

## **Empuxo e teorema de Arquimedes**

- Aulas 51 e 52 / Caderno 7 / Página 254

Apresentação e demais documentos: [fisicasp.com.br](http://fisicasp.com.br)

**Professor Caio – Física**

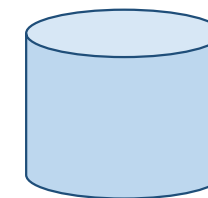
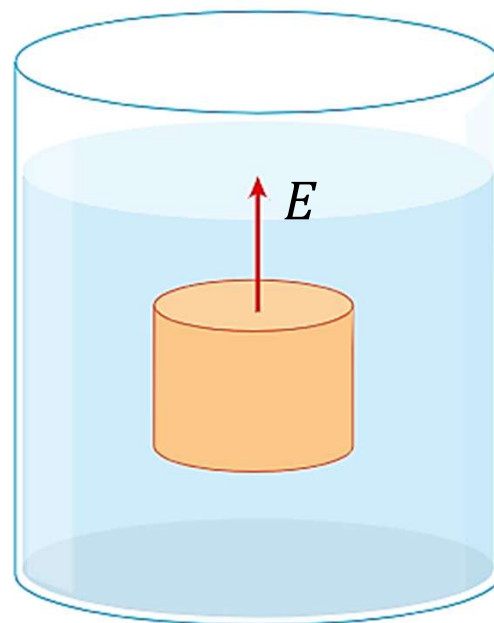
# 1. Empuxo



## 1. Empuxo

Todo corpo imerso em um fluido, totalmente ou parcialmente, fica sujeito a uma força denominada empuxo ( $\vec{E}$ ) com as seguintes características:

$$\vec{E} \left\{ \begin{array}{l} \bullet \text{ Intensidade: } E = d_L \cdot V_{LD} \cdot g \\ \bullet \text{ Direção: vertical} \\ \bullet \text{ Sentido: para cima} \end{array} \right.$$

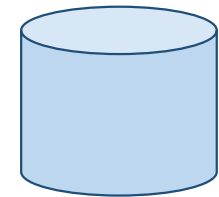
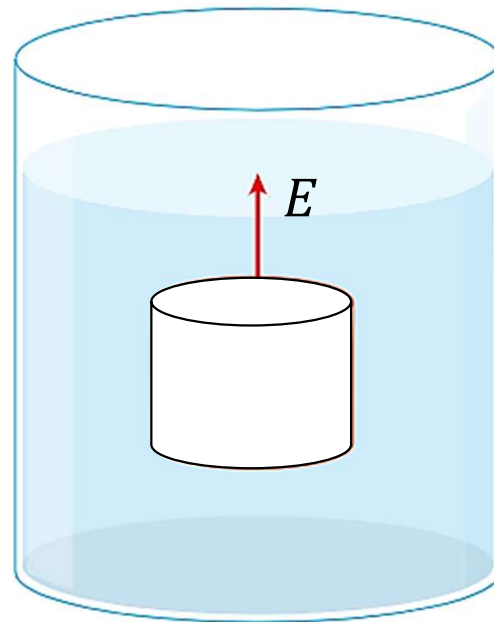
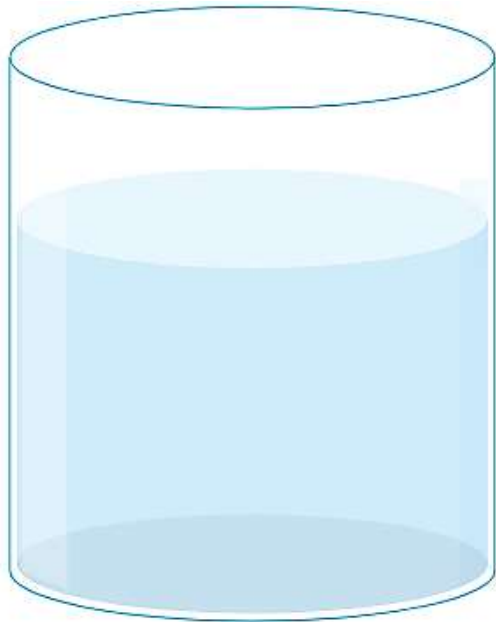


Líquido deslocado

$$V_{LD} = V_{imerso}$$

- E: empuxo – SI: N
- $V_{LD}$ : líquido deslocado – SI:  $m^3$
- $d_L$ : densidade do líquido – SI:  $kg/m^3$
- g: intensidade do campo gravitacional – SI:  $m/s^2$

# 1. Empuxo

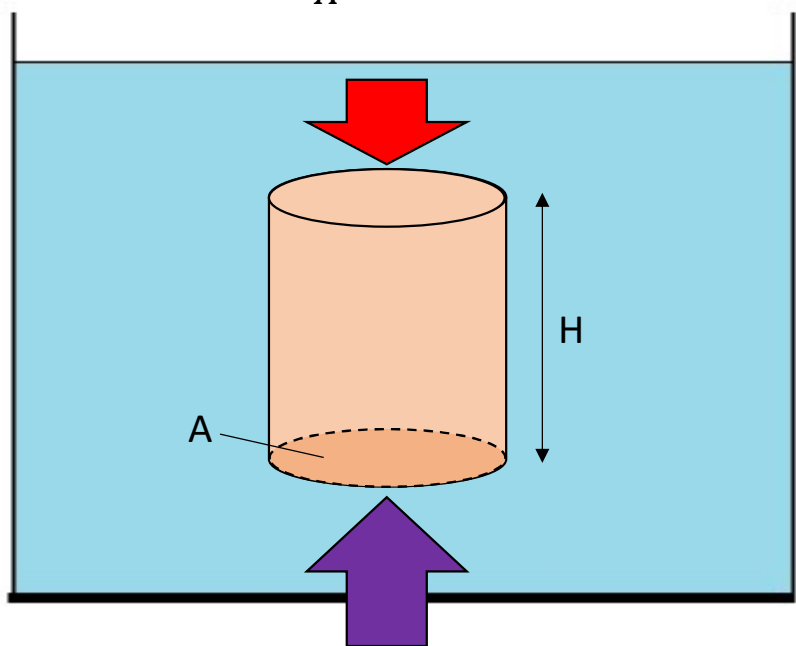


Líquido deslocado

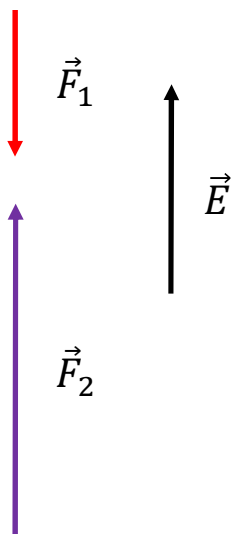
$$V_{LD} = V_{imerso}$$

# 1. Empuxo

$$P_1 = \frac{F_1}{A} \rightarrow F_1 = p_1 \cdot A$$



$$P_2 = \frac{F_2}{A} \rightarrow F_2 = p_2 \cdot A$$



$$E = F_2 - F_1$$

$$E = p_2 \cdot A - p_1 \cdot A$$

$$p_2 - p_1 = d \cdot g \cdot H$$

$$E = (p_2 - p_1) \cdot A$$

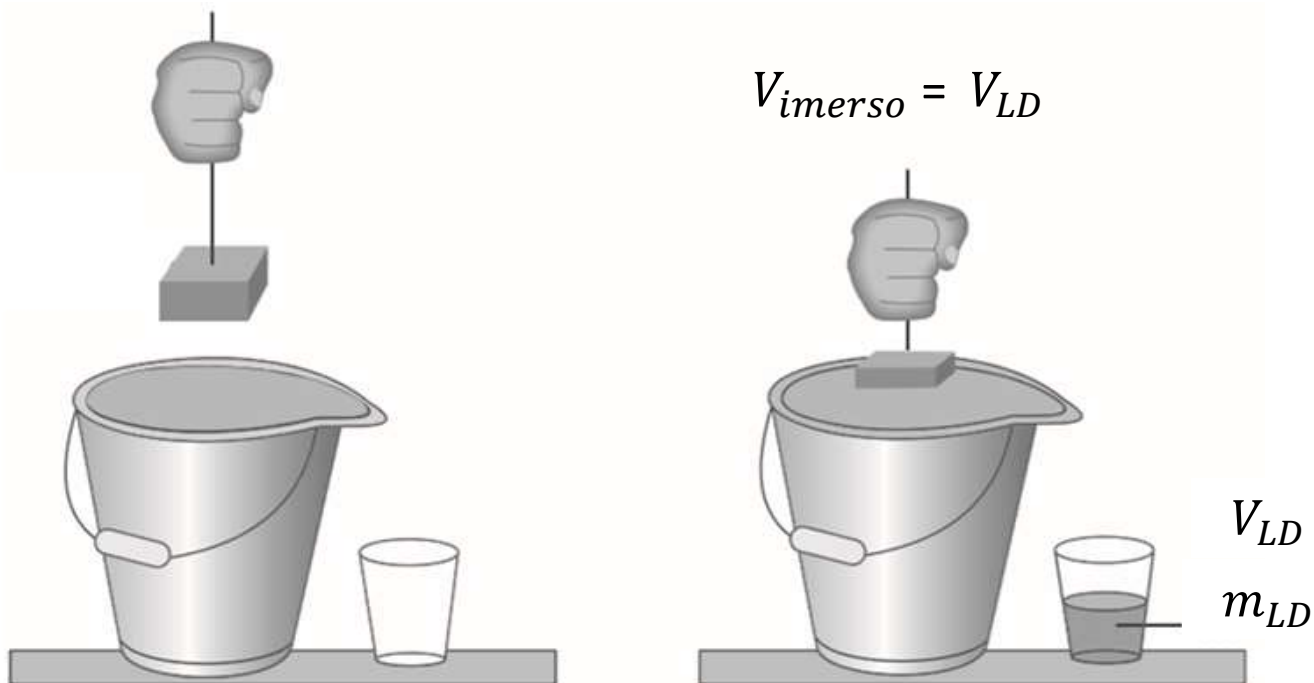
$$E = (d \cdot g \cdot H) \cdot A$$

$$V = A \cdot H \rightarrow A = \frac{V}{H}$$

$$E = d \cdot g \cdot H \cdot \left(\frac{V}{H}\right)$$

$$E = d \cdot V \cdot g$$

## 2. Teorema de Arquimedes



$$d_L = \frac{m_{LD}}{V_{LD}} \rightarrow m_{LD} = d_L \cdot V_{LD}$$

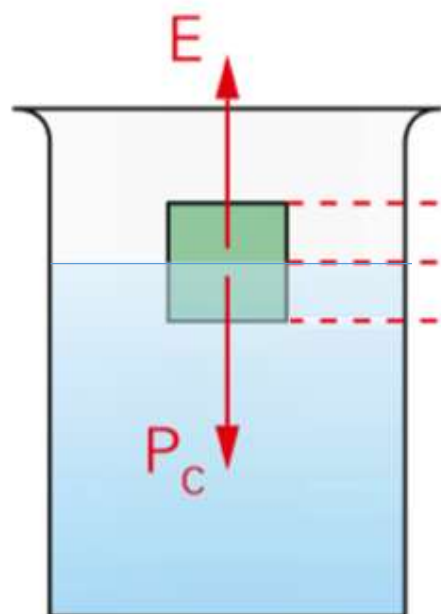
$$E = d_L \cdot V_{LD} \cdot g$$

$$E = m_{LD} \cdot g$$

$$E = P_{LD}$$

Quando o corpo ou parte dele é imerso no líquido, ocorre um deslocamento do líquido que é igual ao volume do corpo que está imerso. O empuxo tem a mesma intensidade do peso do líquido deslocado.

### 3. Corpo parcialmente imerso e em equilíbrio



Volume emerso ( $V_e$ )

Volume imerso ( $V_i$ )

Volume do corpo ( $V_C$ )

No equilíbrio

$$E = P_C$$

~~$$d_L \cdot V_i \cdot g = m_C \cdot g$$~~

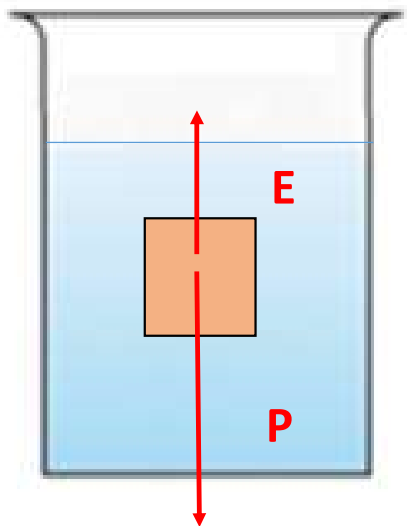
$$d_C = \frac{m_C}{V_C} \rightarrow m_C = d_C \cdot V_C$$

$$d_L \cdot V_i = m_C$$

$$d_L \cdot V_i = d_C \cdot V_C$$

$$\therefore \boxed{\frac{V_i}{V_C} = \frac{d_C}{d_L}}$$

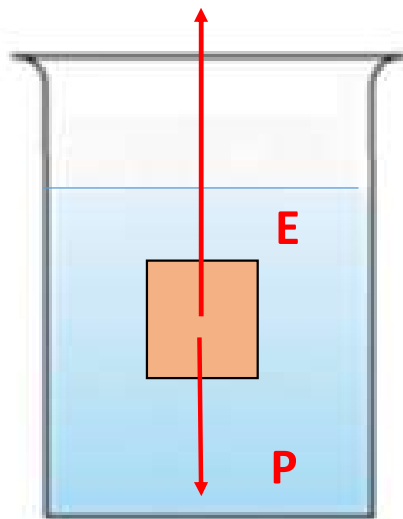
4. Corpo totalmente imerso ( $V_{Corpo} = V_{LD}$ )



$$d_C > d_L$$

$$P_C > E$$

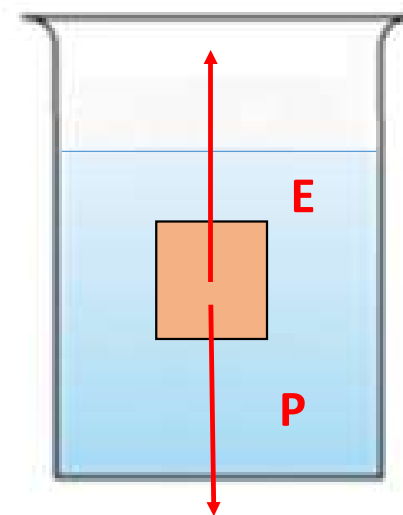
O corpo afunda



$$d_C < d_L$$

$$P_C < E$$

O corpo sobe



$$d_C = d_L$$

$$P_C = E$$

O corpo permanece equilíbrio



## Exercícios da apostila

1. ENEM Durante uma obra em um clube, um grupo de trabalhadores teve de remover uma escultura de ferro maciço colocada no fundo de uma piscina vazia. Cinco trabalhadores amarraram cordas à escultura e tentaram puxá-la para cima, sem sucesso. Se a piscina for preenchida com água, ficará mais fácil para os trabalhadores removerem a escultura, pois a

a) escultura flutuará. Dessa forma, os homens não precisarão fazer força para remover a escultura do fundo.

b) escultura ficará com peso menor. Dessa forma, a intensidade da força necessária para elevar a escultura será menor.

c) água exercerá uma força na escultura proporcional a sua massa, e para cima. Esta força se somará à força que os trabalhadores fazem para anular a ação da força peso da escultura.

d) água exercerá uma força na escultura para baixo, e esta passará a receber uma força ascendente do piso da piscina. Esta força ajudará a anular a ação da força peso na escultura.

e) água exercerá uma força na escultura proporcional ao seu volume, e para cima. Esta força se somará à força que os trabalhadores fazem, podendo resultar em uma força ascendente maior que o peso da escultura.

1. (ENEM) Durante uma obra em um clube, um grupo de trabalhadores teve de remover uma escultura de ferro maciço colocada no fundo de uma piscina vazia. Cinco trabalhadores amarraram cordas à escultura e tentaram puxá-la para cima, sem sucesso. Se a piscina for preenchida com água, ficará mais fácil para os trabalhadores removerem a escultura, pois a

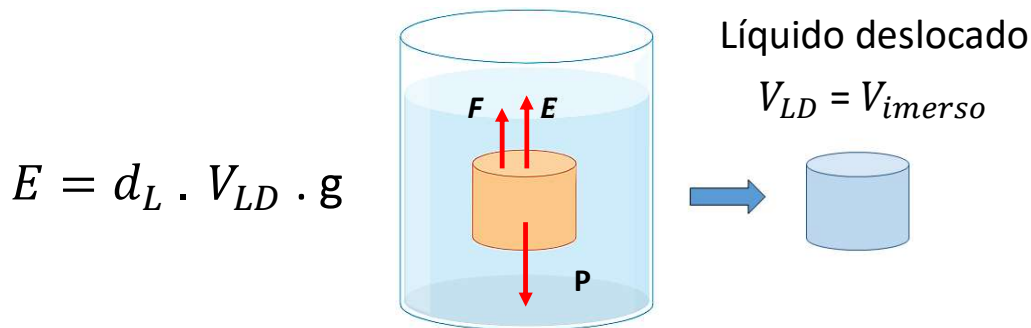
a) escultura flutuará. Dessa forma, os homens não precisarão fazer força para remover a escultura do fundo.

b) escultura ficará com peso menor. Dessa forma, a intensidade da força necessária para elevar a escultura será menor.

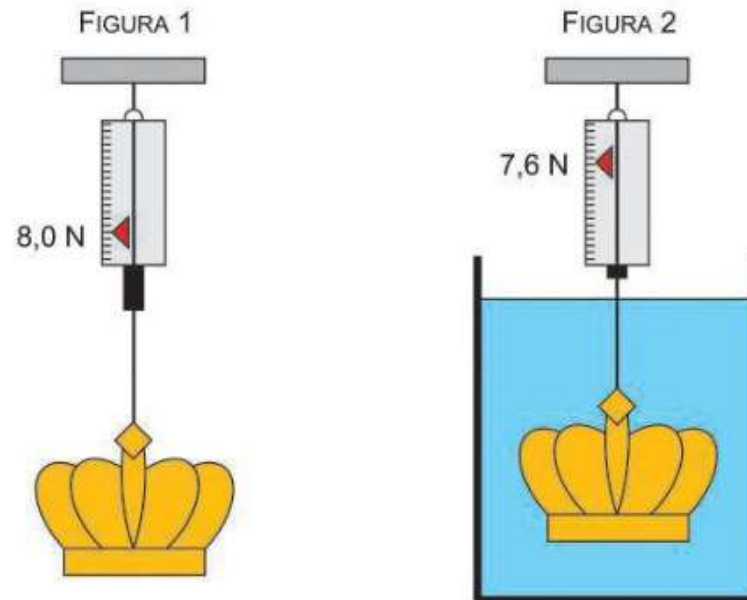
c) água exercerá uma força na escultura proporcional a sua massa, e para cima. Esta força se somará à força que os trabalhadores fazem para anular a ação da força peso da escultura.

d) água exercerá uma força na escultura para baixo, e esta passará a receber uma força ascendente do piso da piscina. Esta força ajudará a anular a ação da força peso na escultura.

→ e) água exercerá uma força na escultura proporcional ao seu volume, e para cima. Esta força se somará à força que os trabalhadores fazem, podendo resultar em uma força ascendente maior que o peso da escultura.



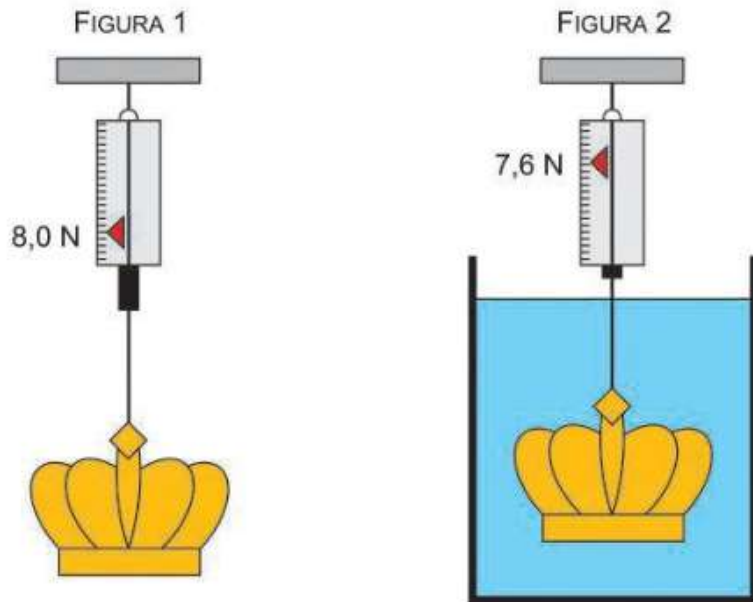
2. (Unifesp) Para determinar a densidade de uma coroa metálica maciça, foi realizado um experimento em que ela foi pendurada em um dinamômetro ideal por dois modos diferentes: um no ar e outro totalmente imersa na água em equilíbrio contida em um recipiente, de acordo com as figuras 1 e 2, respectivamente. Na primeira situação, o dinamômetro indicou 8,0 N e, na segunda situação, indicou 7,6 N.



Sabendo que a densidade da água é  $10^3 \text{ kg/m}^3$  e adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,

- represente as forças que agem na coroa na situação da figura 2 e calcule a massa dessa coroa, em kg.
- calcule a densidade, em  $\text{kg/m}^3$ , dessa coroa.

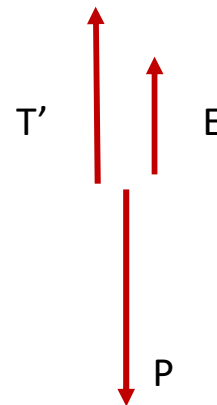
2. (Unifesp) Para determinar a densidade de uma coroa metálica maciça, foi realizado um experimento em que ela foi pendurada em um dinamômetro ideal por dois modos diferentes: um no ar e outro totalmente imersa na água em equilíbrio contida em um recipiente, de acordo com as figuras 1 e 2, respectivamente. Na primeira situação, o dinamômetro indicou 8,0 N e, na segunda situação, indicou 7,6 N.



Sabendo que a densidade da água é  $10^3 \text{ kg/m}^3$  e adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,

a) represente as forças que agem na coroa na situação da figura 2 e calcule a massa dessa coroa, em kg.

Forças na situação da figura 2



Na situação da figura 1



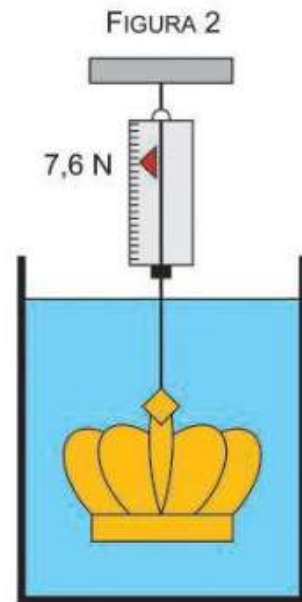
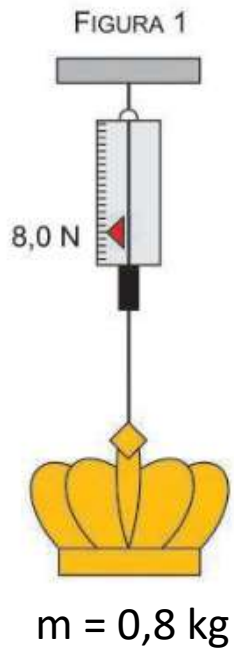
$$P = T$$

$$m \cdot g = T$$

$$m \cdot 10 = 8$$

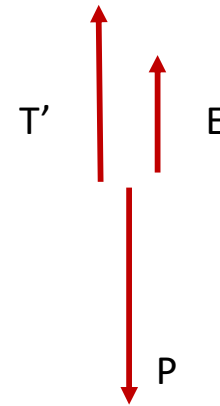
$$m = 0,8 \text{ kg}$$

2. (Unifesp) Para determinar a densidade de uma coroa metálica maciça, foi realizado um experimento em que ela foi pendurada em um dinamômetro ideal por dois modos diferentes: um no ar e outro totalmente imersa na água em equilíbrio contida em um recipiente, de acordo com as figuras 1 e 2, respectivamente. Na primeira situação, o dinamômetro indicou 8,0 N e, na segunda situação, indicou 7,6 N.



b) calcule a densidade, em  $\text{kg/m}^3$ , dessa coroa.

Forças na situação da figura 2



$$E + T' = P$$

$$d_L \cdot V \cdot g + T' = m \cdot g$$

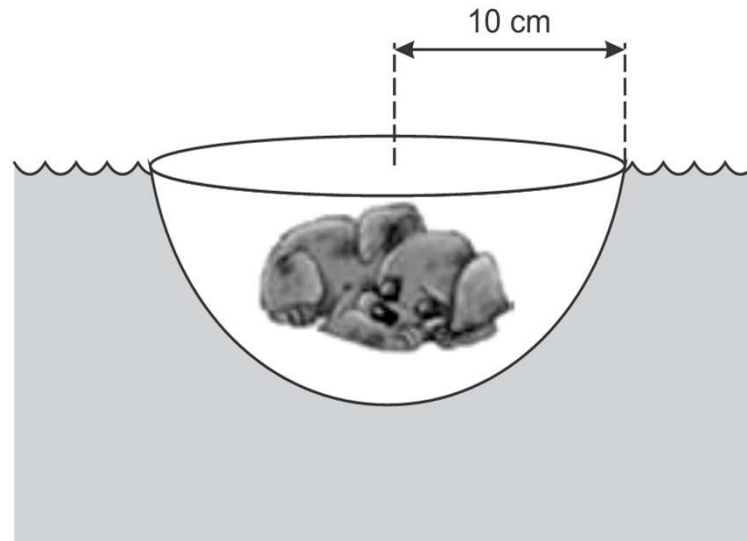
$$10^3 \cdot V \cdot 10 + 7,6 = 0,8 \cdot 10$$

$$10^4 \cdot V + 7,6 = 8$$

$$V = \frac{0,4}{10^4} = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{0,8}{0,4 \cdot 10^{-4}} = 2 \cdot 10^4 \text{ kg/m}^3$$

3. (Unesp 2016) Um filhote de cachorro cochila dentro de uma semiesfera de plástico de raio 10 cm, a qual flutua em uma piscina de águas paradas, totalmente submersa e em equilíbrio, sem que a água entre nela.



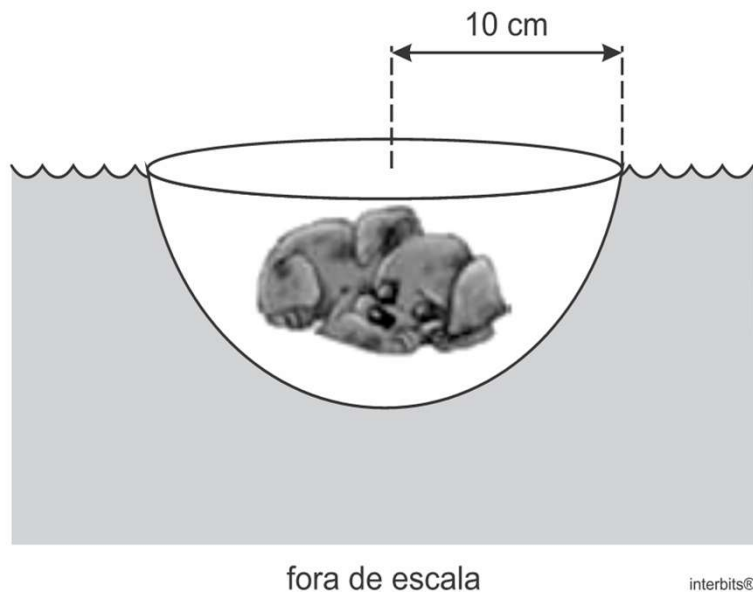
fora de escala

interbits®

Desprezando a massa da semiesfera, considerando a densidade da água da piscina igual a  $10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\pi = 3$  e sabendo que o volume de uma esfera de raio  $R$  é dado pela expressão  $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ , é correto afirmar que a massa do cachorro, em kg, é igual a

- a) 2,5    b) 2,0    c) 3,0    d) 3,5    e) 4,0

3. (Unesp 2016) Um filhote de cachorro cochila dentro de uma semiesfera de plástico de raio 10 cm, a qual flutua em uma piscina de águas paradas, totalmente submersa e em equilíbrio, sem que a água entre nela.



$$R = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m} = 10^{-1} \text{ m}$$

No equilíbrio

$$P = E$$

$$m \cdot g = d_L \cdot V_{LD} \cdot g$$

$$m = d_L \cdot \frac{\frac{4\pi R^3}{3}}{2}$$

$$m = 10^3 \cdot \frac{4 \cdot 3 \cdot (10^{-1})^3}{2}$$

$$m = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^{-3}$$

$$\therefore m = 2 \text{ kg}$$

Desprezando a massa da semiesfera, considerando a densidade da água da piscina igual a  $10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $\pi = 3$  e sabendo que o volume de uma esfera de raio  $R$  é dado pela expressão  $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ , é correto afirmar que a massa do cachorro, em kg, é igual a

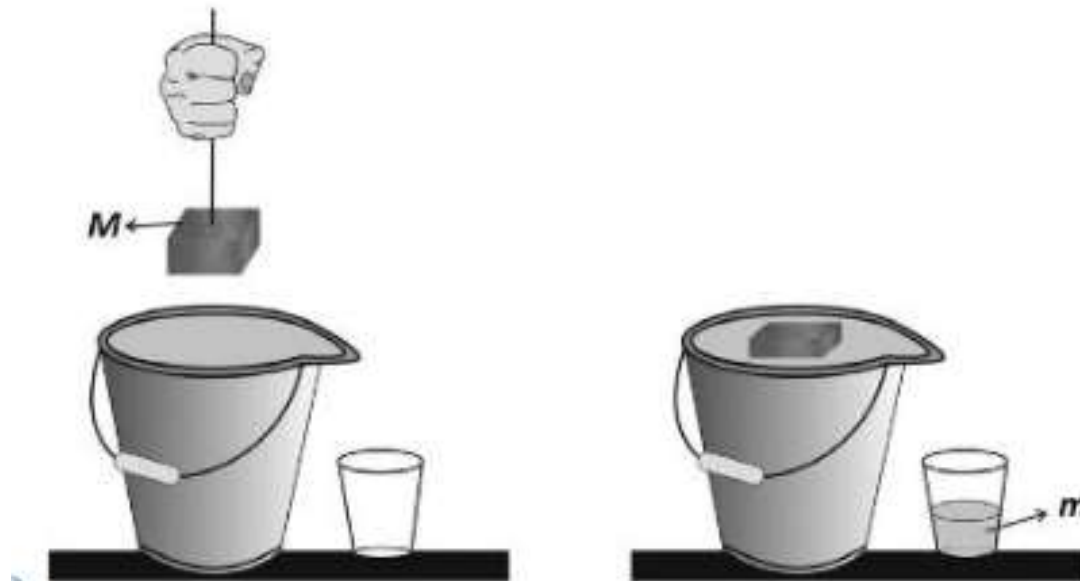
- a) 2,5    **b) 2,0**    c) 3,0    d) 3,5    e) 4,0



4. (Fuvest-SP) Um bloco de madeira impermeável, de massa  $M$  e dimensões  $2 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ , é inserido muito lentamente na água de um balde, até a condição de equilíbrio, com metade de seu volume submersa. A água que vaza do balde é coletada em um copo e tem massa  $m$ . A figura ilustra as situações inicial e final; em ambos os casos, o balde encontra-se cheio de água até sua capacidade máxima.

A relação entre as massas  $m$  e  $M$  é tal que

- a)  $m = M/3$
- b)  $m = M/2$
- c)  $m = M$
- d)  $m = 2M$
- e)  $m = 3M$



4. (Fuvest-SP) Um bloco de madeira impermeável, de massa  $M$  e dimensões  $2 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$ , é inserido muito lentamente na água de um balde, até a condição de equilíbrio, com metade de seu volume submersa. A água que vaza do balde é coletada em um copo e tem massa  $m$ . A figura ilustra as situações inicial e final; em ambos os casos, o balde encontra-se cheio de água até sua capacidade máxima.

A relação entre as massas  $m$  e  $M$  é tal que

- a)  $m = M/3$     b)  $m = M/2$     **c)  $m = M$**     d)  $m = 2M$     e)  $m = 3M$

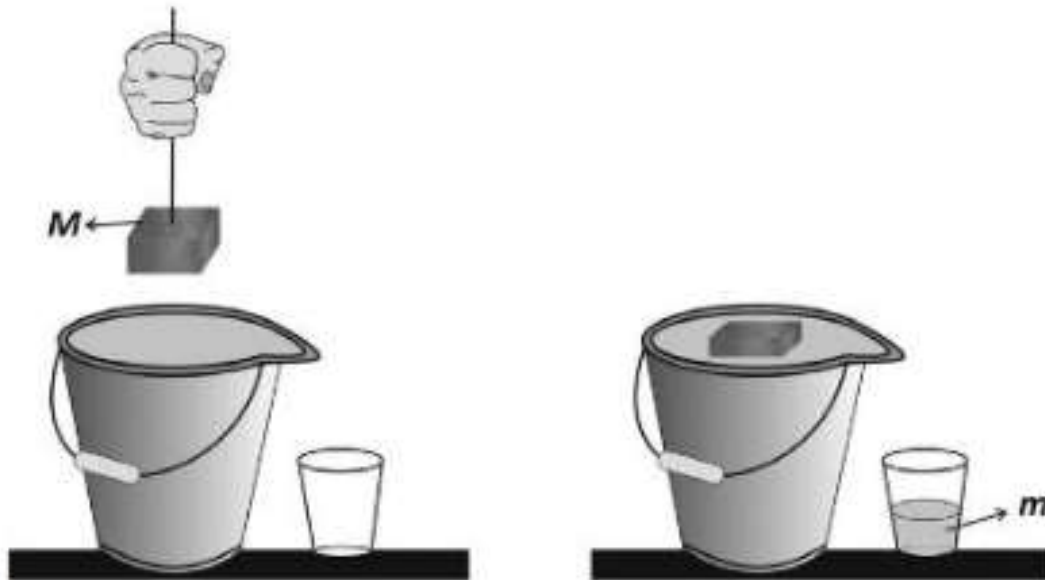
No equilíbrio

$$E = P_C$$

$$P_{LD} = P_C$$

~~$$m \cdot g = M \cdot g$$~~

$$m = M$$

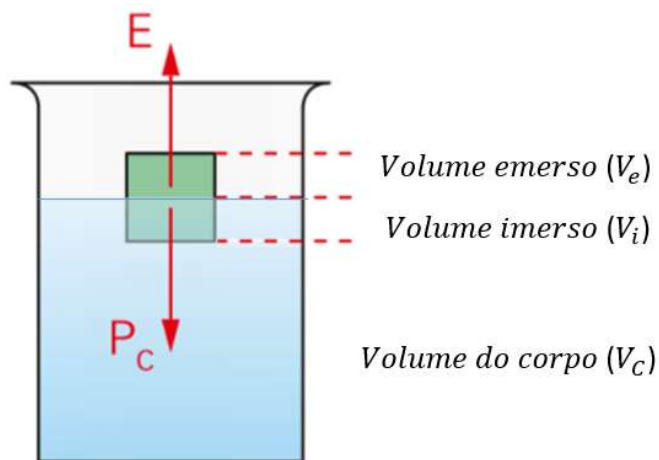


5. (UFPR) Um objeto sólido com massa 600 g e volume 1 litro está parcialmente imerso em um líquido, de maneira que 80% do seu volume estão submersos. Considerando a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , assinale a alternativa que apresenta a massa específica do líquido.

- a)  $0,48 \text{ g/cm}^3$ .
- b)  $0,75 \text{ g/cm}^3$ .
- c)  $0,8 \text{ g/cm}^3$ .
- d)  $1,33 \text{ g/cm}^3$ .
- e)  $1,4 \text{ g/cm}^3$ .

5. (UFPR) Um objeto sólido com massa 600 g e volume 1 litro está parcialmente imerso em um líquido, de maneira que 80% do seu volume estão submersos. Considerando a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , assinale a alternativa que apresenta a massa específica do líquido.

- a)  $0,48 \text{ g/cm}^3$ .
- b)  $0,75 \text{ g/cm}^3$ .
- c)  $0,8 \text{ g/cm}^3$ .
- d)  $1,33 \text{ g/cm}^3$ .
- e)  $1,4 \text{ g/cm}^3$ .



$$1\text{L} = 1000 \text{ mL} = 1000 \text{ cm}^3$$

$$d_C = \frac{m_C}{V_C} = \frac{600}{1000} = 0,6 \text{ g/cm}^3$$

$$d_C = \frac{m_C}{V_C} \rightarrow m_C = d_C \cdot V_C$$

$$E = P_C$$

$$d_L \cdot V_i \cdot \cancel{g} = m_C \cdot \cancel{g}$$

$$d_L \cdot V_i = m_C$$

$$d_L \cdot V_i = d_C \cdot V_C$$

$$d_L \cdot V_i = d_C \cdot V_C$$

$$d_L \cdot 0,8 \cdot \cancel{V_C} = 0,6 \cdot \cancel{V_C}$$

$$d_L = \frac{0,6}{0,8}$$

$$\therefore d_L = 0,75 \text{ g/cm}^3$$

6. (ENEM) Um brinquedo chamado ludião consiste em um pequeno frasco de vidro, parcialmente preenchido com água, que é emborcado (virado com a boca para baixo) dentro de uma garrafa PET cheia de água e tampada. Nessa situação, o frasco fica na parte superior da garrafa, conforme mostra a figura 1.

Quando a garrafa é pressionada, o frasco se desloca para baixo, como mostrado na figura 2.

Ao apertar a garrafa, o movimento de descida do frasco ocorre porque

- a) diminui a força para baixo que a água aplica no frasco.
- b) aumenta a pressão na parte pressionada da garrafa.
- c) aumenta a quantidade de água que fica dentro do frasco.
- d) diminui a força de resistência da água sobre o frasco.
- e) diminui a pressão que a água aplica na base do frasco.

Figura 1



Figura 2

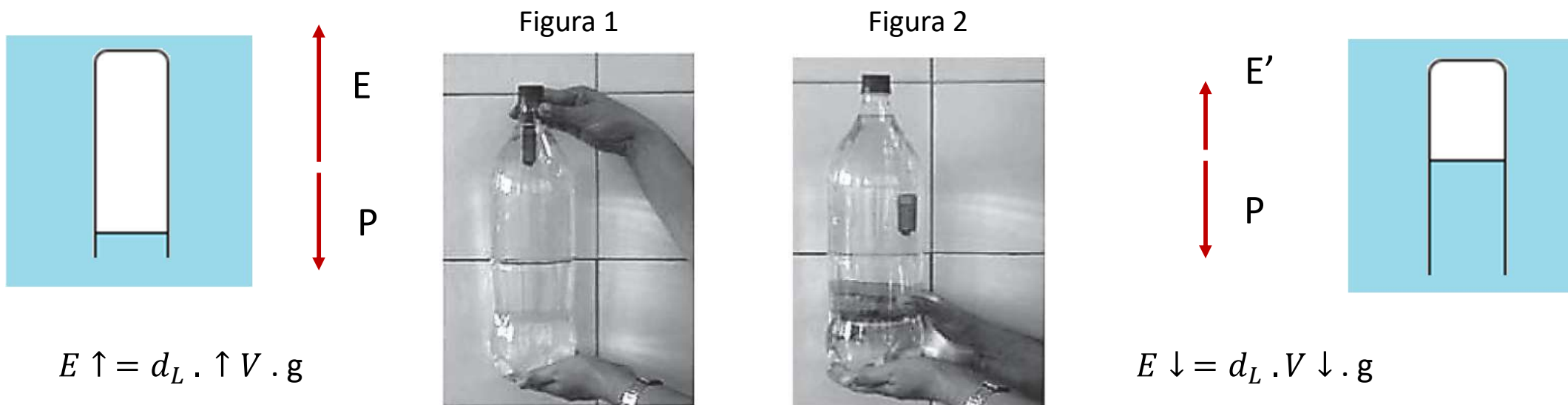


6. (ENEM) Um brinquedo chamado ludião consiste em um pequeno frasco de vidro, parcialmente preenchido com água, que é emborcado (virado com a boca para baixo) dentro de uma garrafa PET cheia de água e tampada. Nessa situação, o frasco fica na parte superior da garrafa, conforme mostra a figura 1.

Quando a garrafa é pressionada, o frasco se desloca para baixo, como mostrado na figura 2.

Ao apertar a garrafa, o movimento de descida do frasco ocorre porque

- a) diminui a força para baixo que a água aplica no frasco.
- b) aumenta a pressão na parte pressionada da garrafa.
- c) aumenta a quantidade de água que fica dentro do frasco.
- d) diminui a força de resistência da água sobre o frasco.
- e) diminui a pressão que a água aplica na base do frasco.



$$E \uparrow = d_L \cdot \uparrow V \cdot g$$

$$E \downarrow = d_L \cdot V \downarrow \cdot g$$

Desafio: O que acontece com nível da água se o bloquinho de gelo derreter?

$$m_c = 9,2 \text{ g}$$

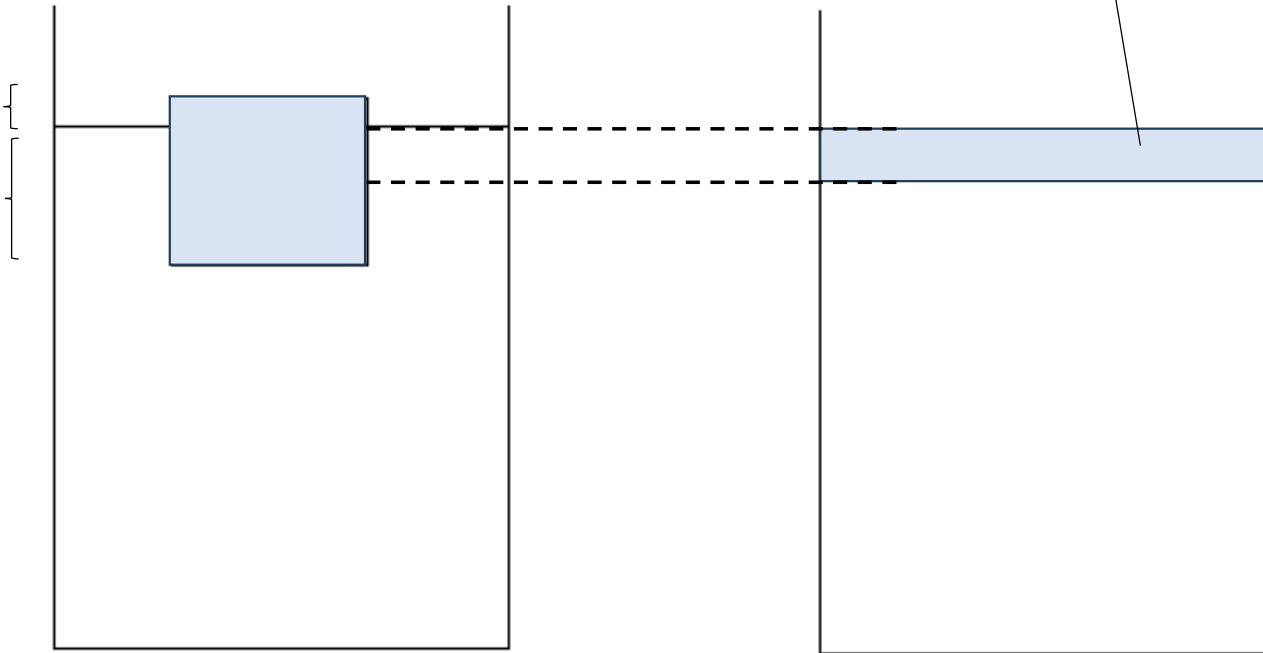
$$V_c = 10 \text{ mL}$$

$$m_c = 9,2 \text{ g}$$

$$V'_c = 9,2 \text{ mL}$$

$$V_e = 0,8 \text{ mL}$$

$$V_i = 9,2 \text{ mL}$$



O nível da água permanece o mesmo

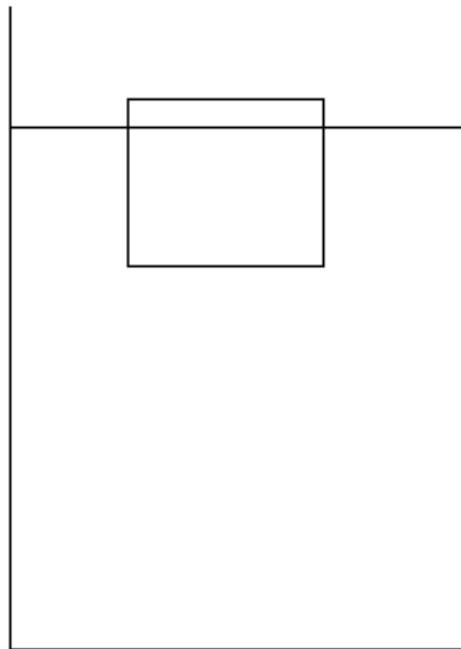
$$d_{\text{gelo}} = 0,92 \text{ g/mL}$$

$$d_{\text{água}} = 1,00 \text{ g/mL}$$

O que acontece com nível da água se o bloquinho de gelo derreter?

$$m_c = 9,2 \text{ g}$$

$$V_c = 10 \text{ mL}$$



$$V_e = 0,8 \text{ mL}$$

$$V_i = 9,2 \text{ mL}$$

$$V_c = ?$$

$$d_c = \frac{m}{V} \rightarrow V_c = \frac{m_c}{d_c} = \frac{9,2}{0,92} = 10 \text{ mL}$$

$$V_i \text{ e } V_e ?$$

$$\frac{V_i}{V_c} = \frac{d_c}{d_L}$$

$$\frac{V_i}{10} = \frac{0,92}{1}$$

$$V_i = 9,2 \text{ mL}$$

$$d_{\text{gelo}} = 0,92 \text{ g/mL}$$

$$d_{\text{água}} = 1,00 \text{ g/mL}$$