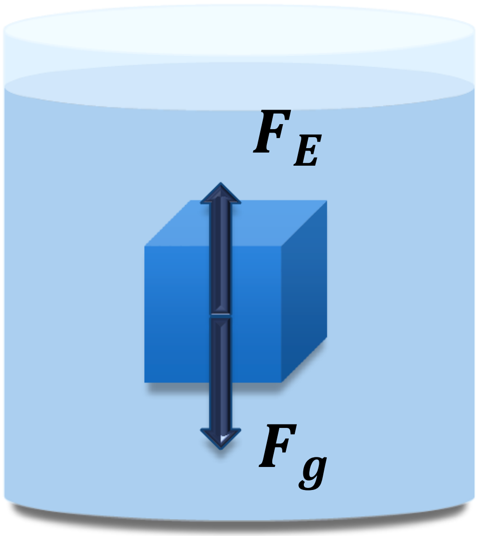
Exemplo

Um cubo de gelo tem volume **4L**, densidade **0,9 g/cm^3** e está imerso em um recipiente com água de densidade **1 g/cm^3**. Pergunta-se:

(a) Qual é o módulo da força empuxo atuante;

(b) O cubo de gelo afunda na água?

Solução



Dados:

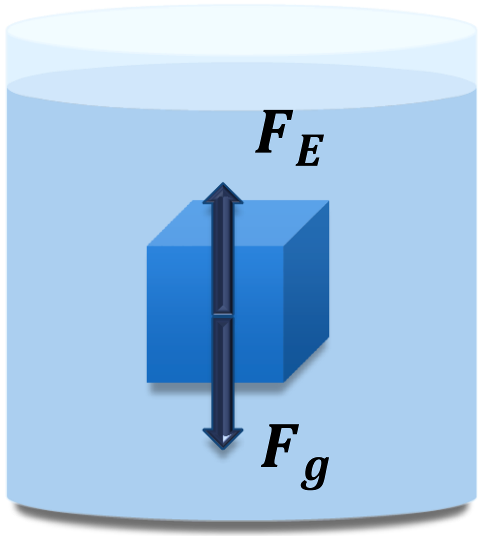
$$\rho = 0,9\ g/cm^3 = 0,9\ 10^3\ kg/m^3$$

$$\rho_f = 1,0\ g/cm^3 = 1,0\ 10^3\ kg/m^3$$

$$g = 10\ m/s^2$$

$$V = 4\ L = 4.10^{-3}\ m^3$$

Solução



Dados:

$$\rho = 0{,}9\ g/cm^3 = 0{,}9\ 10^3\ kg/m^3$$

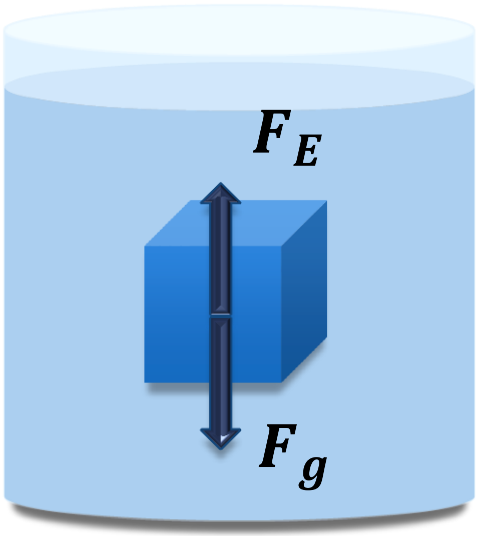
$$\rho_f = 1{,}0\ g/cm^3 = 1{,}0\ 10^3\ kg/m^3$$

$$g = 10\ m/s^2$$

$$V = 4\ L = 4.10^{-3}\ m^3$$

$$(a)\quad F_E = \rho_f . V . g = 1{,}0\ 10^3 \times 4.10^{-3} \times 10 = 40\text{ N}$$

Solução



Dados:

$$\rho = 0{,}9\ g/cm^3 = 0{,}9\ 10^3\ kg/m^3$$

$$\rho_f = 1{,}0\ g/cm^3 = 1{,}0\ 10^3\ kg/m^3$$

$$g = 10\ m/s^2$$

$$V = 4\ L = 4.10^{-3}\ m^3$$

$$(a)\quad F_E = \rho_f.V.g = 1{,}0\ 10^3 \times 4.10^{-3} \times 10 = 40\ \text{N}$$

$$(b)\quad F_g = mg = \rho.V.g = 0{,}9\ 10^3 \times 4.10^{-3} \times 10 = 36\ \text{N}$$

Como $F_E > F_g$, *o corpo flutuará*!

Observações sobre o Princípio de Arquimedes

- Um corpo imerso em um fluido terá a sua posição definida em função da **densidade média do corpo** e a densidade do fluido:

  se $\rho_{fluido} < \rho_{corpo}$ o corpo afundará;

  se $\rho_{fluido} > \rho_{corpo}$ o corpo flutuará.

- A relação vale para dois fluidos em um mistura.

  ex.: água e óleo

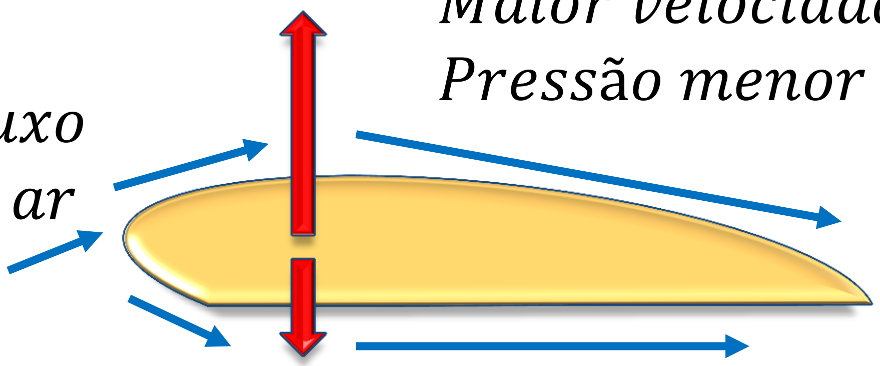
Escoamento de fluidos

Escoamento de fluidos

- Os líquidos, na sua maioria, são **incompressíveis**;
- Em um fluido incompressível a sua **densidade não varia com aumentos da pressão**;
- Se um fluido for **incompressível** e não apresentar resistência ao movimento, isto é, **não viscoso**, ele é chamado de ***Fluido Ideal***.

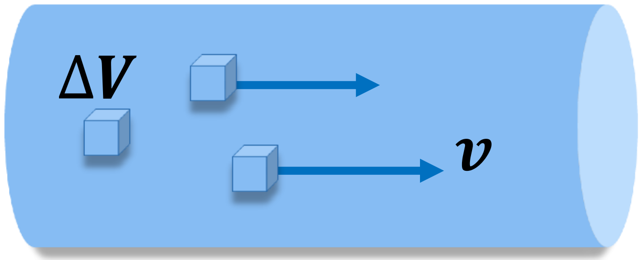
Exemplos de escoamento de fluidos

Artérias e veias



Fluxo de ar sobre as asas de um pássaro

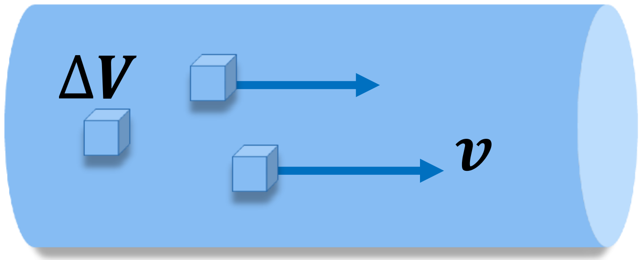
Qual a velocidade de escoamento?



ΔV: elemento de volume;

v: velocidade do elemento de volume;

Qual a velocidade de escoamento?



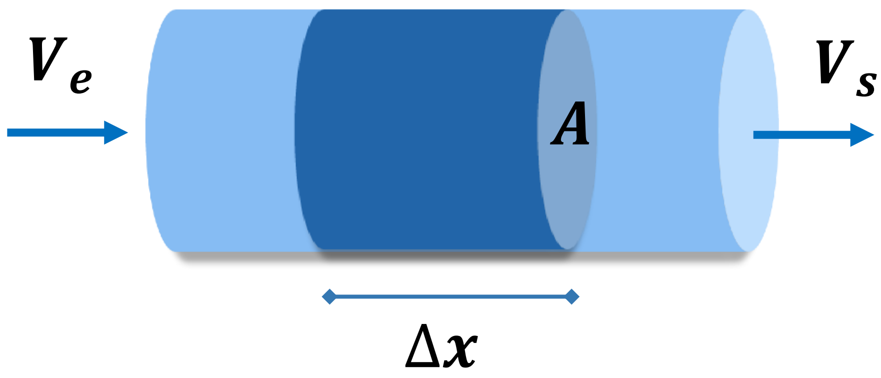
ΔV: elemento de volume;

v: velocidade do elemento de volume;

Considerações:

- Fluido escoa continuamente;
- Elementos de volume com velocidade constante;
- Trajetória do elementos é contínua;
- Fluido incompressível e não-viscoso.

Vazão volumétrica (Q)



V_e: volume que entra;

V_s: volume que sai;

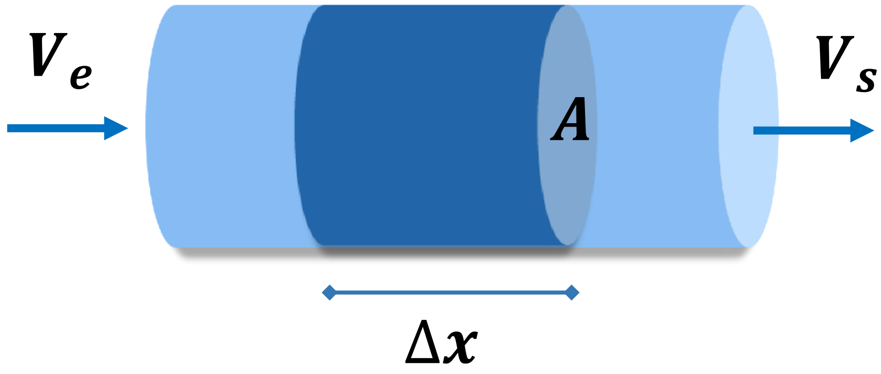
Δt: intervalo de tempo;

Δx: comprimento;

A: área da seção;

v: velocidade.

Vazão volumétrica (*Q*)



$\boldsymbol{V_e}$: volume que entra;

$\boldsymbol{V_s}$: volume que sai;

$\boldsymbol{\Delta t}$: intervalo de tempo;

$\boldsymbol{\Delta x}$: comprimento;

$\boldsymbol{A}$: área da seção;

$\boldsymbol{v}$: velocidade.

$$V_e = V_s$$

$$\frac{V_e}{\Delta t} = \frac{V_s}{\Delta t} \quad \longrightarrow \quad Q = \frac{V_e}{\Delta t} = \frac{A.\Delta x}{\Delta t} = A.v$$

$$Q = A.v \qquad \left[\frac{m^3}{s}\right]$$

$$A_1.v_1 = A_2.v_2$$

Equação da continuidade

Equação de Bernoulli

- Expressão mais completa da lei de conservação de energia para os fluidos;
- Considera a pressão, a velocidade e a altura.

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

$\boldsymbol{p}$: pressão no fluido;

$\boldsymbol{v}$: velocidade do fluido;

$\boldsymbol{\rho}$: densidade do fluido;

$\boldsymbol{h}$: altura em que se considera a velocidade.

Para dois pontos no fluido:

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

A equação de Bernoulli é válida para:

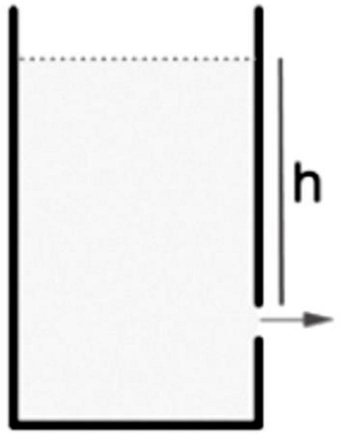
- **Escoamento laminar** :

  Trajetória contínua, velocidade constante, sem turbulência, camada paralelas;

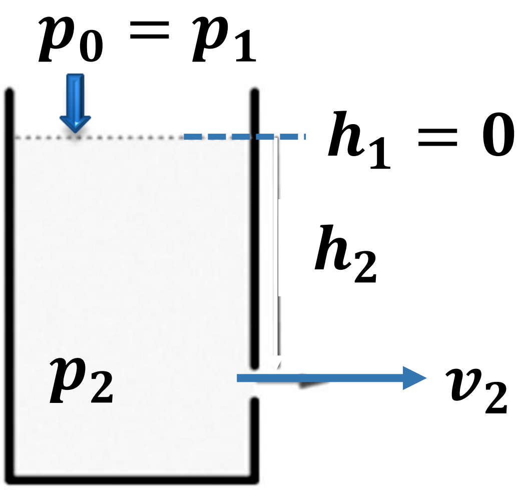
- **Fluido incompressível**;
- **Fluido não-viscoso**.

Exemplo

Um grande reservatório de água tem um pequeno furo 1,8 m abaixo do nível da água. Qual é a velocidade com a qual a água escapa na horizontal por meio do furo?



Solução



Dados:

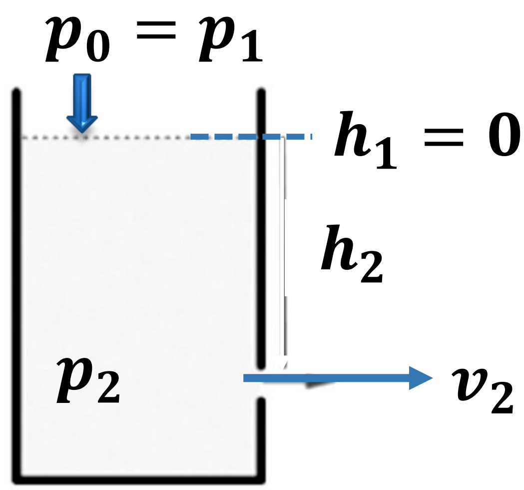
$h_2 = -1{,}8\ m \qquad v_2 = ?$

$\rho = 1.10^3\ {}^{kg}/_{m^3}$

$p_0 = p_1 = p_2 = 10^5 Pa$

$v_1 = 0$

Solução



Dados:

$h_2 = -1{,}8\, m \qquad v_2 = ?$

$\rho = 1.10^3 \; {}^{kg}/_{m^3}$

$p_0 = p_1 = p_2 = 10^5 Pa$

$v_1 = 0$

Pela Equação de Bernoulli:

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

$$-\cancel{\rho} g h_2 = \frac{1}{2}\cancel{\rho} {v_2}^2 \quad \Rightarrow \quad v_2 = \sqrt{-2gh_2} = \sqrt{-2.10.(-1{,}8)}$$

$v_2 =$ **6 m/s**

Escoamento de fluidos reais

- Nos fluidos reais como plasma sanguíneo se observa resistência ao escoamento;
- Isso ocorre porque camadas adjacentes do próprio fluido se atritam devido às forças intermoleculares;
- A propriedade que caracteriza essas forças dissipativas é a **viscosidade** ($\boldsymbol{\eta}$).

Viscosidade (η)

- Os líquidos se tornam mais viscosos com a diminuição da temperatura;
- Esse é o motivo para cobrir as vítimas de acidentes em estado de choque, para evitar a queda da temperatura;
- Unidades:

$$\eta : \left[\frac{N\ s}{m^2}\right] = \left[\frac{kg}{m\ s}\right]$$

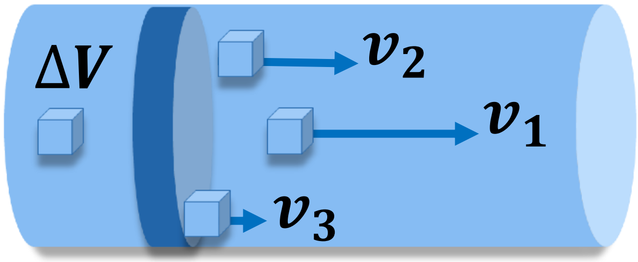
Valores da viscosidade (η) em fluidos

Fluido	Temperatura (ºC)	Viscosidade (N s/m^2)
Ar	40	$1,9.10^{-5}$
Água	37	$6,9.10^{-4}$
Sangue	37	4.10^{-3}
Plasma do sangue	37	$1,5.10^{-3}$
Óleo de máquina	38	$3,4.10^{-2}$

Fonte: Okuno, 1986, p. 322.

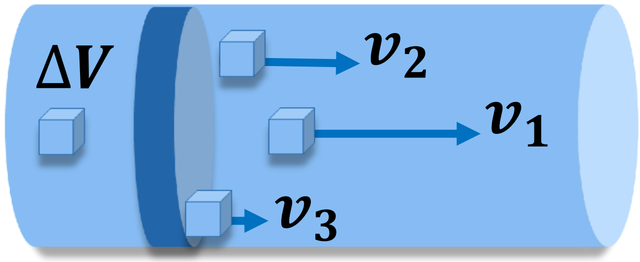
Escoamento laminar

- Ocorre em fluidos reais, com viscosidade;



Escoamento laminar

- Ocorre em fluidos reais, com viscosidade;

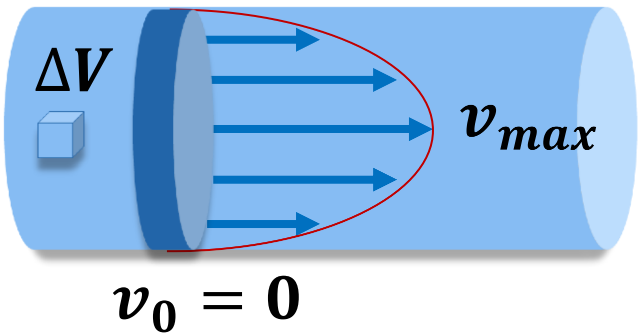


$$v_1 > v_2 > v_3$$

- A velocidade de escoamento dos elementos de volume variam em cada ponto da seção transversal do conduto;
- A redução de velocidade é produzida pela força de atrito tangencial entre duas camadas adjacentes do fluido.

Escoamento laminar

- A velocidade de fluxo através de uma seção é **máxima no centro** e decresce segundo uma parábola até **zero na camada adjacente à parede do tubo.**



Escoamento laminar

- No regime de escoamento laminar a **vazão** ($\boldsymbol{Q}$) de um fluido com **viscosidade** ($\boldsymbol{\eta}$) que escoa por um tubo de **raio** ($\boldsymbol{r}$) é determinado pela **lei de Poiseuille**;

$$\boxed{Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8 \eta \Delta l}}$$

$\boldsymbol{Q}$: vazão; $\boldsymbol{r}$: raio do conduto; $\boldsymbol{\eta}$: viscosidade;

$\dfrac{\Delta \boldsymbol{p}}{\Delta \boldsymbol{l}}$: gradiente (variação) de pressão ao longo do conduto.

Escoamento laminar

- No escoamento de fluidos reais a **velocidade** ($\boldsymbol{v}$) **não é constante** para os elementos de volume que atravessam a seção do conduto;
- Contudo, pode-se determinar uma **velocidade média** ($\overline{\boldsymbol{v}}$) através de uma seção de área (A):

Escoamento laminar

- No escoamento de fluidos reais a velocidade (v) não é constante para os elementos de volume que atravessam a seção do conduto;
- Contudo, pode-se determinar uma **velocidade média ($\bar{v}$) através de uma seção de área** (A):

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \quad \rightarrow \quad \bar{v} = \frac{Q}{\pi r^2}$$

Escoamento laminar

- No escoamento de fluidos reais a velocidade (v) não é constante para os elementos de volume que atravessam a seção do conduto;
- Contudo, pode-se determinar uma **velocidade média ($\bar{v}$) através de uma seção de área** (A):

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \quad \rightarrow \quad \bar{v} = \frac{Q}{\pi r^2}$$

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta \Delta l} \quad \rightarrow \quad \bar{v}\pi r^2 = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta \Delta l}$$

Escoamento laminar

- No escoamento de fluidos reais a velocidade (v) não é constante para os elementos de volume que atravessam a seção do conduto;
- Contudo, pode-se determinar uma **velocidade média ($\bar{v}$) através de uma seção de área (A)**:

$$\bar{v} = \frac{Q}{A} \quad \rightarrow \quad \bar{v} = \frac{Q}{\pi r^2}$$

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta p}{8\eta\Delta l} \quad \rightarrow \quad \bar{v}\cancel{\pi r^2} = \frac{\cancel{\pi} r^4 \Delta p}{8\eta\Delta l} \quad \rightarrow \quad \boxed{\boldsymbol{\bar{v} = \frac{r^2 \Delta p}{8\eta\Delta l}}}$$

Exemplo 20.2 (Okuno)

Qual será o gradiente de pressão do sangue ao longo de um capilar de raio *4 μm,* se a velocidade média de escoamento é de 0,33 mm/s e a viscosidade do sangue a 37ºC é de 4.10^{-3} kg/ms.

Solução

Dados:

$$r = 4\ \mu m = 4.10^{-6} m \qquad \bar{v} = 0{,}33\,\frac{mm}{s} = 0{,}33.\ 10^{-3}\,\frac{m}{s}$$

$$\eta = 4.10^{-3}\ {}^{kg}/_{ms} \qquad \frac{\Delta p}{\Delta l} = ?$$

Lei:

$$\boldsymbol{\bar{v}} = \frac{\boldsymbol{r^2 \Delta p}}{\boldsymbol{8\eta \Delta l}} \quad \rightarrow \quad \frac{\boldsymbol{\Delta p}}{\boldsymbol{\Delta l}} = \frac{\boldsymbol{8\eta\, \bar{v}}}{\boldsymbol{r^2}}$$

$$\frac{\boldsymbol{\Delta p}}{\boldsymbol{\Delta l}} = \frac{\boldsymbol{8x}(4.10^{-3})\boldsymbol{x}(0{,}33.\ 10^{-3})}{(4.10^{-6})^{2}} \qquad \frac{\boldsymbol{\Delta p}}{\boldsymbol{\Delta l}} = \boldsymbol{6{,}6.10^{5}\ {}^{N}/_{m}}$$

Escoamento turbulento e número de Reynolds

- Em velocidades muito mais altas do que ocorre no escoamento laminar o fluxo forma redemoinhos;
- Os redemoinhos, ou seja, movimento rotacional de partes do fluido são resultantes de movimento de camadas do fluido;
- Esse tipo de escoamento é chamado de escoamento turbulento.

Número de Reynolds

- Osborne Reynolds demonstrou os regimes de escoamento através de experimentos e estabeleceu a relação para o cálculo do número de Reynolds (R_e);

$$\boxed{R_e = \frac{\bar{v} D \rho}{\eta}}$$

(adimensional)

$\bar{\boldsymbol{v}}$: velocidade média de escoamento;

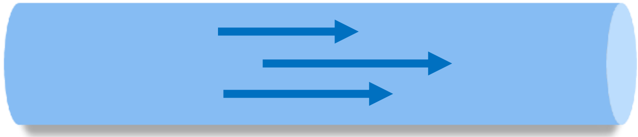
$\boldsymbol{\rho}$: densidade do fluido; $\boldsymbol{D}$: diâmetro do conduto;

$\boldsymbol{\eta}$: viscosidade do fluido;

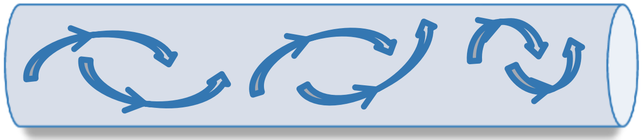
Número de Reynolds

- A relação de Reynolds foi obtida em um escoamento por um tubo regular retilíneo;
- O número de Reynolds é adimensional.

se $R_e \leq 2000$ o Escoamento é laminar;



se $R_e > 2000$ o Escoamento é turbulento.



Exemplo 20.4 (Okuno)

O diâmetro da aorta de um adulto é da ordem de 2,2 cm. A velocidade sistólica média ($\bar{v}_{sis}$) do sangue é cerca de 60 cm/s. Considere a densidade do sangue igual a 1 g/cm^2 e sua viscosidade a 37^{o}C de 4.10^{-3} kg/ms.

Estime qual é o regime de escoamento do sangue na aorta, laminar ou turbulento.

Solução

Dados:

$$\bar{v}_{sis} = 60\,\frac{cm}{s} = 0{,}60\,\frac{m}{s} \qquad \rho = 1.10^3\ {}^{kg}/_{m^3}$$

$$D = 2{,}2\ cm = 2{,}2.10^{-2}m \qquad \eta = 4.10^{-3}\ {}^{kg}/_{ms}$$

Número de Reynolds:

$$R_e = \frac{\bar{v}D\rho}{\eta}$$

$$R_e = \frac{(0{,}60)x(2{,}2.10^{-2})x(1.10^3)}{4.10^{-3}}$$

$$R_e = 3300 \quad como\ R_e > 2000\ o\ fluxo\ do\ sangue\ na\ aorta\ \text{é}\ turbulento.$$

Lei de Stokes

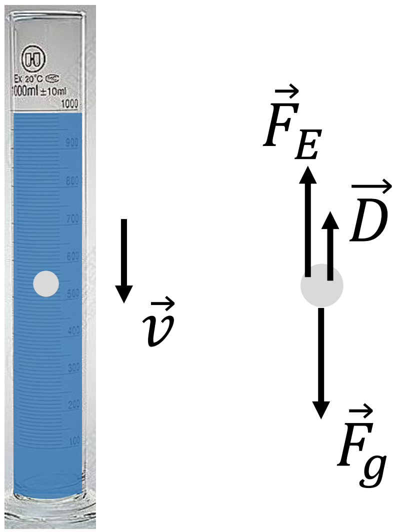


Figura: Esfera abandonada em queda livre em uma proveta com um fluido;

Lei de Stokes

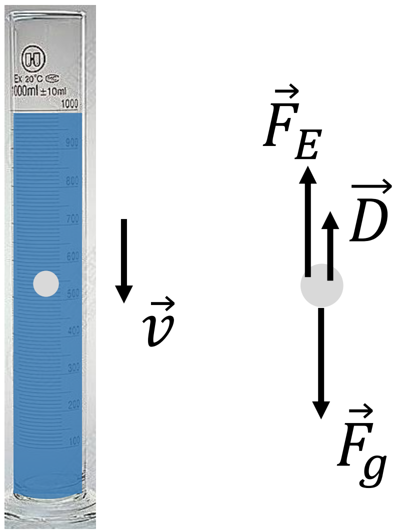


Figura: Esfera abandonada em queda livre em uma proveta com um fluido;

- Todo corpo que se desloca com velocidade ($\vec{v}$) em um fluido viscoso experimentará uma força de arraste (atrito) ($\vec{D}$);

- A direção da força de arraste é oposta ao movimento e a magnitude é proporcional a velocidade ($\vec{v}$);

Lei de Stokes

- Stokes mostrou que para um corpo esférico movimentando a baixa velocidade a força de arraste pode ser calculada pela expressão:

$$\vec{D} = -3\pi D\eta\vec{v}$$

$\overrightarrow{\boldsymbol{D}}$: força de arraste viscosa;

$\boldsymbol{D}$: diâmetro do corpo;

$\boldsymbol{\eta}$: viscosidade do fluido;

$\overline{\boldsymbol{v}}$: velocidade de um corpo esférico em um fluido.

Exercício proposto

Um peixe, ao absorver ar, adquire uma forma aproximada de uma esfera com 10 cm de raio. Levando em conta que a densidade média desse peixe incluindo o ar é 1,02 Kg/m^3 calcule:

(a) A força de arraste experimentada pelo peixe ao se deslocar na água ($\eta = 1{,}0.10^{-3}$ Pa/s) com velocidade de 2,0 m/s; *Resp.: D=3,8.10^{-3} N*

(b) A velocidade terminal do peixe, quando a intensidade do empuxo exercida pelo fluido é de aproximadamente 39 mN em uma trajetória vertical em direção ao fundo do oceano.

Resp.: v =1,5 m/s

Obrigado pela atenção!

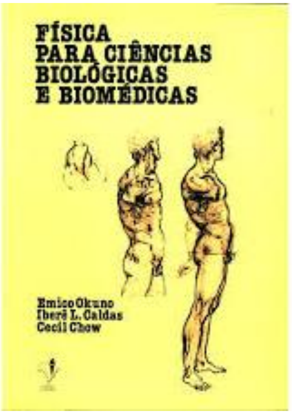
E bons estudos.

Exercícios

- Acessar Lista 05 no site:

profhenriquefaria.com

Referências



Okuno, E. Caldas, I. L. Chow, C. **Física para Ciências Biológicas e Biomédicas.** São Paulo: Harbra, 1986. (Capítulo 19 e 20)