

# MÓDULO 15

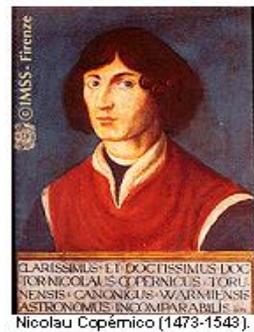
## GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

### 1- Introdução

Desde que começou a cintilar no cérebro do homem a luz da racionalidade, o brilho e o movimento dos astros desafiaram sua curiosidade. Em todas as etapas da civilização, os homens procuraram dar uma explicação para os fascinantes problemas que envolviam o movimento dos astros. Os sábios gregos, por exemplo, deduziram que a Terra ocupava o centro do Universo. Em torno dela, giravam os outros corpos celestes, em perfeitos círculos concêntricos. O homem era, assim, o centro e a medida de todas as coisas.

Pensando de modo diferente, Aristarco de Samos (310-230 a.C) foi o primeiro a afirmar que todos os planetas, inclusive a Terra, giravam em torno do Sol. Aristarco, no entanto, não teve crédito, porque a sabedoria grega admirava mais a idéia de que o homem ocupava o lugar central no Universo, favorecida pelo sistema geocêntrico proposto pelo grego Hiparco (século II a.C).

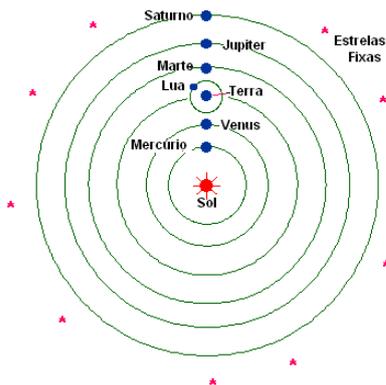
No século II d.C, o sistema geocêntrico foi desenvolvido e consagrado por Cláudio Ptolomeu, grande astrônomo da escola de Alexandria, no Egito. Para ele a Terra era fixa e ocupava o centro das órbitas circulares dos planetas.



Somente no século XVI foi que a teoria heliocêntrica (o sol como centro do Universo) se afirmou novamente: o estudioso e cônego polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) discordou do sistema ptolomaico, até então aceito e defendido, e renovou a idéia de Aristarco, afirmando que o Sol era realmente o centro das órbitas planetárias.

Levantaram-se muitos debates em torno dessa reafirmação, uma vez que os cientistas da época e a própria Igreja Católica só aceitavam o geocentrismo. Outro astrônomo, porém, elaborou uma teoria intermediária: o dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601). Observando os fenômenos celestes, ele concluiu que os planetas giravam em torno do Sol e a Lua girava em torno da Terra. Suas observações levaram seu colega alemão Joannes Kepler (1571-1630) a elaborar algumas leis que convenceram, definitivamente, os pesquisadores sobre a realidade do heliocentrismo, inclusive sobre o fato de serem as órbitas elípticas, e não circulares.

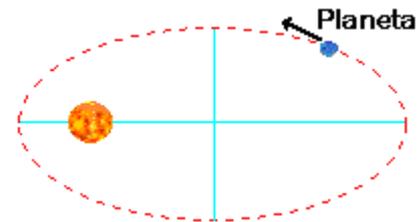
Depois de tantas observações e conclusões, muitos ainda negavam a teoria copernicana. Foi assim que o físico e matemático Galileu Galilei (1564-1642), um dos maiores inovadores da pesquisa e das ciências, foi acusado de herege, processado pela Igreja Católica e julgado em tribunal por afirmar que a Terra não era fixa e fazia parte do sistema solar. Finalmente, todas as conclusões foram coroadas pela colaboração de Isaac Newton (1643-1727), físico e matemático inglês, autor da Lei da Gravitação Universal, a qual explica toda a mecânica celeste.



### 2- Leis de Kepler

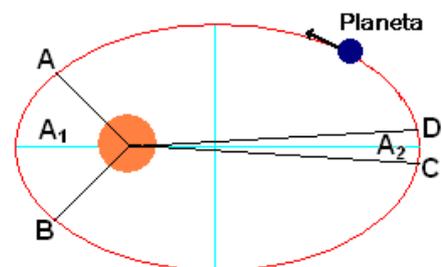
Estudando dados sobre a posição de planetas, Kepler conseguiu descobrir padrões, isto é, regularidades ou leis obedecidas pelo movimento dos planetas. Ele conseguiu resumir estes padrões na forma de três leis, conhecidas como as leis de Kepler.

**2.1 - 1ª Lei de Kepler (Lei das Órbitas):** os planetas descrevem órbitas elípticas em torno do Sol, que ocupa um dos focos da elipse descrita.



O periélio é o ponto de maior proximidade do planeta em relação ao sol; e o afélio, o ponto de maior afastamento do planeta em relação ao sol. No caso da terra, o periélio no final do mês de dezembro e se encontra a 147 milhões de quilômetros do sol e, o afélio, no final do mês de julho, a 152 milhões de quilômetros.

**2.2 - 2ª Lei de Kepler (Lei das Áreas):** o segmento imaginário que une o centro do sol e o centro do planeta varre áreas iguais em intervalos de tempos iguais.



$$\Delta t_1 = \Delta t_2 \leftrightarrow A_1 = A_2$$

**Conseqüência:** a velocidade de translação de um plano é maior quando próximo ao sol (periélio), e menor quando afastado do sol (afélio).

**2.3 - 3ª Lei de Kepler (Leis dos Períodos):** o quadrado do período da revolução ( $T^2$ ) de qualquer planeta em torno do sol é diretamente proporcional ao cubo do raio médio de sua órbita ( $R^3$ ).

$$T^2 = K.R^3 \leftrightarrow \frac{T^2}{R^3} = K(cte)$$

As leis de Kepler são válidas também para o movimento dos satélites ao redor dos planetas.

Planeta	Semi-eixo maior $r$ ( $10^{10}m$ )	Período $T$ (ano)	$\frac{T^2}{r^3}$ ( $10^{-34} \text{ ano}^2/m^3$ )
Mercúrio	5,79	0,241	2,99
Vênus	10,8	0,615	3,00
Terra	15,0	1,000	2,96
Marte	22,8	1,88	2,98
Júpiter	77,8	11,9	3,01
Saturno	143	29,5	2,98
Urano	287	84,0	2,98
Netuno	450	165	2,99
Plutão	590	248	2,99

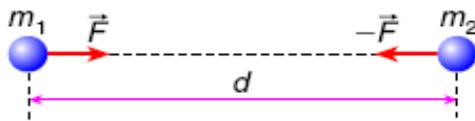
### 3- Lei de Newton (Lei da gravitação universal)

Em 1687, com a publicação de *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*, Newton lançou as bases da Física Clássica, propondo a lei da atração gravitacional para explicar os movimentos dos planetas em torno do sol. Os planetas são mantidos em órbita em torno do sol devido a uma ação mútua, ou seja, devido a força entre o sol e os planetas.



A força entre duas partículas quaisquer de massas  $m_1$  e  $m_2$ , separadas pela distância  $d$ , é atrativa e age ao longo da linha que une as partículas.

Duas partículas quaisquer atraem-se com uma força cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.



$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

$F$  = força gravitacional (N)

$m_1, m_2$  = massas das partículas (kg)

$d$  = distância entre as massas (m)

$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$

### 4- Campo gravitacional (Aceleração da gravidade)

O conceito de campo é de fundamental importância no estudo da física. De uma maneira genérica, campo é uma região do espaço modificada pela presença de um corpo; de acordo com propriedades do corpo que provoca essa modificação do espaço, podemos ter um campo gravitacional, um campo elétrico ou um campo magnético. O campo gravitacional é originado pela presença de uma massa.

A Terra (de massa  $M$  e raio  $R$ ) exerce uma força de atração gravitacional sobre um corpo (de massa  $m$ ) localizado na sua superfície. A distância entre o centro de gravidade da terra e o corpo é  $d = R$ . Desprezando-se os efeitos da rotação da terra, a força gravitacional é o peso do corpo:

$$F = P$$

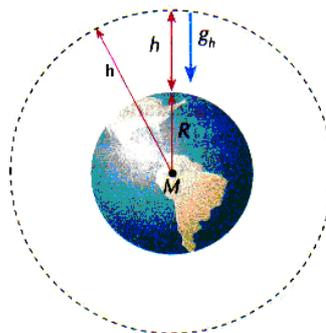
$$G \frac{M \cdot m}{R^2} = m \cdot g$$

Então, a intensidade do campo gravitacional ou aceleração da gravidade **na superfície da Terra**, é dada por



$$g = \frac{GM}{R^2}$$

Caso o corpo esteja a uma altitude  $h$  em relação a superfície, a distância  $d$  passa a ser  $R + h$  e a aceleração gravitacional é modificada para



$$g_h = \frac{GM}{(R + h)^2}$$

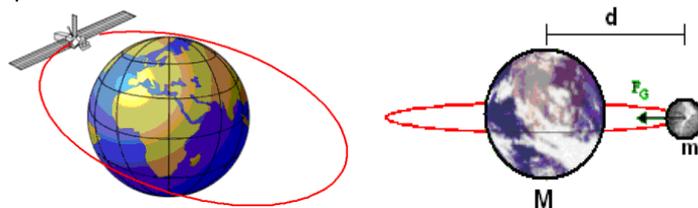
Para alturas pequenas  $g_h = g$

Altitude	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
0	9,806
1.000	9,803
4.000	9,794
16.000	9,757
32.000	9,708
100.000	9,598

Astro	Massa (kg)	Raio (m)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )
Sol	$2,0 \cdot 10^{30}$	$7,0 \cdot 10^8$	274
Mercúrio	$3,3 \cdot 10^{23}$	$2,6 \cdot 10^6$	3,6
Vênus	$4,8 \cdot 10^{24}$	$6,3 \cdot 10^6$	8,6
Terra	$6,0 \cdot 10^{24}$	$6,4 \cdot 10^6$	9,80
Marte	$6,4 \cdot 10^{23}$	$3,4 \cdot 10^6$	3,7
Júpiter	$1,9 \cdot 10^{27}$	$7,2 \cdot 10^7$	25,9
Saturno	$5,6 \cdot 10^{26}$	$6,0 \cdot 10^7$	11,3
Urano	$8,6 \cdot 10^{25}$	$2,7 \cdot 10^7$	11,5
Netuno	$1,0 \cdot 10^{26}$	$2,5 \cdot 10^7$	11,6
Plutão	$6,0 \cdot 10^{23}$	$3,0 \cdot 10^6$	3,9
Lua	$7,3 \cdot 10^{22}$	$1,7 \cdot 10^6$	1,6

### 5- Movimento de Planetas e Satélites

A força gravitacional faz o papel de resultante centrípeta.



$$F_G = F_{cp}$$

$$\frac{G \cdot M \cdot m}{d^2} = \frac{m \cdot v^2}{d} \leftrightarrow v = \sqrt{\frac{G \cdot M}{d}}$$

## 6- Satélite estacionário

Denomina-se satélite estacionário aquele que permanece em repouso em relação a um observador fixo na superfície da Terra.

Sua órbita, em relação a um referencial no centro de massa da Terra, deve ser circular e estar contida no plano equatorial. Seu período de rotação é igual ao da Terra, ou seja, de 24 h.

Para que um satélite permaneça sempre sobre um determinado ponto da superfície da Terra, ele deve orbitar sempre a uma distância fixa de **35.786 km** acima do nível do mar, no plano do equador da Terra. Isso independente da massa (peso) do satélite. Os satélites brasileiros de comunicação da família **Brasilsat** são satélites de órbita geoestacionária.



## 7- Imponderabilidade no interior de satélites

A ausência aparente do peso dentro de satélites faz com que os corpos flutuem, não querendo, entretanto, significar que a força gravitacional seja nula. Isso é devido ao fato de a força gravitacional fazer papel da resultante centrípeta para manter o satélite e os corpos de seu interior em órbita.

Fisiologicamente, muitas alterações também ocorrem no estado de imponderabilidade. Fica mais fácil ao coração bombear o sangue para todas as regiões do corpo; a pressão para baixo na coluna deixa de existir. Aliás, o "para cima" e o "para baixo" perdem completamente o significado, pois também deixa de existir uma direção privilegiada.

Podemos pensar numa situação aqui na Terra, nada agradável, mas equivalente ao interior de uma nave em órbita. Imagine-se dentro de um elevador, cujo cabo se rompe e o sistema de segurança não funciona. O elevador despenca. O que ocorreria com o peso dos passageiros? O elevador cai devido à gravidade, as pessoas pedem o contato com o piso, "flutuam" e têm a sensação de "ausência de peso". Todos caem simultaneamente e não há como medir o peso das pessoas dentro do elevador.

## EXERCÍCIOS DE AULA

**1. (UFSC)** Durante aproximados 20 anos, o astrônomo dinamarquês Tycho Brahe realizou rigorosas observações dos movimentos planetários, reunindo dados que serviram de base para o trabalho desenvolvido, após sua morte, por seu discípulo, o astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630). Kepler, possuidor de grande habilidade matemática, analisou cuidadosamente os dados coletados por Tycho Brahe, ao longo de vários anos, tendo descoberto três leis para o movimento dos planetas. Apresentamos, a seguir, o enunciado das três leis de Kepler.

**1ª lei de Kepler:** Cada planeta descreve uma órbita elíptica em torno do Sol, da qual o Sol ocupa um dos focos.

**2ª lei de Kepler:** O raio-vetor (segmento de reta imaginário que liga o Sol ao planeta) "varre" áreas iguais, em intervalos de tempo iguais.

**3ª lei de Kepler:** Os quadrados dos períodos de translação dos planetas em torno do Sol são proporcionais aos cubos dos raios médios de suas órbitas.

Assinale a(s) proposição(ões) que apresenta(m) conclusão(ões) **CORRETA(S)** das leis de Kepler:

- (01) A velocidade média de translação de um planeta em torno do Sol é diretamente proporcional ao raio médio de sua órbita.
- (02) O período de translação dos planetas em torno do Sol não depende da massa dos mesmos.
- (04) Quanto maior o raio médio da órbita de um planeta em torno do Sol, maior será o período de seu movimento.
- (08) A 2ª lei de Kepler assegura que o módulo da velocidade de translação de um planeta em torno do Sol é constante.
- (16) A velocidade de translação da Terra em sua órbita aumenta à medida que ela se aproxima do Sol e diminui à medida que ela se afasta.
- (32) A razão entre os quadrados dos períodos de translação dos planetas em torno do Sol e os cubos dos raios médios de suas órbitas apresenta um valor constante.
- (64) Os planetas situados à mesma distância do Sol devem ter a mesma massa.

Soma (     )

**2. (FATEC)** A respeito do planeta Júpiter e de um de seus satélites, lo, foram feitas as afirmações:

- I. Sobre esses corpos celestes, de grandes massas, predominam as forças gravitacionais.
- II. É a força de Júpiter em lo que o mantém em órbita em torno do planeta.
- III. A força que Júpiter exerce em lo tem maior intensidade que a força exercida por lo em Júpiter.

Deve-se concluir que somente

- a) I é correta.
- b) II é correta.
- c) III é correta.
- d) I e II são corretas.
- e) II e III são corretas.

**3. (FDC)** A força de atração gravitacional entre duas partículas depende de suas massas e da distância que as separa. Seja  $F$  a atração entre duas partículas. Se dobrarmos a massa de uma delas e reduzirmos a distância entre elas à metade, a nova atração gravitacional valerá

- a)  $F$
- b)  $2F$
- c)  $4F$
- d)  $6F$
- e)  $8F$

**4. (VUNESP-Adaptada)** Turistas que visitam Moscou podem experimentar a ausência aparente de gravidade voando em aviões de treinamento de cosmonautas. Uma das maneiras de dar aos passageiros desses vôos a sensação de ausência de gravidade, durante um determinado intervalo de tempo, é fazer um desses aviões

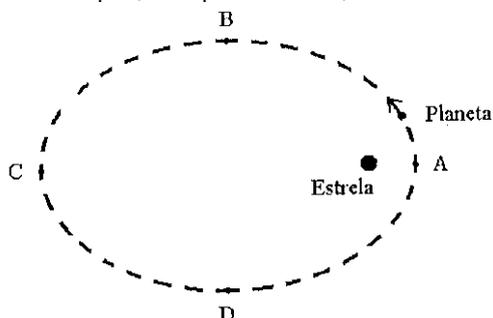
- a) voar em círculos, num plano vertical, com velocidade escalar constante.
- b) voar em círculos, num plano horizontal, com velocidade escalar constante.
- c) voar verticalmente para cima, com aceleração maior que  $g$ .
- d) voar horizontalmente, em qualquer direção, com aceleração igual a  $g$ .
- e) cair verticalmente de grande altura, em queda livre.

5. (UNEB) Um satélite artificial, de 800 kg de massa, está em órbita em torno da Terra a uma altura igual a três vezes o raio da Terra. Considerando-se a aceleração da gravidade na superfície da Terra igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , o peso do satélite, quando em órbita, é

- a) 100 N
- b) 200 N
- c) 300 N
- d) 400 N
- e) 500 N

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1. (UFRS) Um planeta descreve trajetória elíptica em torno de uma estrela que ocupa um dos focos da elipse, conforme indica a figura abaixo. Os pontos A e C estão situados sobre o eixo maior da elipse, e os pontos B e D, sobre o eixo menor.



Se  $t_{AB}$  e  $t_{BC}$  forem os intervalos de tempo para o planeta percorrer os respectivos arcos de elipse, e se  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_B$  forem, respectivamente, as forças resultantes sobre o planeta nos pontos A e B, pode-se afirmar que

- a)  $t_{AB} < t_{BC}$  e que  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_B$  apontam para o centro da estrela.
- b)  $t_{AB} < t_{BC}$  e que  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_B$  apontam para o centro da elipse.
- c)  $t_{AB} = t_{BC}$  e que  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_B$  apontam para o centro da estrela.
- d)  $t_{AB} = t_{BC}$  e que  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_B$  apontam para o centro da elipse.
- e)  $t_{AB} > t_{BC}$  e que  $\vec{F}_A$  e  $\vec{F}_B$  apontam para o centro da estrela.

2. (FURG) De acordo com uma das leis de Kepler, cada planeta completa (varre) áreas iguais em torno do Sol. Como as órbitas são elípticas e o Sol ocupa um dos focos da elipse, conclui-se que

- a) a velocidade de um planeta é constante em módulo, mas de direção variável.
- b) a velocidade de um planeta é constante em módulo e direção.
- c) quando um planeta está mais próximo do Sol, sua velocidade aumenta.
- d) quando um planeta está mais distante do Sol, sua velocidade aumenta.
- e) a velocidade de um planeta em sua órbita elíptica, independe da posição

3. (FM SANTA CASA-SP) A força gravitacional com que a Terra atrai a Lua:

- a) é menor do que a força com que a Lua atrai a Terra.
- b) é a mesma para todos os planetas.
- c) é pouco maior do que a força com que a Lua atrai a Terra.
- d) é de mesma natureza da força que faz uma fruta cair de uma árvore.
- e) é uma força nuclear.

4. (FURG) Um satélite na superfície da Terra tem uma certa massa  $m$  e o peso  $P$ . Se este satélite for colocado em órbita, a uma altitude igual ao raio da Terra, sua massa e seu peso, respectivamente, serão

- a)  $m$  e nulo.
- b)  $m/2$  e  $P/2$
- c)  $m$  e  $P/2$
- d)  $m/4$  e  $P/4$
- e)  $m$  e  $P/4$

5. (CESEP-PE) Ao ser argüido sobre o movimento dos planetas, um aluno escreveu os seguintes enunciados sobre as leis de Kepler:

- I – Todos os planetas movem-se em órbitas elípticas, com o sol ocupando sempre um dos focos (lei das órbitas).
- II – Uma reta ligando qualquer planeta ao sol varre áreas iguais em tempos iguais (lei das áreas).
- III – A razão  $R^2/T^3$ , onde  $R$  é a distância média entre o planeta e o sol e  $T$ , seu período de revolução em redor do sol, é a mesma para todos os planetas (lei dos períodos).

Dos enunciados acima:

- a) apenas o I está correto.
- b) apenas o II está correto.
- c) I e II estão corretos.
- d) II e III estão corretos.
- e) todos estão corretos.

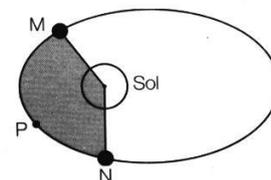
6. (ACAFE) A Lua NÃO cai sobre a Terra porque:

- a) A força da gravidade da Terra só atua sobre corpos muito próximos da superfície terrestre.
- b) A força que a Terra exerce sobre ela é a força centrípeta, responsável pelo seu movimento ao redor da Terra.
- c) A força que a Terra exerce sobre ela é anulada pela força que ela exerce sobre a Terra.
- d) A aceleração da gravidade na sua superfície é menor que na superfície da Terra.
- e) A força resultante sobre ela é nula.

7. (UFRGS) O módulo da força de atração gravitacional entre duas pequenas esferas de massa  $m$  iguais, cujos centros estão separados por uma distância  $d$ , é  $F$ . Substituindo-se uma das esferas por outra de massa  $2m$  e reduzindo-se a distância entre os centros das esferas para  $d/2$ , resulta uma força gravitacional de módulo:

- a)  $F$
- b)  $2F$
- c)  $4F$
- d)  $8F$
- e)  $16F$

8. (Odonto - Diamantina) As leis de Kepler definem o movimento da Terra em torno do Sol. Na figura, a área hachurada é igual a um quarto da área total da elipse. Assim, o tempo gasto pela Terra para percorrer o trajeto MPN é, aproximadamente, em meses, igual a:



- a) 9
- b) 6
- c) 4
- d) 3
- e) 1

9. (VUNESP) As três leis do movimento planetário enunciadas pelo astrônomo alemão Johannes Kepler foram obtidas por meio da análise de uma grande quantidade de dados observacionais das posições dos planetas conhecidos naquela época. Essas leis foram mais tarde demonstradas pelo físico inglês Isaac Newton, utilizando a Lei da Gravitação Universal. Considerando as leis de Kepler e supondo um satélite em órbita

elíptica ao redor de um planeta, qual das afirmações a seguir está correta?

- A linha que une o planeta ao seu satélite descreve áreas diferentes em tempos iguais.
- A velocidade do satélite aumenta quando ele se afasta do planeta.
- O planeta está localizado no centro da elipse.
- A velocidade do satélite independe de sua posição ao redor do planeta.
- A velocidade do satélite aumenta quando ele se aproxima do planeta.

**10. (UCSAL)** Johannes Kepler (1571-1630) elaborou leis empíricas que explicam o movimento dos planetas. Uma das suas leis relaciona o período de revolução de um planeta à sua distância média ao Sol. Os planetas X, Y e Z do Sistema Solar têm seus períodos em anos terrestres:  $T_X = 0,615$ ,  $T_Y = 11,9$  e  $T_Z = 165$ . Pode-se afirmar que X, Y e Z podem ser, respectivamente,

- Marte, Plutão e Saturno.
- Vênus, Júpiter e Netuno.
- Mercúrio, Netuno e Marte.
- Urano, Vênus e Júpiter.
- Plutão, Saturno e Mercúrio.

**11. (FUVEST)** Considere um satélite em órbita circular. Duplizando a massa do satélite sem alterar o seu período de revolução, o raio da órbita será

- duplicado.
- quadruplicado.
- reduzido à metade.
- reduzido à quarta parte.
- o mesmo.

**12. (VUNESP)** Um satélite da Terra de massa  $m$  descreve uma órbita circular no plano equatorial, a uma altitude acima da superfície igual ao raio da Terra. Naquela altitude ele está sujeito a uma aceleração centrípeta igual a ( $g$  = aceleração da gravidade na superfície da Terra)

- $g/2$
- $g/4$
- $2g$
- $g$
- $0,2g$

### EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

**1. (UFMA)** Ao ser examinado sobre o movimento dos planetas, um aluno escreveu os seguintes enunciados para as leis de Kepler.

- Qualquer planeta gira em torno do Sol, descrevendo uma órbita elíptica, da qual o Sol ocupa um dos focos.
- O segmento de reta que une um planeta ao Sol "varre" áreas proporcionais aos intervalos de tempo dos percursos.
- Os quadrados dos períodos de revolução dos planetas são proporcionais aos cubos dos raios médios das órbitas.

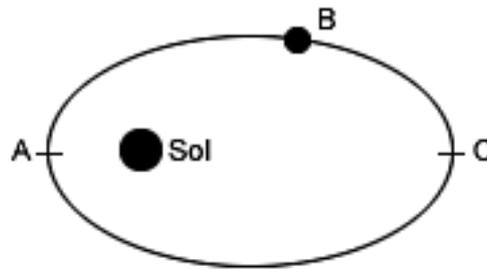
Dos enunciados acima está(ão) correto(s):

- todos.
- nenhum.
- somente I.
- somente II.
- somente III.

**2. (UFPI)** Um planeta gira, em órbita elíptica, em torno do Sol. Considere as afirmações:

- Na posição A, a quantidade de movimento linear do planeta tem módulo máximo.
- Na posição C, a energia potencial do sistema (Sol + planeta) é máxima.
- Na posição B, a energia total do sistema (Sol + planeta) tem um valor intermediário, situado entre os correspondentes valores em A e C.

Assinale a alternativa correta:



- I e III são verdadeiras.
- I e II são verdadeiras.
- II e III são verdadeiras.
- apenas II é verdadeira.
- apenas I é verdadeira.

**3. (UESC)** De acordo com as leis de Kepler, um planeta girando em torno do Sol

- descreve órbitas circulares.
- tem velocidade linear constante.
- é mais veloz ao passar pelo afélio.
- é localizado por um raio vetor que varre áreas iguais em tempos iguais.
- possui período de revolução maior que outro planeta mais distante.

**4. (OBF)** A terceira lei de Kepler pode ser escrita como  $T^2 = CR^3$ , onde T é o período, R o raio e C uma constante. Considere então dois planetas que descrevem órbitas circulares concêntricas, de raios  $R_1$  e  $R_2$ , em torno do Sol. Se  $R_2 = 4R_1$ , a relação entre as velocidades dos planetas é

- $v_1 = 4v_2$
- $v_2 = 2v_1$
- $v_2 = 4v_1$
- $v_1 = v_2$
- $v_1 = 2v_2$

**5. (FUVEST)** No Sistema Solar, o planeta Saturno tem massa cerca de 100 vezes maior do que a Terra e descreve uma órbita, em torno do Sol, a uma distância média 10 vezes maior do que a distância média da Terra ao Sol (valores aproximados). A razão ( $F_{Sat}/F_T$ ) entre a força gravitacional com que o Sol atrai Saturno e a força gravitacional com que o Sol atrai a Terra é de, aproximadamente,

- 1.000
- 10
- 1
- 0,1
- 0,001

**6. (UESC)** Considere-se a Terra uma esfera de raio R e um ponto, P, situado a uma distância  $d > R$  do centro da Terra. De acordo com a Lei da Gravitação Universal, a intensidade do campo gravitacional, no ponto P,

- independe da massa da Terra.
- é diretamente proporcional a  $d$ .
- é inversamente proporcional a  $d^2$ .
- é igual à de um ponto sobre a superfície terrestre.
- é maior que a de um ponto sobre a superfície terrestre.

**7. (FTC)** A forma da Terra não é perfeitamente esférica. Por isso, a aceleração da gravidade não tem, a rigor, o mesmo módulo em todos os pontos da sua superfície. A partir das informações, é correto afirmar que a intensidade do campo gravitacional, na superfície da Terra, é

- nula, na região polar.
- nula, sobre a linha do Equador.
- menor nos pólos que no Equador.
- maior nos pólos que no Equador.
- a mesma em todos os pontos.

8. (UESC) Supondo-se que no sistema solar existisse um planeta X que, em relação à Terra tivesse a mesma massa e raio médio duas vezes maior, o módulo da aceleração da gravidade na superfície de X, em relação à da Terra, seria
- igual.
  - duas vezes maior.
  - duas vezes menor.
  - quatro vezes maior.
  - quatro vezes menor.

9. (VUNESP) Analise as três afirmações seguintes.

I. A unidade de força do SI é o newton, símbolo N, definida como: "Força que comunica à massa de um quilograma a aceleração de um metro por segundo, por segundo".

II. A lei da ação e reação, ou terceira lei de Newton, enunciada como "A força exercida por um corpo, A, sobre outro, B, é igual e oposta à força exercida pelo corpo B sobre A", só é válida quando os corpos A e B estão em contato um com o outro, não podendo ser aplicada a corpos distantes um do outro.

III. Dois objetos de materiais diferentes, com a mesma "massa inercial", à qual se refere a segunda lei de Newton ( $f = m \cdot a$ ), têm a mesma "massa gravitacional", à qual se refere a lei da atração gravitacional de Newton.

Podemos afirmar que

- apenas I está correta.
- apenas II está correta.
- apenas III está correta.
- apenas I e III estão corretas.
- apenas II e III estão corretas.

10. (FUVEST) Satélites utilizados para telecomunicações são colocados em órbitas geoestacionárias ao redor da Terra, ou seja, de tal forma que permaneçam sempre acima de um mesmo ponto da superfície da Terra. Considere algumas condições que poderiam corresponder esses satélites

- ter o mesmo período, de cerca de 24 horas.
- ter aproximadamente a mesma massa.
- estar aproximadamente à mesma altitude.
- manter-se num plano que contenha o círculo do equador terrestre.

O conjunto de todas as condições, que satélites em órbita geoestacionária devem necessariamente obedecer, corresponde a

- I e III
- I, II e III
- I, III e IV
- II e III
- II e IV

11. (Vunesp) Um astronauta flutua no interior de uma nave em órbita circular em torno da Terra. Isso ocorre porque naquela altura:

- não há gravidade.
- a nave exerce uma blindagem à ação gravitacional da Terra.
- existe vácuo.
- o astronauta e a nave têm a mesma aceleração centrípeta.
- o campo magnético terrestre equilibra a ação gravitacional.

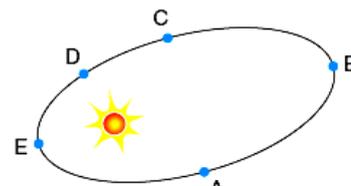
12. (FEI) Considerando que na Terra a aceleração da gravidade é de  $10 \text{ m/s}^2$ , qual é a aceleração da gravidade  $g'$  em um planeta que possui a mesma massa e metade do diâmetro da Terra?

- $g' = 10 \text{ m/s}^2$
- $g' = 20 \text{ m/s}^2$
- $g' = 5 \text{ m/s}^2$
- $g' = 40 \text{ m/s}^2$
- $g' = 2,5 \text{ m/s}^2$

13. (FURG) Sobre um satélite mantido em órbita a uma distância R do centro da Terra (que possui massa M), é correto afirmar que

- a força com que a Terra atrai o satélite é ligeiramente menor do que a força com que o satélite atrai a Terra.
- o satélite é colocado em uma órbita em que a força gravitacional é zero.
- a velocidade tangencial ao quadrado do satélite é menor ou igual a  $GM/R$
- a velocidade tangencial ao quadrado do satélite é igual a  $GM/R$ .
- a velocidade tangencial ao quadrado do satélite é maior ou igual a  $GM/R$ .

14. (UFSE) Na figura, que representa esquematicamente o movimento de um planeta em torno do Sol, a velocidade do planeta é maior em:



- A
- B
- C
- D
- E

15. (UFAL) Para que a aceleração da gravidade num ponto tenha intensidade de  $1,1 \text{ m/s}^2$  (nove vezes menor que na superfície da Terra), a distância desse ponto à superfície terrestre deve ser:

- igual ao raio terrestre
- o dobro do raio terrestre
- o triplo do raio terrestre
- o sêxtuplo do raio terrestre
- nove vezes o raio terrestre

16. (UnB-Adaptada) O estabelecimento das idéias a respeito da gravitação universal é considerado uma das conquistas mais importantes no desenvolvimento das ciências em geral e, particularmente, da Física. A sua compreensão é fundamental para o entendimento dos movimentos da Lua, dos planetas, dos satélites e mesmo dos corpos próximos à superfície da Terra. Em relação a esse assunto, todas as alternativas são corretas, **exceto**

- Para que a Lua descreva o seu movimento orbital ao redor da Terra, é necessário que a resultante das forças que atuam sobre ela não seja nula.
- Um satélite em órbita circular ao redor da Terra move-se perpendicularmente ao campo gravitacional terrestre.
- A força gravitacional sobre um satélite sempre realiza trabalho, independentemente de sua órbita ser circular ou elíptica.
- Um corpo, quando solto próximo à superfície terrestre, cai em direção a ela pelo mesmo motivo que a Lua descreve sua órbita em torno da Terra.

**GABARITO**

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1) A	2) C	3) D	4) E	5) C	6) B
7) D	8) D	9) E	10) B	11) E	12) B

**EXERCÍCIOS FIXAÇÃO**

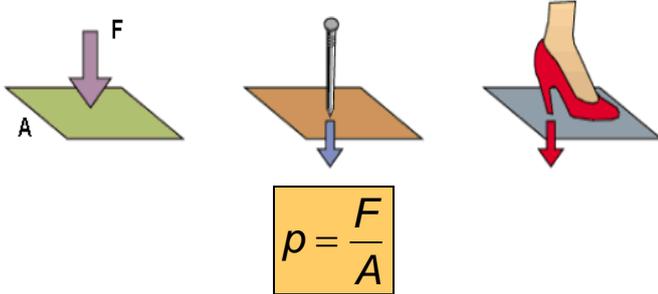
1) A	2) B	3) D	4) E	5) C	6) C
7) D	8) E	9) D	10) C	11) D	12) D
13) D	14) E	15) C	16) C		

# MÓDULO 16

## HIDROSTÁTICA

### 1- PRESSÃO

É uma grandeza escalar cujo módulo é a razão entre a força aplicada (normal à superfície) e a área de contato (entre a força e a superfície).



No sistema internacional de medidas  $\Rightarrow$  Unidade (p) =  $\frac{N}{m^2}$

Exemplos:

- em países de inverno muito rigoroso é comum as pessoas atravessarem a superfície recentemente congelada dos lagos arrastando-se deitadas. Fazem isso, pois dessa forma a área de contato é maior e a pressão que exercem sobre o gelo é menor. Dessa forma diminuem o risco de quebrar o gelo ao atravessarem.

- cama de pregos



### 2 - MASSA ESPECÍFICA (VOLUMÉTRICA) OU DENSIDADE ABSOLUTA

A massa específica de uma substância que constitui um corpo homogêneo de massa  $m$  e volume  $V$  é definida por

$$\mu = d = \frac{m}{V}$$

Unidade no SI  $\Rightarrow$  ( $\mu$ ) =  $\frac{Kg}{m^3}$

**OBS:** CONVERSÃO DE UNIDADES:  $1 \frac{g}{cm^3} = 10^3 \frac{Kg}{m^3}$

**OBS:** SUBSTÂNCIA x CORPO

A densidade de um corpo pode não ter o mesmo valor da densidade absoluta da substância que constitui o corpo. Os valores são iguais somente quando o corpo for maciço e homogêneo.

**OBS:** PESO DE UM CORPO

$$d = \frac{m}{V} \rightarrow m = d \cdot V \quad \left. \begin{array}{l} \\ P = m \cdot g \end{array} \right\} P = d \cdot g \cdot V$$

### 3- PESO ESPECÍFICO

O peso específico  $\gamma$  da substância que constitui um corpo homogêneo de peso  $P$  e volume  $V$  é definido por

$$\gamma = \frac{P}{V}$$

$$\gamma = \frac{m \cdot g}{V} \Rightarrow \gamma = \mu \cdot g$$

### 4- DENSIDADE RELATIVA

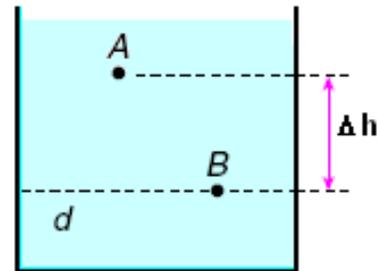
É a densidade  $d_{xy}$  da substância  $x$  em relação à substância  $y$ .

$$d_{xy} = \frac{\mu_x}{\mu_y}$$

Quando não se fala de densidade de uma substância, sem qualquer outra indicação, fica subentendido que se trata da densidade da substância considerada em relação à água a 4 °C ( $d=1g/cm^3$ ) e sob pressão normal.

### 5- TEOREMA DE STEVIN

A diferença de pressão entre dois pontos no interior de um líquido em equilíbrio é igual ao produto de sua massa específica pela aceleração da gravidade e pela diferença de nível entre esses pontos considerados.



$$P_A - P_B = d \cdot g \cdot (h_A - h_B) \\ \Delta P = d \cdot g \cdot \Delta h$$

### 6- PRESSÃO DE UMA COLUNA DE LÍQUIDO, PRESSÃO HIDROSTÁTICA, PRESSÃO EFETIVA OU PRESSÃO RELATIVA

O TEOREMA DE Stevin permite concluir que uma coluna de líquido exerce sobre a base uma pressão, devido ao seu peso, é definida por:

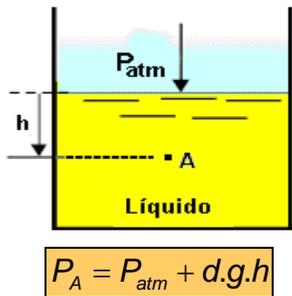
$$P = \mu \cdot d \cdot h$$



Onde  $d$  é a densidade do líquido,  $g$  é a aceleração da gravidade e  $h$  é a altura da coluna de líquido.

### 7- PRESSÃO ABSOLUTA OU TOTAL

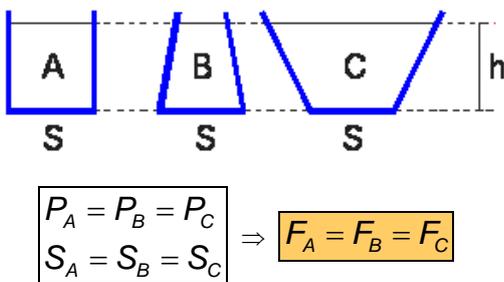
A pressão total da coluna líquida corresponderá à soma da pressão exercida pelo ar na superfície livre superior (pressão atmosférica) com a pressão exercida pela coluna de líquido.



OBS: Na água ( $d=1 \text{ g/cm}^3$ ), a cada 10m de profundidade a pressão aumenta 1 atm.

**8 - Conseqüências do Teorema de Stevin**

- 1º) a pressão aumenta com a profundidade
- 2º) num mesmo nível as pressões são iguais
- 3º) a superfície livre de um líquido em equilíbrio é plana e horizontal
- 4º) Paradoxo Hidrostático: A força exercida pelo líquido no fundo de cada recipientes são iguais.

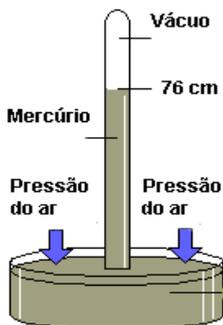


**9 - PRESSÃO ATMOSFÉRICA - EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI**

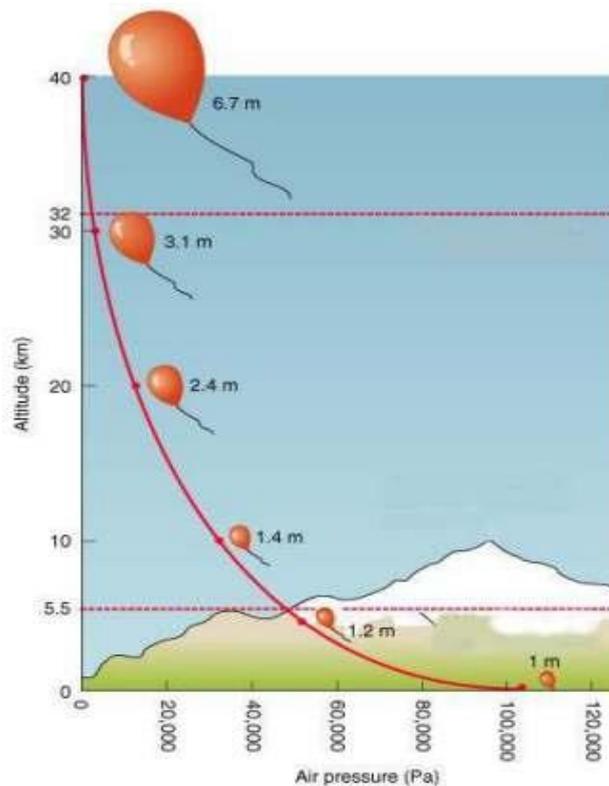
A pressão atmosférica é a pressão exercida pelo peso do ar atmosférico sobre qualquer superfície em contato com ele. A pressão atmosférica é tanto menor quanto maior for a altitude do local.

Para determinar o valor da pressão atmosférica, Torricelli utilizou um tubo de vidro de 1m de comprimento cheio de mercúrio e estando ao nível do mar, colocou a extremidade livre do tubo num recipiente contendo mercúrio e observou que o mercúrio desceu dentro do tubo até estabilizar-se numa altura de 76 cm acima da superfície livre do mercúrio do recipiente.

Torricelli concluiu que esta coluna de 76 cm do mercúrio equilibrava a coluna de ar considerada pressão atmosférica.

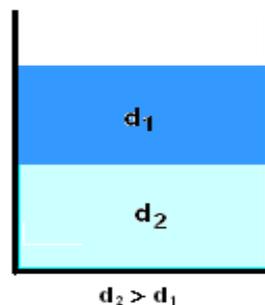


$P_{atm} = 76 \text{ cm Hg} = 101.325 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ atm}$



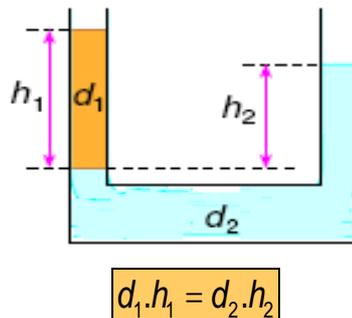
**10 - VASOS COMUNICANTES (TUBO EM U) COM LÍQUIDOS IMISCÍVEIS**

Quando dois líquidos que não se misturam (imiscíveis) são colocados num mesmo recipiente, eles se dispõem de modo que o líquido de maior densidade ocupe a parte de baixo e o de menor densidade a parte de cima. A superfície de separação entre eles é horizontal.



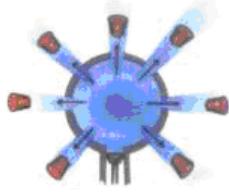
Por exemplo, se o óleo e a água forem colocados com cuidado num recipiente, o óleo fica na parte superior porque é menos denso que a água, que permanece na parte inferior.

Caso os líquidos imiscíveis sejam colocados num sistema constituídos por vasos comunicantes, como um tubo em U, eles se dispõem de modo que as alturas das colunas líquidas, medidas a partir da superfície de separação, sejam proporcionais às respectivas densidades

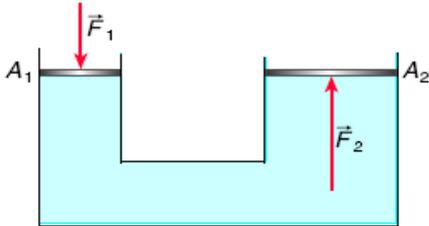


11 - PRINCÍPIO DE PASCAL

O acréscimo de pressão dado a um ponto de um líquido em equilíbrio transmite-se integralmente para todos os pontos do líquido.

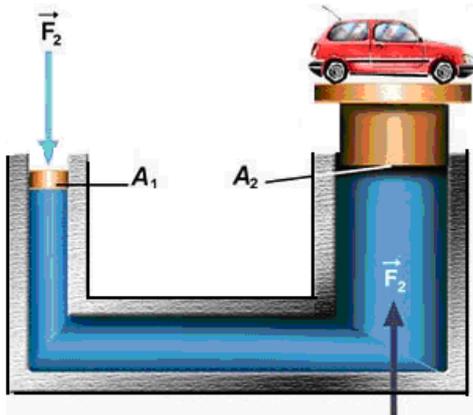


Uma das aplicações do princípio de Pascal é a prensa hidráulica.



$$\Delta P_1 = \Delta P_2$$

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$$



A prensa hidráulica é um multiplicador de forças.

Os trabalhos realizados nos êmbolos são iguais:

$$W_1 = W_2 \leftrightarrow F_1 \cdot x_1 = F_2 \cdot x_2$$

Em que:

$S_1$  → área do êmbolo menor

$S_2$  → área do êmbolo maior

$F_1$  → força aplicada no êmbolo menor

$F_2$  → força aplicada no êmbolo maior

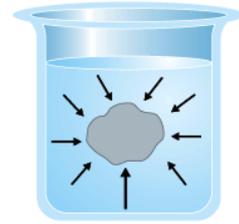
$x_1$  → deslocamento do êmbolo menor

$x_2$  → deslocamento do êmbolo maior

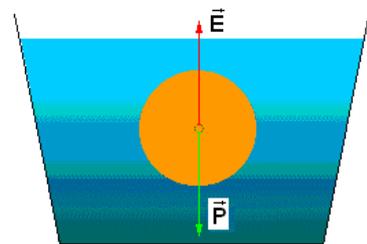
12 - PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Quando um corpo se encontra imerso num fluido (num líquido, por exemplo), fica sujeito a uma força vertical, dirigida de baixo para cima, de valor igual ao peso do volume de fluido que é deslocado pela presença do corpo. Esta lei, conhecida por Princípio de Arquimedes, já tem mais de dois mil anos!

A força deve-se à diferença de pressão exercida na parte de baixo e na parte de cima do objeto.



Quando um corpo está imerso num líquido este exerce sobre o corpo forças que, em cada ponto do corpo, são o produto da pressão pela área elementar em torno desse ponto. A direção da força é a da perpendicular à superfície do corpo nesse mesmo ponto.

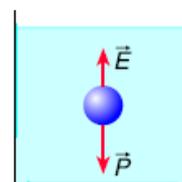


A intensidade da força é dada por

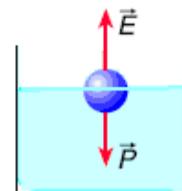
$$E = d_L \cdot V_L \cdot g$$

Quando um corpo é colocado totalmente submerso (imerso) em um líquido, distinguem-se três casos:

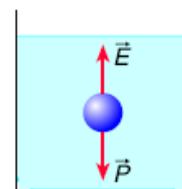
1º) peso do corpo maior que o empuxo ( $P > E$ ). O corpo desce com aceleração constante ( $d_c > d_L$ )



2º) peso do corpo menor que o empuxo ( $P < E$ ). O corpo sobe com aceleração constante até flutuar na superfície do líquido. Quando o corpo flutua o peso torna-se igual ao empuxo ( $P = E$  e  $d_c < d_L$ )

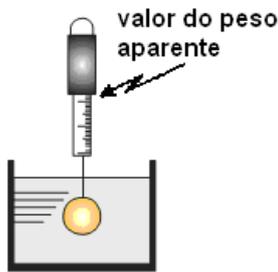


3º) o peso do corpo é igual ao empuxo ( $P = E$ ). O corpo fica em equilíbrio, qualquer que seja o ponto em que tenha sido colocado. ( $d_c = d_L$ )



## 13 - PESO APARENTE

Quando um corpo mais denso que um líquido é totalmente imerso nesse líquido, observa-se que o valor de seu peso, dentro desse líquido, é aparentemente menor do que no ar. A diferença entre o valor do peso no ar e o empuxo, corresponde ao peso aparente.



$$P_{ap} = P - E$$

No mar Morto, na Palestina, uma pessoa pode flutuar facilmente, com parte de seu corpo fora da água.



## EXERCÍCIOS DE AULA

1. (VUNESP) Uma jovem de 60 kg está em pé sobre o assoalho de uma sala, observando um quadro.

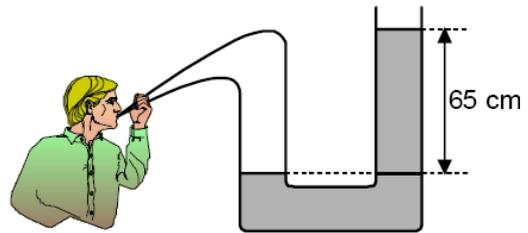
- Considerando a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , determine a força que ela exerce sobre o assoalho.
- A jovem está usando sapatos de saltos e a área da base de cada salto é igual a  $1,0 \text{ cm}^2$ . Supondo que um dos saltos suporte  $1/3$  do peso da jovem, determine a pressão  $p$ , em  $\text{N/m}^2$ , que este salto exerce sobre o assoalho.

2. (VUNESP) Uma pessoa num barco espera sua amiga mergulhadora que persegue um peixe a 10 m abaixo da superfície do mar. Considere a densidade da água como sendo  $1 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ , a pressão atmosférica ao nível do mar igual a  $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$  e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- Qual a pressão exercida sobre a mergulhadora?
- Considerando a superfície da área da pessoa que ficou no barco  $1 \text{ m}^2$ , qual a força que essa pessoa, ao nível do mar, sofre devido à pressão atmosférica? Por que essa força não esmaga a pessoa?

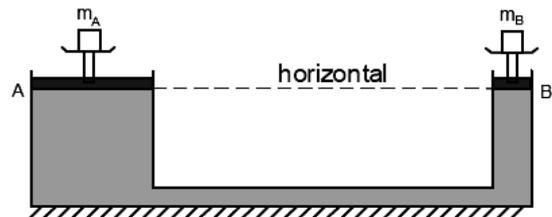
3. (MACK) Com um máximo de expiração, um estudante, soprando de um lado de um manômetro cujo líquido manométrico é a água, produz um desnível do líquido de aproximadamente 65 cm entre os dois ramos do tubo manométrico. Nessas condições, pode-se afirmar que a pressão efetiva exercida pelos pulmões do estudante é de

(Adotar  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e  $m_{\text{água}} = 10^3 \text{ kg/m}^3$ )



- 6,5 Pa
- $6,5 \cdot 10 \text{ Pa}$
- $6,5 \cdot 10^2 \text{ Pa}$
- $6,5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$
- $6,5 \cdot 10^4 \text{ Pa}$

4. (FUVEST) Considere o arranjo da figura, onde um líquido está confinado na região delimitada pelos êmbolos A e B, de áreas  $a = 80 \text{ cm}^2$  e  $b = 20 \text{ cm}^2$ , respectivamente. O sistema está em equilíbrio.



Despreze os pesos dos êmbolos e os atritos. Se  $m_A = 4,0 \text{ kg}$ , qual o valor de  $m_B$ ?

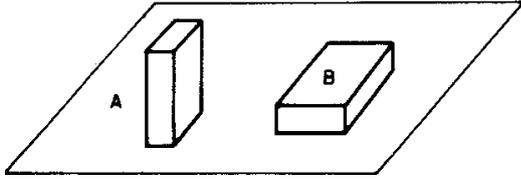
- 4 kg
- 16 kg
- 1 kg
- 8 kg
- 2 kg

5. (FUVEST) Um tijolo tem massa igual a 2 kg e volume de  $1.000 \text{ cm}^3$ .

- Calcule a densidade do tijolo.
- Calcule o peso aparente do tijolo quando totalmente imerso em água.

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1. (FURG) Dois tijolos de mesma massa e mesmas dimensões A e B estão apoiados sobre uma superfície horizontal como na figura.



Pode-se afirmar que

- a) o tijolo A exerce maior pressão sobre a mesa do que o tijolo B.
- b) o tijolo B exerce maior pressão sobre a mesa do que o tijolo A.
- c) o tijolo A exerce sobre a mesa uma força maior do que a exercida por B.
- d) o tijolo B exerce sobre a mesa uma força maior do que a exercida por A.
- e) as forças e as pressões exercidas por A e B sobre a mesa são iguais.

2. (UEL) Quando um juiz de futebol aperta uma bola para testar se ela está com pressão adequada para ser utilizada num jogo, ele a pressiona com os dois polegares simultaneamente. Tal procedimento é uma avaliação subjetiva da pressão interna da bola. Com relação à pressão exercida pelos polegares do juiz, é correto afirmar:

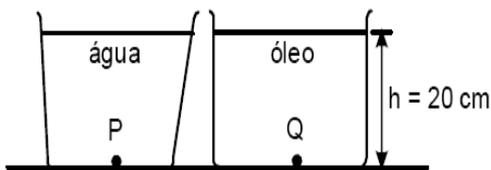
- a) É diretamente proporcional ao quadrado da área da bola.
- b) É inversamente proporcional à área dos polegares em contato com a bola.
- c) É inversamente proporcional à força aplicada.
- d) É diretamente proporcional à área dos polegares.
- e) Independe da área dos polegares.

3. (UDESC) A máxima pressão a que o corpo humano pode ser submetido, sem danos físicos, é de 4,0 atm. Sabendo-se que a água de um lago apresenta densidade ( $\rho$ ) igual a  $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , e que a pressão atmosférica na superfície é igual a 1,0 atm, calcule a profundidade máxima que um mergulhador deve atingir. Dados:  $g = 10\text{m/s}^2$  e  $1,0 \text{ atm} = 1,0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

4. (FURG) Uma grande piscina e um pequeno tanque, um ao lado do outro, contêm água a uma mesma profundidade. Podemos afirmar que:

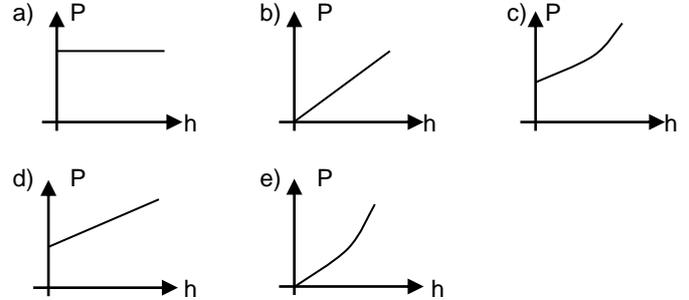
- a) a pressão e a força total exercida pela água, no fundo da piscina, são maiores que no fundo do tanque.
- b) a pressão, no fundo da piscina, é menor que no fundo do tanque e as forças totais exercidas pela água, nas duas situações, são iguais.
- c) a pressão, no fundo da piscina, é maior que no fundo do tanque e as forças totais, exercidas pela água, nas duas situações, são iguais.
- d) a força total exercida pela água, no fundo da piscina, é maior que no tanque, mas as pressões são iguais.
- e) a força total exercida pela água, no fundo da piscina, é menor que no tanque, mas as pressões são iguais.

5. (CESCEM) Considere os dois vasilhames a seguir, um contendo água e o outro óleo, com densidades  $1\text{g/cm}^3$  e  $0,8\text{g/cm}^3$ , respectivamente. Em relação às pressões hidrostáticas nos pontos P e Q, pode-se dizer:



- a) a pressão no ponto P é maior do que a pressão no ponto Q, porque os vasilhames têm formas diferentes.
- b) a pressão no ponto P é igual à pressão no ponto Q, porque os dois estão à mesma profundidade.
- c) a pressão no ponto P é maior do que no ponto Q, porque o óleo é menos denso do que a água.
- d) só se podem comparar pressões em vasos da mesma forma.
- e) é preciso conhecer o coeficiente de viscosidade do óleo e o volume dos líquidos para poder comparar as pressões hidrostáticas em P e Q.

6. (UFSC) Em um lago, a pressão p relaciona-se com a distância h abaixo do nível da água, de acordo com o gráfico:



7. (PUC) Sabe-se que a pressão hidrostática na água varia em aproximadamente uma atmosfera para cada 10 m de variação na profundidade. Portanto, num ponto a 50 m de profundidade, a pressão total vale

- a) 2 atm
- b) 3 atm
- c) 5 atm
- d) 6 atm
- e) 8 atm

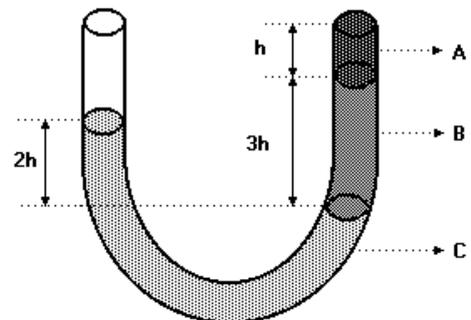
8. (UFRS) Selecione a alternativa que apresenta as palavras que preenchem corretamente as lacunas nas afirmações seguintes:

I – Na atmosfera terrestre, a pressão atmosférica ..... à medida que aumenta a altitude.

II – No mar, a pressão na superfície é ..... do que a pressão a dez metros de profundidade.

- a) aumenta – maior.
- b) permanece constante – menor.
- c) permanece constante – maior.
- d) diminui – maior.
- e) diminui – menor.

9. (MACK) Num tubo em U, de extremidades abertas, encontram-se em equilíbrio três líquidos não miscíveis, conforme a figura a seguir. Os líquidos A e B têm densidades respectivamente iguais a  $0,80\text{g/cm}^3$  e  $1,0\text{g/cm}^3$ . A densidade do líquido C é:



- a)  $0,2 \text{ g/cm}^3$ .
- b)  $1,9 \text{ g/cm}^3$ .
- c)  $2,7 \text{ g/cm}^3$ .
- d)  $3,6 \text{ g/cm}^3$ .
- e)  $5,4 \text{ g/cm}^3$ .

10. (ACAFE) As afirmações abaixo referem-se à Mecânica dos Fluidos.

- I – Forças iguais produzem sempre pressões iguais.
- II – A pressão exercida por um líquido em repouso no fundo do recipiente que o contém, depende do volume do líquido.
- III – Os peixes que vivem nas profundezas dos oceanos não podem vir à superfície, pois explodirão.
- IV – O peso de um objeto que flutua livremente num líquido em repouso é sempre igual ao empuxo exercido sobre ele.

A alternativa, contendo todas as afirmações que são **VERDADEIRAS**, é:

- a) III – IV.
- b) I – II – III – IV.
- c) I – III.
- d) II – IV.
- e) II – III – IV.

11. (FURG) Dois blocos de 10 cm<sup>3</sup> cada, sendo um de madeira e o outro de ferro, são ambos totalmente mergulhados em água. Em relação a isso, pode-se afirmar que

- a) o empuxo exercido sobre o bloco de madeira é menor, porque a madeira é menos densa do que o ferro.
- b) o empuxo exercido sobre o bloco de ferro é menor, porque o ferro é mais denso do que a madeira.
- c) os empuxos são iguais em ambos, apesar das densidades da madeira e do ferro serem diferentes.
- d) não se pode afirmar em qual caso é maior o empuxo, pois não se sabe se os blocos são maciços.
- e) não haverá empuxo sobre a madeira, porque esta é menos densa do que a água.

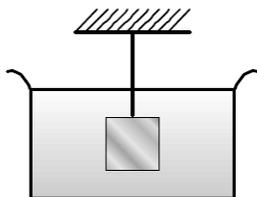
12. (PUCRS) Um objeto com 10 kg de massa e 5 · 10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup> de volume é colocado dentro de um tanque contendo água cuja massa específica é 1 g/cm<sup>3</sup>. Sendo a aceleração da gravidade igual a 10 m/s<sup>2</sup>, o peso aparente desse objeto na água, em N, é:

- a) 70
- b) 50
- c) 30
- d) 25
- e) 10

13. (FATEC) Uma bola de borracha, cheia de ar, possui volume de 6,0 · 10<sup>3</sup> cm<sup>3</sup> e massa de 200 g. Adote g = 10 m/s<sup>2</sup>. Para mantê-la totalmente imersa na água, cuja densidade é 1,0 g/cm<sup>3</sup>, devemos exercer uma força vertical de intensidade, em newtons, igual a

- a) 66
- b) 58
- c) 30
- d) 6,0
- e) 2,0

14. (UEL) Num béquer que contém 800 g de água coloca-se um bloco metálico, de 400 g e 50 cm<sup>3</sup> de volume, suspenso por um fio. A densidade da água é 1,0 · 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup> e a aceleração da gravidade, 10 m/s<sup>2</sup>.

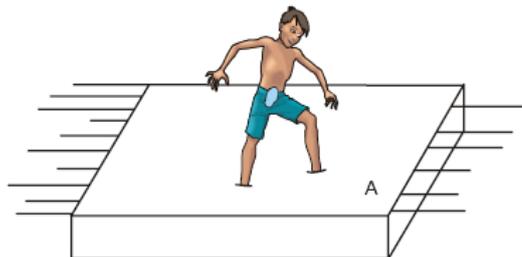


A tração no fio e a força exercida no fundo do béquer valem, respectivamente, em newtons,

- a) 0,5 e 8,0
- b) 0,5 e 8,5
- c) 3,5 e 8,0

- d) 3,5 e 8,5
- e) 4,0 e 8,0

15. (FATEC) Uma tábua, de área superficial A e de espessura 10 cm, colocada na água, sustenta um menino de massa 30 kg, de tal forma que a superfície livre da água tangencie a superfície superior da tábua.

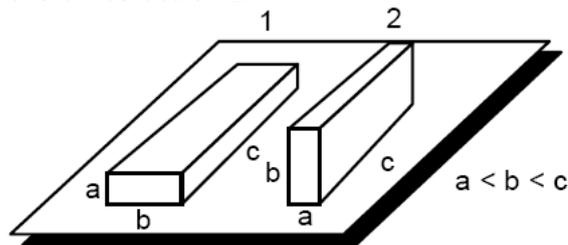


Sendo dados: g = 10 m/s<sup>2</sup>; d<sub>madeira</sub> = 0,70 g/cm<sup>3</sup> e d<sub>água</sub> = 1,0 g/cm<sup>3</sup>, a área A vale, em m<sup>2</sup>,

- a) 1,0
- b) 1,5
- c) 3,0
- d) 4,5
- e) 6,0

**EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO**

1. (VUNESP) Um tijolo, com as dimensões indicadas, é colocado sobre uma mesa com tampo de borracha, inicialmente da maneira mostrada em 1 e, posteriormente, da maneira mostrada em 2.



Na situação 1, o tijolo exerce sobre a mesa uma força F<sub>1</sub> e uma pressão p<sub>1</sub>; na situação 2, a força e a pressão exercidas são F<sub>2</sub> e p<sub>2</sub>. Nessas condições, pode-se afirmar que

- a) F<sub>1</sub> = F<sub>2</sub> e p<sub>1</sub> = p<sub>2</sub>.
- b) F<sub>1</sub> = F<sub>2</sub> e p<sub>1</sub> > p<sub>2</sub>.
- c) F<sub>1</sub> = F<sub>2</sub> e p<sub>1</sub> < p<sub>2</sub>.
- d) F<sub>1</sub> > F<sub>2</sub> e p<sub>1</sub> > p<sub>2</sub>.
- e) F<sub>1</sub> < F<sub>2</sub> e p<sub>1</sub> < p<sub>2</sub>.

2. (MACK) Quando um mergulhador se encontra a 25,0 m de profundidade, na água do mar, a pressão que ele suporta é de: Dados: d'água do mar = 1,03 g/cm<sup>3</sup> g = 10,0 m/s<sup>2</sup>

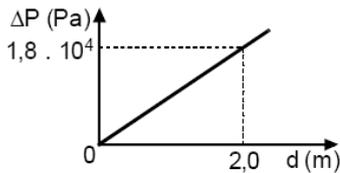
P<sub>atmosfera</sub> = 1,00 · 10<sup>5</sup> Pa

- a) 3,58 · 10<sup>5</sup> Pa
- b) 2,85 · 10<sup>5</sup> Pa
- c) 2,35 · 10<sup>5</sup> Pa
- d) 2,00 · 10<sup>5</sup> Pa
- e) 1,85 · 10<sup>5</sup> Pa

3. (PUCCAMP) Tem-se um reservatório cilíndrico, de base circular, cheio de um certo líquido. A pressão que esse líquido exerce no fundo do reservatório só depende, além da gravidade local

- a) do peso do líquido e da sua altura.
- b) da natureza do líquido e do seu volume.
- c) da natureza do líquido e da altura da coluna do líquido.
- d) do volume total do líquido e de seu peso.
- e) da natureza do líquido e da área da base do reservatório.

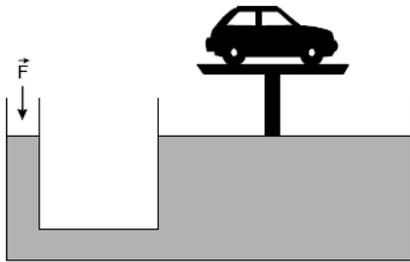
4. (UEL) O gráfico a seguir mostra a variação da pressão num ponto de um líquido, em função da distância desse ponto à superfície do líquido.



Adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a densidade do líquido vale no Sistema Internacional

- a)  $4,5 \cdot 10^2$
- b)  $9,0 \cdot 10^2$
- c)  $1,0 \cdot 10^3$
- d)  $1,8 \cdot 10^3$
- e)  $3,6 \cdot 10^3$

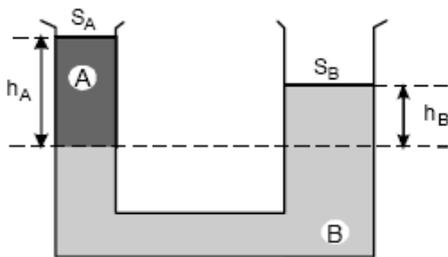
5. (ITE) Com uma prensa hidráulica, ergueu-se um automóvel de massa 1.000 kg num local onde a aceleração da gravidade é de  $10 \text{ m/s}^2$ .



Qual a força necessária para manter o automóvel erguido, se o êmbolo maior tem área de  $2.000 \text{ cm}^2$  e o menor  $10 \text{ cm}^2$ ?

- a) 50 N
- b) 20.000 N
- c) 10.000 N
- d) n.d.a.

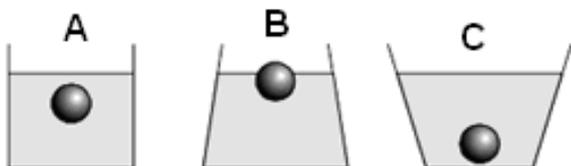
6. (FUVEST) A figura abaixo representa dois vasos comunicantes cilíndricos, abertos, contendo dois líquidos não miscíveis, A e B, em equilíbrio. Sejam  $S_A$  e  $S_B$  as áreas das superfícies dos líquidos A e B respectivamente, e  $d_A$  e  $d_B$  as suas densidades (massas específicas).



Sendo a altura  $h_A$  maior do que  $h_B$ , pode-se concluir que

- a)  $h_A S_A = h_B S_B$
- b)  $h_A d_A > h_B d_B$
- c)  $h_A d_A = h_B d_B$
- d)  $d_A S_A > d_B S_B$
- e)  $d_A S_B = d_B S_A$

7. (UFMS) Três esferas maciças de mesmo volume, A, B, e C, são colocadas em três recipientes com água. Os 3 sistemas estão em equilíbrio (veja figura). Para essas esferas, é **correto** afirmar que:



(01) a densidade da esfera B é menor que a densidade da esfera A.

(02) a densidade da esfera C é maior que as densidades das esferas A e B.

(04) se aumentarmos o nível de água no recipiente da esfera B, ela ficará completamente submersa pela água.

(08) a densidade da esfera A é igual à densidade da água.

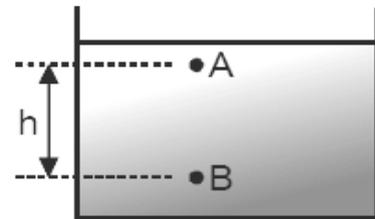
(16) o empuxo sobre a esfera A é menor que o empuxo sobre a esfera C.

SOMA: \_\_\_\_\_

8. (UCPR) Enche-se uma garrafa com água e em seguida se arrolha, forçando a rolha sobre a água. De acordo com o princípio de Pascal:

- a) a pressão em cada ponto é a mesma, em qualquer direção.
- b) a pressão é igual em todos os pontos, na direção horizontal.
- c) a pressão sofre o mesmo acréscimo em todos os pontos.
- d) não há influência da pressão da rolha sobre a água, porque a pressão se distribui integralmente em todos os pontos.
- e) n.d.a.

9. (FATEC) A diferença de pressão estática medida entre dois pontos dentro de um líquido em equilíbrio estático é de  $5 \cdot 10^3 \text{ Pa}$ . Sabendo-se que o líquido é a água com densidade absoluta  $d = 10^3 \text{ kg/m}^3$  e que no local  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , o desnível entre os dois pontos é de:



- a) 3,5 m
- b) 0,5 m
- c) 0,2 m
- d) 4,5 m
- e) 6,2 m

10. (PUCRS) Sabendo que as densidades da água e do álcool são, respectivamente,  $1,0 \text{ g/cm}^3$  e  $0,79 \text{ g/cm}^3$ , pode-se afirmar corretamente que o peso aparente de um corpo submerso:

- a) é maior na água do que no álcool
- b) é igual na água e no álcool
- c) é menor na água do que no álcool
- d) depende da densidade do corpo
- e) depende da forma do corpo

11. (UFMS) Uma esfera de aço flutua com uma parte do seu volume submerso na superfície do mercúrio contido em um recipiente. Se, por algum processo, for aumentada a temperatura apenas da esfera,

- a) sua densidade aumenta.
- b) sua densidade NÃO se altera,
- c) o volume submerso da esfera NÃO se altera.
- d) o volume submerso da esfera diminui.
- e) o volume submerso da esfera aumenta.

12. (UFMS) Na superfície da Terra, um certo corpo flutua dentro de um recipiente com um líquido incompressível. Se esse sistema for levado à Lua, onde aceleração gravitacional é menor, o corpo:

- a) Submerge, atingindo o fundo do recipiente.
- b) Flutua, porém com uma porção maior submersa.
- c) Flutua com a mesma porção submersa.
- d) Flutua, porém com uma porção menor submersa.
- e) Submerge completamente, mas sem atingir o fundo do recipiente.

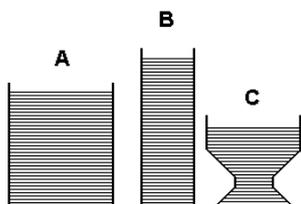
13. (CESCEA) Duas esferas de madeira não porosa, de mesmo volume, uma maciça e outra oca, estão totalmente imersas na água. Com relação aos empuxos agentes nas esferas, podemos dizer que:

- a) é maior na oca.
- b) é menor na oca.
- c) é maior na maciça.
- d) é menor na maciça.
- e) é igual para todas.

14. (FURG) Dois corpos A e B, de massa iguais e densidades diferentes são colocados na água. Ambos ficam parcialmente submersos.

- a) Se o volume do corpo B for a metade do volume do corpo A, o corpo A sempre ficará com metade de seu volume fora da água.
- b) Se a densidade de A for maior que a densidade de B, o empuxo sofrido pelo corpo A é maior que o sofrido por B.
- c) Se o volume do corpo A for maior que o volume do corpo B, o empuxo sofrido pelo corpo A é maior que o sofrido por B.
- d) O empuxo sofrido por cada corpo tem o mesmo valor.
- e) Se a densidade de A for maior que a densidade de B, o volume submerso de A é menor que o de B.

15. (UCPEL) Observe os recipientes abaixo, todos contendo o mesmo líquido e próximos um do outro.



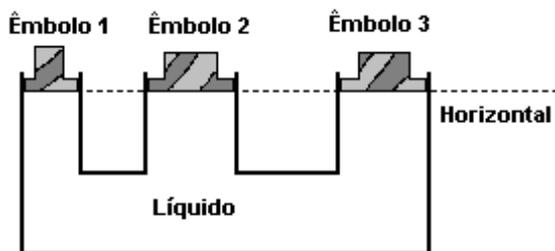
Podemos afirmar que a pressão no fundo

- a) do recipiente A é maior que em B e C.
- b) do recipiente B é menor que em A e C.
- c) é igual nos três recipientes.
- d) do recipiente A é maior que em C.
- e) N.d.a.

16. (FURG) Sabemos que no interior de um líquido a pressão cresce com a profundidade. Considerando a densidade da água  $1.0 \text{ g/cm}^3$ , a aceleração da gravidade  $10 \text{ m/s}^2$  e a pressão atmosférica  $1 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ , qual é a profundidade de água na qual a pressão atinge o dobro do valor da pressão atmosférica?

- a) 1 m
- b) 5 m
- c) 10 m
- d) 500 m
- e) 1000 m

17. (UFRS) A figura mostra três tubos cilíndricos interligados entre si e contendo um líquido em equilíbrio fluidoestático. Cada tubo possui um êmbolo, sendo a área da secção reta do tubo 1 a metade da área da secção reta do tubo 2 e da do tubo 3; os êmbolos se encontram todos no mesmo nível (conforme a figura abaixo). O líquido faz uma força de 200 N no êmbolo 1.



As forças que os êmbolos 2 e 3, respectivamente, fazem no líquido valem

- a) 200 N e 200 N.

- b) 400 N e 400 N.
- c) 100 N e 100 N.
- d) 800 N e 800 N.
- e) 800 N e 400 N.

18. (FURG) Analise cada uma das seguintes afirmações relacionadas com fluidos e indique se é verdadeira (V) ou falsa (F).

I – É possível tomar refresco de canudinho porque a sucção gera uma redução de pressão no interior do canudo e a pressão atmosférica, atuando na superfície do líquido, faz com que ele suba pelo canudo.

II – No alto de uma montanha a pressão atmosférica é maior que ao nível do mar.

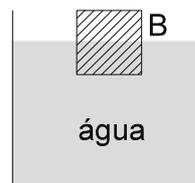
III – Num navio que flutua sobre o mar o valor do empuxo é igual ao peso do navio.

Quais são pela ordem, as indicações corretas?

- a) V, V, V.
- b) V, F, V.
- c) V, V, F.
- d) F, F, V.
- e) F, F, F.

19. (ACAFE) Um bloco sólido e maciço, B, flutua em equilíbrio na superfície da água, como mostra a figura abaixo. Sendo  $\bar{P}$

o peso do bloco,  $\bar{E}$  o empuxo da água sobre o bloco e  $\rho_B$  a densidade do bloco, a alternativa VERDADEIRA é:



- a)  $E = P$      $\rho_B = \rho_{\text{água}}$
- b)  $E = P$      $\rho_B > \rho_{\text{água}}$
- c)  $E > P$      $\rho_B = \rho_{\text{água}}$
- d)  $E < P$      $\rho_B = \rho_{\text{água}}$
- e)  $E = P$      $\rho_B < \rho_{\text{água}}$

20. (FURG) Uma jangada de madeira de 2 m de largura e 4 m de comprimento flutua em um lago com águas paradas. Nessa situação, 4 cm da espessura da madeira fica fora d'água. Considere a densidade da água  $1000 \text{ Kg/m}^3$  e a gravidade local  $10 \text{ m/s}^2$ . Quantas pessoas de 50 Kg cada podem ficar sobre a jangada sem molhar os pés?

- a) 6
- b) 8
- c) 10
- d) 32
- e) 50

GABARITO

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1) A	2) B	3) 30m	4) D	5) C	6) D
7) D	8) E	9) B	10) A	11) C	12) B
13) B	14) D	15) A			

EXERCÍCIOS FIXAÇÃO

1) C	2) A	3) C	4) B	5) A	6) C
7) 11	8) C	9) B	10) C	11) C	12) C
13) E	14) D	15) D	16) C	17) B	18) B
19) E	20) A				

# MÓDULO 17

## HIDRODINÂMICA

### 1 - REGIMES DE ESCOAMENTO

#### a) PERMANENTE, LAMELAR OU ESTACIONÁRIO:

Um escoamento é dito permanente quando, escolhido qualquer ponto P da corrente, todas as partículas que ali passarem apresentar a mesma velocidade  $\vec{V}$ .

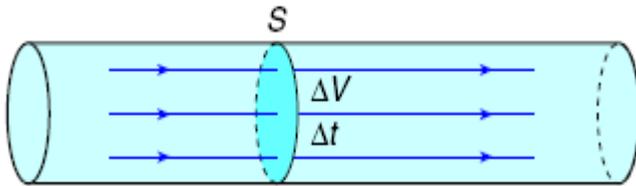
#### b) VARIADO OU TURBILHONAR

Um escoamento é dito variado quando as partículas apresentarem velocidades diferentes ao passarem pelo mesmo ponto P escolhido na corrente.

**OBS:** Os fluidos que serão estudados têm escoamento lamelar, irrotacional, incompressíveis e sem viscosidade.

### 2. VASÃO OU DESCARGA

É o quociente entre o volume do líquido que passa pela secção transversal de um conduto e o tempo de escoamento.



$$V_a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

$V_a$  = vazão  
 $\Delta V$  = volume  
 $v$  = velocidade

$$V_a = A \cdot v$$

$\Delta t$  = intervalo de tempo  
 $A$  = área  
 $SI = m^3/s$

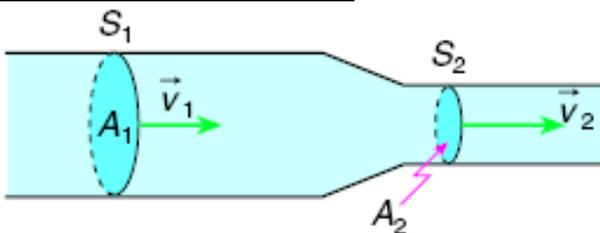
### 3. FLUXO DE MASSA ( $\phi$ )

O fluxo de massa em um conduto é o quociente da massa de fluido que escoar através de uma secção transversal do conduto pelo tempo de escoamento.

$$\Phi = \frac{m}{\Delta t}$$

$SI = kg/s$

### 4. EQUAÇÃO DA CONTINUIDADE



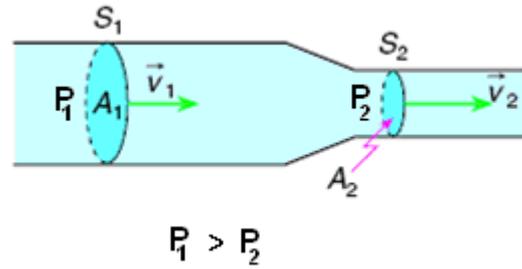
Num condutor de vazão constante, a velocidade de escoamento é inversamente proporcional à área da secção transversal do mesmo.

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2 \Rightarrow A \cdot v = CTE$$

$v$  = velocidade       $A$  = área

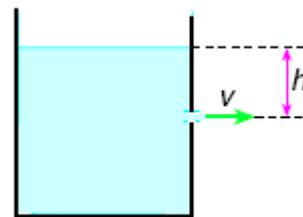
### 5. EFEITO BERNOULLI

No trecho em que a velocidade  $v$  é maior, a pressão  $p$  é menor.



### 6. VELOCIDADE DE ESCOAMENTO - EQUAÇÃO DE TORRICELLI

A velocidade de escoamento de um líquido através de um orifício existente numa parede de um recipiente é igual a de uma partícula que caísse livremente de um desnível igual ao que separa a superfície livre do ponto médio do orifício considerado.



$$v^2 = 2g\Delta h$$

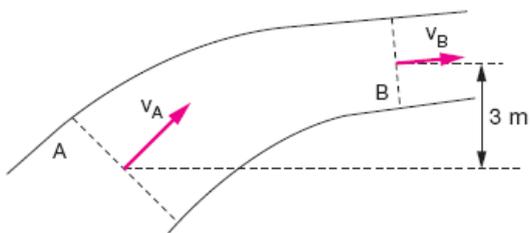
### EXERCÍOS DE AULA

1. (UFPA) Em 5 minutos, um carro-tanque descarrega 5 000 L de gasolina, através de um mangote cuja seção transversal tem área igual a 0,00267 m<sup>2</sup>. Pergunta-se:



- Qual a vazão volumétrica média desse escoamento, em litros por segundo?
- Considerando os dados indicados na figura e  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , qual a vazão volumétrica, em litros por segundo, no início do processo de descarga do combustível?
- O valor obtido no item b deve ser maior, menor ou igual ao do item a?

2. O tubo da figura tem 50 cm de diâmetro na seção A e 40 cm na seção B. A pressão em A é  $2 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ .

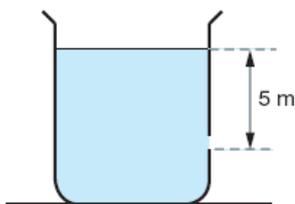


O óleo transmitido por este tubo tem massa específica igual a  $0,8 \text{ g/cm}^3$  e sua vazão é de  $70 \text{ L/s}$ . Considere  $\pi = 3$ .

- a) Calcule  $v_A$  e  $v_B$ .
- b) Calcule a pressão no ponto B.

3. A figura mostra a água contida num reservatório de grande seção transversal. Cinco metros abaixo da superfície livre existe um pequeno orifício de área igual a  $3 \text{ cm}^2$ .

Admitindo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , calcule a vazão através desse orifício, em litros por segundo.



**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1. (UFSM)



A figura representa uma tubulação horizontal em que escoar um fluido ideal.

A velocidade de escoamento do fluido no ponto 1 é \_\_\_\_\_ que a verificada no ponto 2, e a pressão no ponto 1, em relação à pressão no ponto 2, é \_\_\_\_\_.

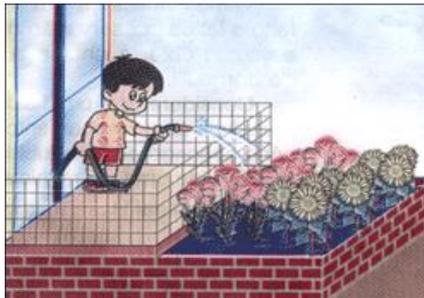
Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.

- a) maior – maior
- b) maior – menor
- c) menor – maior
- d) menor – menor
- e) maior – igual

2. (UFSM) Um fluido ideal percorre um cano cilíndrico em regime permanente. Em um estrangulamento onde o diâmetro do cano fica reduzido à metade, a velocidade do fluido fica

- a) reduzida a  $1/4$ .
- b) reduzida à metade.
- c) a mesma.
- d) duplicada.
- e) quadruplicada.

3. (UFSM) A água flui com uma velocidade  $v$ , através de uma mangueira de área de seção reta A colocada na horizontal. Se, na extremidade da mangueira, for colocado um bocal de área  $A/6$ , a água fluirá através dele, com velocidade de



- a)  $v/6$
- b)  $v/3$
- c)  $v$
- d)  $3v$
- e)  $6v$

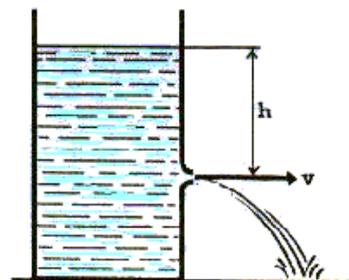
4. (UFSM) Em um cano de  $5 \text{ cm}^2$  de seção reta ligado a um tanque, escoar água em regime permanente. Se, em  $15 \text{ s}$ , o cano despeja  $0,75 \text{ L}$  de água no recipiente, então a velocidade da água no cano é, em centímetros por segundo,

- a) 0,01
- b) 0,1
- c) 1,0
- d) 10,0
- e) 100,0

5. (UFSM) Um líquido ideal preenche um recipiente até certa altura. A 5 metros abaixo de sua superfície livre, esse recipiente apresenta um orifício com  $2 \text{ cm}^2$  de área, por onde o líquido escoar. Considerando o módulo da aceleração gravitacional  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e não alterando o nível da superfície livre, a vazão através do orifício, em  $\text{m}^3/\text{s}$ , vale:

- a)  $1 \cdot 10^{-3}$
- b)  $2 \cdot 10^{-3}$
- c)  $3 \cdot 10^{-3}$
- d)  $4 \cdot 10^{-3}$
- e)  $5 \cdot 10^{-3}$

6. (MACK) A figura ilustra um reservatório contendo água. A 5 m abaixo da superfície livre existe um pequeno orifício de área igual a  $3 \text{ cm}^2$ . Admitindo  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , podemos afirmar que a vazão instantânea através desse orifício é:



- a) 2 L/s
- b) 3 L/s
- c) 1 L/s
- d) 10 L/s
- e) 15 L/s

7. (UFSM) As figuras representam seções de canalizações por onde flui, da esquerda para a direita, sem atrito e em regime estacionário, um líquido incompressível. Além disso, cada seção apresenta duas saídas verticais para a atmosfera, ocupadas pelo líquido até as alturas indicadas. As figuras em acordo com a realidade física são :

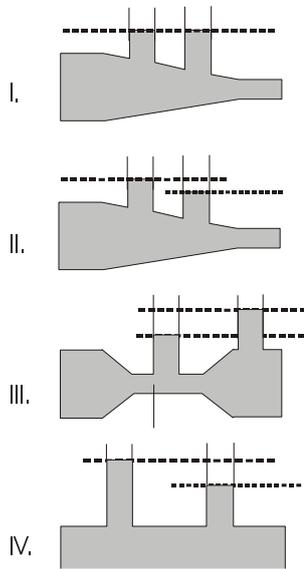
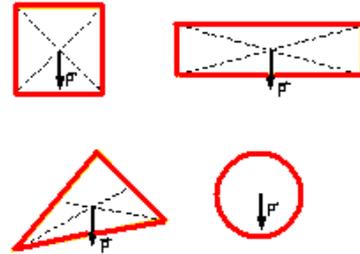
# MÓDULO 18

## ESTÁTICA

### 1- CENTRO DE GRAVIDADE

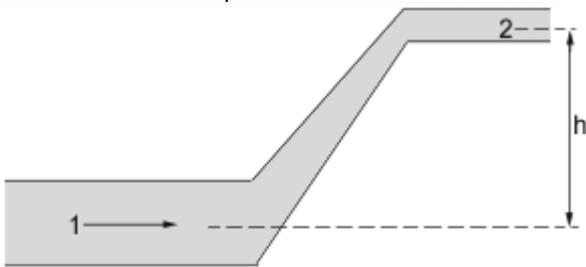
O centro de gravidade é o ponto onde se aplica o peso. Na realidade, para um corpo extenso, seu peso é a resultante de um grande número de forças, pois cada partícula que constitui o corpo está sob o efeito de uma força gravitacional. O ponto de aplicação da força gravitacional resultante, equivalente ao peso do corpo, é denominado baricentro, centro de gravidade ou centro de massa.

A figura abaixo mostra a localização do centro de gravidade para alguns corpos planos, de espessura desprezível e massa homoganeamente distribuída.



- a) II e III.
- b) I e IV.
- c) II e IV.
- d) III e IV.
- e) I e III.

8. (UFMS) Água escoar em uma tubulação, onde a região 2 situa-se a uma altura  $h$  acima da região 1, conforme figura a seguir. É correto afirmar que:



- a) a pressão cinética é maior na região 1.
- b) a vazão é a mesma nas duas regiões.
- c) a pressão estática é maior na região 2.
- d) a velocidade de escoamento é maior na região 1.
- e) a pressão em 1 é menor do que a pressão em 2.

### GABARITO

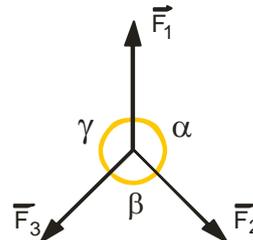
#### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1) C	2) E	3) E	4) D	5) B	6) B
7) A	8) B				

### 2- EQUILÍBRIO DE UM PONTO MATERIAL

A condição necessária e suficiente para que um ponto material esteja em equilíbrio estático é que a resultante de todas as forças que atuam sobre ele seja nula.  $\vec{F}_R = 0$

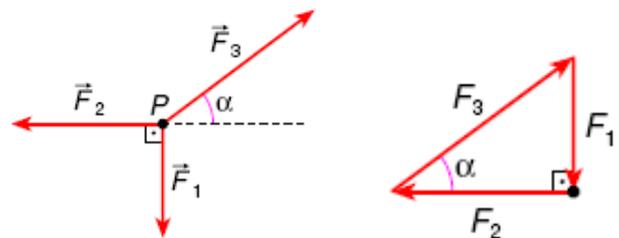
#### 2.1- TEOREMA DE LAMY:



$$\frac{F_1}{\sin \beta} = \frac{F_2}{\sin \gamma} = \frac{F_3}{\sin \alpha}$$

#### 2.2- MÉTODO DO POLÍGONO FECHADO

Unindo-se os segmentos orientados, que representam as forças que atuam sobre um ponto material, em repouso, obtém-se um polígono.



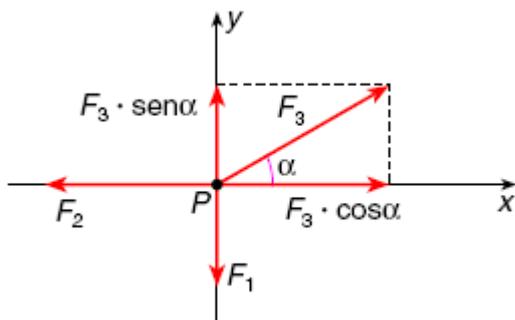
$$\cos \alpha = \frac{F_2}{F_3} \Rightarrow F_2 = F_3 \cdot \cos \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{F_1}{F_3} \Rightarrow F_1 = F_3 \cdot \sin \alpha$$

$$\text{Ponto material em repouso} \Rightarrow \vec{F}_R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0}$$

### 2.3- MÉTODO DAS DECOMPOSIÇÕES

Coloca-se o ponto sobre a origem de um sistema de eixos cartesianos. Projetam-se, ortogonalmente, as forças sobre os dois eixos. As somas algébricas dessas projeções são nulas. Assim:



Projeções em x:

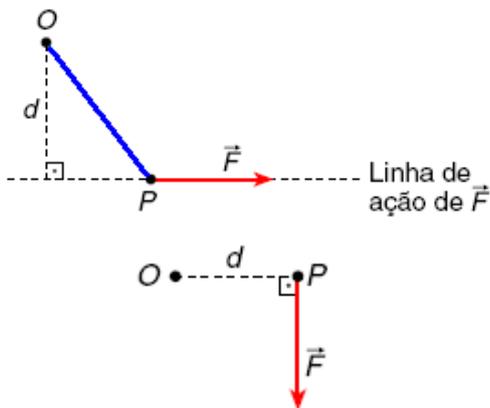
$$F_3 \cdot \cos \alpha - F_2 = 0 \Rightarrow F_2 = F_3 \cdot \cos \alpha$$

Projeções em y:

$$F_3 \cdot \sin \alpha - F_1 = 0 \Rightarrow F_1 = F_3 \cdot \sin \alpha$$

### 3- MOMENTO DE UMA FORÇA EM RELAÇÃO A UM PONTO

É uma grandeza vetorial cujo módulo é o produto da intensidade da força  $\vec{F}$  pela distância d (braço) do pólo O a linha de ação da força  $\vec{F}$ .



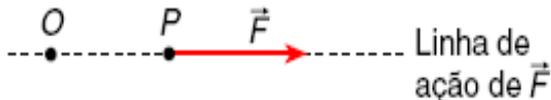
MÓDULO:

$$M_{F,O} = F \cdot d$$

Unidade no SI: N . m

Adota-se o sinal (-) se a força tende a girar o segmento OP em torno de O no sentido anti-horário e (+) no sentido horário.

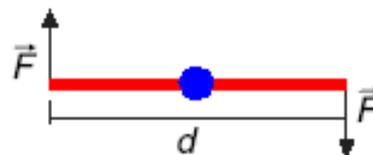
Se a linha de ação da força passa pelo ponto O, seu momento em relação a O é nulo.



$$d = 0 \Rightarrow M_o = 0$$

### 4- BINÁRIO

É um sistema constituído de duas forças de mesma intensidade, mesma direção e sentidos opostos cujas linhas de ação estão a uma certa distância d. A distância d chama-se braço do binário.



- Momento no binário:

$$M = F \cdot d$$

- Resultante no binário:

$$\vec{F} = 0$$

Desse modo, se aplicarmos um binário a um sólido, inicialmente em repouso, este **não** adquire movimento de translação (pois a força resultante é nula, mas adquire movimento de rotação não-uniforme (pois o momento não é nulo).

### 5- EQUILÍBRIO DE UM CORPO EXTENSO

Para um corpo extenso em equilíbrio, o sistema de forças deve ser tal que:

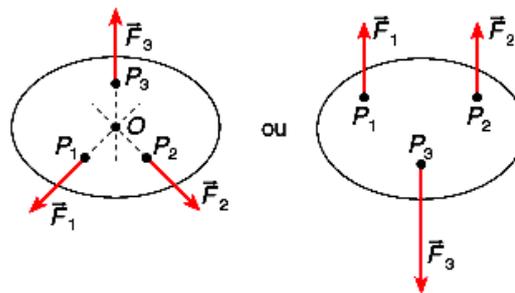
1º) a resultante do sistema de forças seja nula;

2º) a soma algébrica dos momentos das forças do sistema em relação a qualquer ponto seja nula.

CONDIÇÕES	
1º	2º
$\vec{F}_R = 0 \begin{cases} \vec{R}_x = 0 \\ \vec{R}_y = 0 \end{cases}$	$\sum M = 0$
Esta condição faz com que o corpo não tenha movimento de translação	Esta condição faz com que o corpo não tenha movimento de rotação

### 6- TEOREMA DAS TRÊS FORÇAS

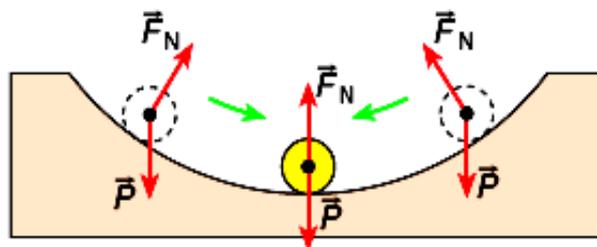
Se um corpo estiver em equilíbrio sob ação exclusiva de três forças, estas deverão ser coplanares e suas linhas de ação serão, necessariamente, concorrentes num único ponto ou paralelas.



### 7- TIPOS DE EQUILÍBRIO DE UM CORPO

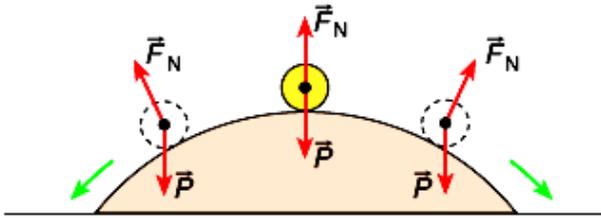
#### 7.1- Equilíbrio estável

Ao ser deslocado ligeiramente da posição de equilíbrio e abandonado em seguida, ela tende a voltar à posição original.



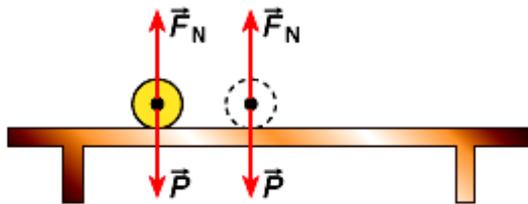
**7.2- Equilíbrio instável**

No caso em que uma esfera está em equilíbrio num apoio convexo, seu equilíbrio é instável. Se deslocar a esfera ligeiramente da posição de equilíbrio, ele se afasta ainda mais dessa posição.



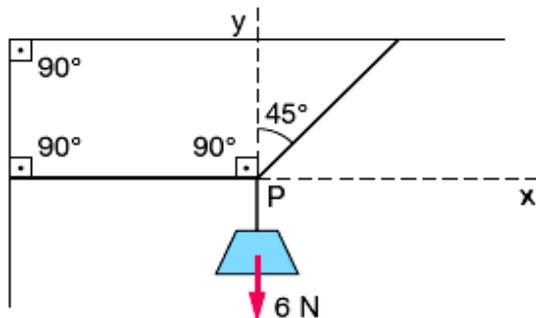
**7.3- Equilíbrio indiferente**

Estando a esfera apoiada num plano horizontal, seu equilíbrio é indiferente. Se deslocar a esfera ligeiramente da posição de equilíbrio e abandonando-a em seguida, ela permanece em equilíbrio na nova posição.

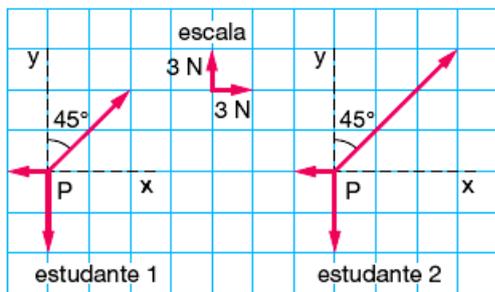


**EXERCÍOS DE AULA**

1. (VUNESP) Um bloco de peso 6 N está suspenso por um fio, que se junta a dois outros num ponto *P*, como mostra a figura.

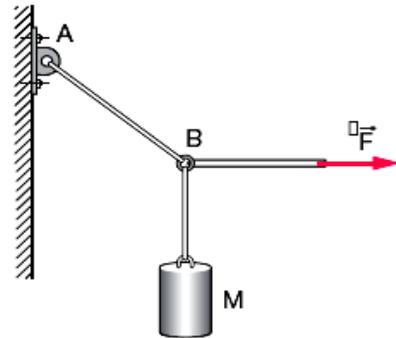


Dois estudantes, tentando representar as forças que atuam em *P* e que mantêm em equilíbrio, fizeram os seguintes diagramas vetoriais, usando a escala indicada na figura.



- a) Algum dos diagramas está correto?
- b) Justifique sua resposta.

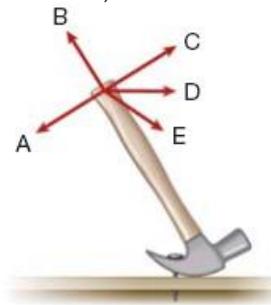
2. (UNIRIO) corpo *M* representado na figura pesa 80 N e é mantido em equilíbrio por meio da corda *AB* e pela ação da força horizontal *F* de módulo 60 N.



Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , a intensidade da tração na corda *AB*, suposta ideal, em *N*, é:

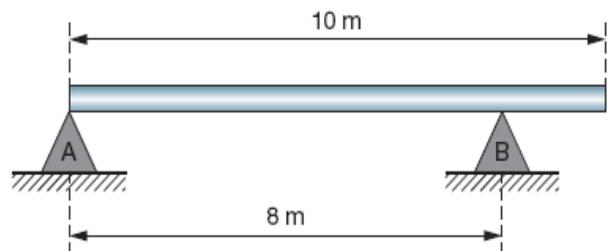
- a) 60
- b) 80
- c) 100
- d) 140
- e) 200

3. (MACK) Querendo-se arrancar um prego com um martelo, conforme mostra a figura, qual das forças indicadas (todas elas de mesma intensidade) será mais eficiente?



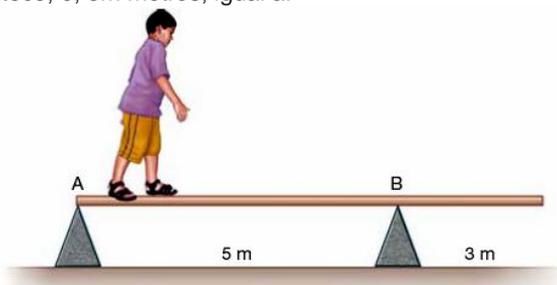
- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

4. (UNIC-MT) A barra homogênea de peso  $P = 2\,000 \text{ N}$  está em equilíbrio sobre dois apoios. A força de reação no ponto *B* vale:



- a) 2 000 N
- b) 1 500 N
- c) 1 000 N
- d) 1 250 N
- e) 2 250 N

5. (CEFET-PR) Um menino que pesa 200 N, caminha sobre uma viga homogênea, de secção constante, peso de 600 N e apoiada simplesmente nas arestas de dois corpos prismáticos. Como ele caminha para a direita, é possível prever que ela rodará em torno do apoio B. A distância de B em que tal fato acontece, é, em metros, igual a:

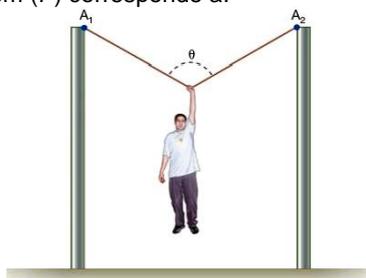


- a) 0,5
- b) 1
- c) 1,5
- d) 2
- e) 3

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

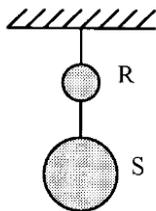
1. (UERJ) Na figura, a corda ideal suporta um homem pendurado num ponto equidistante dos dois apoios (A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>), a uma certa altura do solo, formando um ângulo θ de 120°.

A razão  $\frac{T}{P}$  entre as intensidades da tensão na corda (T) e do peso do homem (P) corresponde a:



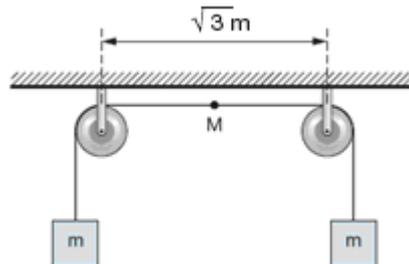
- a)  $\frac{1}{4}$
- b)  $\frac{1}{2}$
- c) 1
- d) 2

2. (UFRS) As esferas R e S da figura possuem pesos de 4N e 10 N, respectivamente, e encontram-se em equilíbrio mecânico. Qual é o módulo da força que o fio entre R e S suporta?



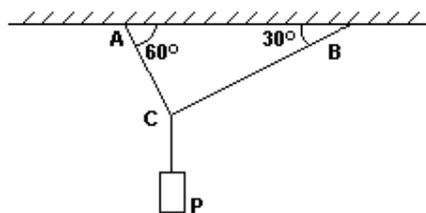
- a) 4 N
- b) 6 N
- c) 10 N
- d) 14 N
- e) 40 N

3. (MACK) No sistema ideal ao lado, M é o ponto médio do fio. Pendurando nesse ponto mais um corpo de massa m, para que o sistema se equilibre, ele deverá descer:



- a) 0,5 m
- b)  $\frac{\sqrt{2}}{2}$  m
- c) 1 m
- d)  $\sqrt{3}$  m
- e) 2 m

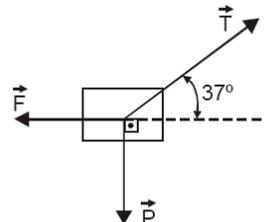
4. (VUNESP-SP) O peso P está pendurado em duas cordas inextensíveis e de peso desprezível, amarradas nos pontos A e B do teto e em C, como mostra a figura:



Os módulos das forças de reação nos pontos A e B do teto são:

- a)  $\frac{P}{2}$  em cada um.
- b)  $\frac{P}{2}$  em A e  $\frac{P\sqrt{3}}{2}$  em B.
- c)  $\frac{P\sqrt{3}}{2}$  em A e  $\frac{P}{2}$  em B.
- d)  $\frac{P\sqrt{3}}{2}$  em cada um.
- e) P em cada um.

5. (FATEC) Um corpo está submetido à ação exclusiva e simultânea de três forças F, P e T, como é mostrado na figura.

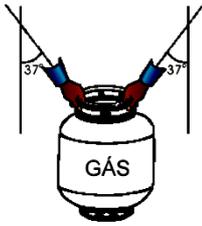


Dados:  $\text{sen } 37^\circ = 0,60$   
 $\text{cos } 37^\circ = 0,80$

Sabendo que a intensidade da força F é de 40 N e que o corpo está em repouso, as intensidades das forças P e T, em newtons, valem, respectivamente

- a) 30 e 40.
- b) 30 e 50.
- c) 40 e 30.
- d) 40 e 50.
- e) 50 e 30.

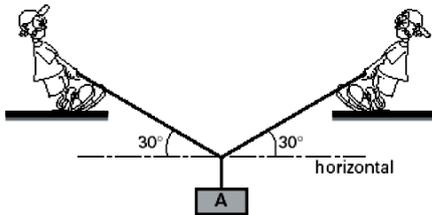
6. (OBF) Duas pessoas carregam um botijão de gás de massa 25 kg, conforme a figura a seguir. O ângulo de abertura dos braços das duas pessoas é de  $37^\circ$ .



Considerando  $\text{sen } 37^\circ = 0,6$  e  $\text{cos } 37^\circ = 0,8$ , a força que cada uma faz é de, aproximadamente,

- a) 156 N
- b) 208 N
- c) 313 N
- d) 417 N
- e) 625 N

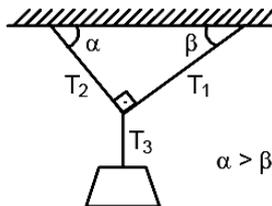
7. (MACK) Utilizando-se de cordas ideais, dois garotos, exercendo forças de mesmo módulo, mantêm em equilíbrio um bloco A, como mostra a figura. Se a força de tração em cada corda tem intensidade de 20 N, a massa do bloco suspenso é:



Adote:  $g = 10 \text{ m/s}^2$

- a) 1,0 kg
- b) 2,0 kg
- c) 3,0 kg
- d) 4,0 kg
- e) 5,0 kg

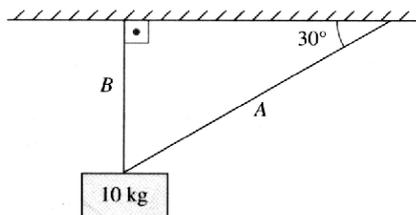
8. (UEL) O corpo de peso P está suspenso por barbante, da maneira mostrada na figura a seguir.



Com relação às intensidades das forças exercidas pelos barbantes, pode-se afirmar que

- a)  $T_1 = T_2 = T_3$
- b)  $T_1 > T_2 > T_3$
- c)  $T_1 < T_2 < T_3$
- d)  $T_1 > T_2 < T_3$
- e)  $T_1 < T_2 > T_3$

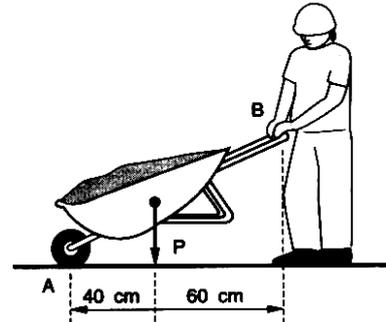
9. (PUC) A figura representa um bloco de 10 kg de massa e duas cordas de massas desprezíveis A e B, em equilíbrio estático. Sabendo que  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , as tensões nas cordas A e B são respectivamente:



- a) 100 N e 1000 N
- b) 100 N e 50 N

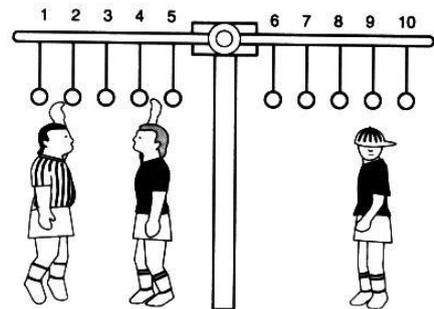
- c) 50 N e 100 N
- d) 50 N e 50 N
- e) zero e 100 N

10. (FGV) Um carrinho de pedreiro de peso total  $P = 800 \text{ N}$  é mantido em equilíbrio na posição mostrada na figura abaixo. A força exercida pelo operador, em newtons, é de:



- a) 800
- b) 533
- c) 480
- d) 320
- e) 160

11. (UFPEL) Um brinquedo de uma praça infantil é formado por uma estrutura metálica que pode movimentar-se, como gangorra, apoiada em seu centro de gravidade. Cada criança pode pendurar-se em uma das alças colocadas a espaços regulares, para cada lado, a partir do entro. Marco, de massa igual a 15 kg, pretende pendurar-se na alça nº. 2, e Gérson, de massa 20 kg, pretende pendurar-se na alça nº. 4.

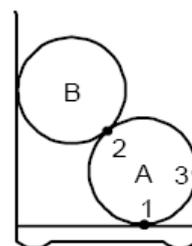


Com base nesses dados, responda:

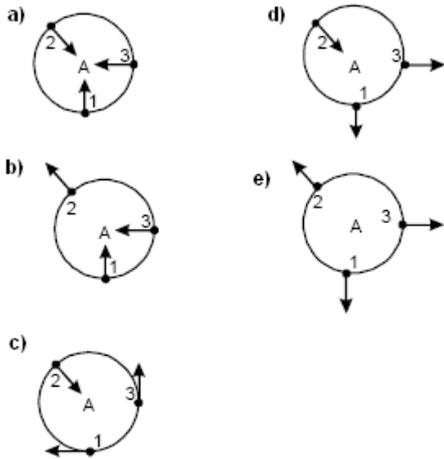
Em que alça deverá pendurar-se Vítor, de massa igual a 50 kg, para que a estrutura fique em equilíbrio na posição horizontal?

- a) 6
- b) 7
- c) 8
- d) 9
- e) 10

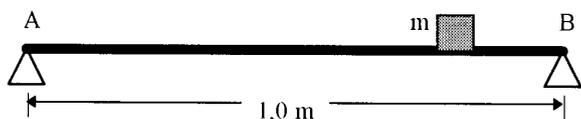
12. (FUVEST) Duas esferas rígidas A e B, iguais, estão em equilíbrio dentro de uma caixa, como na figura abaixo. Suponha nulos os atritos. Considere unicamente as forças de contato nos pontos 1, 2 e 3.



Assinale a alternativa em que estão corretamente representadas as direções e sentidos das forças que agem sobre a esfera A:



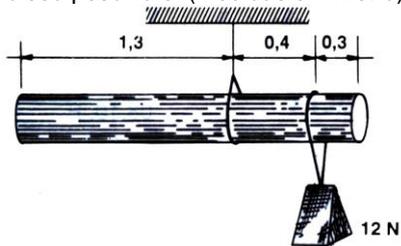
13. (UFRS) Uma barra homogênea de massa 2,0 kg está apoiada nos seus extremos A e B, distanciados de 1,0 m. A 20 cm da extremidade B foi colocado um bloco de massa m igual 2,0 kg.



Considerando a aceleração da gravidade igual a 10,0 m/s<sup>2</sup>, quais os módulos das forças que os apoios exercem sobre a barra em A e B, respectivamente?

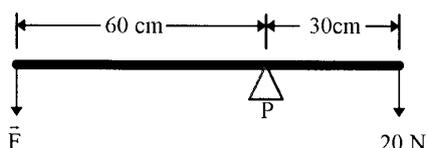
- a) 1,0 N e 3,0 N
- b) 2,0 N e 6,0 N
- c) 8,0 N e 32 N
- d) 10,0 N e 30,0 N
- e) 14,0 N e 26 N

14. (CEFET-PR) Com base no esquema a seguir, que representa uma barra homogênea em equilíbrio horizontal, pode-se concluir que o seu peso vale: (medidas em metro)



- a) 3,7N
- b) 28N
- c) 4,8N
- d) 16N
- e) 0,5N

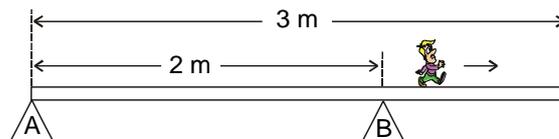
15. (UFRS) A barra da figura é um corpo rígido de peso desprezível, apoiada no ponto P.



Qual o módulo da força  $\vec{F}$  que mantém a barra em equilíbrio mecânico na posição horizontal?

- a) 10N
- b) 20N
- c) 30N
- d) 40N
- e) 60N

16. (UFPEL) Um operário da construção civil caminha distraidamente sobre a tábua homogênea, mostrada na figura abaixo, sem saber que ela está apenas apoiada nos pontos A e B. A massa da tábua é igual a 20 kg e a massa do operário vale 80 kg.

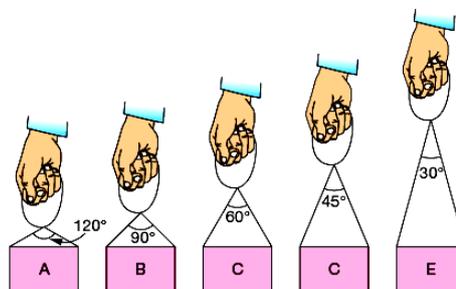


Nessas condições, ocorrerá um acidente com o operário, se ele avançar até uma distância do apoio B superior a

- a) 8,5 cm.
- b) 25,0 cm.
- c) 12,5 cm.
- d) 50,0 cm.
- e) 37,5 cm.

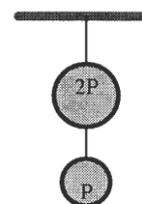
EXERCÍCIOS DE FIXAÇÃO

1. (FUVEST) Um mesmo pacote pode ser carregado com cordas amarradas de várias maneiras. A situação, dentre as apresentadas, em que as cordas estão sujeitas a maior tensão é:



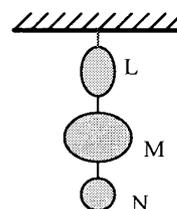
- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

2. (UFRS) Duas esferas de pesos P e 2P estão em repouso, penduradas por fios, como mostra a figura. O módulo da resultante das forças exercidas sobre a esfera de peso 2P é igual a



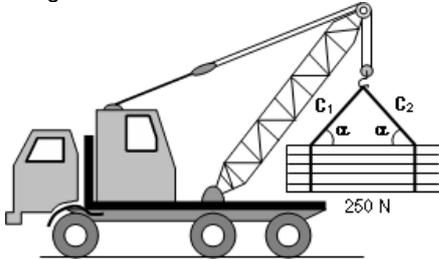
- a) zero
- b) P/2
- c) P
- d) 2P
- e) 3P

3. (UFRS) Os objetos L, M e N, cujos pesos são 10N, 15N e 8N, respectivamente, estão suspensos por um arame muito leve, como mostra a figura. Qual é a força que o arame suporta entre L e M?



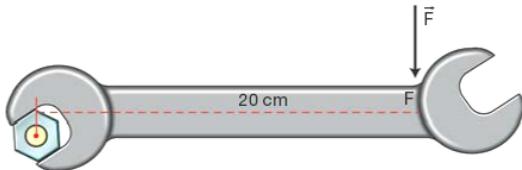
- a) 2 N
- b) 8 N
- c) 23 N
- d) 25 N
- e) 33 N

4. (FURG) Uma caixa de 250 N é mantida em repouso, sustentada pelos cabos  $C_1$  e  $C_2$  de uma grua. Quais são as tensões  $T_1$  e  $T_2$  nos cabos para que haja equilíbrio da caixa, sendo o ângulo  $\alpha$  igual a  $45^\circ$ ?



- a)  $T_1 = T_2 = \sqrt{250}$  N.
- b)  $T_1 = T_2 = 125$  N.
- c)  $T_1 = T_2 = 250$  N.
- d)  $T_1 = T_2 = 250/\sqrt{2}$  N.
- e)  $T_1 = T_2 = 250/\sqrt{3}$  N.

5. (UFSM) Segundo o manual da moto Honda CG125, o valor aconselhado do torque, para apertar a porca do eixo dianteiro, sem danificá-la, é 60 N.m. Usando uma chave de boca semelhante à da figura, a força que produzirá esse torque é:



- a) 3,0 N
- b) 12,0 N
- c) 30,0 N
- d) 60,0 N
- e) 300,0 N

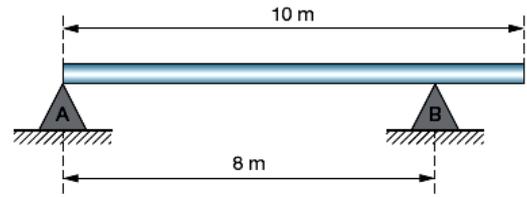
6. (UERJ) Na figura abaixo, o dente incisivo central X estava deslocado alguns milímetros para a frente.



Um ortodontista conseguiu corrigir o problema usando apenas dois elásticos idênticos, ligando o dente X a dois dentes molares indicados na figura pelos números de 1 a 6. A correção mais rápida e eficiente corresponde ao seguinte par de molares:

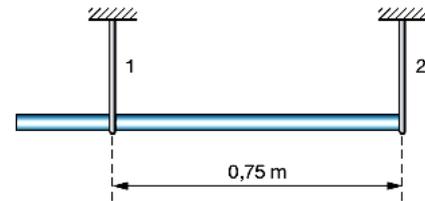
- a) 1 e 4
- b) 2 e 5
- c) 3 e 4
- d) 3 e 6

7. (UNIC-MT) A barra homogênea de peso  $P = 2\,000$  N está em equilíbrio sobre dois apoios. A força de reação no ponto B vale:



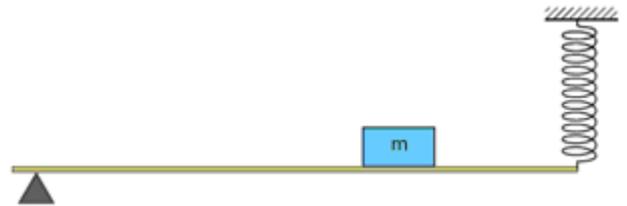
- a) 2 000 N
- b) 1 000 N
- c) 1 500 N
- d) 1 250 N
- e) 2 250 N

8. (UNITAU-SP) Uma barra homogênea de 1,0 m de comprimento e peso igual a 30 N está suspensa por dois fios verticais, conforme a figura, mantendo-se na posição horizontal. As trações  $T_1$  e  $T_2$  nos fios 1 e 2 valem, respectivamente:



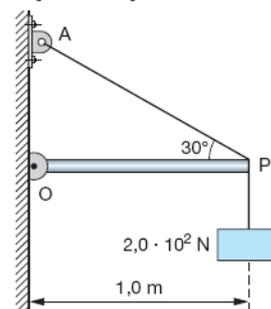
- a) 5 N; 15 N
- b) 10 N; 20 N
- c) 20 N; 20 N
- d) 20 N; 10 N
- e) 15 N; 15 N

9. (FATEC-SP) Uma tábua homogênea e uniforme de 3 kg tem uma de suas extremidades sobre um apoio e a outra é sustentada por um fio ligado a uma mola, conforme a figura. Sobre a tábua encontra-se uma massa  $m = 2$  kg. Considerando a aceleração da gravidade  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>, podemos afirmar que, com relação à força  $\vec{F}$  que a mola exerce:



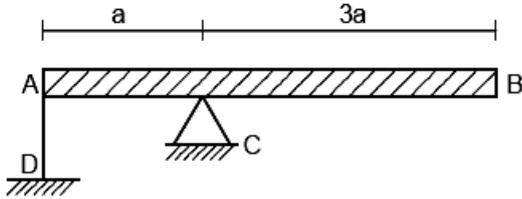
- a)  $F = 50$  N
- b)  $F = 25$  N
- c)  $F > 25$  N
- d)  $F < 25$  N
- e)  $F \rightarrow \infty$

10. (ACAFE) A barra OP, uniforme, cujo peso é  $1,0 \cdot 10^2$  N, pode girar livremente em torno de O. Ela sustenta, na extremidade P, um corpo de peso  $2,0 \cdot 10^2$  N. A barra é mantida em equilíbrio, em posição horizontal, pelo fio de sustentação PQ. Qual é o valor da força de tração no fio?



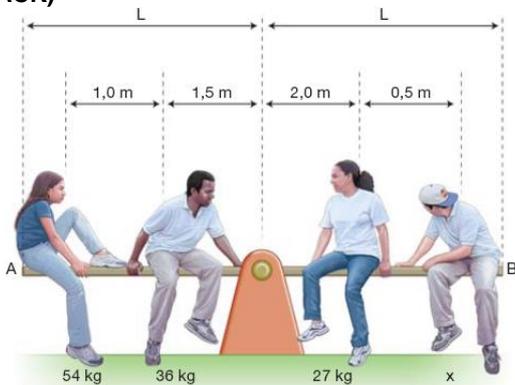
- a)  $1,0 \cdot 10^2$  N
- b)  $2,0 \cdot 10^2$  N
- c)  $3,0 \cdot 10^2$  N
- d)  $4,0 \cdot 10^2$  N
- e)  $5,0 \cdot 10^2$  N

11. (FATEC) Uma barra homogênea AB tem peso P. Ela apoia-se em um cutelo C e é mantida em equilíbrio na horizontal graças ao fio AD. A tração neste fio tem intensidade de



- a) 3P
- b) 2P
- c) P
- d) P/2
- e) P/3

12. (MACK)

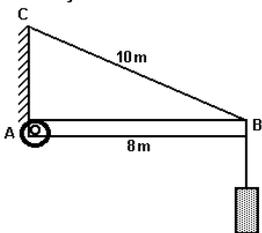


Após uma aula sobre o “Princípio das Alavancas”, alguns estudantes resolveram testar seus conhecimentos num playground, determinando a massa de um deles. Para tanto, quatro sentaram-se estrategicamente na gangorra homogênea da ilustração, de secção transversal constante, com o ponto de apoio em seu centro, e atingiram o equilíbrio quando se encontravam sentados nas posições indicadas na figura.

Dessa forma, se esses estudantes assimilaram corretamente o tal princípio, chegaram à conclusão de que a massa desconhecida, do estudante sentado próximo à extremidade B, é:

- a) indeterminável, sem o conhecimento do comprimento da gangorra.
- b) 108 kg
- c) 63 kg
- d) 54 kg
- e) 36 kg

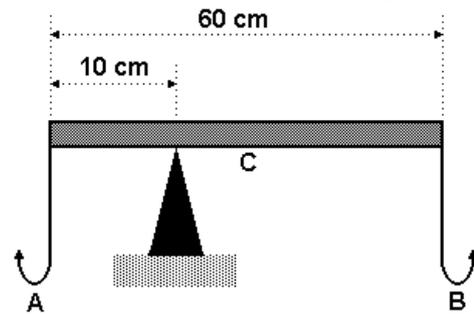
13. (FAAP-SP) Na estrutura representada, a barra homogênea AB pesa 40N e é articulada em A. A carga suspensa pesa 60N. A tração no cabo vale:



- a) 133,3 N
- b) 33,3 N
- c) 166,6 N
- d) 66,6 N

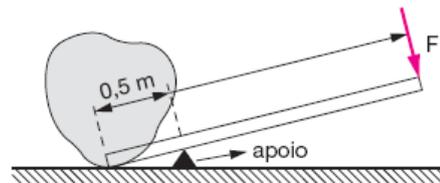
e) 199,9 N

14. (MACK) Para se estabelecer o equilíbrio da barra homogênea, (secção transversal constante), de 0,50 kg, apoiada no cutelo C da estrutura a seguir, deve-se suspender em: Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e despreze os pesos dos ganchos.



- a) A, um corpo de 1,5 kg.
- b) A, um corpo de 1,0 kg.
- c) A, um corpo de 0,5 kg.
- d) B, um corpo de 1,0 kg.
- e) B, um corpo de 1,5 kg.

15. (FEI) Um garoto deseja mover uma pedra de massa  $m = 500 \text{ kg}$ . Ele dispõe de uma barra com 3 m de comprimento, sendo que apoiou a mesma conforme a figura. Aproximadamente que força  $\vec{F}$  terá que fazer para mexer a pedra se ele apoiar a barra a 0,5 m da pedra?



Obs.: Desprezar a altura do apoio.

- a)  $F = 1\ 000 \text{ N}$
- b)  $F = 2\ 500 \text{ N}$
- c)  $F = 3\ 000 \text{ N}$
- d)  $F = 3\ 500 \text{ N}$
- e)  $F = 5\ 000 \text{ N}$

**GABARITO**

**EXERCÍCIOS PROPOSTOS**

1) C	2) C	3) A	4) C	5) B	6) A
7) B	8) C	9) E	10) D	11) B	12) A
13) E	14) D	15) A	16) C		

**EXERCÍCIOS FIXAÇÃO**

1) A	2) A	3) C	4) D	5) E	6) D
7) D	8) D	9) C	10) E	11) C	12) D
13) A	14) B	15) A			