

Física

CINEMÁTICA

Conceitos Iniciais

1.1- Introdução	5
1.2- Referencial	5
1.3- Deslocamento e Espaço Percorrido.....	6
1.4- Velocidade Média	7
1.5- Velocidade Escalar Instantânea.....	8
1.6- Aceleração Escalar Média.....	8

MECÂNICA

Leis de Newton

1 - Introdução	10
2 - Força	10
3 - Leis de Newton.....	10

Movimentos Retilíneos

1 - Movimento Retilíneo Uniforme (M.R.U.)	11
2 - Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (M.R.U.V.)	13
3 - Força Peso (\vec{P}) e Reação Normal	16
4 - Movimentos Verticais próximos à superfície da Terra	17
5 - Atrito	18
6 - Plano Inclinado.....	19
7 - Movimento Circular Uniforme.....	20
8 - Força Centrípeta	22

Vetores

1 - Vetores	29
2 - Composição de Movimentos.....	31

Reprodução por qualquer meio, inteira ou em parte, vendida, exposição à venda, aluguel, aquisição, ocultamento, empréstimo, troca ou manutenção em depósito sem autorização do detentor dos direitos autorais é crime previsto no Código Penal, Artigo 184, parágrafo 1 e 2, com multa e pena de reclusão de 01 a 04 anos.



Estática dos Corpos Rígidos

1 - Introdução	35
2 - Momento de uma Força (M).....	35
3 - Condições de Equilíbrio	36

Dinâmica - Trabalho, Potência e Energia

1 - Introdução	38
2 - Trabalho ($W \cdot \tau$)	38
3 - Potência Média.....	39
4 - Energia Mecânica (E_{MEC})	39
5 - Conservação da Energia Mecânica	40

Hidrostática

1 - Introdução	44
2 - Densidade Absoluta ou Massa Específica (d).....	44
3 - Pressão (p).....	44
4 - Pressão Hidrostática	45
5 - Teorema de Stevin	45
6 - Experiência de Torricelli	46
7 - Princípio de Pascal.....	46
8 - Princípio de Arquimedes	46

Gravitação Universal

1 - Introdução	50
2 - Leis de Kepler	50
3 - Lei da Gravitação Universal	51
4 - Aceleração da Gravidade	51
5 - Movimento Orbital	52

Caro VESTIBULANDO,

Você está recebendo o primeiro volume da coleção ITAPECURSOS. Ao todo são 3 livros que irão abranger o programa básico do Ensino Médio: Mecânica, Eletromagnetismo, Termologia, Óptica e Ondulatória.

Neste primeiro volume o assunto tratado é a Mecânica. Você terá um **capítulo inicial** contendo conceitos introdutórios, tais como referencial, velocidade e aceleração. Logo em seguida, haverá um capítulo contendo Leis de Newton, com tópicos de Cinemática inseridos. A seguir, os capítulos tratarão da Energia, Hidrostática e Gravitação Universal.

Optamos por não efetuar uma divisão clara entre Física 1 e 2 para dar maior adaptabilidade à sua realidade. No entanto, sugerimos dois tipos de divisão:

1TM) - Considerando 3 aulas por semana:

Física 1: 2 aulas ⇒ Conceitos Iniciais
Leis de Newton
Hidrostática

Física 2: 1 aula ⇒ Energia
Gravitação

2TM) - Considerando 4 aulas por semana:

Física 1: 2 aulas ⇒ Conceitos Iniciais
Leis de Newton

Física 2: 2 aulas ⇒ Energia
Hidrostática
Gravitação

Atenciosamente,

Anotações



A series of horizontal orange lines forming a ruled page for notes. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page, starting from the top margin and ending at the bottom margin. The page is otherwise blank, with no text or other markings.

CINEMÁTICA

CONCEITOS INICIAIS

1.1 - INTRODUÇÃO

A Física é uma ciência que se preocupa em investigar os fenômenos naturais. Assim, toda vez que você estiver estudando a queda de um corpo ou a formação de um raio em um dia de tempestade, a Física estará presente.

Ao longo dos três volumes desta coleção iremos trabalhar com 4 tópicos, basicamente: Mecânica, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Ondulatória. Para uma melhor distribuição destes assuntos, iremos dividi-los da seguinte forma: Volume 1: Mecânica, Volume 2: Termodinâmica e Ondulatória e Volume 3: Eletromagnetismo.

Começaremos nosso estudo pela **Mecânica**, que é a parte da Física que estuda os movimentos e as condições de equilíbrio de um corpo.

Para o estudo da Mecânica, será necessário o conhecimento de alguns conceitos que serão vistos neste primeiro capítulo.

Vejamos estes conceitos:

1.2 - REFERENCIAL

É um sistema qualquer utilizado para se estudar o movimento de um ou vários corpos. De acordo com o referencial, poderemos definir o que é movimento, repouso, trajetória e partícula.

a) Movimento e Repouso

Imagine que você está em sua primeira aula de Física e o professor lhe faz a seguinte pergunta:

- Você está em movimento exatamente neste instante?

Talvez sua resposta intuitiva seja **NÃO**, uma vez que você está fixo em uma carteira, dentro de uma sala de aula.

A pergunta do seu professor soou estranha porque você estabeleceu intuitivamente como referencial um corpo fixo dentro da sala de aula (por exemplo, o quadro negro, a carteira em que você está assentado ou um colega). Neste caso, é verdade que, em relação ao referencial escolhido, você **está em repouso**.

Por outro lado, se você tivesse estabelecido que o Sol é o seu referencial, a sua resposta seria **SIM** para a pergunta do professor, pois você viaja pelo espaço (junto com a Terra) ao redor do Sol. Logo, em relação ao Sol, você **está em movimento**.

A diferença entre as duas situações é muito clara:

- No primeiro exemplo você não está em movimento, pois a sua posição em relação ao referencial escolhido **não varia** em relação ao tempo.
- Já no segundo caso, a sua **posição se altera**, com o passar do tempo, em relação ao referencial.

Uma pergunta que geralmente deve estar surgindo em sua mente é:

- Mas, na verdade eu estou ou não em movimento?

Não existe uma situação verdadeira e outra enganosa. Você **está em repouso** em relação ao quadro negro e **está em movimento** em relação ao Sol. Na verdade, não existe movimento ou repouso absolutos, ou seja, não há corpo algum que sempre esteja em movimento ou sempre esteja em repouso, tudo depende do referencial.

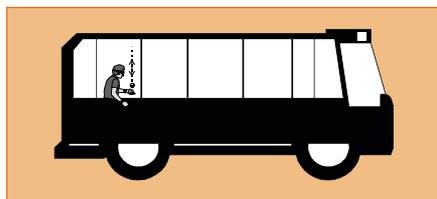
Para você pensar:

Durante muito tempo acreditou-se no modelo Geocêntrico no qual o Sol se movimenta em relação à Terra. Alguns cientistas morreram queimados por defender o modelo Heliocêntrico (a Terra gira em torno do Sol) no passado. De acordo com o que foi estudado neste tópico, você poderia apontar qual dos modelos está correto?

b) Trajetória

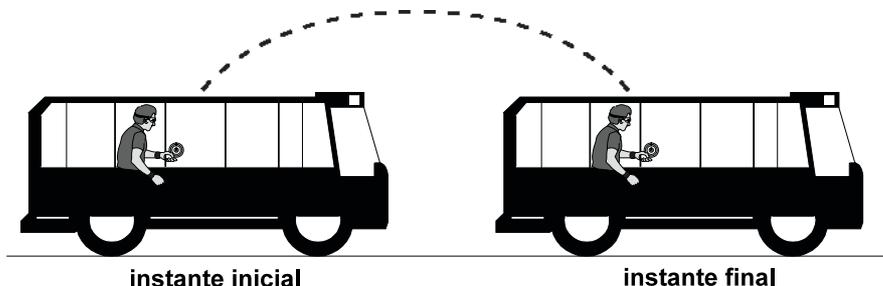
Chamamos de trajetória ao conjunto dos pontos ocupados por um corpo em seu movimento. A trajetória que um corpo qualquer possui depende do referencial adotado.

Imagine um ônibus que se movimenta em linha reta com velocidade constante em relação ao solo. Dentro do ônibus, uma pessoa atira uma moeda verticalmente para cima. A moeda irá cair exatamente na mão da pessoa.



Qual será a trajetória descrita pela moeda?

Observada por qualquer passageiro sentado, a moeda irá descrever um movimento retilíneo de subida e descida. Em relação a um referencial fixo na estrada, a moeda fará dois movimentos: o movimento vertical observado pelos passageiros e um movimento de deslocamento horizontal, acompanhando o ônibus.



Assim, para os passageiros (referencial fixo no ônibus), a trajetória da moeda será uma linha reta. Para o referencial na estrada, a trajetória será um arco de parábola.

c) Partícula

Um corpo qualquer poderá ser considerado uma partícula se as suas dimensões forem desprezíveis em relação às distâncias envolvidas no processo. Desta forma, um avião pode ser uma partícula em uma viagem de 1.000 km. O mesmo avião quando estiver dentro do hangar do aeroporto não poderá ser considerado uma partícula. Neste caso, ele será chamado de Corpo Extenso.

Observações:

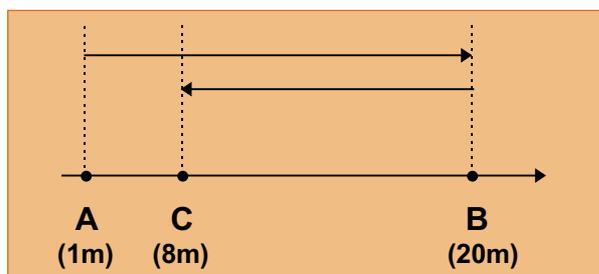
- 1 - O conceito de partícula despreza as dimensões e não a massa.
- 2 - Para uma partícula não definimos movimento de rotação.

1.3 - DESLOCAMENTO E ESPAÇO PERCORRIDO

Uma partícula, quando está em movimento, vai ocupando vários pontos em sua trajetória. Para que possamos formalizar o estudo deste movimento, podemos escolher um ponto qualquer desta trajetória para ser o marco zero da contagem das distâncias. Este ponto será chamado de origem. Além disso, temos que adotar um sentido qualquer para ser o crescente (sentido positivo do movimento) para estas distâncias. Veja a figura.



Imagine que uma partícula se desloca ao longo da trajetória mostrada a seguir, indo do ponto A ao B e, logo após, retornando ao ponto C. Os valores abaixo de cada letra representam as posições de cada ponto.



a) Deslocamento

Chamaremos de deslocamento de uma partícula ao vetor que liga o ponto inicial ao ponto final da trajetória. O estudo dos vetores será feito no capítulo 3, por isso nos preocuparemos em estudar somente o valor deste deslocamento. Numericamente, o deslocamento representa a distância entre os pontos de saída e de chegada. No esquema acima, o deslocamento será a distância entre os pontos A e C. Assim,

$$D = 8 - 1 = 7 \text{ m}$$

b) Espaço Percorrido

O espaço percorrido por um corpo é definido como sendo o total das distâncias efetivamente percorridas pela partícula, não importando o sentido do movimento. No exemplo anterior, a partícula percorreu 19 m para a direita e, logo após, 12 m para a esquerda. Logo, o Espaço Percorrido por ela foi de 31 m.

Observações:

1. Em um movimento em linha reta, sempre no mesmo sentido, o espaço percorrido e o deslocamento possuem valores iguais.
2. No caso do item anterior, podemos representar o espaço percorrido por

$$\Delta S = S - S_0$$

onde: S = posição final da partícula S_0 = posição inicial da partícula

Um exemplo dessa situação seria considerarmos apenas o movimento de A para B na figura anterior. Nesse caso, $\Delta S = 20 - 1 = 19 \text{ m}$

1.4 - VELOCIDADE MÉDIA

A velocidade média é uma grandeza física que nos indica a rapidez com que um movimento se processa. Existem dois tipos de velocidade: escalar e vetorial.

a) Velocidade ESCALAR Média

É a razão entre o Espaço Percorrido por um móvel e o tempo total gasto. Imagine um corpo qualquer que se movimenta entre dois pontos, percorrendo um espaço ΔS em um intervalo de tempo Δt .

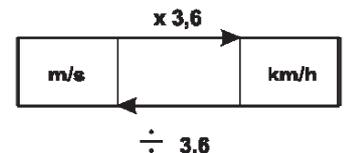
$$V_m = \frac{\text{espaço percorrido}}{\text{tempo gasto}} \Rightarrow V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

a.1) Unidades

Qualquer unidade de distância dividida por qualquer unidade de tempo será unidade de velocidade. Teremos duas unidades principais para a velocidade.

Se a distância for dada em metros e o tempo em segundos, a velocidade será medida em **metro/segundo (m/s)**. A outra unidade é o **quilômetro/hora (km/h)**, muito utilizada em nosso cotidiano.

Para efetuarmos a conversão entre as duas unidades citadas, devemos utilizar o esquema ao lado.



Observação:

O velocímetro dos carros importados geralmente mostram a velocidade em m.p.h. (milhas por hora). Para efetuarmos a conversão para o quilômetro por hora, devemos multiplicar a velocidade (em mph) por 1,6 (uma milha é, aproximadamente, 1,6 km).

b) Velocidade VETORIAL Média

É a razão entre o deslocamento do móvel e o tempo total gasto para deslocá-lo.

Iremos estudar esta velocidade em capítulos posteriores.

$$\bar{V}_m = \frac{\text{deslocamento}}{\text{tempo total gasto}}$$

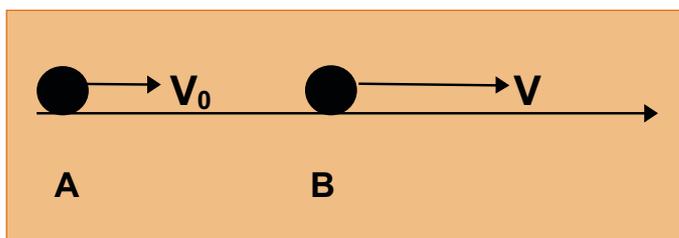
1.5 - VELOCIDADE ESCALAR INSTANTÂNEA

Você acha que o velocímetro de um automóvel mede a velocidade escalar média em uma viagem? É fácil perceber que não, pois em cada momento temos um valor diferente indicado pelo velocímetro.

Podemos dizer que o velocímetro mede a velocidade que um automóvel possui em cada instante de tempo. A esta velocidade damos o nome de **velocidade escalar instantânea**. Podemos dizer que é uma velocidade média em um intervalo de tempo muito pequeno, onde os instantes (e as posições) inicial e final estão muito próximos.

1.6 - ACELERAÇÃO ESCALAR MÉDIA

A aceleração é uma grandeza que mede a taxa de variação da velocidade de um corpo em relação a um certo intervalo de tempo. Sempre que houver variação na velocidade (em módulo ou direção), haverá uma aceleração para medir esta variação. Nos nos preocuparemos, inicialmente, em estudar a aceleração escalar média.



A partícula da figura acima possui, no início de seu movimento (ponto A), uma velocidade inicial V_0 . Após um intervalo de tempo Δt , sua velocidade passa a ser V . A aceleração escalar média neste intervalo de tempo será:

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

onde: $\Delta V = V - V_0$

a) Unidade

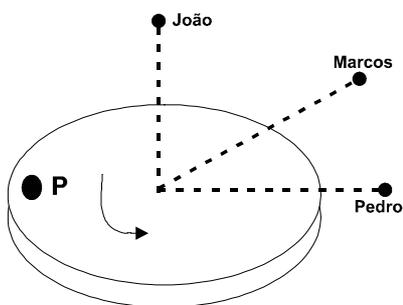
$$[a] = \frac{[\Delta V]}{[\Delta t]} = \frac{m/s}{s} = \frac{m}{s} \cdot \frac{1}{s} \Rightarrow [a] = \frac{m}{s^2}$$

Observação:

Quando dizemos que a aceleração escalar média de um corpo é de 3 m/s^2 , por exemplo, isto significa dizer que, em média, a sua velocidade escalar variou (aumentou ou diminuiu) 3 m/s em cada segundo.

Questões de Fixação

1) (UFMG) João, Pedro e Marcos observam um ponto P na borda de um disco que gira em um plano horizontal (ver figura). João se encontra acima do disco, sobre seu eixo, Pedro está no mesmo plano do disco e Marcos, entre João e Pedro.



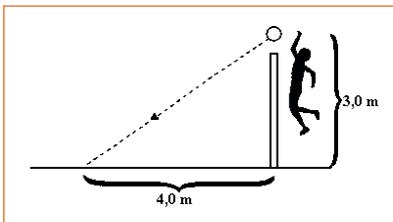
As trajetórias do ponto P, observadas por João, Marcos e Pedro, respectivamente, são melhor apresentadas pelas figuras da alternativa.

- a)
- b)
- c)
- d)
- e)

- 2) (PUC-MG) Um móvel parte do repouso, de um ponto sobre uma circunferência de raio R , e efetua um movimento circular uniforme, gastando $8,0$ s para completar uma volta. Após 18 s de movimento, o seu deslocamento tem módulo igual a:

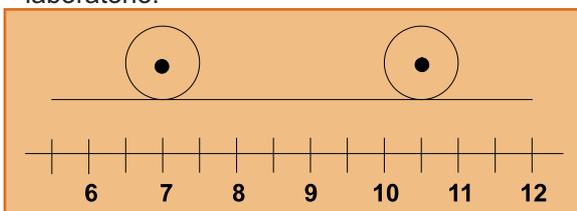
- a) $\frac{R}{2}$ c) $\frac{R}{2}$ e) $5.R$
 b) $R\sqrt{2}$ d) $2.R$

- 3) (UFMG) Marcelo Negrão, numa partida de vôlei, deu uma cortada na qual a bola partiu com uma velocidade de 126 km/h (35 m/s). Sua mão golpeou a bola a $3,0$ m de altura, sobre a rede, e ela tocou o chão do adversário a $4,0$ m da base da rede, como mostra a figura. Nessa situação pode-se considerar, com boa aproximação, que o movimento da bola é retilíneo e uniforme.



Considerando essa aproximação, pode-se afirmar que o tempo decorrido entre o golpe do jogador e o toque da bola no chão é de:

- a) $1/7$ s d) $4/35$ s
 b) $2/63$ s e) $5/126$ s
 c) $3/35$ s
- 4) (UFMG) Uma escola de samba, ao se movimentar numa rua reta e muito extensa, mantém um comprimento constante de 2 km. Se ela gasta **90 minutos** para passar completamente por uma arquibancada de 1 km de comprimento, sua velocidade média deve ser:
- a) $2/3$ km/h d) 2 km/h
 b) 1 km/h e) 3 km/h
 c) $4/3$ km/h
- 5) (PUC-MG) A figura abaixo mostra dois instantâneos sucessivos do movimento de uma bolinha que desce rolando uma calha, num laboratório.



A escala da figura é **1:20**, isto é, cada centímetro da figura corresponde a **20 cm** do tamanho real. O intervalo de tempo entre os dois instantâneos sucessivos da figura vale **0,25 s**. A velocidade média da bolinha, em cm/s, é aproximadamente igual a:

- a) 70 d) 240
 b) 120 e) 280
 c) 140
- 6) (UFMG) Um automóvel fez uma viagem de **100 km**, sem paradas, e sua velocidade média, nesse percurso, foi de **60 km/h**. Tendo em vista essas informações, pode-se concluir que o tempo gasto pelo automóvel para percorrer os primeiros **30 km** da viagem foi:
- a) 0,50 h
 b) 0,30 h
 c) 0,60 h
 d) 1,0 h
 e) Um valor impossível de se determinar
- 7) (UFMG) Numa avenida longa, os sinais de tráfego são sincronizados de tal forma que os carros, trafegando a uma determinada velocidade, encontram sempre os sinais abertos (onda verde). Sabendo-se que a distância entre os sinais sucessivos (cruzamentos) é de **200 m** e que o intervalo de tempo entre a abertura de um sinal e a do seguinte é de **12 s**, qual a velocidade em que deve trafegar um veículo para encontrar sempre os sinais abertos?
- a) 30 km/h d) 80 km/h
 b) 40 km/h e) 100 km/h
 c) 60 km/h
- 8) (UFMG) Um corpo é movimentado, em linha reta, com aceleração constante. No instante em que o relógio marca zero, a velocidade do corpo é X e, no instante em que o relógio marca Z , a velocidade é Y . A expressão CORRETA que permite obter a aceleração desse corpo é:
- a) $X + ZY$ d) $(Y - X)/Z$
 b) $Y + ZY$ e) $Z/(Y - X)$
 c) $(X + Y)/Z$

MECÂNICA

LEIS DE NEWTON

1 - INTRODUÇÃO

A partir deste capítulo, vamos estudar a Mecânica. Para isso, devemos conhecer o que é uma força e quais as suas principais características. Logo a seguir, estaremos conhecendo as leis que regem os movimentos e suas conseqüências. Por último, faremos um estudo de algumas forças específicas tais como a força de atrito e a força centrípeta.

Este capítulo é de vital importância para um maior conhecimento da Física de uma maneira geral. Podemos dizer que serão apresentados os pilares do que, hoje, chamamos de Física Clássica.

Um estudo mais detalhado de Dinâmica começou a ser feito pelo italiano Galileu Galilei e ganhou uma formulação matemática mais coesa nas mãos de Isaac Newton. Apesar de, atualmente, a Física Clássica não estar em perfeita sintonia com alguns modelos científicos com, por exemplo, a Relatividade e a Quântica, devemos creditar a ela todo o embasamento para a evolução e o progresso da ciência.

2 - FORÇA

Força é uma interação entre dois corpos capaz de produzir, pelo menos, um dos seguintes efeitos:

- iniciar um movimento;
- parar um movimento;
- variar o valor da velocidade de um corpo;
- desviar a trajetória de um corpo;
- modificar as formas de um corpo.

Podemos notar que os quatro primeiros itens estão relacionados com a variação da velocidade em módulo, direção ou sentido e o último, com mudanças estruturais no corpo.

A definição de força exige que existam **dois corpos**. Desta forma, expressões do tipo: “eu tenho a força” são desprovidas de sentido dentro da Física. O correto seria: “eu posso aplicar uma força de grande intensidade em todos os corpos”.

Observação:

Força é uma grandeza vetorial e, portanto, possui **Módulo, Direção e Sentido**.

3 - LEIS DE NEWTON

No século XVII, o físico inglês Isaac Newton formulou um conjunto de três leis que governam o movimento dos corpos. A este conjunto chamamos de Leis de Newton. Vejamos estas leis.

A) 1ª Lei de Newton (Lei da Inércia): Uma partícula qualquer pode estar sujeita a várias forças diferentes, aplicadas em direções e sentidos distintos.

A **1ª Lei de Newton** afirma que se a **resultante das forças** que atuam em uma partícula **for nula**, ela estará em **repouso** ou em **movimento retilíneo uniforme**.

$$\vec{F}_R = \vec{0} \Rightarrow \begin{cases} \text{REPOUSO} \\ \text{ou} \\ \text{MRU} \end{cases}$$

As duas situações descritas acima representam que a velocidade da partícula é constante. Diremos que estas são situações de equilíbrio. Se a partícula estiver em repouso, chamaremos de equilíbrio estático, se ela estiver em movimento, equilíbrio dinâmico.

A conclusão a que chegamos é que, naturalmente, um corpo parado tende a se manter em repouso e um corpo que se desloca, tende a se manter em movimento retilíneo uniforme. Esta propriedade inerente a todos os corpos chama-se inércia.

Podemos medir a quantidade de inércia de um corpo através de sua massa. Assim, um elefante possui muito mais inércia do que uma formiga.

É por causa da inércia que nós somos projetados para frente quando freamos um automóvel. Em relação à rua, nós estávamos em movimento e temos, por inércia, a tendência de continuarmos em M.R.U. Quando iniciamos o movimento do automóvel novamente, temos uma sensação de compressão contra o assento. Estávamos parados e a nossa tendência era continuar nesse estado.

MOVIMENTOS RETILÍNEOS

Vamos estudar mais detalhadamente o Movimento Retilíneo Uniforme.

1 - MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME (M.R.U.)

a) Definição

É todo movimento em que o móvel percorre, em linha reta, espaços iguais em tempos iguais.

Neste tipo de movimento, velocidade escalar instantânea é constante e igual à velocidade escalar média. Como não há variação da velocidade, a aceleração escalar e a força resultante é sempre nula. Um resumo destas características está na tabela abaixo:

M.R.U.	Trajectoria:	Reta
	Velocidade:	Constante
	Aceleração:	Nula

b) Função Horária

Já que a velocidade escalar instantânea (V) é sempre igual à velocidade escalar média (V_m), podemos escrever:

$$V_m = V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Imagine um móvel que percorre uma distância $\Delta S = S - S_0$ em um intervalo de tempo igual a $\Delta t = t - t_0$. Vamos convencionar que, no instante inicial do movimento, o cronômetro marca zero. Neste caso o instante de tempo inicial será nulo, ou seja, $t_0 = 0$. Assim, podemos escrever:

$$V = \frac{S - S_0}{t} \Rightarrow V \cdot t = S - S_0$$

Desta forma, a equação do M.R.U. será dada por:

$$S = S_0 + V \cdot t$$

Que é chamada de *função horária* dos espaços, pois relaciona a posição (espaço) de um móvel com um certo instante de tempo.

Na função horária:

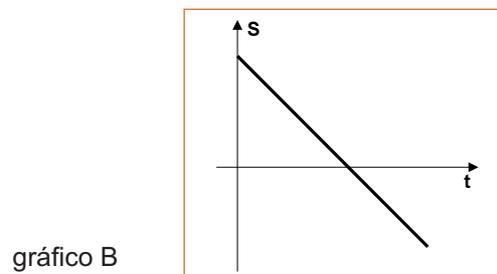
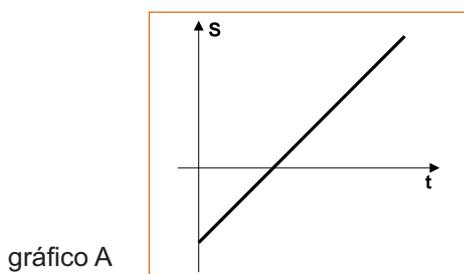
S = posição do móvel em um instante t
 S_0 = posição inicial do móvel
 V = velocidade escalar do móvel
 t = instante de tempo.

c) Gráficos

Vamos construir dois tipos de gráficos e estudar as suas propriedades. No M.R.U. é importante conhecermos os gráficos da posição e da velocidade em função do tempo.

c.1) Gráfico Espaço X Tempo

A função horária dos espaços no M.R.U. é do primeiro grau. Logo, o gráfico que relaciona estas duas grandezas será uma reta inclinada em relação ao eixo horizontal. Veja os exemplos.



Repare que no gráfico A, a reta é inclinada para cima. Isto significa que a velocidade do móvel é **positiva**, pois as posições da partícula vão crescendo com o passar do tempo. Dizemos que o movimento é progressivo quando isto acontece.

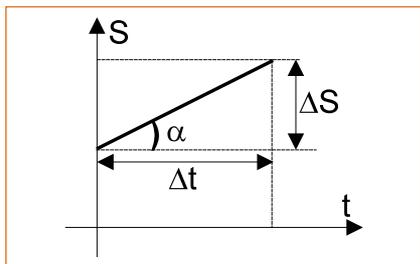
Já no gráfico B, a reta está voltada para baixo, o que significa que a velocidade do móvel é **negativa**. Neste caso, o movimento é dito retrógrado.

Em qualquer um dos gráficos, podemos dizer que o ponto de interseção entre a reta e o eixo vertical representa a posição inicial do móvel.

Para todo gráfico posição X tempo, vale a seguinte propriedade:

A tangente do ângulo α é numericamente igual à velocidade do móvel.

$$\text{tg } \alpha = \frac{\Delta S}{\Delta t} = v$$

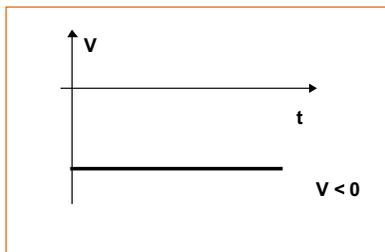
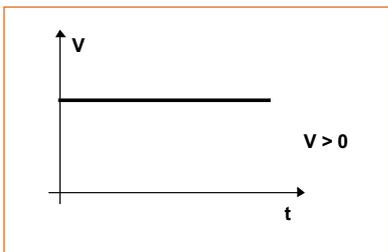


Utilizaremos a nomenclatura “Inclinação da Reta” para designar a $\text{tg } \alpha$.

Na verdade, o correto seria “declividade”. Porém, os vestibulares utilizam o termo citado inicialmente.

c.2) Gráfico Velocidade X Tempo

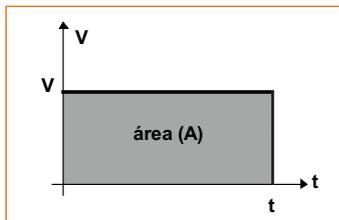
Como a velocidade escalar é constante neste tipo de movimento, o gráfico velocidade X tempo será uma reta paralela ao eixo dos tempos.



Em qualquer gráfico velocidade X tempo, a área sob a curva é numericamente igual ao espaço percorrido pelo móvel.

A área mostrada na figura pode ser calculada por: $A = t \cdot v$

Mas, $v \cdot t = \Delta S$. Assim: $A = \Delta S$



B) 2ª Lei de Newton: Esta lei (também chamada de Princípio Fundamental da Dinâmica) nos informa o que irá acontecer se a força resultante sobre uma partícula não for nula. Newton mostrou que a força resultante é proporcional à aceleração adquirida pela partícula.

$$\vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Matematicamente, podemos expressar esta Lei da seguinte forma:

A força resultante sobre uma partícula é igual à massa multiplicada pela aceleração.

Note que a equação descrita acima é vetorial, o que nos leva a concluir que a **força resultante e a aceleração sempre terão o mesmo sentido**.

Podemos determinar a unidade de força no sistema internacional, utilizando a 2ª Lei.

$$[F_R] = [m] \cdot [a] = \text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = \text{newton (N)}$$

Para que se tenha uma idéia, 1 newton de força equivale ao peso de uma pequena xícara de café, aproximadamente.

Uma outra unidade utilizada na prática é o quilograma-força (kgf). A relação entre o newton e o kgf é:

$$1 \text{ kgf} \cong 10 \text{ N}$$

Vamos estudar um tipo especial de movimento. Nele, a aceleração será constante.

2 - MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (M.R.U.V.)

a) Definição

Podemos classificar um movimento qualquer em função da velocidade da partícula que o executa. Como já vimos, se a velocidade escalar permanece constante ao longo do tempo, o movimento é dito uniforme. Já se a velocidade variar com o tempo, chamaremos o movimento de **variado**.

Uma partícula estará em M.R.U.V. num dado intervalo de tempo se percorrer uma trajetória reta e a sua aceleração for constante (e não nula) e apresentar a mesma direção da velocidade neste mesmo intervalo.

Um resumo desta definição está apresentado na tabela abaixo.

M.R.U.V	Trajetória:	Reta
	Velocidade:	Variável
	Aceleração:	Constante

b) Equações

b.1) Função Horária da Velocidade

No M.R.U.V. a aceleração escalar é constante. Logo, podemos dizer que ela é igual à aceleração escalar média. Assim:

$$a_m = a = \frac{\Delta V}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{V - V_0}{t - t_0}$$

Considerando $t_0 = 0$, temos:

$$a = \frac{V - V_0}{t} \Rightarrow V - V_0 = a \cdot t$$

$$V = V_0 + a \cdot t$$

Que é chamada de *função horária* da velocidade, pois relaciona a velocidade de um móvel com um certo instante de tempo.

Na função horária:

- V** = velocidade do móvel em um instante t
- V₀** = velocidade inicial do móvel
- a** = aceleração escalar do móvel
- t** = instante de tempo.

b.2) Função Horária dos Espaços

Esta função horária irá relacionar a posição de uma partícula em função do tempo. Ela pode ser deduzida a partir do gráfico velocidade x tempo para este movimento. No entanto, o conhecimento desta dedução não é relevante neste ponto da matéria. A função é:

$$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a}{2} t^2$$

S = posição do móvel em um instante t
S₀ = posição inicial do móvel
V₀ = velocidade inicial do móvel
a = aceleração escalar do móvel
t = instante de tempo.

b.3) Equação de Torricelli

Existem certos problemas na cinemática em que não se conhece o tempo gasto para um certo movimento acontecer. Nesses casos você pode calcular a posição da partícula ou sua velocidade criando um sistema com as duas funções horárias.

Evangelista Torricelli desenvolveu uma equação em que não figura o tempo t , facilitando a solução dos problemas citados.

Acompanhe o desenvolvimento.

$$V - V_0 = a \cdot t \Rightarrow t = \frac{V - V_0}{a} \text{ (equação 1);}$$

$$\Delta S = V_0 \cdot t + \frac{a}{2} \cdot t^2 \text{ (equação 2)}$$

Substituindo (1) em (2), temos:

$$\Delta S = V_0 \cdot \left(\frac{V - V_0}{a} \right) + \frac{a}{2} \cdot \left(\frac{V - V_0}{a} \right)^2$$

Desenvolvendo a expressão anterior, podemos mostrar que a equação de Torricelli é: $V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$

Resumindo todas as equações do M.R.U.V. , temos:

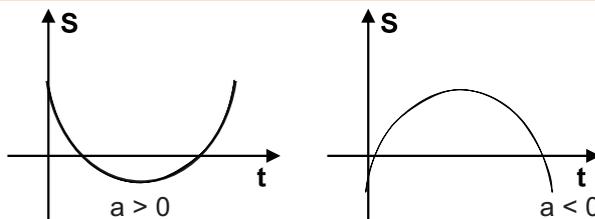
Função dos espaços	$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a}{2} t^2$
Função da velocidade	$V = V_0 + a \cdot t$
Equação de Torricelli	$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$

c) Gráficos

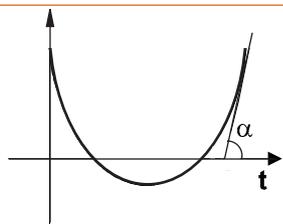
c.1) Espaço X Tempo

A função horária dos espaços no M. R. U. V. é do 2º grau. Assim, o gráfico S x t será uma parábola.

No caso da aceleração ser positiva, a concavidade da parábola será voltada para cima. Se a aceleração for negativa, a concavidade da parábola será voltada para baixo. Veja as figuras:

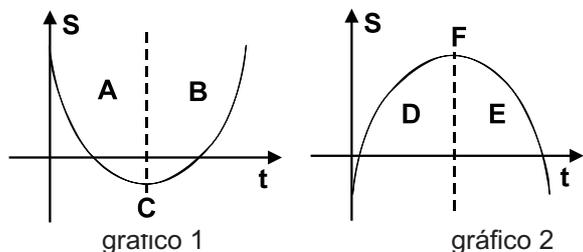


Neste gráfico continua valendo a propriedade de que a inclinação representa a velocidade, porém, em cada ponto da parábola haverá uma inclinação diferente, pois a velocidade não é constante. Acompanhe o procedimento que deve ser feito para determinar a inclinação:



Em cada ponto da parábola devemos desenhar uma reta tangente a ela. A inclinação desta reta tangente nos informará a velocidade da partícula naquele ponto.

Note que no gráfico posição versus tempo podemos descobrir em qual trecho o movimento foi acelerado ou retardado. Acompanhe o raciocínio:



dade escalar do móvel é negativa. Como a aceleração é positiva (a concavidade da parábola é voltada para cima), o movimento será **RETARDADO**. Já na parte **B** do mesmo gráfico, o móvel tem as suas posições aumentando de valor, o que mostra que a velocidade é positiva. A aceleração é, também, positiva, o que nos faz concluir que o movimento é **ACELERADO**. No ponto **C** ocorre uma inversão no sentido do movimento. Isto só é possível se a **velocidade for nula** neste ponto.

O mesmo raciocínio pode ser utilizado para se explicar o motivo pelo qual na região **D** existe um movimento **RETARDADO**, na região **E** o movimento é **ACELERADO** e no ponto **F** a **velocidade é nula** no gráfico 2.

Na parte **A** do gráfico 1, percebe-se que as posições vão diminuindo com o passar do tempo, logo a veloci-

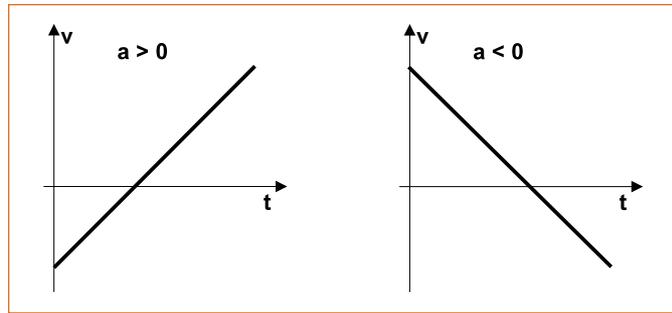
c.2) Velocidade X Tempo

A função horária das velocidades é do 1º grau. Logo o gráfico $V \times t$ será uma reta.

Se a aceleração for positiva, a reta será inclinada para cima. Já se a aceleração for negativa, a inclinação da reta será para baixo.

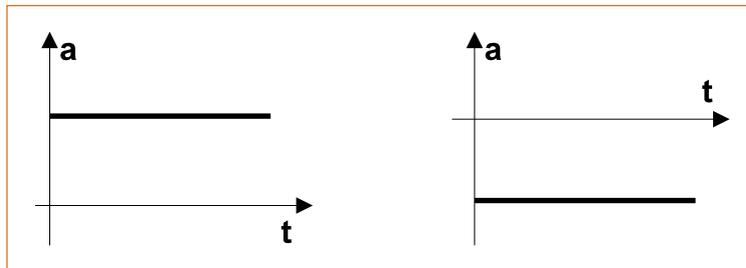
Como já foi mostrado no Movimento Retilíneo Uniforme, a **área sob o gráfico** nos fornece a **distância percorrida** pelo móvel.

Além dessa propriedade, pode-se demonstrar que a **inclinação** da reta é numericamente igual à **aceleração** do móvel.



c.3) Aceleração X Tempo

No M.R.U.V. a aceleração é constante. Dessa forma, o gráfico $a \times t$ será uma reta paralela ao eixo horizontal.



Neste tipo de gráfico, a **área** sob a linha é numericamente igual à **variação da velocidade**.

Podemos resumir todas as propriedades dos gráficos da cinemática da seguinte forma:

Gráfico	INCLINAÇÃO	ÁREA
$S \times t$	V	
$V \times t$	a	ΔS
$a \times t$		ΔV

C) 3ª Lei de Newton (Ação e Reação): Quando aproximamos um ímã de um prego bem pequeno, notamos que o segundo se desloca em direção ao primeiro. Isto nos faz concluir que o ímã atrai o prego. Por outro lado, se tivermos um ímã bem pequeno e um prego bem grande, iremos notar em uma situação oposta, o que irá mostrar que existe uma atração do prego sobre o ímã.

A 3ª Lei de Newton nos informa que se um corpo **A** aplica uma força F_{AB} em outro corpo **B**, então **B** irá aplicar força F_{BA} em **A**. Estas duas forças (chamadas de par de forças ação e reação) terão as seguintes características:

- mesma direção;
- sentidos opostos;
- mesmo módulo.

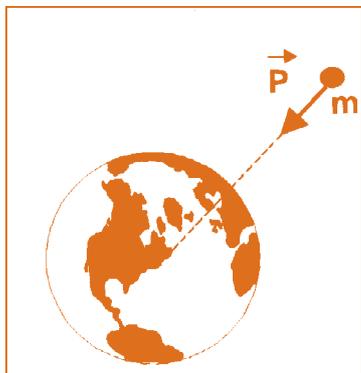
Enquanto as duas primeiras características são de fácil compreensão, a terceira pode nos causar uma certa estranheza, a princípio. Por exemplo, em uma colisão entre um ônibus e uma bicicleta, esta irá apresentar estragos muito maiores. Temos que ter cuidado com as conclusões que tiramos a partir das observações que fazemos. No caso citado, apesar de as forças trocadas entre o ônibus e a bicicleta serem iguais em módulo, os efeitos produzidos são diferentes. Devemos perceber que a estrutura de uma bicicleta é muito mais frágil do que a de um ônibus. A mesma força de 10 newtons aplicada sobre uma formiga não irá produzir o mesmo efeito do que se for aplicada em um elefante.

Vamos, agora, estudar algumas forças especiais:

3 - FORÇA PESO (\vec{P}) E REAÇÃO NORMAL (\vec{N})

A) Força Peso: Sabemos que a Terra cria em torno de si um campo gravitacional. Qualquer corpo aí inserido é atraído para o seu centro. A queda será feita em movimento acelerado e, nas proximidades da superfície da Terra, a aceleração (chamada de aceleração da gravidade, g) é cerca de 10 m/s^2 .

De acordo com a 2ª Lei de Newton, se um corpo possui uma aceleração, deve existir uma força resultante. Esta força com que a Terra atrai os corpos recebe o nome de força peso.



Podemos mostrar que o peso de um corpo de massa m é calculado por:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

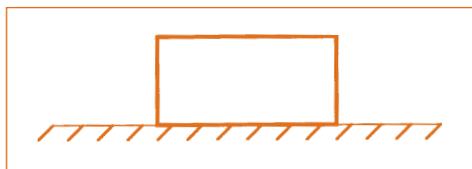
O peso tem direção radial e aponta sempre para o centro do planeta. Em nossos exercícios, iremos considerar o peso uma força vertical para baixo.

Definimos o peso de um corpo para a Terra mas o que foi discutido é válido para qualquer corpo celeste. Na superfície da Lua, por exemplo, onde a aceleração da gravidade é cerca de 6 vezes menor do que na da Terra, o peso de um corpo será $1/6$ de seu peso em nosso planeta.

No nosso dia-a-dia, utilizamos a palavra peso para designar massa. Perguntamos: “Qual é o seu peso?” e temos como resposta: “70 quilos”. A resposta que foi dada está errada, pois 70 quilos (quilogramas) representa a sua massa. Pelo que estudamos neste item, a resposta correta deveria ser: “considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, o meu peso é 700N.” Pois, neste caso, efetuamos o seguinte cálculo:

$$P = m \cdot g = 70 \text{ (kg)} \cdot 10 \text{ (m/s}^2\text{)} = 700 \text{ N}$$

B) Reação Normal: Vamos imaginar um bloco apoiado em uma superfície horizontal.

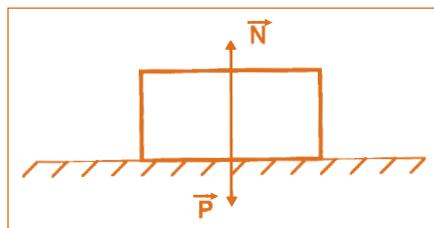


Já sabemos que a Terra aplica uma força de atração sobre este bloco. No caso, o Peso tem direção vertical e sentido para baixo. Por causa desta força, o bloco tende a se deslocar para o centro da Terra. Este fato não acontece, pois a superfície horizontal aplica sobre o bloco uma força vertical para cima, que é contrária à compressão exercida pelo bloco sobre a superfície.

A esta força contrária à compressão damos o nome de **Reação Normal**. O nome *normal* se refere ao fato de esta força ser **sempre perpendicular à superfície**.

A figura seguinte mostra o esquema de forças que atuam no bloco.

Note que, neste caso, as forças Peso e Normal possuem mesma direção, sentidos opostos e mesmo módulo. Por isso, estas forças se equilibram, produzindo uma força resultante nula.



Observação:

Normal e Peso **não** representam um par de forças ação e reação, pois atuam em um mesmo corpo.

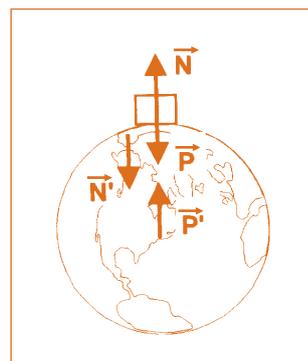
A figura seguinte irá mostrar as forças Peso (\vec{P}), Normal (\vec{N}) e suas respectivas reações (\vec{P}' e \vec{N}').

Na figura: \vec{P} : Força de atração da Terra sobre o corpo

\vec{P}' : Força de atração do corpo sobre a Terra

\vec{N} : Força da superfície sobre o corpo

\vec{N}' : Força do corpo sobre a superfície



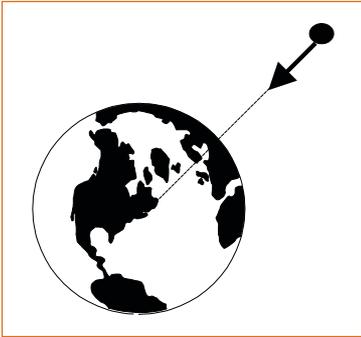
4 - MOVIMENTOS VERTICAIS PRÓXIMOS À SUPERFÍCIE DA TERRA

a) Introdução

A partir de agora, estudaremos o movimento retilíneo que ocorre na vertical. Um corpo sólido qualquer pode ser abandonado ou lançado próximo à superfície da Terra e efetuar um movimento de subida ou descida. Veremos que estes movimentos são uniformemente variados.

b) Aceleração da Gravidade

Como já vimos, a Terra gera em torno de si um campo de forças chamado Campo Gravitacional. Todo corpo aí colocado será atraído para o centro do planeta.



Esta atração faz com que os corpos lançados ou abandonados no campo gravitacional adquiram uma aceleração que é denominada **ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE** (g).

Nas proximidades da superfície da Terra, o módulo de g é praticamente constante. O seu valor é, aproximadamente, **10 m/s²**.

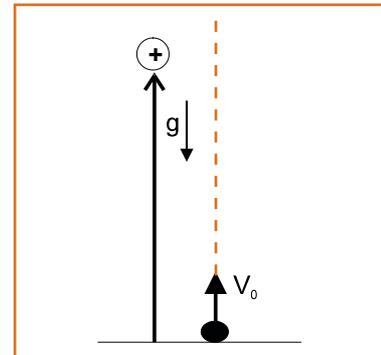
Além disso, sabe-se que esta aceleração não depende da massa do corpo. Assim, dois corpos de massas diferentes, quando abandonados de uma mesma altura (no vácuo), irão chegar no solo exatamente com a mesma velocidade e no mesmo instante.

Como a aceleração da gravidade será considerada constante, o estudo dos movimentos verticais será, na verdade, uma extensão do movimento retilíneo uniformemente variado.

c) Equações do Movimento Vertical

Vamos imaginar que um corpo foi lançado verticalmente para cima, a partir da superfície da Terra. O seu movimento será **RETARDADO** na subida e **ACELERADO** na descida. Teremos que adotar um sentido para ser o positivo e um ponto para ser a origem dos espaços que, neste caso, será uma altura. A figura ao lado mostra uma partícula lançada do solo e um eixo vertical orientado para cima que servirá de referencial para este movimento. Note que este referencial está orientado para cima. Isto significa que a origem está fixa no chão e que o sentido positivo é de baixo para cima. Logo, a aceleração da gravidade será negativa.

Este movimento vertical é um M.R.U.V., onde a aceleração é a da gravidade. Portanto, as equações estudadas no item anterior serão válidas agora. Não é preciso que você decore novas equações específicas para este tópico.



Acompanhe:

As equações do MRUV são:

$$S = S_0 + V_0 \cdot t + \frac{a}{2} t^2$$

$$V = V_0 + a \cdot t$$

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

Mas, neste tipo de movimento, $a = -g$ e o espaço S é uma altura qualquer. Assim:

$$h = h_0 + V_0 \cdot t - \frac{g}{2} t^2$$

$$V = V_0 - g \cdot t$$

$$V^2 = V_0^2 - 2 \cdot g \cdot \Delta S$$

5 - ATRITO (\vec{f}_a)

Você já deve ter percebido que, em uma corrida de Fórmula 1, os pneus dos carros para dias de chuva contêm frisos, ao passo que, para os dias de tempo bom, os pneus possuem menos frisos. O motivo dessa diferença é que, com a pista molhada, o atrito tende a diminuir, sendo necessário um tipo especial de pneu para que os carros possam efetuar as voltas com um mínimo de segurança.

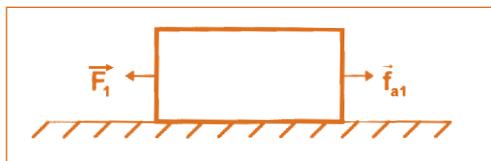
Da mesma maneira, um tênis de solado liso pode provocar mais quedas do que outro cuja sola é frisada.

A força de atrito está relacionada com esses exemplos e é responsável por uma infinidade de outras situações cotidianas. Antes de iniciarmos um estudo quantitativo desta força, faremos uma análise qualitativa, no sentido de entendermos o motivo da existência do atrito.

Por mais polida que uma superfície possa nos parecer, ela apresenta, microscopicamente, inúmeras irregularidades. Imagine, então, que duas destas superfícies irregulares estejam em contato e exista entre elas, um movimento efetivo ou a tendência de movimento. Podemos concluir que, por causa destas irregularidades, haverá uma força contrária ao movimento (ou à sua tendência). Esta força será chamada de atrito. Note que, quanto mais rugosas forem as superfícies em contato, mais intenso será o módulo da força de atrito.

Para podermos encontrar uma fórmula matemática que nos permita calcular o valor desse atrito, vamos seguir o seguinte raciocínio:

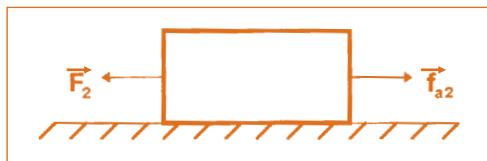
Estamos querendo mover um bloco que está apoiado em uma superfície horizontal.



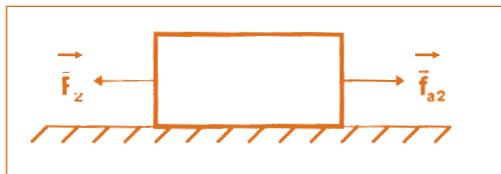
• Inicialmente iremos aplicar uma força \vec{F}_1 , mas o corpo continuará em repouso. Isto pode ser explicado pela força de atrito que está atuando no bloco, no sentido contrário ao da força \vec{F}_1 .

De acordo com a 1ª Lei de Newton: $\vec{F}_1 = \vec{f}_{a1}$

- Agora, vamos aumentar a força aplicada para \vec{F}_2 ($F_2 > F_1$). Considere que, mesmo assim, o corpo continua parado. A explicação a que podemos chegar é que o atrito também aumentou, tendo, agora, o mesmo valor de \vec{F}_2 .



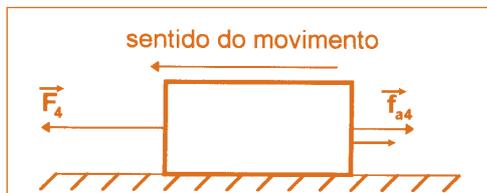
- Iremos, então, aumentar ainda mais o valor da força aplicada, produzindo uma força \vec{F}_3 ($F_3 > F_2$). Ainda assim, o bloco permaneceu em repouso. Mais uma vez, a força de atrito teve seu valor aumentado para $f_{a3} = F_3$. Porém, podemos notar que o corpo está quase se movimentando. Se aumentarmos um pouco mais a força aplicada, poderemos colocar o bloco em movimento.



Podemos dizer que, neste caso, o atrito já atingiu o seu valor máximo.

- A partir desta situação, se aumentarmos um pouco mais a força, o bloco entrará em movimento. É interessante notar que, quando o corpo está em movimento, a força de atrito que sobre ele atua é constante e possui um valor menor do que o módulo do atrito máximo descrito anteriormente.

A conclusão a que chegamos é que, enquanto o corpo estiver em repouso, a força de atrito é variável, tendo sempre o mesmo valor da força que tende a gerar o movimento. Quando o corpo entra em movimento, a força de atrito passa a possuir um valor constante que é menor do que o atrito máximo que atuava no corpo em repouso.



a) Força de atrito estático: É o nome que damos à força de atrito que atua nos corpos em repouso. De acordo com o que vimos, este atrito possui as seguintes características:

1. Possui módulo variável – depende da força motriz aplicada.
2. Admite um valor máximo.

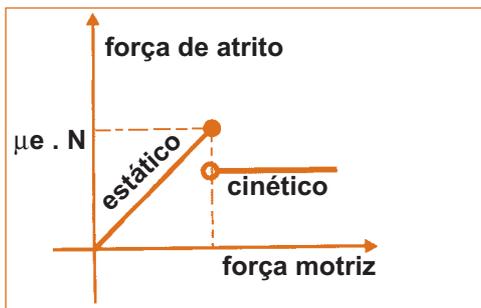
Este valor máximo é proporcional à força normal aplicada sobre o corpo e pode ser calculado pela seguinte expressão: $f_{a_e}^{\max} = \mu_e \cdot N$

Onde: μ_e é chamado de coeficiente de atrito estático e depende da rugosidade das superfícies em contato.

b) Força de atrito cinético: É a força de atrito que atua nos corpos em movimento. Como já vimos, este tipo de atrito possui um módulo constante. O seu valor é dado por: $f_{a_c} = \mu_c \cdot N$

Onde: μ_c é o coeficiente de atrito cinético e também depende da rugosidade das superfícies em contato. Já que a força de atrito cinético é menor do que a força de atrito estático máximo, podemos admitir que é mais fácil manter um certo corpo em movimento uniforme do que iniciar o movimento deste corpo. A conclusão a que podemos chegar é que, para um mesmo par de superfícies: $\mu_e > \mu_c$

O gráfico da força de atrito em função da força motriz aplicada será, então:



Observação:

A força de atrito em objetos rígidos **não** depende da área de contato entre as superfícies.

6 – PLANO INCLINADO

Sabemos, intuitivamente, que é mais fácil elevarmos uma carga qualquer ao longo de uma rampa do que se a levarmos verticalmente para cima. Neste item estaremos estudando as rampas que, de uma maneira geral, chamaremos de Plano Inclinado. A figura seguinte mostra um plano inclinado (cujo ângulo de inclinação é igual a θ) e um bloco nele apoiado.

Em relação ao estudo dos planos inclinados, teremos duas situações: com ou sem atrito.

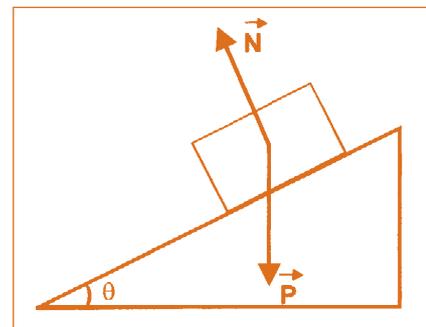
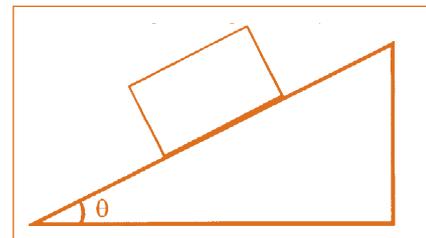
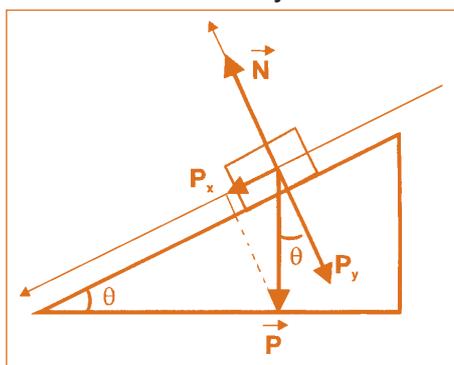
a) Plano inclinado sem atrito: É o caso mais simples, pois atuam somente duas forças sobre o bloco: Peso e Normal. Veja a figura ao lado.

Para que possamos facilitar o estudo do movimento do bloco, devemos proceder da seguinte forma:

1. Desenhar um sistema de eixos cartesianos, fazendo com que o eixo y coincida com a direção da reação normal e o eixo x, com a direção do plano.
2. Efetuar a decomposição do Peso em relação aos eixos citados.

A figura seguinte mostra este procedimento.

Onde: $P_x = P \cdot \sin\theta$ e $P_y = P \cdot \cos\theta$



A primeira relação que podemos perceber é que a normal é equilibrada pela componente y do peso, ou seja, $N = P_y$.

No eixo x existe somente a componente P_x do peso. Logo, esta será a força resultante que atua sobre o corpo.

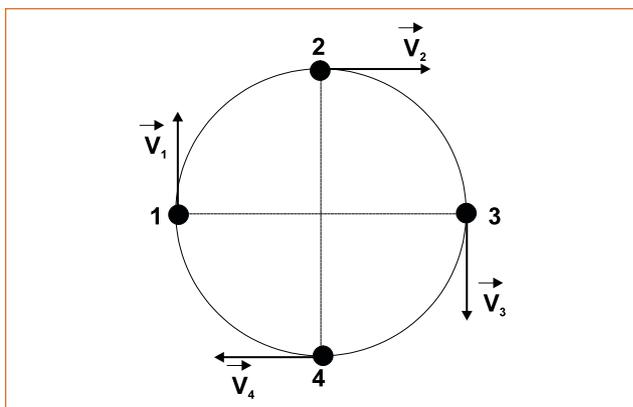
A aceleração a que fica sujeito um corpo qualquer em um plano inclinado é independente de sua massa. A conclusão a que chegamos é que, na ausência do atrito, se dois corpos forem abandonados no alto de uma rampa, chegarão ao mesmo tempo (e com a mesma velocidade) na base do plano, independente de um ser mais pesado do que o outro.

7 - MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

Dizemos que um corpo está em Movimento Circular Uniforme quando a sua trajetória é uma circunferência e a sua velocidade escalar é constante ao longo do tempo.

A figura ao lado está representando a vista superior de uma pedra amarrada por um fio e girando na horizontal em M.C.U.

Em qualquer ponto da trajetória em que o fio se rompa, a pedra sairá tangenciando a curva, o que nos sugere que a **velocidade é tangente à trajetória** em todos os pontos.



Se o movimento da pedra é uniforme, então o módulo da velocidade é constante em qualquer instante de tempo. Logo:

$$V_1 = V_2 = V_3 = V_4$$

Mesmo assim, ocorre uma variação na direção do vetor velocidade. Podemos notar que, em cada ponto, a velocidade apresenta uma direção diferente.

Conforme já foi visto, a toda variação da velocidade podemos relacionar uma aceleração. Desta forma, podemos concluir que o Movimento Circular Uniforme possui aceleração.

Quando o módulo da velocidade variar, a aceleração será chamada de **tangencial** (\vec{a}_t) e é a aceleração que já estudamos até aqui. Ela recebe este nome porque possui sempre a mesma direção do vetor velocidade.

Porém, se for a direção da velocidade que varia, a aceleração será chamada de **centrípeta** (\vec{a}_c) e tem as seguintes características:

- 1 - É sempre perpendicular ao vetor velocidade.
- 2 - A sua direção é sempre radial, ou seja, a da linha que passa pelo centro da curva.
- 3 - O seu sentido é sempre para o centro.

Chamamos de **aceleração vetorial** à soma vetorial entre as acelerações tangencial e centrípeta.

$$\vec{a} = \vec{a}_t + \vec{a}_c$$

Como a aceleração tangencial é sempre perpendicular à aceleração centrípeta, o módulo da aceleração vetorial será calculado através do teorema de Pitágoras.

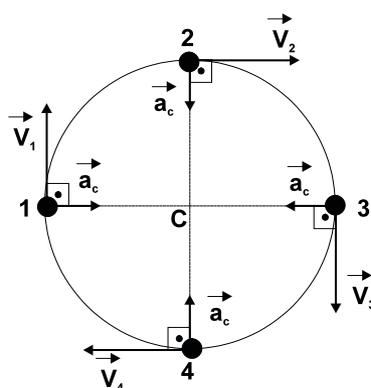
$$a = \sqrt{a_t^2 + a_c^2}$$

A figura mostra os vetores velocidade e aceleração em diversos pontos de uma trajetória circular.

O módulo da aceleração centrípeta pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$a_c = \frac{V^2}{R}$$

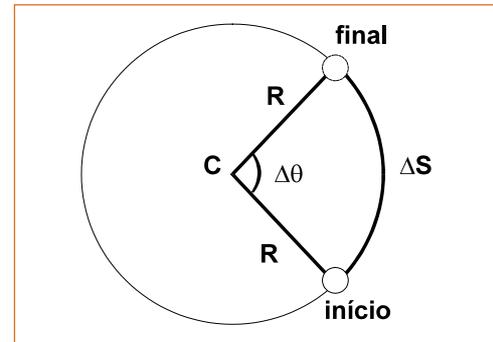
Onde **R** é o raio da trajetória circular.



7.1) Velocidade Angular (ω)

Já sabemos que a velocidade é uma grandeza que mede a rapidez com que um movimento se processa. Para o cálculo da velocidade escalar média em um movimento circular, devemos encontrar a medida do arco descrito pelo móvel em um certo tempo.

A figura está mostrando um corpo que, partindo da posição inicial, percorre um arco ΔS em um certo tempo. Podemos observar que, à medida em que o corpo se desloca, vai sendo descrito um ângulo central $\Delta\theta$.



Para calcularmos a **velocidade escalar média** (que também será chamada de **velocidade linear**), devemos efetuar a seguinte operação:

$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

que irá nos contar qual o espaço percorrido pelo móvel na unidade do tempo.

Porém, podemos também determinar qual é o ângulo descrito na unidade de tempo. A grandeza que irá nos fornecer esta informação será **chamada de velocidade angular** (ω). A sua expressão matemática será:

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

E sua unidade no S.I. será:

$$[\omega] = \frac{[\Delta\theta]}{[\Delta t]} \Rightarrow [\omega] = \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

7.2) Período (T) e Frequência (f)

A) Período

Todo movimento que se repete em intervalos iguais de tempo é chamado de periódico. O tempo necessário para que o movimento se repita é denominado Período. No movimento circular, podemos dizer que o Período é o tempo gasto por um corpo para executar uma volta completa. Qualquer unidade de tempo será, portanto, unidade do Período.

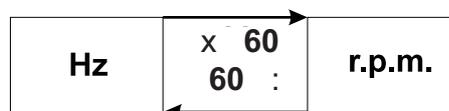
B) Frequência

Podemos encontrar, em um movimento periódico, o número de repetições que acontece em uma unidade de tempo. Fazendo isto, estamos calculando a frequência deste movimento. Para o movimento circular, dizemos que a frequência representa o número de voltas efetuadas pelo móvel na unidade de tempo.

A unidade da frequência é, no S.I. : **voltas por segundo = hertz (Hz)**

Outra unidade utilizada é: **rotações por minuto = r.p.m.**

Para transformarmos estas unidades devemos utilizar a seguinte relação:



Podemos mostrar que a frequência é o inverso do período. Matematicamente:

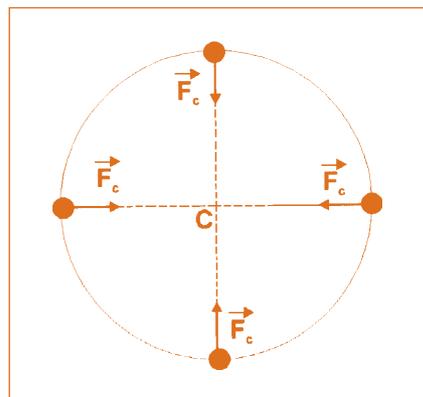
$$f = \frac{1}{T} \text{ ou } T = \frac{1}{f}$$

Observação:

No movimento circular uniforme, o período e a frequência são constantes.

8 - FORÇA CENTRÍPETA

De acordo com a 2ª Lei de Newton, podemos estabelecer que a aceleração centrípeta aparece em decorrência de uma força resultante aplicada sobre o corpo que executa o M.C.U. Daremos o nome de Resultante Centrípeta (ou Força Centrípeta) à resultante das forças que estão sendo aplicadas sobre um corpo na direção radial (ou seja, na direção que passa pelo centro da trajetória curva). A Força Centrípeta terá sempre a mesma direção e o mesmo sentido da aceleração centrípeta. Veja figura abaixo.

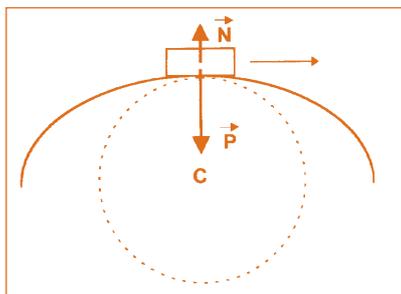


Pela 2ª Lei de Newton, $F_c = m \cdot a_c$

$$F_c = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

Veremos, nos próximos itens, algumas aplicações da força centrípeta.

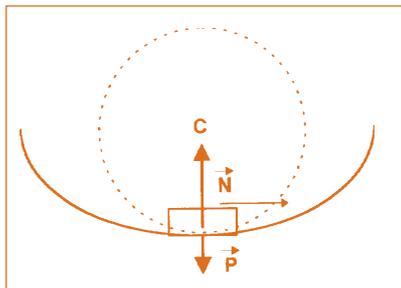
a) **Lombada:** Um móvel, ao passar pelo ponto mais alto de uma lombada circular terá, desprezando-se os atritos, o seguinte diagrama de forças:



Como podemos perceber, a força peso aponta para o centro da trajetória, enquanto que a normal tem o sentido oposto ao do centro da curva. Assim, o módulo do peso deve ser maior do que o da normal, uma vez que a força resultante (centrípeta) tem que apontar para o centro da trajetória. Para calcularmos a intensidade da resultante centrípeta, devemos efetuar a seguinte operação:

$$F_c = P - N = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

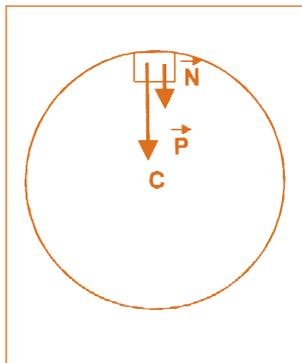
b) **Depressão:** Neste caso, o diagrama de forças será:



A força que aponta para o centro da curva é a normal. Logo, ela deve ter uma intensidade maior do que a do peso. Assim, a força centrípeta será:

$$F_c = N - P = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

c) **Globo da Morte:** Vemos, nos circos, uma cena fantástica que se passa no Globo da Morte. Um ou vários motociclistas efetuam voltas dentro de uma armação de metal e não caem. A mesma situação pode ser verificada na montanha russa, nos parques de diversão. Quando o motociclista está no ponto mais alto do globo, as forças que atuam sobre ele são:



Note que, neste ponto, o motociclista aplica, no globo, uma força vertical para cima e, por isso, a normal sobre o motociclista é vertical para baixo.

Nesta situação, a força centrípeta será: $F_c = P + N = m \cdot \frac{v^2}{R}$

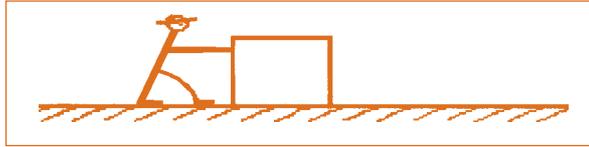
Quanto maior for a velocidade com que o motociclista passa pelo ponto mais alto do globo, mais intensa será a força normal. Por outro lado, se a velocidade naquele ponto for pequena, a normal também terá um módulo pequeno. Podemos estabelecer que a velocidade mínima necessária para que o motociclista consiga completar a volta está relacionada com uma força normal nula. Assim:

$$v_{\text{MIN}} \Rightarrow N = 0 \Rightarrow F_c = P$$

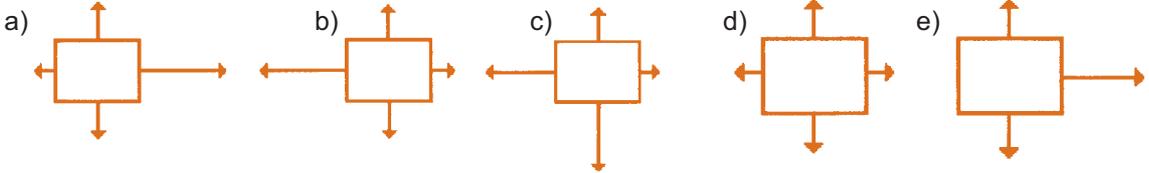
$$m \cdot \frac{v_{\text{min}}^2}{R} = m \cdot g \Rightarrow v_{\text{MIN}} = \sqrt{R \cdot g}$$

Questões de Fixação

- 01) (UFMG) Um homem empurra um caixote para a direita, com velocidade constante, sobre a superfície horizontal.



Desprezando-se a resistência do ar, o diagrama que melhor representa as forças que atuam no caixote é:



- 02) Na tabela seguinte apresentamos as acelerações adquiridas por três corpos A, B e C quando sobre eles atuam as forças indicadas.

Corpo	Força (N)	a (m/s ²)
A	20,0	1,0
B	10,0	2,0
C	4,0	0,8

Podemos concluir que

- a) $m_A > m_B > m_C$ c) $m_A > m_B = m_C$
 b) $m_A < m_B < m_C$ d) $m_A = m_B = m_C$

- 03) (UNICAMP) Dois objetos **A** e **B** equilibram-se quando colocados em pratos opostos de uma balança de braços iguais. Quando colocados num mesmo prato da balança, eles equilibram um terceiro objeto **C**, colocado no outro prato. Suponha, então, que sobre uma mesa horizontal, sem atrito, uma certa força imprima ao objeto **A** uma aceleração de 10 m/s^2 . Qual será a aceleração adquirida pelo objeto **C** quando submetido a essa mesma força?

- 04) Imagine a seguinte situação:

Um burro se preparava para puxar uma carroça pela primeira vez. De repente o burro se dirige ao condutor da carroça e diz:

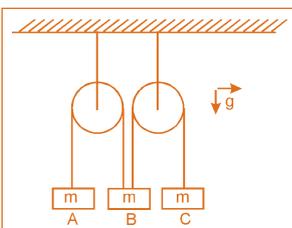
– “Se eu puxar a carroça, ela me puxará com força oposta e de mesmo módulo, de tal forma que a força resultante será igual a zero. Dessa forma, não haverá movimento. Então, eu desisto.”

O que você diria ao burro para convencê-lo de que ele está errado?

- 05) (UFV) Uma pessoa está sobre uma balança, que se encontra presa ao piso de um elevador. O elevador está subindo, ao mesmo tempo que sua velocidade está sendo reduzida. Nestas condições, a balança indicará um valor:

- a) maior que o peso real da pessoa. d) que não depende da aceleração do elevador.
 b) igual ao peso real da pessoa. e) que depende da velocidade do elevador.
 c) menor que o peso real da pessoa.

- 06) (FUVEST) Um sistema mecânico é formado por duas polias ideais que suportam três corpos A, B e C de mesma massa m , suspensos por fios ideais como representado na figura. O corpo B está suspenso simultaneamente por dois fios, um ligado a A e outro a C. Podemos afirmar que a aceleração do corpo B será:



- a) zero d) $(2g/3)$ para baixo
 b) $(g/3)$ para baixo e) $(2g/3)$ para cima
 c) $(g/3)$ para cima

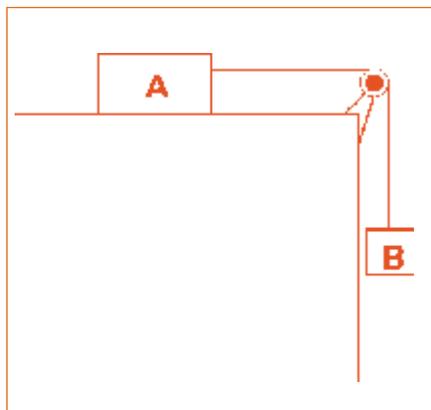
07) (UFMG) Duas partículas de massas m e M estão ligadas uma à outra por uma mola de massa desprezível. Esticando-se e soltando-se a mola de modo que apenas as forças devidas a ela **atuam** sobre as partículas,

o cociente da aceleração a_m , de m e a_M , de M , é $\frac{a_m}{a_M} = 2$.

Sabendo-se que $M = 1$ kg, a massa m é igual a:

- a) - 0,50 kg b) zero c) 2 kg d) 0,25 kg e) 0,50 kg

08) (Izabela Hendrix) Um corpo **A**, cuja massa é de 1 kg, é colocado sobre uma mesa e amarrado a uma corda. A corda passa por uma roldana e está presa, na outra extremidade, a um pequeno corpo **B**, cuja massa é de 0,1 kg (ver figura). As forças de atrito são muito menores do que as forças que atuam sobre o carrinho, sendo, portanto, desprezíveis.



Ao ser puxado desta maneira, concluímos corretamente que o corpo **A**:

- a) permanece em repouso, porque a força com que o corpo **B** o puxa é menor do que o seu próprio peso.
 b) se move com velocidade constante (movimento uniforme), porque a força que atua sobre ele é constante.
 c) se move com aceleração constante (movimento uniformemente acelerado), porque a força que atua sobre ele é constante.
 d) se move com aceleração constante (movimento uniformemente acelerado), porque a força que atua sobre ele aumenta constantemente.
 e) tem uma pequena aceleração no início, mas depois prossegue com velocidade constante.

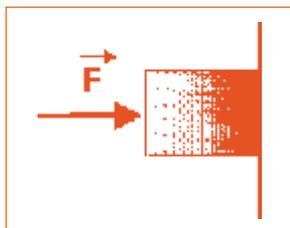
09) (PUC-MG) Um corpo de peso $P = 200$ N está em repouso sobre a superfície plana e horizontal de uma mesa. O coeficiente de atrito estático entre a mesa e o corpo vale 0,3. Aplica-se, sobre o corpo, uma força $F = 50$ N, paralela à superfície da mesa. O corpo se mantém em repouso. Nessas condições, é **CORRETO** afirmar que a força de atrito vale:

- a) 15 N b) 60 N c) 40 N d) 80 N e) 50 N

10) (PUC-MG) Um corpo de peso 200 N está inicialmente em repouso sobre uma superfície horizontal. Os coeficientes de atrito estático e cinético entre o corpo e a superfície são, respectivamente, 0,6 e 0,4. Aplica-se sobre o corpo uma força de módulo F , também horizontal. Dos valores de F , indicados abaixo, em newtons, assinale o mínimo valor que garante ao corpo obter movimento:

- a) 80 b) 110 c) 90 d) 130 e) 10

As questões 11 e 12 referem-se ao enunciado e à figura que se seguem



Nessa figura, está representado um bloco de 2,0 kg sendo pressionado contra uma parede com uma força F . O coeficiente de atrito estático entre esses corpos vale 0,5 e o cinético, 0,3. Considere $g = 10$ m/s².

11) (UFMG) Se $F = 50$ N, então a reação normal e a força de atrito que atuam sobre o bloco valem, respectivamente,

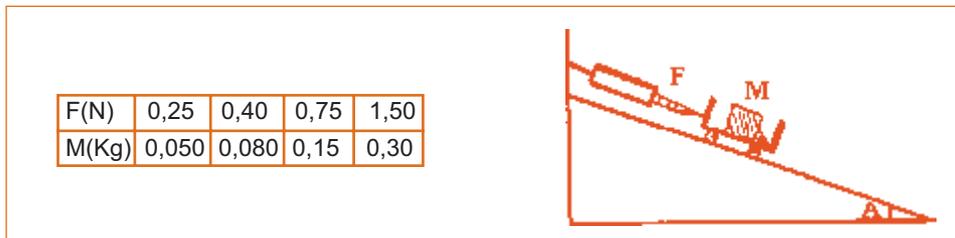
- a) 20 N e 6,0 N
 b) 20 N e 10 N
 c) 50 N e 20 N
 d) 50 N e 25 N

12) (UFMG) A força mínima F que pode ser aplicada ao bloco para que ele não deslize na parede é

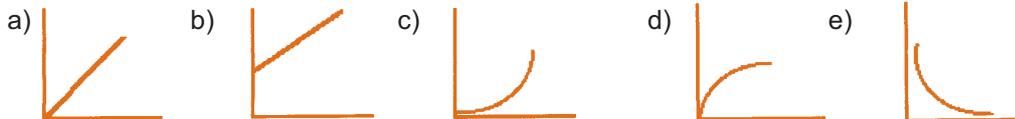
- a) 10 N
 b) 20 N
 c) 30 N
 d) 40 N

As questões 13 a 15 referem-se ao seguinte enunciado:

Durante uma experiência de laboratório, um estudante de Física, utilizando a montagem descrita no desenho abaixo, procurava mostrar a segunda Lei de Newton. Variando a massa M , colocada dentro do carrinho, ele obteve a tabela a seguir. (O carrinho tem massa muito pequena em relação a M e $g = 10 \text{ m/s}^2$)



13) (PUC-MG) O gráfico que melhor representa a Força x Massa é:



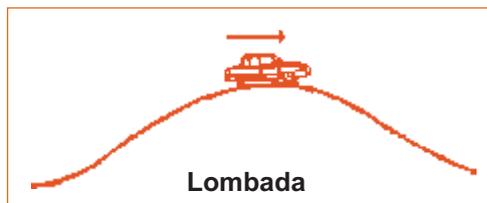
14) (PUC-MG) Com base na tabela, a aceleração provocada pela força F , no carrinho, em m/s^2 , é igual a:

- a) 2 b) 3 c) 5 d) 8 e) 10

15) (PUC-MG) Com a finalidade de verificar a precisão do resultado obtido, o aluno mediu o **ângulo** A e constatou que seu valor era muito próximo de 30° . Sabendo-se que $\sin 30^\circ = 0,500$ e $\cos 30^\circ = 0,866$, ele concluiu, corretamente, que:

- a) o valor da aceleração não depende do ângulo.
 b) para o ângulo medido, a aceleração é de 10 m/s^2 .
 c) a determinação do ângulo não serve para aferir o resultado da experiência.
 d) o resultado da experiência foi satisfatório.
 e) os erros, cometidos durante o procedimento, determinaram um resultado inaceitável.

16) (UFMG) Quando um carro se desloca numa estrada horizontal, seu peso \vec{P} é anulado pela reação normal \vec{N} exercida pela estrada. Quando esse carro passa no alto de uma lombada, sem perder o contato com a pista, como mostra a figura, seu peso será representado por \vec{P}' e a reação normal da pista sobre ele por \vec{N}' .



Com relação aos módulos destas forças, pode-se afirmar que

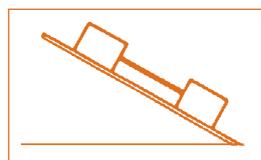
- a) $P' < P$ e $N' = N$ c) $P' = P$ e $N' < N$
 b) $P' < P$ e $N' > N$ d) $P' = P$ e $N' > N$

17) (UFMG) Seja P o ponto mais alto de um "looping" em uma montanha russa. Imagine um carrinho que passa pelo ponto P e não cai. Pode-se afirmar que, no ponto P

- a) a força centrífuga que atua no carrinho o empurra sempre para a frente.
 b) a força centrípeta que atua no carrinho equilibra o seu peso.
 c) a força centrípeta que atua no carrinho mantém a sua trajetória circular.
 d) a soma das forças que o trilho faz sobre o carrinho equilibra o seu peso.
 e) o peso do carrinho é nulo nesse ponto.

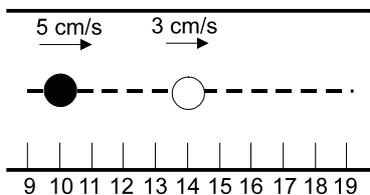
18) (Univ. Rio de Janeiro) - Dois blocos A e B , cujas massas são m_A e m_B (m_A menor que m_B), unidas por uma barra ideal deslizam com atrito desprezível sobre um plano inclinado no Laboratório.

Sendo a resistência do ar desprezível, nas condições desta experiência, o que podemos afirmar sobre a tensão na barra?



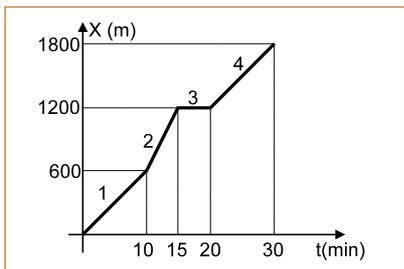
- a) a tensão é nula.
 b) a barra está comprimida, sendo sua tensão proporcional a $m_B - m_A$.
 c) a barra está comprimida, sendo sua tensão proporcional a $m_B + m_A$.
 d) a barra está distendida, sendo sua tensão proporcional a $m_B - m_A$.
 e) a barra está distendida, sendo sua tensão proporcional a $m_B + m_A$.

19) (UFMG) Duas esferas se movem em linha reta e com velocidades constantes ao longo de uma régua centimetrada. Na figura estão indicadas as velocidades das esferas e as posições que ocupavam num certo instante.



As esferas irão colidir na posição correspondente a:

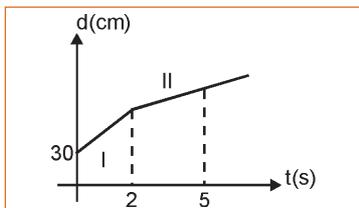
- a) 15 cm
 - b) 17 cm
 - c) 18 cm
 - d) 20 cm
 - e) 22 cm
- 20) (UFMG) Uma pessoa passeia durante **30 minutos**. Neste tempo ela andou, correu e parou por alguns instantes. O gráfico que representa o seu movimento está descrito abaixo:



As regiões 1, 2, 3 e 4 do gráfico podem ser relacionadas respectivamente com:

- a) andou (1), correu (2), andou (3) e parou (4)
 - b) correu (1), andou (2), parou (3) e andou (4)
 - c) andou (1), correu (2), parou (3) e andou (4)
 - d) correu (1), andou (2), parou (3) e parou (4)
- 21) (PUC-MG) O movimento de um móvel é descrito pelo gráfico: distância percorrida em função do tempo. Como você pode observar, o gráfico consta de dois trechos distintos, I e II.

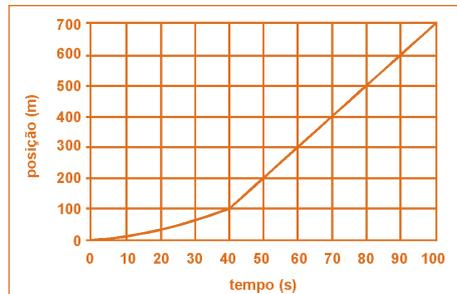
Dessa observação, é correto afirmar que:



- a) o móvel apresentou a mesma velocidade constante, durante todo o intervalo de 5,0 s.
- b) a velocidade do móvel não foi constante em nenhum dos dois trechos.
- c) somente no trecho I a velocidade foi constante.
- d) a velocidade foi constante somente no trecho II.
- e) a velocidade do corpo foi constante tanto em I quanto em II, porém com valores diferentes.

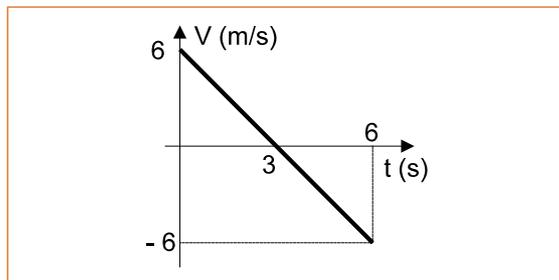
22) (UFMG) O gráfico abaixo representa a posição de uma partícula que se movimenta em linha reta em função do tempo. De acordo com a análise do gráfico, podemos afirmar que a velocidade da partícula no instante **60 s** vale, em m/s:

- a) 5,0
- b) 10
- c) 15
- d) 20
- e) 50



Instrução: As questões 23 e 24 referem-se ao enunciado e à figura seguintes:

O gráfico abaixo representa a velocidade em função do tempo de uma partícula que se desloca em linha reta.



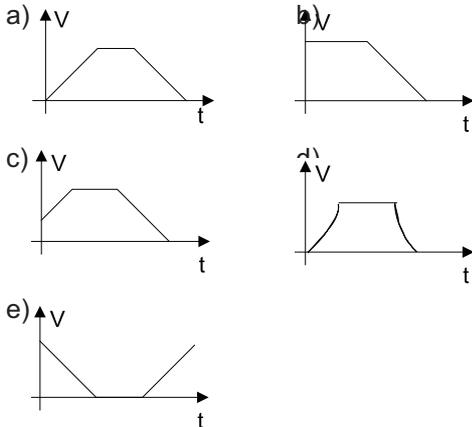
23) (UFMG) Quanto à aceleração, **a**, da partícula, a afirmação **CERTA** é:

- a) $a = 0$ entre 2 e 4 s.
- b) $a > 0$ entre 0 e 3 s e $a < 0$ entre 3 e 6 s
- c) $a < 0$ entre 0 e 3 s e $a > 0$ entre 3 e 6 s
- d) a é constante não nula entre 0 e 4s.
- e) $a = 0$ em $t = 3$ s.

24) (UFMG) Quanto ao deslocamento da partícula, a afirmação **CERTA** é:

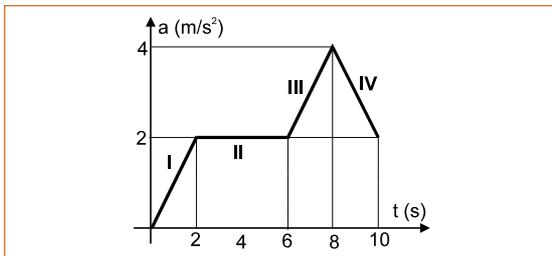
- a) o módulo do deslocamento entre 0 e 1s é igual ao módulo do deslocamento entre 5 e 6s.
- b) o módulo do deslocamento sempre cresce com o tempo.
- c) o módulo do deslocamento sempre decresce com o tempo.
- d) seu deslocamento total (entre 0 e 6s) é diferente de zero.
- e) o deslocamento da partícula entre 0 e 1s é igual ao deslocamento entre 3 e 4s.

25) (PUC-MG) Um trem desloca-se entre duas estações por uma ferrovia plana e retilínea. Ele parte do repouso e acelera $0,5 \text{ m/s}^2$ durante 40 s . Em seguida, mantém a velocidade constante durante 120 s , para então ser freado com aceleração de módulo $0,5 \text{ m/s}^2$ até parar. O gráfico que melhor representa o movimento do trem é:



Esta explicação refere-se aos testes de números 26 a 28.

Um móvel tem movimento retilíneo a partir do repouso. O gráfico de sua aceleração em função do tempo decorrido a partir do instante de partida é dado pela figura abaixo.



26) (CESCEA) Depois de $8,0 \text{ s}$ sua velocidade vale:

- a) 12 m/s d) 16 m/s
 b) zero e) n.r.a.
 c) 22 m/s

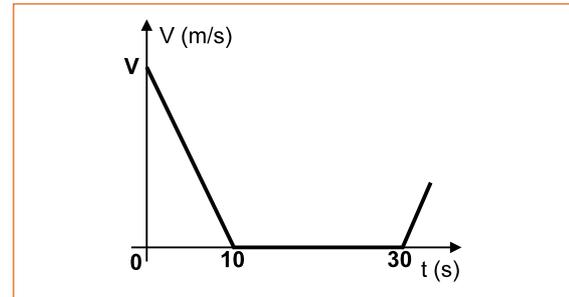
27) (CESCEA) Em que trecho a velocidade do corpo diminui com o tempo?

- a) no trecho I - II
 b) no trecho III - IV
 c) nenhum
 d) sempre
 e) n.r.a.

28) (CESCEA) No intervalo de tempo I a II, qual foi o espaço percorrido?

- a) 24 m d) 4 m
 b) 8 m e) 2 m
 c) 12 m

29) (PUC-MG) Um carro, em movimento, encontra-se a uma distância D de um sinal de trânsito, que indica trânsito impedido. A partir desse instante, o seu movimento é descrito pelo gráfico abaixo. É correto afirmar:



- a) o semáforo permaneceu fechado por 10 s .
 b) o carro permaneceu parado por 30 s .
 c) o módulo da desaceleração do carro é $\frac{V}{30} \text{ m/s}^2$
 d) no intervalo de tempo de 10 s a 30 s , o carro teve velocidade constante e diferente de zero.
 e) a distância D é numericamente igual a $5V$.

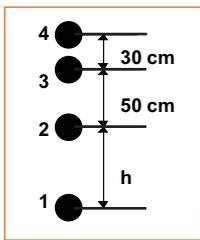
30) (UFMG) Um balão está subindo com uma velocidade constante de 5 m/s . Em dado instante, solta-se um saco de areia que se encontrava preso à lateral externa desse balão. Para um observador na Terra, a partir deste instante e até o saco de areia chegar ao chão, o movimento dele, desprezando-se a resistência do ar, será:

- a) apenas uniforme, com velocidade igual a 5 m/s .
 b) apenas uniformemente acelerado, com uma aceleração maior do que a aceleração da gravidade.
 c) apenas uniformemente acelerado, com uma aceleração menor do que a da gravidade.
 d) inicialmente uniforme e, depois, uniformemente acelerado.
 e) uniformemente retardado e, depois, uniformemente acelerado.

31) (UFMG) Um menino atira, simultaneamente, duas bolas, A e B, verticalmente para cima. A velocidade inicial das duas bolinhas são, respectivamente iguais a 10 m/s e 5 m/s . Despreze a resistência do ar e adote $g = 10 \text{ m/s}^2$. A razão entre a altura máxima atingida pela bola A e a altura máxima atingida pela bola B vale:

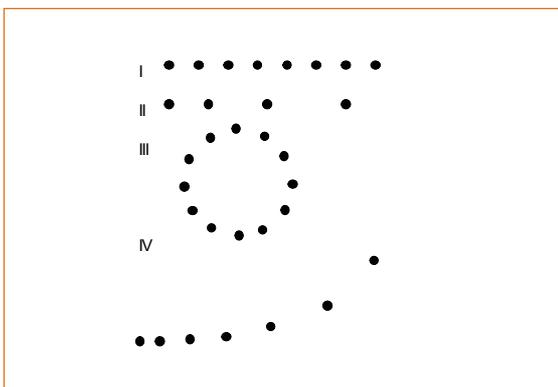
- a) 2 d) 16
 b) 4 e) 20
 c) 8

32) (CESGRANRIO) Uma torneira deixa pingar gotas de água em intervalos iguais de tempo. A figura mostra quatro dessas gotas e as distâncias entre elas.



Desprezando-se a resistência do ar, podemos afirmar que a distância (h) entre a gota 1 e a gota 2 vale:

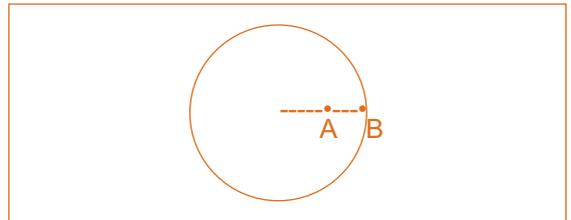
- a) 20 cm
 - b) 60 cm
 - c) 70 cm
 - d) 80 cm
 - e) 90 cm
- 33) (UFMG) Um pequeno objeto arremessado da extremidade de uma mesa, com uma velocidade inicial horizontal, cai sob a ação apenas da força da gravidade. Sobre o movimento desse objeto, é correto afirmar:
- a) não possui nem aceleração centrípeta nem aceleração tangencial, porque são anuladas pela aceleração da gravidade.
 - b) possui aceleração centrípeta e aceleração tangencial, porque variam tanto o módulo quanto a direção de sua velocidade.
 - c) possui apenas aceleração centrípeta, porque somente a direção de sua velocidade sofre variação.
 - d) possui apenas aceleração centrípeta, porque somente o módulo de sua velocidade sofre variação.
 - e) possui apenas aceleração tangencial, porque a direção de sua velocidade sofre variação.
- 34) (UFMG) As figuras a seguir representam as posições de quatro partículas medidas em iguais intervalos de tempo.



Dos movimentos descritos acima, são acelerados:

- a) apenas I, II e III
- b) apenas II, III e IV
- c) apenas III e IV
- d) apenas II e IV

35) (PUC-MG) A figura seguinte representa uma polia girando em torno do seu eixo O .



Os pontos A e B mostrados têm velocidades V_A e V_B . A opção que apresenta a relação correta entre v , ω e R é:

- a) $V_A < V_B$ e $\omega_A > \omega_B$
 - b) $\frac{V_A}{V_B} = \frac{R_A}{R_B}$ e $\omega_A = \omega_B$
 - c) $V_A > V_B$ e $\omega_A = \omega_B$
 - d) $V_A \omega_A = V_B \omega_B$ e $R_A = R_B$
 - e) $V_A > V_B$ e $\omega_A > \omega_B$
- 36) (PUC-MG) Uma partícula descreve uma trajetória circular com velocidade escalar constante de 30 m/s. O raio da circunferência é de 100 m. A aceleração vetorial da partícula:
- a) é dirigida para o centro.
 - b) é nula.
 - c) é paralela ao vetor velocidade.
 - d) é tangente à trajetória.
 - e) tem por módulo 0,3 m/s².
- 37) (PUC-MG) Um menino gira uma pedra presa à extremidade de um barbante, em um M.C.U. com velocidade angular de 16 rad/s. e raio igual a 50 cm. Em certo momento, o barbante se rompe e a pedra é lançada verticalmente para cima. A altura máxima que a pedra atinge, acima do ponto de lançamento, é de:

- a) 0,4 m
- b) 1,6 m
- c) 2,4 m
- d) 3,2 m
- e) 4,0 m

38) (UFMG) Uma partícula descreve uma trajetória circular de raio R , com velocidade escalar V . Se o raio é aumentado para $2R$ e a velocidade para $3V$, a relação entre as acelerações centrípetas antes e depois é:

- a) $\frac{1}{3}$
- b) $\frac{2}{9}$
- c) $\frac{3}{5}$
- d) $\frac{4}{9}$
- e) $\frac{9}{5}$

VETORES

1 - VETORES

a) Grandezas Escalares e Vetoriais

Uma grandeza física é tudo aquilo que pode ser medido.

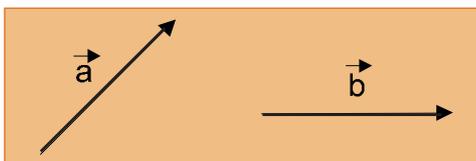
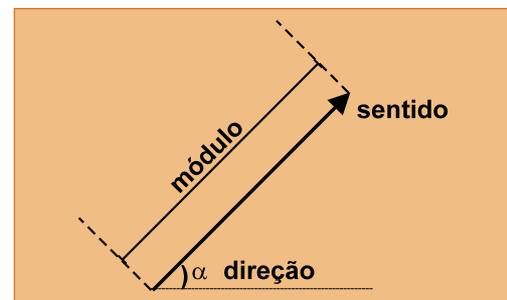
Se a grandeza ficar bem entendida somente com o conhecimento de seu valor numérico (módulo) e da sua unidade (se houver), chamaremos esta grandeza de ESCALAR. O tempo, a massa de um corpo, a energia e o espaço percorrido por um móvel são grandezas escalares.

Por outro lado, se além do módulo e da unidade uma grandeza física necessitar de uma direção e de um sentido para ser bem compreendida, será chamada de VETORIAL. A velocidade, a aceleração e o deslocamento são exemplos de grandezas vetoriais.

b) Vetor

Para que possamos representar geometricamente uma grandeza vetorial, vamos utilizar um ente matemático chamado vetor. O vetor é um segmento de reta orientado como o mostrado na figura.

A inclinação do vetor (ângulo α) determina a direção da grandeza que ele representa, a seta representa o sentido e o tamanho é proporcional ao módulo da grandeza. Utilizamos uma letra do alfabeto afetada por uma seta sobre a mesma para representarmos um vetor.



Para representarmos o módulo de um vetor, utilizaremos a seguinte notação:

$$|\vec{a}| \text{ ou } a$$

Observação:

- 1 - É um grande erro escrever $\vec{a} = 5$. O correto seria $|\vec{a}| = 5$ ou $a = 5$.
- 2 - Um vetor tem uma origem e uma extremidade.

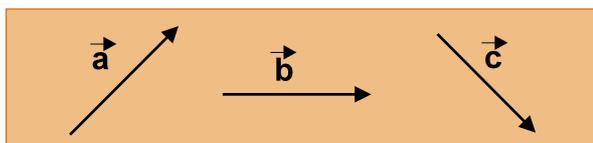
origem \longrightarrow extremidade

- 3 - Somente poderemos dizer que dois vetores são iguais quando eles possuírem mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.

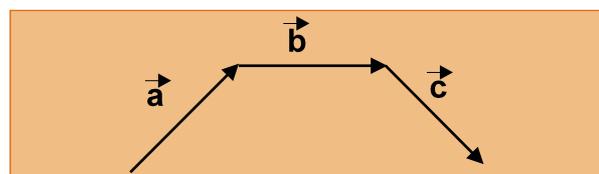
c) Adição de Vetores

c.1) Método do Polígono

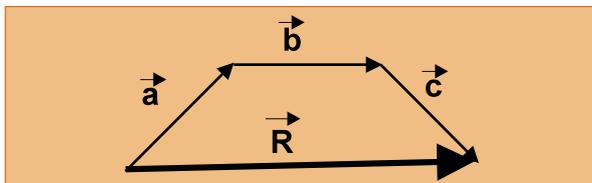
Imagine que queiramos somar os três vetores abaixo.



Pelo método do polígono, vamos enfileirando os vetores, tomados ao acaso, fazendo coincidir a **origem** de um vetor com a **extremidade** do anterior. Veja:



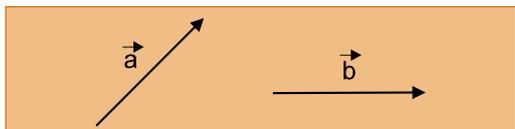
O vetor soma (ou resultante) terá origem na origem do primeiro e extremidade na extremidade do último vetor.



Apesar de este método ser gráfico, podemos identificar o módulo do vetor resultante.

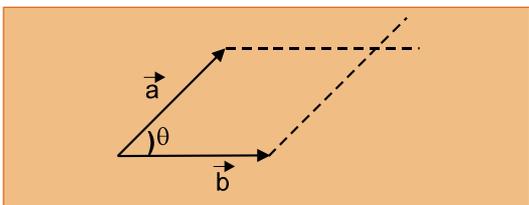
c.2) Método do Paralelogramo

Este método somente pode ser empregado para se somar vetores dois a dois. Vamos somar os dois vetores da figura seguinte:

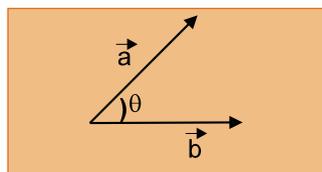


Note que os dois vetores formam entre si um ângulo θ .

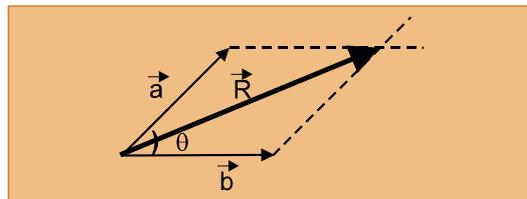
A partir da extremidade de um dos vetores, traçamos uma reta paralela ao outro.



Inicialmente devemos fazer coincidir as origens dos dois vetores.



O vetor soma (resultante) terá origem na origem comum dos dois vetores e extremidade no encontro das paralelas traçadas.



O módulo do vetor resultante será dado por:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \theta}$$

Observações:

1 - Quando $\theta = 0^\circ$:

Vetores com mesma direção e sentido.

$$R = a + b$$

Esta é a **maior** resultante entre dois vetores.

2 - Quando $\theta = 180^\circ$:

Vetores com mesma direção e sentidos opostos.

$$R = a - b \text{ (se } a > b \text{)}$$

Esta é a **menor** resultante entre dois vetores.

3 - Quando $\theta = 90^\circ$:

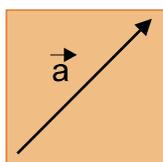
$$R = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Vetores perpendiculares entre si.

d) Subtração de Vetores

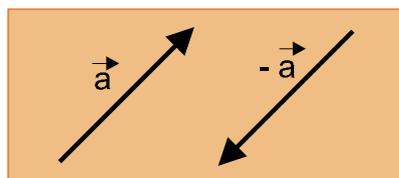
d.1) Vetor Oposto (Simétrico)

Na figura abaixo, estamos apresentando um vetor qualquer \vec{a} .



Definiremos como sendo o vetor oposto (representação: $-\vec{a}$) de \vec{a} , um vetor que tenha mesmo módulo \vec{a} , mesma direção de \vec{a} e sentido oposto ao de \vec{a} .

A figura nos mostra o vetor original e o seu oposto.



d.2) Método de Subtração

A partir de dois vetores, \vec{a} e \vec{b} , devemos determinar $\vec{R} = \vec{a} - \vec{b}$. Note que $\vec{R} = \vec{a} + (-\vec{b})$, ou seja, a subtração entre dois vetores é, na verdade, a soma do primeiro vetor com o oposto do segundo.

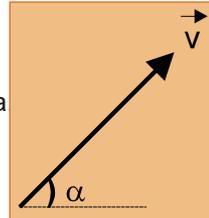
Em termos práticos, podemos dizer que, para subtrairmos os vetores \vec{a} e \vec{b} (nesta ordem), devemos inverter o sentido do vetor \vec{b} e efetuar uma adição, utilizando, para isto, um dos métodos estudados.

e) Decomposição de Vetores

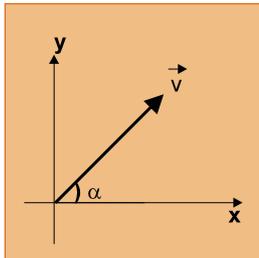
Anteriormente, através da soma ou composição, obtínhamos um único vetor a partir de dois outros. Agora, pela decomposição, a partir de um vetor podemos obter dois outros.

Estudaremos a decomposição de um vetor em componentes ortogonais.

Seja um vetor \vec{V} inclinado de um ângulo α em relação à horizontal, como mostra a figura



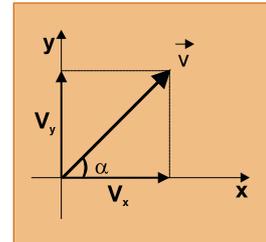
Para efetuarmos a decomposição do vetor \vec{V} devemos, inicialmente, traçar um sistema de eixos cartesianos de tal forma que a sua origem coincida com a do vetor.



Da extremidade do vetor \vec{V} desenhamos duas retas, uma paralela ao **eixo x** e outra paralela ao **eixo y**.

As interseções entre as retas desenhadas e os eixos cartesianos determinam as **componentes ortogonais do vetor \vec{V}** .

Podemos entender estas projeções como sendo “pedaços” do vetor \vec{V} desenhados nos eixos cartesianos.



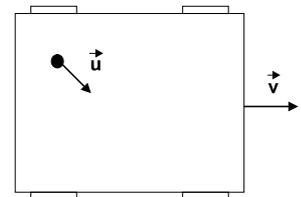
Os módulos destas componentes são:

$$\begin{aligned}\sin \alpha &= \frac{V_y}{V} \Rightarrow V_y = V \cdot \sin \alpha \\ \cos \alpha &= \frac{V_x}{V} \Rightarrow V_x = V \cdot \cos \alpha\end{aligned}$$

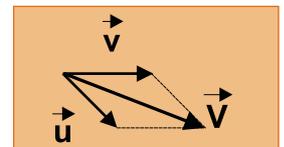
2 - COMPOSIÇÃO DE MOVIMENTOS

Sabemos que o movimento de um corpo deve ser estudado em relação a um determinado referencial. É possível que o mesmo movimento seja visto por dois referenciais em situações diferentes.

Imagine o caso de um trem em movimento uniforme sobre uma estrada retilínea com uma velocidade \vec{V} (em relação à Terra). Dentro do trem, uma partícula se desloca obliquamente com uma velocidade \vec{U} (em relação ao trem). A figura mostra uma visão superior do fenômeno.



Queremos determinar a velocidade da partícula em relação à Terra. Para isso devemos efetuar a composição (soma) de velocidades, lembrando que a velocidade resultante $\vec{V} = \vec{v} + \vec{u}$ será:

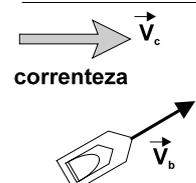


a) Travessia de Rios

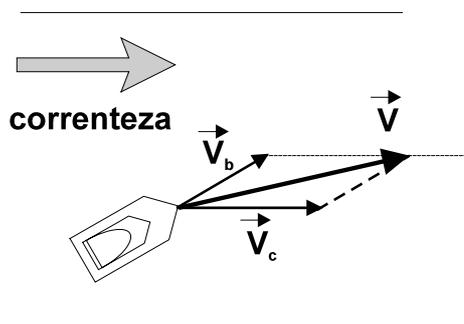
Um caso em que a composição de velocidades é aplicada é o de travessia de rios. Observe a figura ao lado:

Na figura: \vec{V}_c = velocidade da correnteza (em relação à Terra).

\vec{V}_b = velocidade própria do barco (em relação à água).



Queremos encontrar a velocidade do barco em relação à Terra. Para isso, basta efetuarmos a soma $\vec{V} = \vec{V}_c + \vec{V}_b$.

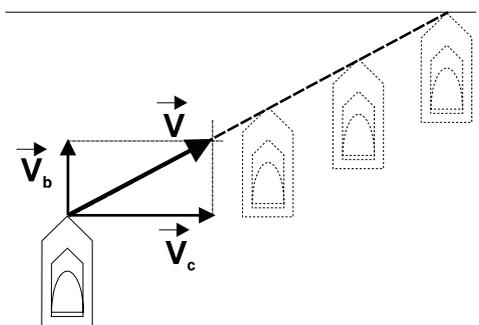


Há duas situações interessantes a respeito da travessia de rios.

a.1) Tempo Mínimo para a Travessia

Para que o tempo de travessia seja mínimo, a velocidade própria do barco deve ser orientada perpendicularmente às margens.

Assim, a trajetória do barco será oblíqua em relação às margens (seguirá a orientação de sua velocidade resultante).



Neste caso, o módulo da velocidade do barco em relação à Terra será:

$$V = \sqrt{V_b^2 + V_c^2}$$

Sendo **L** a largura do rio, o tempo de travessia dependerá exclusivamente da velocidade própria do barco (que é a velocidade direcionada para atravessar o rio). O tempo mínimo poderá ser calculado pela expressão:

$$t_{MIN} = \frac{L}{V_b}$$

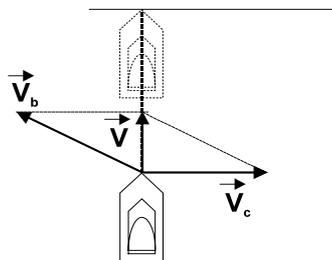
a.2) Trajetória Mínima na Travessia

A velocidade própria do barco deve ser orientada de tal forma que a travessia seja perpendicular às margens.

A componente da velocidade própria do barco na direção da correnteza tem o mesmo valor que V_c . Assim, a velocidade resultante em relação às margens será igual à componente da velocidade própria do barco na direção perpendicular às margens.

O tempo gasto na travessia (sendo **L** a largura do rio) será:

$$t = \frac{L}{V}$$



Neste caso, o tempo de travessia será maior do que o do caso anterior.

Observações:

1 - Quando o barco simplesmente desce o rio (viaja a favor da correnteza), a sua velocidade resultante será $V = V_b + V_c$.

2 - Para o barco que sobe o rio (viaja contra a correnteza), a sua velocidade resultante será $V = V_b - V_c$.

Questões de Fixação

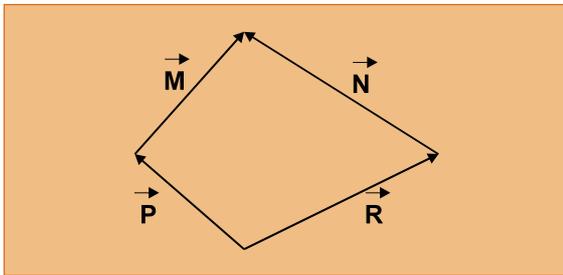
1) (UCS) Uma pessoa sai de sua casa e percorre as seguintes distâncias em qualquer ordem possível:

- I) 30 metros para leste;
- II) 20 metros para norte;
- III) 30 metros para oeste.

No final das três caminhadas, a distância a que ela se encontra do ponto de partida é:

- a) 80 m
- b) 50 m
- c) 20 m
- d) 40 m
- e) 60 m

2) Qual é a relação correta entre os vetores \vec{M} , \vec{N} , \vec{P} e \vec{R} , representados a seguir?



- a) $\vec{M} + \vec{N} + \vec{P} + \vec{R} = \vec{0}$
- b) $\vec{P} + \vec{M} = \vec{R} + \vec{N}$
- c) $\vec{P} + \vec{R} = \vec{M} + \vec{N}$
- d) $\vec{P} - \vec{R} = \vec{M} - \vec{N}$
- e) $\vec{P} + \vec{R} + \vec{N} = \vec{M}$

3) (UEL-PR) Um navio sofre deslocamentos sucessivos de 6,0 km de norte para sul e 8,0 km de leste para oeste. O deslocamento vetorial do navio tem módulo:

- a) 2,0 km
- b) 7,0 km
- c) 10 km
- d) 14 km
- e) 48 km

4) Um barco descendo um rio, cuja correnteza se desloca a **10 km/h**, gasta **6,0 h** para viajar de uma cidade a outra, situadas na mesma margem, e distanciadas em **180 km**. Quanto tempo o barco gastaria para fazer esta mesma viagem se não existisse correnteza?

- a) 20 h
- b) 18 h
- c) 12 h
- d) 9,0 h
- e) 6,0 h

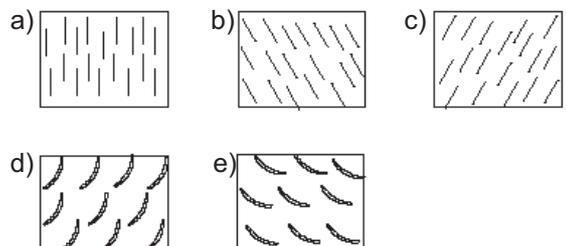
5) Um barco, com velocidade \vec{V} , quer atravessar um rio, cuja velocidade da correnteza é \vec{U} . Suponha $v > u$. Sobre este movimento podemos afirmar:

- a) o tempo de travessia será mínimo se o barco orientar-se de tal maneira que a travessia se faça normalmente às margens.
- b) conforme a orientação do barco, a componente de sua velocidade resultante, na direção normal às margens, poderá ser superior a v .
- c) conforme a orientação do barco, a componente de sua velocidade resultante, na direção da corrente, poderá ser nula.
- d) quando o barco orienta sua velocidade v normalmente às margens, ele vai percorrer o menor caminho possível na travessia.
- e) a maior velocidade resultante que o barco conseguirá dar-se-á quando ele se orientar normalmente às margens.

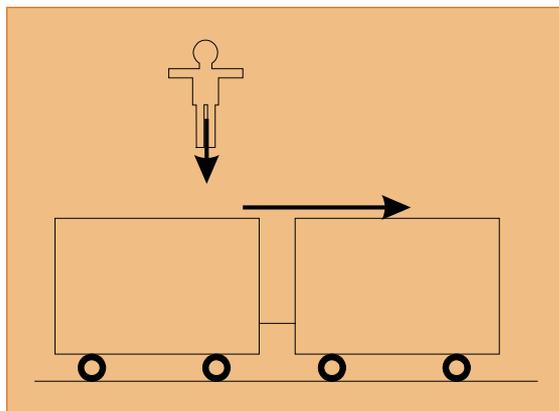
6) (UFJF) Um barco percorre a largura de um rio AB igual a **2 km**, em **30 min**. Sendo a velocidade da correnteza igual a **3 km/h**, temos para a velocidade do barco em relação à correnteza:

- a) 5 km/h
- b) 1,5 km/h
- c) 10 km/h
- d) 50 km/h
- e) n.r.a.

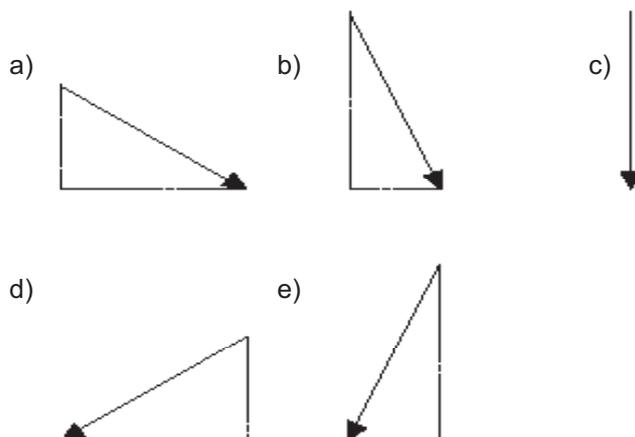
7) (MACK) Um passageiro em um trem, que se move para sua direita em movimento retilíneo e uniforme, observa a chuva através da janela. Não há ventos e as gotas de chuva já atingiram sua velocidade limite (elas caem com velocidade constante). O aspecto da chuva observado pelo passageiro é:



- 8) Um navio desloca-se na direção norte-sul com movimento retilíneo e uniforme de velocidade **10 m/s**. Um passarinho, pousado numa das paredes do navio, levanta vôo na direção leste-oeste, com velocidade constante de **20 m/s**, em relação ao navio. Para um observador parado, no navio, o pássaro:
- voa na direção leste-oeste, com velocidade $\sqrt{500}$ m/s.
 - voa na direção aproximada de sudoeste, com velocidade $\sqrt{500}$ m/s.
 - voa na direção leste-oeste, com velocidade **20 m/s**.
 - voa aproximadamente na direção noroeste, com velocidade **20 m/s**.
 - voa com direção e velocidade não identificáveis com as respostas anteriores.
- 9) (Taubaté) Um homem cai, à velocidade de **10 m/s**, sobre um vagão de trem que corre à velocidade de **72 km/h** (veja a figura seguinte).



Qual dos vetores abaixo melhor representa a velocidade do homem em relação ao vagão?



ESTÁTICA DE CORPOS RÍGIDOS

1 - INTRODUÇÃO

Estática é a parte da Física que estuda as condições de equilíbrio estático dos corpos extensos e pontos materiais.

Nós já estudamos a 1ª Lei de Newton que trata do equilíbrio de pontos materiais (corpos cujas dimensões são desprezíveis). Esta Lei diz que se a resultante das forças que atuam em uma partícula for nula, então esta partícula estará em repouso (equilíbrio estático) ou em movimento retilíneo uniforme (equilíbrio dinâmico).

Um ponto material não possui movimento de rotação apreciável, o que simplifica em muito o estudo do seu equilíbrio, pois tudo o que devemos verificar é o seu movimento de translação.

Agora, imagine que você quer estudar o equilíbrio de um poste, por exemplo. Neste caso temos um corpo extenso, que possui um certo tamanho a ser considerado. É fácil notar que o poste estando em equilíbrio, não terá movimentos de translação ou rotação acelerados.

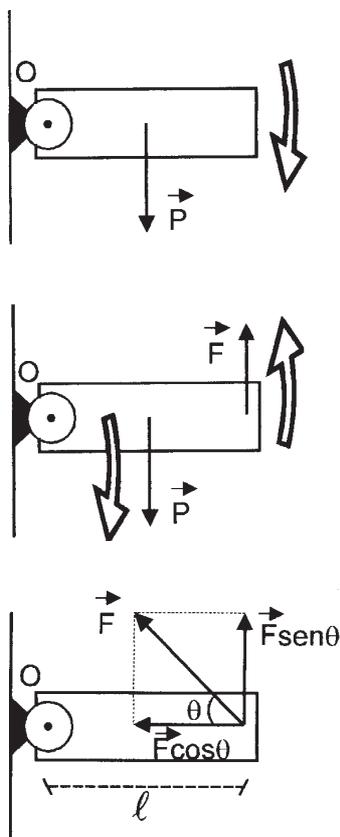
O que vai ser desenvolvido neste capítulo visa estudar as condições de equilíbrio para os corpos extensos.

2 - MOMENTO DE UMA FORÇA (M)

Uma força aplicada a um corpo pode produzir nele uma rotação quando possui uma componente perpendicular ao seu eixo de rotação. Essa característica pode ser encontrada no nosso dia-a-dia. Por exemplo, ao fechar uma porta, você a empurra (aplica uma força) em uma direção praticamente perpendicular à sua área. Verifica-se, também, que quanto mais distante da dobradiça você aplicar a força, mais facilmente a porta efetuará o movimento de rotação.

No caso do exemplo citado acima, dizemos que a força que foi aplicada na porta cria um **momento (M)** que é responsável pelo movimento de rotação da porta.

A figura seguinte mostra uma barra que está presa a uma parede por meio de uma dobradiça móvel.



Como o peso da barra é vertical para baixo¹, podemos dizer que a sua tendência é girar no sentido horário em relação ao ponto O. Em outras palavras, o peso gera um momento no sentido horário que fez com que a barra adquira um movimento de rotação acelerado.

Se quisermos manter a barra em repouso na posição horizontal, devemos aplicar uma força \vec{F} que tenha uma componente perpendicular à barra para gerar um momento no sentido anti-horário de igual intensidade ao momento criado pelo peso da barra.

É fácil notar que o esforço para sustentar a barra será menor se a força for aplicada à direita do seu peso. Há muito tempo atrás, Arquimedes já dizia: “Dê-me uma alavanca e um ponto de apoio que eu moverei a Terra!”

O próximo esquema servirá de base para que possamos definir matematicamente o momento de uma força. Nele, uma força é aplicada na barra que está presa a parede.

Esta força comprime a barra contra a parede (por causa de sua componente $\vec{F} \cdot \cos \theta$) e, ao mesmo tempo, tende a girar a barra no sentido anti-horário (pela ação da componente $\vec{F} \cdot \sin \theta$). A distância l é medida do ponto de aplicação da força até ao ponto de rotação da barra.

A definição do **Momento de uma força** leva em consideração operações que não serão estudadas no Ensino Médio e, por isto, vamos apresentar simplesmente a maneira de se calcular o módulo desta grandeza, que é: $M = (\mathbf{F} \cdot \sin \theta) l$, onde o termo $(\mathbf{F} \cdot \sin \theta)$ representa a componente da força que é perpendicular a distância l .

¹Toda vez que tivermos um corpo **homogêneo** iremos considerar que o seu peso é aplicado exatamente em seu centro geométrico.

Uma outra maneira de se escrever esta expressão é: $M = F(\ell \cdot \text{sen}\theta)$

O termo $(\ell \cdot \text{sen}\theta)$ é a componente da distância perpendicular à força aplicada e se chama **braço**. Note bem que para calcularmos o momento, a força e o braço devem ser perpendiculares, mas tanto faz decompor a força ou a distância. A unidade do momento no SI é:

$$[M] = [F] \cdot [\ell] = \text{newton} \times \text{metro} = \text{N} \cdot \text{m}$$

CUIDADO!: Esta unidade **NÃO** é igual à do trabalho ($\text{N} \cdot \text{m} = \text{joule}$) apesar de ambas representarem a mesma combinação de unidades.

Quando várias forças são aplicadas em um mesmo corpo, podemos calcular o Momento Resultante. Para isto, devemos seguir a seguinte seqüência:

- A - Escolher um ponto de rotação, em relação ao qual serão calculados os momentos.
- B - Calcular isoladamente o momento de cada força aplicada em relação ao ponto escolhido, mostrando qual a tendência de rotação.
- C - Somar todos os momentos: gerados no sentido horário.
- D - Somar todos os momentos gerados no sentido anti-horário.
- E - Efetuar a subtração do momento total no sentido horário pelo momento total no sentido anti-horário (ou vice-versa, dependendo de qual for maior).

O Momento Resultante terá o valor encontrado no item E e o seu sentido (horário ou anti-horário) será igual ao sentido do momento total maior.

3 - CONDIÇÕES DE EQUILÍBRIO

Um corpo extenso que possui um momento resultante diferente de zero, apresentará um movimento de rotação em que o módulo da velocidade varia. Já vimos que a intensidade desse momento resultante é o módulo da diferença entre o momento total no sentido horário e o momento total no sentido anti-horário.

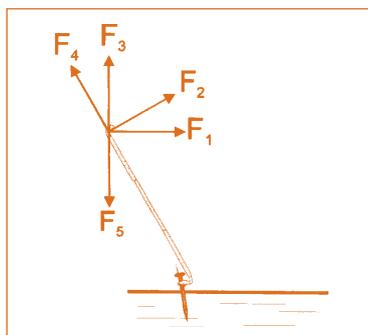
Para que um corpo extenso qualquer fique em equilíbrio estático é necessário que ele não possua movimento nem de translação, nem de rotação. As duas condições de equilíbrio podem, então, ser expressas da seguinte forma:

$$1^{\text{a}}) \mathbf{F}_R = \mathbf{0}$$

$$2^{\text{a}}) \mathbf{M}_R = \mathbf{0}$$

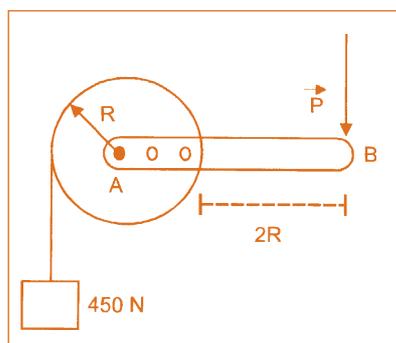
Questões de Fixação

01) (UFV) Uma pessoa pretende utilizar um pé-de-cabra para arrancar um prego. Dos cinco vetores representados na figura, o que corresponde à **menor força** necessária à tarefa é:



- a) F_2
- b) F_1
- c) F_3
- d) F_5
- e) F_4

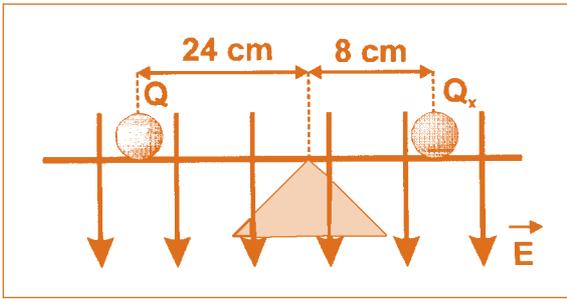
02) (UFV) Uma carga de 450 N está presa a uma roldana por meio de uma corda, conforme mostra a figura seguinte. A força, P, necessária para manter o braço, AB, na posição horizontal, em Newtons, é:



- a) 150
- b) 1350
- c) 450
- d) 300
- e) 900

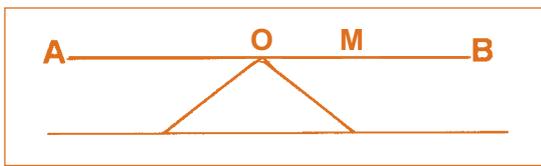
03) (UFMG) A figura mostra duas cargas positivas, Q e Q_x , de massas desprezíveis colocadas sobre os braços de mesmo comprimento de uma balança nas distâncias indicadas. A balança está em uma região onde existe um campo elétrico uniforme \vec{E} na direção mostrada.

Para que a balança fique em equilíbrio na horizontal, pode-se afirmar que o valor de Q_x será igual a:



- a) $Q/3$
- b) Q
- c) $3Q$
- d) $9Q$

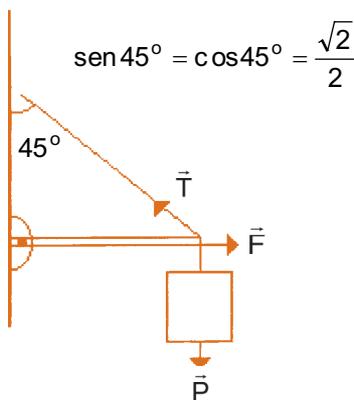
04) (PUC-MG) Dois meninos A e B, de 40 kg e 30 kg, respectivamente, estão brincando numa gangorra conforme desenho abaixo.



Eles querem equilibrar a gangorra de maneira que eles fiquem nas extremidades. Para isso, podem usar uma ou mais pedras disponíveis no jardim. Se a posição a ser usada for o ponto médio de **OB**, uma das possibilidades é usar:

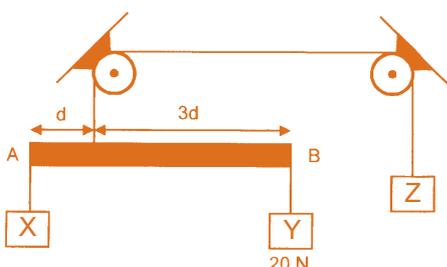
- a) apenas uma pedra de 10 kg
- b) três pedras de 5,0 kg e uma de 10 kg
- c) duas pedras de 5,0 kg, uma de 8,0 kg e duas de 2,0 kg
- d) uma pedra de 10 kg, uma de 8,0 kg e uma de 5,0 kg
- e) duas pedras de 8,0 kg e duas de 2,0 kg

05) (PUC-MG) Uma lanterna, de peso P , está presa a um sistema, constituído por uma corrente e uma haste, presas a uma parede, como mostra a figura. O ângulo entre a corrente e a parede vale 45° . Considerando a lanterna em equilíbrio, o valor da força F que atua na haste é:



- a) $2P$
- b) $\sqrt{2} \cdot P$
- c) $\frac{P\sqrt{2}}{2}$
- d) P
- e) $\frac{P}{2}$

06) (MACKSP) Na figura abaixo, os fios e as polias são ideais; AB é uma barra homogênea, tem secção transversal constante e seu peso é de 10 N. A relação entre os pesos dos corpos X e Z, respectivamente P_X e P_Z , que fazem com que a barra AB fique em equilíbrio segundo a horizontal, é:



- a) $P_X = (7/10) \cdot P_Z$
- b) $P_X = P_Z$
- c) $P_X = (10/7) \cdot P_Z$
- d) $P_X = 3 P_Z$
- e) $P_X = 7 P_Z$

DINÂMICA – TRABALHO, POTÊNCIA E ENERGIA

1 - INTRODUÇÃO

Quando lançamos um corpo verticalmente para cima, podemos calcular, através das equações da Cinemática, a sua altura máxima. Ao estudarmos o movimento de um carro que é freado em uma estrada horizontal, temos condições de calcular a distância por ele percorrida até parar. Para isto, utilizamos a Lei de Newton e a equação de Torricelli.

Neste capítulo veremos uma maneira nova de resolver os problemas citados no parágrafo anterior. Esta nova abordagem a problemas da Mecânica será, para nós, de grande valia pois irá simplificar a obtenção de resultados.

O objetivo principal deste capítulo é estudar a energia. Apesar de ser intuitivo, o conceito de energia é um dos mais importantes nas ciências físicas. Podemos dizer que, quando um corpo qualquer possui energia, ele estará em movimento ou terá condições de entrar em movimento.

Começaremos o estudo do capítulo investigando o conceito de trabalho. Em seguida, entenderemos a potência e, logo após, estudaremos a energia mecânica e as condições para que ela se conserve.

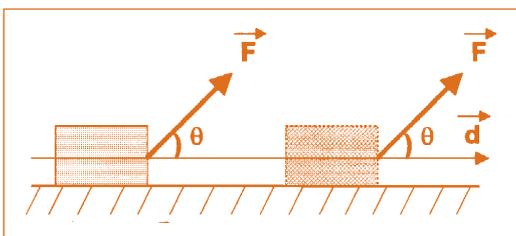
2 – TRABALHO (W. τ)

O motor de um carro, através da queima do combustível nos pistons, consegue aplicar uma força no automóvel que, por sua vez, produz um certo deslocamento. Note que existe transformação de energia – a energia química armazenada no combustível se transforma em energia de movimento para o carro. A medida desta transformação de energia será definida como sendo o trabalho realizado pelo motor.

A geração de energia elétrica em usinas hidrelétricas é um outro exemplo muito conhecido que pode ser citado. A água armazenada na represa possui energia. Quando ela desce pela tubulação da usina, faz girar o dínamo e, através deste processo, a energia elétrica será gerada.

Os dois processos citados serão estudados com mais detalhes nos capítulos sobre Termodinâmica e Eletromagnetismo, respectivamente.

A partir deste ponto, vamos definir matematicamente o trabalho. A próxima figura mostra um bloco que sofre a ação de uma força constante \vec{F} inclinada em relação ao deslocamento.



O trabalho realizado pela força \vec{F} é:

$$W = F \cdot d \cdot \cos\theta$$

Note que, para uma força realizar trabalho é necessário que haja deslocamento e, além disso, a força deve ter uma componente na direção do deslocamento (a força não pode ser perpendicular ao deslocamento).

Portanto, uma pessoa que passe o dia inteiro segurando uma pedra a 2,0 metros de altura não realiza trabalho algum. Mesmo se esta pessoa transportar a pedra, na horizontal, com velocidade constante, o trabalho será nulo, uma vez que a força aplicada é vertical e o deslocamento horizontal.

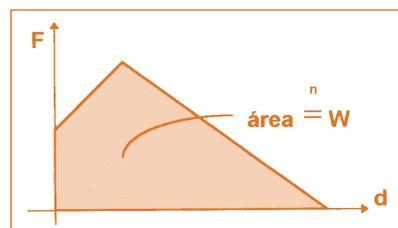
A unidade do trabalho no S.I.: $[W] = [F] \cdot [d] = N \cdot m = \text{joule (J)}$

Observação:

A unidade do trabalho é a mesma de qualquer forma de energia, já que, conceitualmente, o trabalho representa a medida da transformação da energia.

a) Gráfico $F \times d$: Quando uma força variar ao longo do deslocamento, a única maneira de se calcular o trabalho por ela realizado é através da área sob o gráfico $F \times d$. Para tal, iremos considerar que F representa a projeção da força na direção do deslocamento.

b) Trabalho da força resultante: Imagine um sistema composto por várias forças aplicadas a uma partícula. Cada uma, isoladamente, realiza um trabalho.



O trabalho da força resultante (ou trabalho resultante) é a soma algébrica dos trabalhos realizados por cada força.

3 - POTÊNCIA MÉDIA (P_m)

Em algumas situações é importante sabermos a taxa de realização de trabalho (transformação de energia) em uma certa unidade de tempo.

Para descobriremos esta taxa dividimos o valor da energia que é transformada pelo intervalo de tempo gasto no processo. Ao resultado desta operação, chamamos de potência média. Matematicamente, temos: $P_m = \frac{W}{\Delta t}$

A unidade S.I. desta grandeza é: $[P] = \frac{[W]}{[\Delta t]} = \frac{J}{s} = \text{watt (W)}$

Existem duas outras unidades que são: **cavalo-vapor (cv) $\Rightarrow 1 \text{ cv} = 735W$**
horse-power (hp) $\Rightarrow 1 \text{ hp} = 746W$

Observação: Uma unidade de energia muito utilizada na prática é o quilowatt-hora (kwh). Esta unidade é definida a partir da relação estudada neste item. Se a potência estiver expressa em watt e o tempo em segundo, a unidade do trabalho (ou energia) será o joule. Porém, se a potência estiver em quilowatt e o tempo em horas, teremos o trabalho (ou a energia) em quilowatt-hora. Veja:

$$[W] = [P] \cdot [\Delta t] = W \cdot s = \text{joule (J)}$$

$$[w] = [P] \cdot [\Delta t] = \text{kW} \cdot h$$

A relação entre estas duas unidades é a seguinte: $1 \text{ kW} \cdot h = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$

4 – ENERGIA MECÂNICA (E_{MEC})

Em nosso cotidiano lidamos com vários tipos de energia. A energia elétrica é transformada em energia térmica em um chuveiro e em energia sonora em um auto-falante. A energia luminosa é transformada em energia elétrica em uma bateria solar. A energia nuclear é transformada em térmica e, depois, em elétrica em uma usina nuclear. São vários os exemplos em que diversas formas de energia estão em jogo.

De uma maneira geral, podemos dizer que a quantidade de energia presente no universo é constante, ou seja, a energia não pode ser criada ou destruída, simplesmente ela sofre transformação de uma forma para outra.

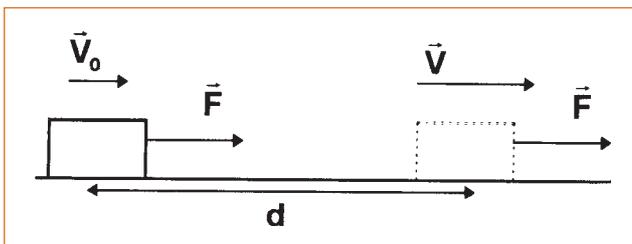
Iremos estudar uma forma específica de energia chamada Energia Mecânica. Este tipo de energia é a soma de dois outros tipos: energia cinética e energia potencial mecânica. Veremos, a seguir, estes tipos de energia.

a) Energia Cinética (E_c): Esta é a forma de energia dos corpos em movimento. Um corpo terá energia cinética quando apresentar uma certa velocidade, em relação a um referencial. A sua expressão matemática

$$\text{é: } E_c = \frac{m \cdot V^2}{2}$$

a.1) Teorema Trabalho-Energia: Uma partícula que sofre a ação de uma força resultante certamente verificará uma variação em sua velocidade. A esta variação podemos relacionar uma modificação na sua energia cinética. Diremos que o trabalho realizado pela força resultante é igual à variação da energia cinética da partícula.

A figura seguinte mostra a força resultante que atua em uma partícula de massa m , inicialmente com uma velocidade V_0 . Por causa desta força, a sua velocidade passa a ter um valor V após um deslocamento d . Veja.



O trabalho realizado pela força resultante \vec{F} é:

$$W = F \cdot d \cdot \cos 0^\circ$$

mas, pela 2ª Lei de Newton, $F = m \cdot a$.

Assim, $W = m \cdot a \cdot d$; utilizando a equação de Torricelli,

$$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot d \Rightarrow a \cdot d = \frac{V^2 - V_0^2}{2}$$

Substituindo na expressão do trabalho, $W = m \cdot \left(\frac{V^2 - V_0^2}{2} \right) = \frac{m \cdot V^2}{2} - \frac{m \cdot V_0^2}{2}$

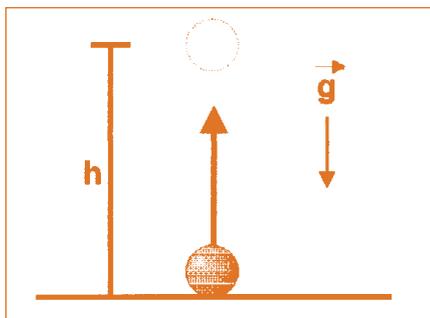
Que irá resultar na seguinte relação: $W_{Fr} = \Delta E_c$

O trabalho da força resultante sobre um móvel é igual à variação da sua energia cinética.

b) Energia Potencial (Ep): Quando a energia está acumulada em um certo corpo, ela recebe o nome de potencial. Assim, temos energia potencial elétrica, química, magnética, etc. Podemos estabelecer que para toda força conservativa haverá uma energia potencial a ela relacionada.

Vamos estudar as formas de energia potencial mecânica. Existem duas situações que irão nos interessar: energia potencial gravitacional (relacionada com a força peso) e energia potencial elástica (relacionada com a força elástica).

b.1) Energia Potencial Gravitacional: Imagine que um corpo foi levado do solo até uma certa altura h .



Nesta situação, podemos dizer que este corpo possui uma certa energia guardada (potencial), uma vez que o seu peso é capaz de realizar um trabalho para trazê-lo de volta ao solo. Na verdade, esta energia foi acumulada pelo corpo por causa do trabalho realizado para colocá-lo na altura h .

A energia potencial gravitacional é igual ao trabalho realizado pelo peso durante o deslocamento da altura h até o solo (que será o nosso nível de referência).

$$E_{p_g} = W_p = P \cdot h$$

$$E_{p_g} = m \cdot g \cdot h$$

b.2) Energia Potencial Elástica: Uma mola deformada é capaz de empurrar um certo bloco. Note que, neste caso, a mola irá aplicar uma força no bloco que produzirá um deslocamento. Logo, esta mola, quando estiver comprimida ou distendida, será capaz de realizar um trabalho. Isto significa que ela possui uma energia acumulada. Esta energia chamaremos de energia potencial elástica.

De maneira semelhante ao que ocorre com a gravitacional, a energia potencial elástica é igual ao trabalho realizado pela força elástica para voltar à posição inicial.

$$E_{p_e} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

c) Energia Mecânica (E_{MEC}): Como já vimos, a energia mecânica é a soma das energias cinética e potencial, ou seja:

$$E_{MEC} = E_c + E_p$$

5 – CONSERVAÇÃO DA ENERGIA MECÂNICA

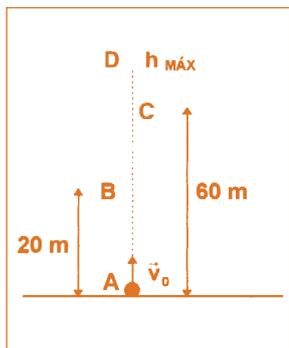
As forças podem ser classificadas em conservativas e não-conservativas. Uma determinada força é conservativa quando o trabalho que ela realiza não depende da trajetória. As forças elétrica, gravitacional e magnética são exemplos de conservativas. Quando o trabalho de uma certa força depender da trajetória utilizada, ela é chamada de força não-conservativa. A força de atrito é uma força não-conservativa (como o atrito é sempre contrário ao movimento, diremos que ele é uma força dissipativa).

Quando um móvel estiver sob a ação exclusiva de forças conservativas, o valor da energia mecânica será constante em todos os pontos de sua trajetória. É importante notar que este móvel pode ter, em alguns pontos, apenas energia cinética e, em outros pontos, somente energia potencial.

Vamos imaginar, inicialmente, uma situação bem simples: Uma pedra (massa igual a 1,0 kg) é lançada verticalmente para cima, a partir do solo, com uma velocidade de 40 m/s. Desprezando a resistência do ar, vamos estudar o movimento desta pedra. A figura a seguir mostra o instante do lançamento e diversos pontos da trajetória.

O ponto A representa o local do lançamento, B está situado a 20 m de altura, C a 60 m e o ponto D é o de altura máxima atingida pela pedra.

Iremos considerar a aceleração da gravidade local constante e igual 10 m/s^2 .



Inicialmente vamos calcular a energia mecânica da pedra no ponto A. Como, neste ponto, a altura é nula, a pedra só terá energia cinética. Assim,

$$E_{MEC}^A = E_{cA} = \frac{m \cdot v_A^2}{2} = \frac{1.40^2}{2}$$

$$E_{MEC}^A = E_{cA} = 800 \text{ J}$$

A única força que atua na pedra, em todo o movimento, é o peso (que é uma força conservativa). Logo, a energia cinética da pedra terá o mesmo valor em todos os pontos de sua trajetória.

Observação: Quando houver atrito no sistema, a energia mecânica irá diminuir progressivamente com o tempo, de tal forma que:

$$W_{fa} = E_{mec}^{final} - E_{MEC}^{inicial}$$

Questões de Fixação

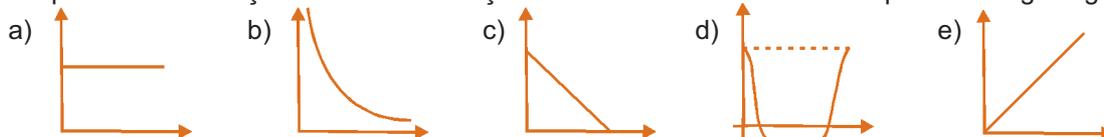
- 01) (CESCEA) Um corpo A de peso P escorrega com atrito num plano inclinado, com aceleração a diferente de zero. Que forças realizam trabalho?
- a componente da força peso ao longo da trajetória e a de atrito
 - somente a força peso
 - somente a força de atrito
 - nenhuma, pois se equilibram
 - a reação normal do plano sobre o corpo

- 02) (PUC-MG) Um corpo de massa $0,20\text{ kg}$ preso por um fio gira em movimento circular uniforme de raio 50 cm sobre uma superfície horizontal lisa. O trabalho realizado pela força de tração do fio, durante uma volta completa, é:
- zero
 - $6,3\text{ J}$
 - 10 J
 - $1,0\text{ J}$
 - 31 J

- 03) (Santa Casa) Para as questões I e II relacione cada um dos gráficos dados a seguir com o que se estabelece em cada um dos itens:

I – trabalho de uma força constante em função do deslocamento efetuado na direção e sentido da força.

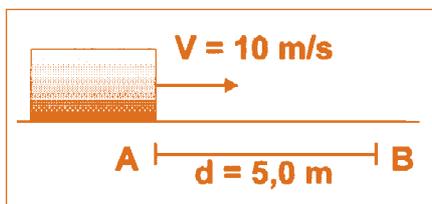
II – trabalho de uma força de intensidade constante para um dado deslocamento em função do ângulo que a referida força forma com a direção e sentido do deslocamento a partir do ângulo igual a zero.



- 04) (UFV) Uma bomba eleva $18\ 000$ litros de água por hora a uma altura de 20 metros. A massa de um litro de água é um quilograma: suponha $g = 10\text{ m/s}^2$. A potência da bomba em watts, é:

- $1,8 \times 10^4$
- $1,8 \times 10^5$
- $1,0 \times 10^2$
- $1,0 \times 10^3$
- $3,6 \times 10^3$

- 05) (PUCMG) A figura desta questão mostra um corpo de massa igual a $6,0\text{ kg}$ e velocidade 10 m/s , instantes antes de penetrar em uma região de comprimento $5,0\text{ m}$ onde o coeficiente de atrito cinético vale $0,6$. A energia cinética do móvel ao deixar a região, em joules, é igual a:

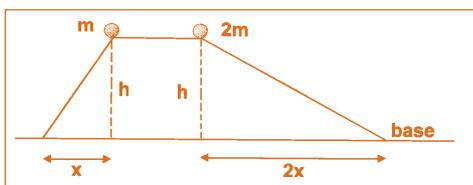


- 80
- 120
- 160
- 180
- 200

- 06) (UFMG) Atira-se uma bola verticalmente para cima. A bola sobe e desde caindo no mesmo ponto de onde foi lançada. Desprezando-se o atrito com o ar, pode-se dizer que:

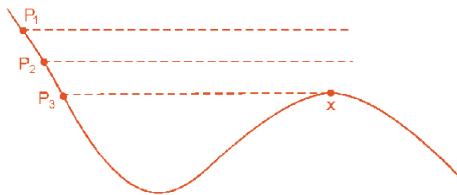
- energia cinética da bola é $\frac{1}{4}$ da energia cinética inicial quando ela, na subida, atinge a metade da altura máxima.
- a energia cinética da bola é a mesma, tanto na subida quando na descida, quando ela estiver na metade da altura máxima.
- a energia cinética da bola é máxima quando ela atinge o ponto mais alto da sua trajetória.
- a energia potencial da bola é máxima no ponto de partida.

- 07) (PUCMG) A figura desta questão mostra duas rampas ideais e dois corpos de massa m e $2m$, inicialmente em repouso. Se eles são abandonados simultaneamente, é correto afirmar que:



- atingem a base, ao mesmo tempo.
- possuem a mesma aceleração ao descender as rampas.
- alcançam a base da rampa com a mesma velocidade escalar.
- possuem a mesma energia potencial que antes de serem abandonados.
- têm a mesma energia cinética ao chegarem à base.

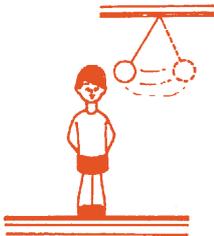
- 08) (PUCMG) Comprime-se uma mola de constante elástica K , através de uma esfera de massa m , produzindo-se uma deformação x . Abandonando-se o sistema, a esfera atinge uma altura h na rampa. Provocando-se uma deformação $2x$ na mola, a nova altura atingida pela esfera na rampa será igual a:
 Dado: Despreze todas as formas de atrito.
 a) $2h$ b) $h/2$ c) $1,41h$ d) $4h$ e) h
- 09) (UFV) Uma bola de massa m abandonada a partir do repouso de uma altura h , colide com o solo a uma altura h_2 . Sendo g a aceleração da gravidade, a energia dissipada devido à colisão e ao atrito com o ar é:
 a) $mg(h_1 - h_2)$ b) $[mg(h_1 - h_2)]/2$ c) $[mg(h_1 + h_2)]/2$ d) mgh_2 e) mgh_1
- 10) (UFMG) Em todas as alternativas a conversão de energia especificada para a situação descrita está correta, **EXCETO** em:
 a) um ciclista desce uma rampa em movimento uniforme: energia potencial gravitacional converte-se em energia cinética.
 b) um motorista freia subitamente o carro, levando-o ao repouso: energia cinética converte-se em energia interna (térmica).
 c) um objeto é lançado de baixo para cima: energia cinética converte-se em energia potencial gravitacional
 d) um carro põe-se em movimento pelo funcionamento do motor: energia térmica da combustão da gasolina converte-se em energia cinética.
 e) uma mola distendida por um peso nela suspenso: energia potencial gravitacional converte-se em energia potencial elástica.
- 11) (UFMG) A figura representa um escorregador, onde uma criança escorrega sem impulso inicial. Se ela sair da posição P_1 , ultrapassa a posição X ; se sair de P_2 , pára em X e, se sair de P_3 , não chega a X . Com relação a esta situação, pode-se afirmar que a energia potencial da criança,



- a) em P_2 , é igual à sua energia potencial em X .
 b) em P_3 , é igual à sua energia potencial em X .
 c) em P_3 , é maior do que em X .
 d) em P_3 , é igual à soma de suas energias potencial e cinética em X .

- 12) (Med. Uberaba) A força \vec{F} de módulo 50N atua sobre um objeto, formando ângulo constante de 60° com a direção do deslocamento \vec{d} do objeto. Se $d = 10\text{m}$, o trabalho executado pela força \vec{F} expresso em joules é igual a:
 a) 500 b) $250\sqrt{3}$ c) 250 d) 125 e) 100

- 13) (ITA) Para motivar os alunos a acreditarem nas leis da Física um professor costumava fazer a seguinte experiência: um pêndulo de massa razoável (1 kg ou mais) era preso no teto da sala; trazendo o pêndulo para junto de sua cabeça, ele o abandonava em seguida, permanecendo imóvel, sem temor de ser atingido violentamente na volta da massa. Ao fazer isso, demonstrava confiança na seguinte lei física:



- a) conservação da quantidade de movimento;
 b) independência do período de oscilação em relação à amplitude;
 c) conservação da energia
 d) independência do período do pêndulo em relação à massa;
 e) segunda lei de Newton.

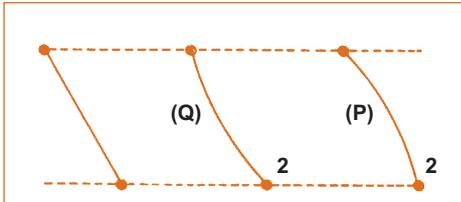
- 14) (FEI) Um projétil de massa 2 kg é lançado no solo, onde se adota a energia potencial nula, com energia total 225 J . A resistência do ar é desprezível, a aceleração da gravidade é $g = 10\text{ m/s}^2$ e a máxima energia potencial do projétil é 125 J . A altura máxima por ele atingida, sua menor velocidade e sua maior velocidade valem respectivamente:
 a) $11,25\text{ m}$, 0 e 10 m/s c) $6,25\text{ m}$, 0 e 15 m/s e) $5,0\text{ m}$, 0 e 10 m/s
 b) $11,25\text{ m}$, 10 m/s e 15 m/s d) $6,25\text{ m}$, 10 m/s e 15 m/s

15) (ITA) A variação da energia cinética de uma partícula em movimento, num dado referencial inercial, entre dois pontos distintos P e Q, é sempre igual:

- I. à variação da energia potencial entre estes dois pontos.
- II. ao trabalho da resultante das forças aplicadas à partícula para deslocá-la entre estes dois pontos.
- III. à variação da energia potencial entre estes dois pontos, a menos do sinal, quando a resultante aplicada à partícula for conservativa.

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

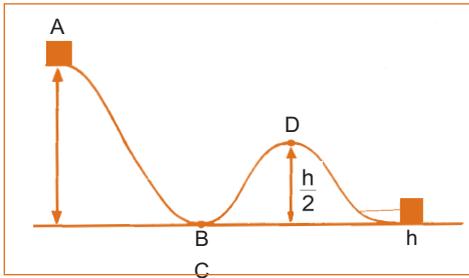
16)(Unb) Dadas as plataformas sem atrito, O, P e Q, se soltarmos um corpo no ponto (1), podemos dizer que sua velocidade, ao atingir o ponto (2), será:



- a) maior na plataforma (O) do que nas plataformas (P) e (Q);
- b) maior na plataforma (Q) do que nas plataformas (O) e (P);
- c) maior nas plataformas curvas do que na plataforma reta;
- d) igual, em módulo, em todas as plataformas.

17) (Pouso Alegre-MG) Uma partícula de massa m é abandonada, do repouso, no ponto A e move-se ao longo da trajetória ABCD da figura.

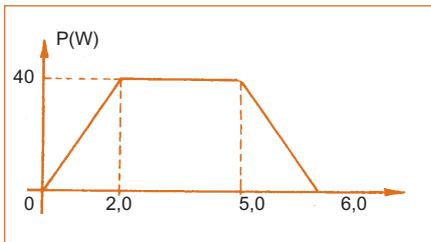
Supondo desprezível o atrito, podemos afirmar que:



- a) a energia mecânica total da partícula, em B, vale mgh ;
- b) a energia cinética da partícula em C, vale mgh ;
- c) a velocidade da partícula em D é maior que em B;
- d) a velocidade da partícula em C vale $\sqrt{2gh}$;
- e) a energia cinética da partícula em D vale $\frac{3mgh}{2}$

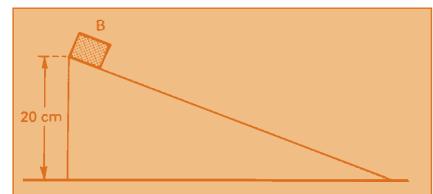
18) (MED-ABC) Um bloco de massa $m = 10 \text{ kg}$ é solicitado exclusivamente por uma força cuja potência em função do tempo varia conforme diagrama abaixo.

O bloco parte do repouso no instante $t = 0$. Pode-se afirmar que o mesmo atinge velocidade de módulo $4,0 \text{ m/s}$ no instante:



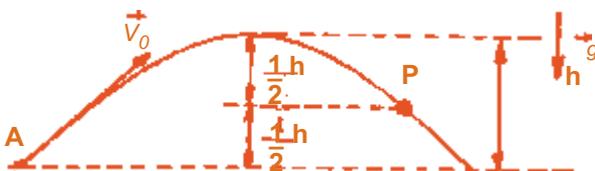
- a) 2,0 s;
- b) 3,0 s;
- c) 4,0 s;
- d) 5,0 s;
- e) 6,0 s.

19) (CESCEM) A figura abaixo mostra a posição em que um bloco (b) é abandonado num plano inclinado, sobre o qual desliza sem atrito. Com que velocidade o bloco chega ao plano horizontal? (Considere a aceleração da gravidade igual a 10 m/s^2)



- a) 10 m/s
- b) 4 m/s
- c) 3 m/s
- d) 2 m/s
- e) 1 m/s

20) (FUVEST) Um projétil de massa m é lançado em A com velocidade \vec{V}_0 e descreve a trajetória indicada na figura:



Desprezando-se a resistência do ar, a energia cinética do projétil, no ponto P, será:

- a) $\frac{1}{2} mgh$
- b) $\frac{1}{4} m V_0^2$
- c) $\frac{1}{2} m V_0^2 - mgh$
- d) $\frac{1}{2} m V_0^2 + \frac{1}{2} mgh$
- e) $\frac{1}{2} m V_0^2 - \frac{1}{2} mgh$

HIDROSTÁTICA

1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, iremos estudar os fluidos (líquidos e gases) em equilíbrio estático. Para isso, devemos conhecer algumas grandezas fundamentais, tais como a densidade absoluta e a pressão.

Através deste estudo, poderemos entender o motivo de navios flutuarem em rios e mares, o porquê de balões subirem quando são cheios de ar quente e o mecanismo pelo qual um avião consegue voar.

Além disso, teremos a oportunidade de trabalhar com mais uma força da natureza: o Empuxo.

2 - DENSIDADE ABSOLUTA OU MASSA ESPECÍFICA (d)

Vamos imaginar dois corpos maciços que possuam o **mesmo volume** e sejam feitos de **materiais diferentes**, por exemplo, um feito de ferro e outro de espuma. Sabemos que a massa do corpo do primeiro é maior do que a massa do segundo corpo. De alguma maneira, a matéria está mais compacta no ferro. Há uma grandeza que irá medir exatamente esta compactação da matéria, chamada densidade absoluta ou massa específica.

Consideremos um bloco maciço de massa **m** e volume **V**.

Definimos como densidade absoluta a seguinte relação:

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

É importante se notar que a densidade absoluta é uma característica do material que compõe o corpo, ou seja, para qualquer par de valores da massa e do volume de um corpo maciço feito de um certo material, a razão **m/V** será constante.

A unidade da densidade será a razão entre uma unidade de massa e uma de volume. Trabalharemos, basicamente, com três:

$$1) [d] = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ (unidade do Sistema Internacional)}$$

$$2) [d] = \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

$$3) [d] = \frac{\text{kg}}{\ell}$$

A conversão entre as unidades deve ser feita da seguinte forma:

$$A - \text{Unidades (1) para (2): } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = \frac{10^3 \text{ g}}{10^6 \text{ cm}^3} = 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$$

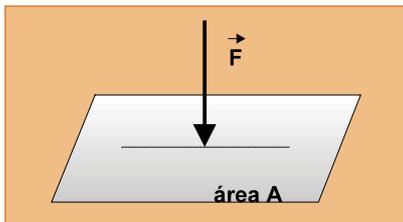
$$B - \text{Unidades (2) para (3): } \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} = \frac{10^{-3} \text{ kg}}{10^{-3} \ell} = \frac{\text{kg}}{\ell}$$

Observação:

Podemos trabalhar, também, com a **densidade de um corpo**. Apesar de a definição ser a mesma apresentada nesta seção, não existe a necessidade de o corpo ser maciço. Dessa forma, podemos ter um corpo de ferro, com uma certa massa, apresentando diversas densidades diferentes, desde que o volume deste corpo seja diferente.

3 - PRESSÃO (p)

Quando aplicamos uma força de intensidade **F** em um corpo, notamos que este fica comprimido pela força. A figura abaixo representa a força aplicada perpendicularmente a uma área **A**.



Definimos como pressão a razão entre a intensidade da força aplicada

e a área de aplicação desta força.

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

Para o cálculo da pressão, estamos levando em conta que a força aplicada é perpendicular à área de aplicação. Caso esta força seja inclinada em relação à área, devemos considerar somente a componente perpendicular.

Note que, para uma mesma força, quanto menor for a área de contato, maior será a pressão aplicada. É por este motivo que os pregos, facas e outros objetos que têm como função penetrar em certas superfícies possuem uma forma pontiaguda. Na ponta, a área de contato é menor e, portanto, a pressão aplicada tende a ser maior.

Existem várias unidades para a pressão. Veja as principais:

$$1) [p] = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \text{pascal (Pa)} \text{ (unidade do Sistema Internacional)}$$

$$2) [p] = \text{atmosfera (atm)}$$

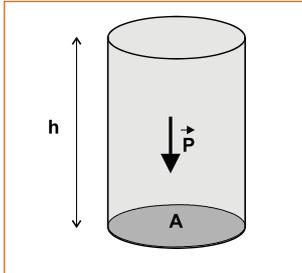
3) $[p] = \text{centímetro de mercúrio (cm Hg)}$

A relação entre estas unidades é a seguinte:

$$1,0 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} \cong 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

4 - PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Após termos estudado a pressão de uma maneira genérica, vamos trabalhar com a pressão exercida por um fluido. Imaginemos um recipiente cilíndrico completamente cheio por um líquido qualquer.



A pressão que este líquido exerce na base do recipiente é devida ao seu peso.

$$\text{Assim: } p = \frac{\text{peso do líquido}}{A}$$

O peso do líquido é o produto de sua massa pela aceleração da gravidade

$$(P = m \cdot g). \quad p = \frac{m_{\text{liq}} g}{A}$$

$$\text{Como } d = \frac{m}{V} \Rightarrow m_{\text{liq}} = d_{\text{liq}} V_{\text{liq}}. \text{ Dessa forma: } p = \frac{d_{\text{liq}} V_{\text{liq}} g}{A}$$

Mas o volume do líquido é igual ao do recipiente. Para um cilindro, o volume é dado pelo produto entre a área (A) da base e a altura (h). Logo:

$$p = \frac{d_{\text{liq}} A h g}{A}$$

Simplificando a área, temos:

$$p = d_{\text{liq}} g h$$

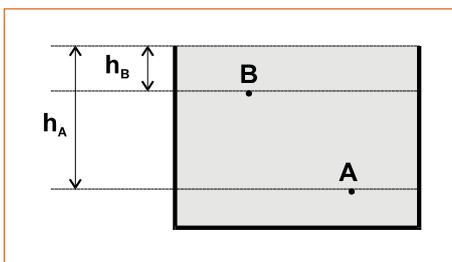
que é a expressão para o cálculo da pressão devida a uma coluna de um fluido. A altura h deve ser medida a partir da superfície.

Observações:

- 1) Como podemos perceber na expressão deduzida nesta seção, a pressão exercida por um fluido **não depende** da área da base do recipiente.
- 2) O valor da altura h deve ser medido em relação à superfície do fluido. Em uma piscina, por exemplo, quanto mais fundo mergulhamos, maior o valor de h e, portanto, maior a pressão exercida pela água.
- 3) Chamamos de pressão atmosférica à pressão exercida pelo ar atmosférico. É fácil de se perceber que, ao nível do mar, a coluna de ar sobre as nossas cabeças é maior do que no alto de uma montanha. Assim, a pressão atmosférica em uma cidade litorânea é maior do que em uma cidade que se localiza no alto de uma serra, por exemplo.

5 - TEOREMA DE STEVIN

A figura abaixo está representando um recipiente contendo um líquido homogêneo e dois pontos no interior deste líquido.



O ponto A está localizado a uma profundidade maior. Logo, a pressão neste ponto será maior do que em B. Essas pressões podem ser calculadas da seguinte forma:

$$p_A = d_{\text{liq}} g h_A$$

$$p_B = d_{\text{liq}} g h_B$$

A diferença de pressão entre os pontos A e B é, portanto:

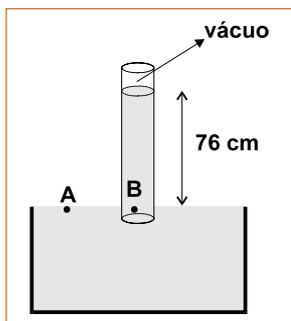
$$p_A - p_B = d_{\text{liq}} g h_A - d_{\text{liq}} g h_B \Rightarrow p_A - p_B = d_{\text{liq}} g (h_A - h_B)$$

“A diferença de pressão entre dois pontos em um fluido é proporcional à diferença de profundidade entre esses pontos.”

A partir da análise deste teorema, podemos concluir que se dois ou mais pontos estiverem alinhados horizontalmente (mesma profundidade) em um mesmo fluido, as suas pressões serão iguais.

6 - EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI

O físico italiano Evangelista Torricelli, baseando-se no teorema de Stevin, preparou uma experiência muito simples com o objetivo de calcular a pressão atmosférica. A figura seguinte mostra um esquema simplificado de seu experimento.



Enchendo o tubo de mercúrio, Torricelli o introduziu, com a abertura voltada para baixo, na bacia que estava parcialmente preenchida de mercúrio. Ao ser atingida a configuração de equilíbrio, havia, dentro do tubo, uma coluna de 76 centímetros de mercúrio acima do nível do mercúrio na bacia.

Toricelli concluiu que a pressão exercida pelos 76 cm de mercúrio era igual à pressão atmosférica, uma vez que os pontos A e B da figura anterior estão alinhados horizontalmente e pertencem a um mesmo fluido.

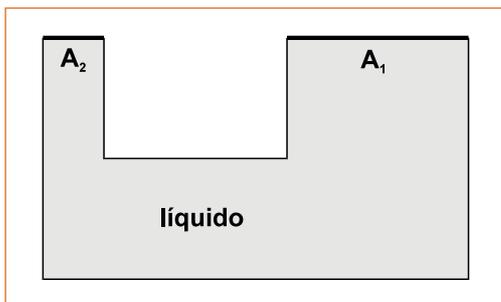
Com isso, estava definida a unidade de pressão chamada de centímetro de mercúrio.

Observação:

A princípio, esta experiência pode ser feita com qualquer líquido. Se repetirmos todo o processo utilizando água, iremos encontrar uma coluna de cerca de 10 metros! A vantagem de se utilizar o mercúrio é que este possui uma densidade muito elevada ($13,6 \text{ g/cm}^3$).

7 - PRINCÍPIO DE PASCAL

Pascal descobriu que a variação de pressão em um ponto de um fluido qualquer é transmitida integralmente a todos os outros pontos deste fluido. Como se pode observar, esta conclusão também é uma consequência do teorema de Stevin.



Quando você vai a um posto de gasolina e o carro tem que ser levantado, a máquina utilizada para tal fim (chamada de Prensa Hidráulica) funciona com base no princípio de Pascal. Esta máquina consiste em um tubo em forma de 'U' onde existe um líquido homogêneo e incompressível. As extremidades deste tubo possuem seções retas diferentes e estão lacradas por êmbolos móveis.

Imagine um corpo de massa M_1 sobre o êmbolo maior. Devido ao seu peso, este corpo faz com que os pontos próximos ao êmbolo fiquem sujeitos a um aumento de pressão Δp_1 . De acordo com princípio de Pascal, este acréscimo de pressão deve ser transmitido a todos os outros pontos do líquido. Dessa forma, os pontos próximos ao êmbolo menor verificarão um aumento igual na pressão (Δp_2). Porém, como a área deste êmbolo é menor, a força necessária para se produzir o equilíbrio também é menor.

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 \Rightarrow \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

Este dispositivo pode ser utilizado em qualquer ação em que seja necessária a multiplicação de uma força. Normalmente, um ser humano não consegue elevar um automóvel através da aplicação direta de uma força. Com o auxílio da prensa hidráulica, é possível que uma pessoa aplique uma força de pequena intensidade no êmbolo pequeno que, ao ser transmitida pelo líquido, é aumentada consideravelmente.

8 - PRINCÍPIO DE ARQUIMEDES

Quando mergulhamos uma bola de plástico em uma piscina, temos a sensação de que a água aplica, na bola, uma força vertical para cima no sentido de impedir a imersão. Esta força que sentimos é a mesma que nos faz boiar e que sustenta um navio no mar e um avião no ar. Chamaremos esta força de EMPUXO (\vec{E}).

Conta a lenda que Arquimedes ao entrar em uma banheira completamente cheia de água percebeu que o volume de água que entornava (chamado de volume deslocado) era igual ao volume de seu corpo que entrava na banheira.

A existência da força de Empuxo está relacionada com este volume deslocado. Segundo o princípio de Arquimedes: "Um corpo total ou parcialmente imerso em um fluido recebe deste uma força vertical para cima que tem intensidade igual ao peso do fluido deslocado por este corpo". Veja

$$E = P_{\text{fluido deslocado}} = m_{\text{fluido deslocado}} g$$

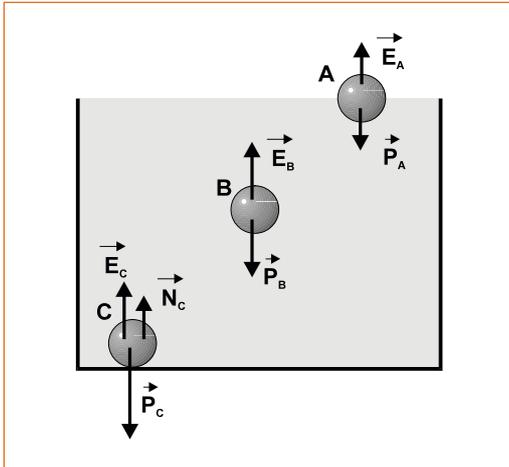
E como: $d = \frac{m}{V} \Rightarrow m_{\text{fluido deslocado}} = d_{\text{fluido}} V_{\text{fluido deslocado}}$

Assim: $E = d_{\text{fluido}} V_{\text{fluido deslocado}} g$

que é a expressão matemática para o cálculo do Empuxo.

Como se trata de uma força, o Empuxo será medido em newtons.

Observação: Um corpo sólido introduzido em um fluido, dependendo de sua densidade, pode apresentar uma das seguintes configurações:



Na situação **A**, o corpo permanece parcialmente imerso no fluido. Isso acontece quando a densidade do corpo é menor do que a densidade do fluido. Neste caso, o empuxo aplicado pelo fluido é igual, em módulo, ao peso do corpo.

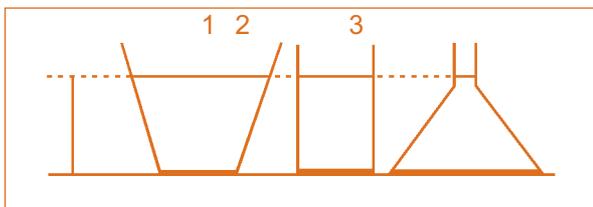
Na situação **B**, o corpo fica em equilíbrio no interior do fluido, totalmente imerso. Dizemos que a densidade do corpo é igual à do fluido. Também neste caso, o empuxo aplicado pelo fluido tem a mesma intensidade do peso do corpo.

Na situação **C**, o corpo possui uma densidade maior do que a do fluido e, por isso, se dirige para o fundo do recipiente. O empuxo aplicado pelo fluido não é suficiente para equilibrar o peso do corpo. Podemos perceber que, devido ao contato entre o corpo e o recipiente, há a aplicação de uma força normal sobre o corpo.

Questões de Aprofundamento

- (PUC-SP) Num processo industrial de pintura, as peças recebem uma película de tinta de espessura 0,1 mm. Considere a densidade absoluta da tinta igual a 0,8 g/cm³. A área pintada com 10 kg de tinta é igual a:
 - 1.250 m²
 - 625 m²
 - 125 m²
 - 75 m²
 - 50 m²
- (OSEC-SP) Um cubo de gelo foi formado solidificando completamente 57,6g de água. Qual é a medida da aresta do cubo? A densidade do gelo é 0,90g/cm³.
 - 1 cm
 - 2 cm
 - 3 cm
 - 4 cm
 - 5 cm
- (FUVEST-SP) Um cubo homogêneo de alumínio, de 2m de aresta, está apoiado sobre uma superfície horizontal. Qual a pressão, em N/m², exercida pelo bloco sobre a superfície? Densidade do alumínio: 2,7 · 10³ kg/m³; g = 10 m/s².
 - 2,7 · 10⁴
 - 2,7 · 10¹⁰
 - 1,35 · 10⁴
 - 1,35 · 10¹⁰
 - 5,4 · 10⁴
- (UFRGS-RS) Um gás encontra-se contido sob a pressão de 5 · 10³ N/m² no interior de um recipiente cúbico cujas faces possuem uma área de 2 m². Qual é o módulo da força média exercida pelo gás sobre cada face do recipiente?
 - 1,0 · 10⁴ N
 - 7,5 · 10³ N
 - 5,0 · 10³ N
 - 2,5 · 10³ N
 - 1,0 · 10³ N

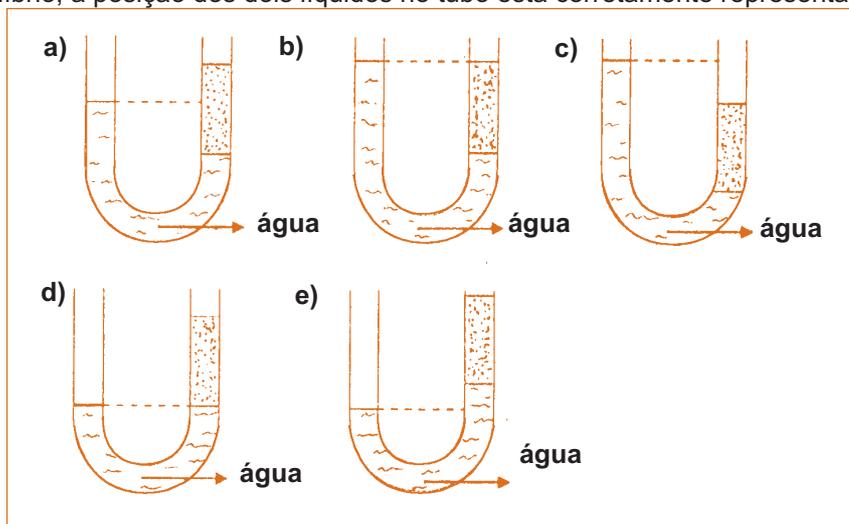
5) (PUC-MG) Três recipientes que contêm água até uma mesma altura h têm bases cujas áreas são A , A e $2A$, respectivamente.



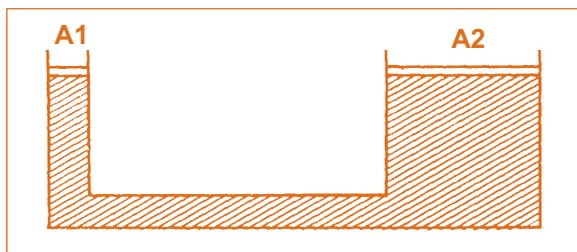
Em relação às pressões P_1 , P_2 e P_3 e às intensidades das forças F_1 , F_2 e F_3 , exercidas pela água no fundo dos recipientes, é **CORRETO** afirmar:

- a) $P_1 = P_3$ e $F_1 = \frac{F_3}{2}$
- b) $P_1 < P_2$ e $F_1 = F_2$
- c) $P_2 = P_3$ e $F_2 = 2F_3$
- d) $P_2 < P_3$ e $F_2 = F_3$
- e) $P_1 = P_2$ e $F_1 = F_2 = F_3$

6) (UFMG) Um certo volume de água é colocado num tubo em U, aberto nas extremidades. Num dos ramos do tubo, adiciona-se um líquido de densidade menor do que a da água o qual não se mistura com ela. Após o equilíbrio, a posição dos dois líquidos no tubo está corretamente representada pela figura.



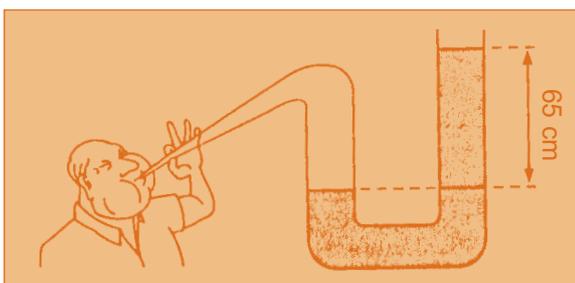
7) (UFMG) Observe a figura que representa o corte de um elevador hidráulico.



Esse elevador possui dois pistons, o menor com área A_1 e, o maior, com área $A_2 = 16 A_1$. Se for colocado um corpo de massa M sobre o pistom maior, será preciso, para equilibrar o conjunto, colocar sobre o pistom menor um outro corpo cuja massa é igual a:

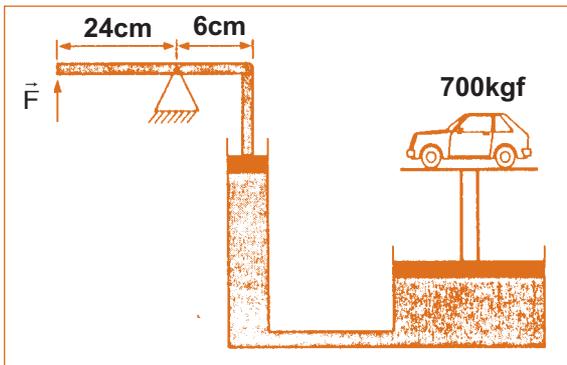
- a) $M/16$
- b) $M/4$
- c) M
- d) $4M$
- e) $16M$

8) (MACK-SP) 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. Nestas condições, pode-se afirmar que a pressão efetiva exercida pelos pulmões do estudante é de:



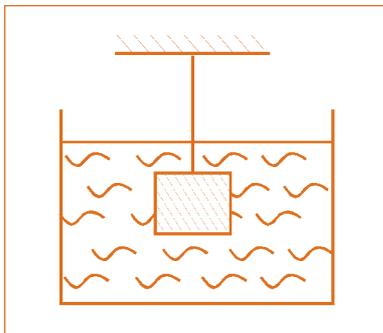
- a) 6,5 Pa
- b) $6,5 \cdot 10$ Pa
- c) $6,5 \cdot 10^2$ Pa
- d) $6,5 \cdot 10^3$ Pa
- e) $6,5 \cdot 10^4$ Pa

- 9) (PUC-MG) O macaco hidráulico representado na figura está em equilíbrio. Os êmbolos formam áreas iguais a 2a e 5a. Qual a intensidade da força \vec{F} ?



- a) 40kgf c) 70kgf e) 45kgf
b) 60kgf d) 50kgf

O enunciado abaixo se refere às questões 10 e 11



Em um recipiente contendo M gramas de água, coloca-se um corpo de massa m e volume V, suspenso por um fio como mostra a figura.

Sejam E, P e Pa os módulos do empuxo, do peso do corpo e do peso da água, respectivamente.

- 10) (PUC-MG) O módulo da tensão T, no fio, é dado por:
- a) $T = P$ d) $T = \frac{P}{E} + E$
b) $T = P - E$ e) $T = \frac{E}{P}$
c) $T = E$
- 11) (PUC-MG) O módulo da força resultante que atua no fundo do recipiente é:
- a) $F = Pa$ d) $F = Pa + E$
b) $F = Pa - E$ e) $F = \frac{Pa}{E}$
c) $F = E$

- 12) (PUC-MG) Três blocos A, B e C, de massa m, estão inteiramente submersos na água. Suas densidades são tais que $d_A > d_B > d_C$. Em relação ao módulo do empuxo E sofrido pelos blocos, é **CORRETO** afirmar:

- a) $E_A > E_B > E_C$ d) $E_A < E_B < E_C$
b) $E_A = E_B = E_C$ e) $E_A > E_B = E_C$
c) $E_A = E_B < E_C$

O enunciado seguinte refere-se às questões 13 e 14

(OSEC-SP) Um tanque contém água de densidade 1 g/cm^3 e profundidade 5,0m. Larga-se na superfície da água um corpo de densidade $2,5 \text{ g/cm}^3$. Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.

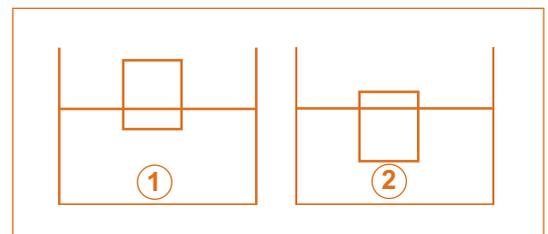
- 13) A aceleração da queda do corpo é de:

- a) 10 m/s^2 d) 4 m/s^2
b) 8 m/s^2 e) 2 m/s^2
c) 6 m/s^2

- 14) O tempo gasto para o corpo atingir o fundo do tanque é de aproximadamente:

- a) 1,29 s d) 3,0 s
b) 2,0 s e) 1,67 s
c) 1,5 s

- 15) (UFOP) Um mesmo bloco é colocado em recipientes com dois líquidos diferentes como na figura a seguir. Se C_1 e C_2 são as densidades dos líquidos e E_1 e E_2 são os empuxos, assinale a alternativa **CORRETA**:



- a) $C_1 > C_2$ e $E_1 = E_2$
b) $C_1 > C_2$ e $E_1 > E_2$
c) $C_1 = C_2$ e $E_1 < E_2$
d) $C_1 = C_2$ e $E_1 > E_2$

GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

1 - INTRODUÇÃO

Neste capítulo, estudaremos as leis que regem o movimento dos planetas, dos satélites e dos sistemas solares. Com este estudo, poderemos entender um pouco mais a respeito do universo que nos cerca e seremos capazes de compreender as relações básicas entre as grandezas que estão relacionadas com a Gravitação Universal.

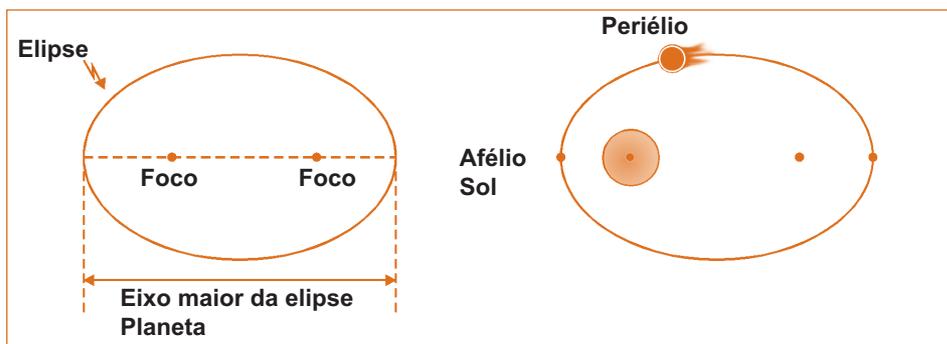
Desde os tempos mais remotos, o homem tenta compreender o universo. No início, acreditou-se que o Sol e a Lua eram deuses. Mais tarde, houve uma teoria (chamada Geocêntrica) em que a Terra era o centro do universo e todos os corpos celestes giravam em torno dela. Já há algum tempo, acreditamos no modelo Heliocêntrico, onde é a Terra (junto com os outros oito planetas) que gira em torno do Sol. No entanto, como já vimos no início, os dois modelos são válidos, dependendo do referencial adotado.

Vamos trabalhar, a partir de agora, com as Leis de Kepler e com a Lei de Newton para a gravitação e suas conseqüências.

2 - LEIS DE KEPLER

A) 1ª Lei de Kepler: Lei das órbitas

“Os planetas giram ao redor do Sol com órbitas elípticas, sendo que o Sol ocupa um dos focos dessa elipse.”

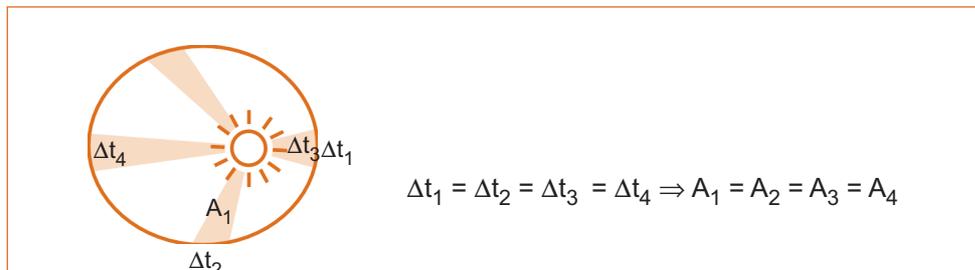


Essa lei mostra apenas a forma da órbita e é válida não só para o movimento dos planetas em torno do Sol. Se estivermos estudando o movimento de translação da Lua, a sua órbita será, também, uma elipse e a Terra ocupará um dos focos dessa elipse.

A principal conseqüência dessa lei é mostrar que a distância entre o Sol e um planeta não é constante. No caso particular da Terra, há uma época do ano em que estamos mais próximos do Sol e, em outro período, estamos mais afastados do Sol. A posição de maior aproximação do Sol chama-se PERIÉLIO e a de maior afastamento, AFÉLIO. Ao contrário do que parece para muitas pessoas, **não é** esta variação de distância que provoca as estações do ano.

B) 2ª Lei de Kepler: Lei das áreas

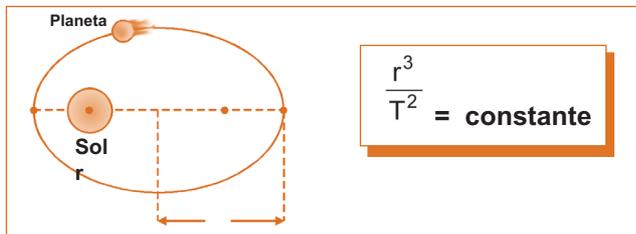
“A linha imaginária que liga um planeta ao Sol descreve áreas iguais em tempos iguais.”



Note que, para que a área percorrida seja igual nas duas regiões da figura anterior, é necessário que a distância percorrida seja maior na região do periélio do que na região do afélio. Como o tempo gasto nas duas regiões é o mesmo, podemos concluir que a velocidade de um planeta é maior quando ele está mais próximo do Sol.

C) 3ª Lei de Kepler: Lei dos períodos

“Para um mesmo sistema orbital, o quadrado do período de translação de um planeta é proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol.”

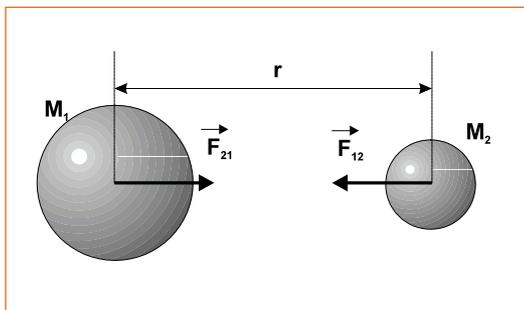


Dessa lei tiramos a conclusão de que, quanto mais afastado do Sol um planeta estiver, maior será o tempo por ele gasto para completar uma volta. Assim, o planeta que possui o menor período de translação no sistema solar é Mercúrio (cerca de 88 dias terrestres) e o de maior período é Plutão (mais de 240 anos terrestres).

3 - LEI DA GRAVITAÇÃO UNIVERSAL

No mesmo ano em que descobriu as três leis do movimento que levam o seu nome, o inglês Isaac Newton também conseguiu unificar os movimentos do céu e da terra através da sua lei da gravitação universal.

Vamos imaginar dois corpos (dois planetas, por exemplo) cujas massas são M_1 e M_2 e cujos centros geométricos estão separados por uma distância r , de acordo com a figura.



Newton conseguiu demonstrar que estes corpos irão se atrair gravitacionalmente com uma força cuja intensidade é diretamente proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os seus centros. A expressão matemática desta lei é:

$$F_G = G \frac{M_1 M_2}{r^2}$$

Onde G é a constante universal de gravitação e vale: $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2/\text{kg}^2$

Quando estamos estudando a atração que a Terra exerce sobre a Lua ou a atração que o Sol exerce sobre Júpiter, podemos perceber que estas forças possuem valores elevados pelo fato de as massas serem muito grandes. Porém, mesmo para pequenas massas (duas maçãs, por exemplo) há a ação de uma força gravitacional. Neste caso, a intensidade da força é muito pequena e, por isso, não conseguimos percebê-la.

4 - ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

Anteriormente, estudamos os lançamentos próximos à superfície da Terra, onde consideramos que a aceleração da gravidade era constante. Veremos, nesta seção, que a intensidade da aceleração da gravidade em um ponto depende da distância entre o ponto considerado e o centro da Terra.

Vamos imaginar que um corpo de massa m seja colocado em um ponto dentro do campo gravitacional terrestre. Haverá uma força de atração gravitacional entre este corpo e a Terra. Essa atração é chamada de força Peso.

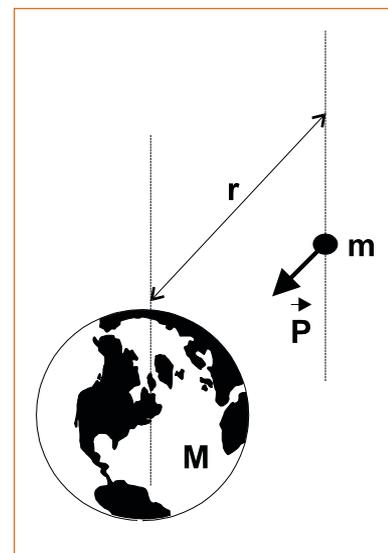
$$\text{Assim: } P = F_G \Rightarrow m \cdot g = G \frac{M m}{r^2} \quad g = G \frac{M}{r^2}$$

Desta expressão, podemos perceber que a aceleração da gravidade depende da massa do planeta que estamos estudando (no caso, a Terra) e a distância entre o ponto considerado e o centro deste planeta.

Note que a aceleração da gravidade não depende da massa m do corpo.

Observação:

Imagine um corpo localizado na superfície da Terra. A aceleração da gravidade que atua sobre este corpo depende da latitude em que ele está. A menor aceleração da gravidade ocorre na linha do equador e a maior, nos pólos.



5 - MOVIMENTO ORBITAL

Vamos considerar um satélite de massa m que se movimenta em uma órbita quase circular em torno da Terra. Para este satélite, podemos dizer que a força gravitacional funciona como força centrípeta, pois em todos os instantes de tempo ela altera a direção do vetor velocidade.

$$F_c = F_g \Rightarrow m \frac{v^2}{r} = G \frac{M m}{r^2} \qquad v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

Para o satélite, podemos escrever:

Esta é a relação entre a velocidade que o satélite deve possuir e a sua respectiva distância ao centro do planeta. Podemos concluir que quanto mais próximo da superfície do planeta for a órbita do satélite, maior deve ser a sua velocidade para que ele continue em órbita.

A conclusão a que chegamos é válida também para o caso dos planetas que orbitam em torno do Sol. O planeta de maior velocidade orbital é Mercúrio. Isto, aliado ao fato de Mercúrio percorrer a menor distância no espaço durante uma volta, faz com que ele possua o menor período de translação.

Uma outra observação interessante diz respeito à idéia comumente aceita de que “*não existe gravidade em uma órbita*” ou “*um astronauta em órbita em torno da Terra não possui peso*”. De acordo com a Lei da Inércia (1ª Lei de Newton), se não houvesse uma força gravitacional, o satélite (e o astronauta) não estariam descrevendo uma órbita. Qual o motivo, então, da **sensação** de ausência de gravidade?

Neste ponto, Isaac Newton demonstrou toda a sua genialidade. Imagine uma montanha tão alta que atinja pontos fora dos limites da atmosfera terrestre. Se lançarmos um objeto do alto dessa montanha, ele irá descrever um movimento parabólico e, após um certo tempo, chegar ao solo. A distância (medida na superfície da Terra) entre o ponto de lançamento e o ponto onde o objeto tocou o solo chama-se alcance. Se aumentarmos a velocidade de lançamento, o alcance também irá aumentar.

Pense, agora, que vamos arremessar o objeto com uma velocidade grande o suficiente para colocá-lo em órbita. Como o objeto não toca mais o solo, diremos que o alcance é infinito. Porém, a força responsável pela queda livre é a mesma que mantém a órbita. Newton concluiu que o movimento orbital é uma queda livre, ou seja, um astronauta em órbita está “caindo” no campo gravitacional terrestre juntamente com a sua nave. Como ambos estão caindo, a nave não consegue fornecer a noção de sustentação (não aplica uma força normal ao astronauta), dando-lhe a sensação da ausência de peso.

Questões de Aprofundamento

1) (PUC-MG) Considere os seguintes dados para resolver esta questão:

I - A 3ª Lei de Kepler nos informa que o quadrado do período de revolução de um planeta em torno do Sol é proporcional ao cubo da sua distância média ao Sol, ou seja, $T^2 \propto R^3$.

II - A distância Terra-Sol é denominada uma unidade astronômica: 1 u.a.

Suponha um planeta hipotético **P**, com período de revolução em torno do Sol de 27 anos terrestres e com órbita coplanar à órbita da Terra. Considere as duas órbitas circulares.

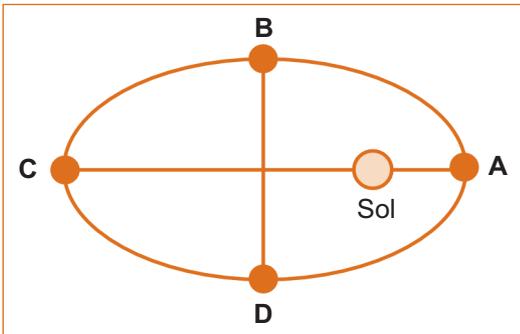
As distâncias máxima e mínima possíveis, em u.a., entre os dois planetas, são respectivamente:

- a) 10 e 8 b) 9 e 1 c) 7 e 2 d) 11 e 9 e) 8 e 7

2) (UFU) Os itens a seguir estão relacionados com as Leis da Gravitação Universal e dos Movimentos Planetários. Analise-os e indique o **INCORRETO**.

- a) A força responsável para manter um satélite artificial em torno da Terra é a atração gravitacional da Terra sobre o satélite.
- b) Segundo a 3ª Lei de Kepler, o planeta Júpiter possui um período de translação menor do que Marte.
- c) A força de atração entre dois corpos quaisquer é diretamente proporcional ao produto de suas massas.
- d) A órbita de um planeta em torno do Sol é uma elipse com o Sol em um dos focos.
- e) A aceleração da gravidade (g) em Uberlândia (Triângulo mineiro) é menor que no Rio de Janeiro.

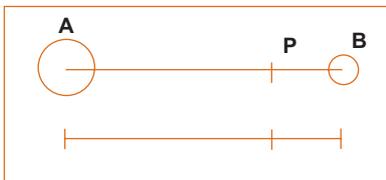
3) (UFOP) Com base nas Leis de Kepler, é **CORRETO** afirmar que:



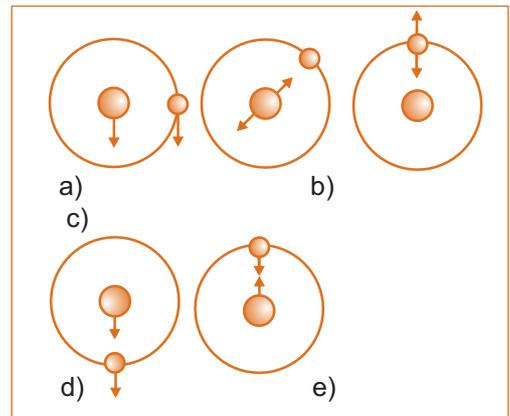
- O período de revolução de Saturno é maior que o de Urano.
- O tempo que um planeta gasta para percorrer o arco BCD é igual ao tempo que ele gasta para percorrer o arco DAB.
- A distância média da Terra ao Sol, no inverno, é maior que no Verão.
- Ao longo da curva ABC a velocidade do planeta diminui, e ao longo da curva CDA, aumenta.
- Os planetas com massas maiores são mais lentos, isto é, têm períodos de translação maiores.

4) (PUC-MG) Dois corpos **A** e **B**, de massas $16M$ e M , respectivamente, encontram-se no vácuo e estão separados por uma certa distância. Observa-se que um outro corpo, de massa m , fica em repouso quando colocado no ponto **P**, conforme a figura. A razão x/y entre as distâncias indicadas é igual a:

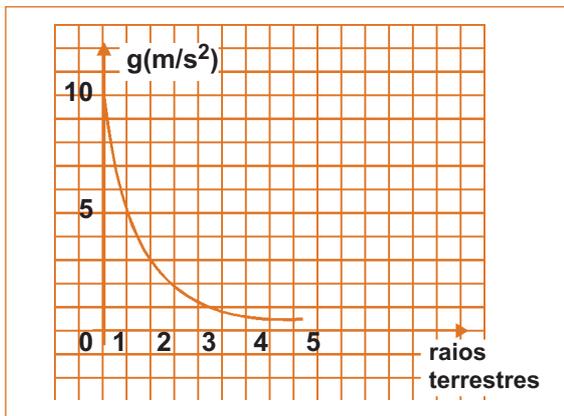
- 2
- 4
- 6
- 8
- 16



5) (PUC-MG) Considerando apenas a força de atração gravitacional entre a Terra e a Lua, a figura **CORRETA** é:



6) (UFRGS-RS) O gráfico representa a variação da aceleração da gravidade em função da distância a partir do centro da Terra, medida em raios terrestres.



De quantos raios terrestres devemos nos afastar da superfície da Terra para que o módulo da aceleração da gravidade seja, aproximadamente, de $1,1 \text{ m/s}^2$?

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

7) (UFMG) Para um observador, no interior de uma nave espacial em órbita em torno da Terra, os objetos do interior da nave parecem flutuar no espaço.

Indique a alternativa que apresenta a melhor explicação para esse fenômeno.

- A força gravitacional que atua sobre a nave é anulada pela força centrípeta.
- A força gravitacional que atua sobre a nave é anulada pela força exercida pelo motor da nave.
- A nave espacial está sujeita a forças gravitacionais muito pequenas.
- A nave espacial se movimenta numa região do espaço onde existe vácuo.
- Os objetos dentro da nave espacial e a nave têm a mesma aceleração.

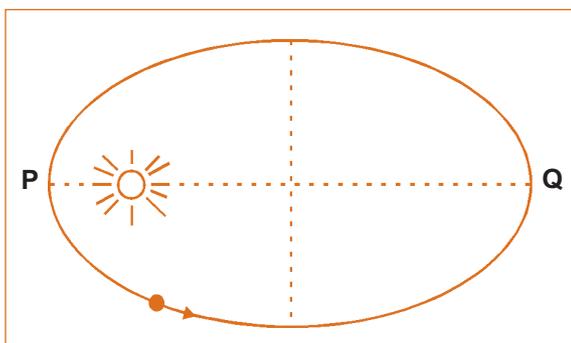
8) (PUC-MG) Admitamos que em futuro próximo sejam descobertos dois outros planetas do nosso sistema solar. O primeiro planeta (**A**) está a uma distância **R** do Sol e tem massa **M**. O segundo planeta (**B**) tem massa **8M** e está a uma distância **4R** do Sol. Leia com atenção as afirmativas seguintes:

- I - A velocidade de translação do planeta **A** é maior que a velocidade do planeta **B**.
 II - O período de translação do planeta **B** é oito vezes maior que o do planeta **A**.
 III - A razão entre as forças centrípetas desses planetas pode ser representada pelo numeral 2.

Assinale:

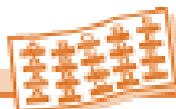
- a) se todas as afirmativas estiverem corretas. d) se apenas as afirmativas I e III estiverem corretas.
 b) se todas as afirmativas estiverem incorretas. e) se apenas as afirmativas II e III estiverem corretas.
 c) se apenas as afirmativas I e II estiverem corretas.

9) (UFMG) Esta figura representa a órbita elíptica de um cometa em torno do Sol.



Com relação aos módulos das velocidades desse cometa nos pontos **P** e **Q**, V_P e V_Q , e aos módulos das acelerações nesses mesmos pontos, a_P e a_Q , pode-se afirmar que:

- a) $V_P < V_Q$ e $a_P < a_Q$
 b) $V_P < V_Q$ e $a_P > a_Q$
 c) $V_P = V_Q$ e $a_P = a_Q$
 d) $V_P > V_Q$ e $a_P < a_Q$
 e) $V_P > V_Q$ e $a_P > a_Q$



GABARITO

CINEMÁTICA - Questões de fixação - págs. 8 e 9

- 1) b 2) b 3) a 4) d 5) e 6) e 7) c 8) d

MECÂNICA - Questões de fixação - págs. 23 a 28

- 1) d 2) c 3) 5 m/s^2 4) As forças citadas agem em corpos diferentes
 5) c 6) c 7) e 8) c 9) e 10) d 11) c 12) d 13) a 14) c
 15) d 16) c 17) c 18) a 19) d 20) c 21) e 22) b 23) d 24) a
 25) a 26) d 27) c 28) a 29) e 30) e 31) b 32) c 33) b 34) b
 35) b 36) a 37) d 38) b

VETORES - Questões de fixação - págs. 33 e 34

- 1) c 2) b 3) c 4) d 5) c 6) a 7) c 8) c 9) d

ESTÁTICA DE CORPOS RÍGIDOS - Questões de fixação - págs. 36 e 37

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

DINÂMICA - TRABALHO, POTÊNCIA E ENERGIA - Questões de fixação - págs. 41 a 43

- 1) a 2) a 3) I-a II-d 4) d 5) b 6) b 7) c 8) d 9) a 10) a 11) b 12) c
 13) c 14) d 15) d 16) d 17) a 18) b 19) d 20) e

HIDROSTÁTICA - Questões de aprofundamento - págs. 47 a 49

- 1) c 2) d 3) e 4) a 5) a 6) a 7) a 8) d 9) c 10) b 11) d 12) d
 13) c 14) a 15) a

GRAVITAÇÃO UNIVERSAL - Questões de aprofundamento - págs. 52 a 54

- 1) a 2) b 3) d 4) b 5) e 6) b 7) e 8) a 9) e

REVISÃO

- 1) Observe o "cartoon" abaixo



No "cartoon" apresentado, o gato Garfield se utiliza de uma Lei Física para justificar a sua preguiça, o que deixa o seu dono furioso.

Assinale a alternativa que apresenta uma situação prática que pode ser explicada pela mesma Lei citada por Garfield.

- a) O atrito que existe entre o pneu e o chão permite que o carro entre em movimento.
 b) No lançamento de uma nave, o gás que é expelido impulsiona o foguete para cima.
 c) Os corpos abandonados nas proximidades da Terra caem com a mesma aceleração.
 d) Quando o motorista de um veículo freia bruscamente, somos projetados para frente.
- 2) Um barco tenta atravessar um rio com 1,0 km de largura. A correnteza do rio é paralela às margens e tem velocidade de 4,0 km/h. A velocidade do barco, em relação à água, é de 3,0 km/h perpendicularmente às margens.

Nessas condições, pode-se afirmar que o barco

- a) atravessará o rio em 12 minutos.
 b) atravessará o rio em 15 minutos.
 c) atravessará o rio em 20 minutos.
 d) nunca atravessará o rio.
- 3) Na última Olimpíada, o vencedor da prova dos 100 m rasos foi o canadense Donovan Bailey e o da maratona (42,2 km) foi o sul-africano Josia Thugwane. Os valores mais próximos para as velocidades médias desses atletas são, respectivamente:
- a) 1,0 m/s e 0,5 m/s
 b) 10 m/s e 0,5 m/s
 c) 10 m/s e 5,0 m/s
 d) 50 m/s e 5,0 m/s

- 4) Uma pessoa lança uma bola verticalmente para cima. Sejam v o módulo da velocidade e a o módulo da aceleração da bola no ponto mais alto de sua trajetória.

Assim sendo, é **CORRETO** afirmar que, nesse ponto,

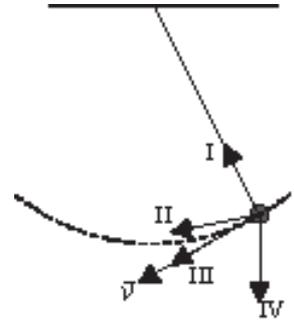
- a) $v = 0$ e $a \neq 0$.
 b) $v \neq 0$ e $a \neq 0$.
 c) $v = 0$ e $a = 0$.
 d) $v \neq 0$ e $a = 0$.
- 5) Um peixe está dentro de um aquário sem que haja contato físico entre ele e o fundo do aquário. O conjunto aquário + caixa é colocado sobre uma balança de molas. De acordo com esta situação, podemos afirmar que a balança:

- a) irá registrar o peso do peixe pelo fato de haver uma interação entre ele e a água e entre a água e o chão do aquário.
 b) irá registrar o peso do peixe pelo fato de haver uma intensa atração gravitacional entre ele e a balança.
 c) não irá registrar o peso do peixe pelo fato de inexistir interação direta ou indireta entre ele e o chão do aquário.
 d) não irá registrar o peso do peixe pelo fato de inexistir atração gravitacional entre ele, o aquário, o ar e a balança.
- 6) Em todas as situações abaixo há aceleração, **EXCETO** em:

- a) Um elevador saindo do repouso no primeiro andar e chegando ao décimo andar.
 b) Um avião no momento em que inicia o movimento de descida.
 c) Crianças em um carrossel que gira com velocidade constante.
 d) Um carro viajando numa estrada horizontal, em linha reta e com velocidade constante.
 e) Um satélite em órbita da Terra com velocidade constante.

- 7) Uma partícula se move presa a um cordão, seguindo a trajetória desenhada em pontilhado. A figura ao lado mostra seu vetor velocidade (\vec{v}) no instante representado. O atrito com o ar é desprezível. Dos outros vetores que se vêem na figura, aquele que melhor representa a aceleração da partícula é:

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



- 8) Durante a realização de uma gincana, uma equipe tinha como tarefa transportar, para o alto de uma mesa, um homem que estava deitado no chão. A estimativa do gasto de energia na realização de tal tarefa é, em joules:

- a) 10^1
 b) 10^2
 c) 10^3
 d) 10^4

- 9) Uma pessoa entra num elevador carregando uma caixa pendurada por um barbante frágil, como mostra a figura. O elevador sai do 6º andar e só pára no térreo. É **CORRETO** afirmar que o barbante poderá arrebentar

- a) no momento em que o elevador entrar em movimento, no 6º andar.
 b) no momento em que o elevador parar no térreo.
 c) quando o elevador estiver em movimento, entre o 5º e o 2º andares.
 d) somente numa situação em que o elevador estiver subindo.



- 10) Um paraquedista, alguns minutos após saltar do avião, abre seu paraquedas. As forças que atuam sobre o conjunto paraquedista/equipamentos são, então, o seu peso e a força de resistência do ar. Essa força é proporcional à velocidade.

Desprezando-se qualquer interferência de ventos, pode-se afirmar que,

- a) a partir de um certo momento, o paraquedista descera com velocidade constante.
 b) antes de chegar ao chão, o paraquedista poderá atingir velocidade nula.
 c) durante toda a queda, a força resultante sobre o conjunto será vertical para baixo.
 d) durante toda a queda, o peso do conjunto é menor do que a força de resistência do ar.
- 11) É comum escutar que:

"Os corpos flutuam na água porque são mais leves do que a água."

Essa afirmação

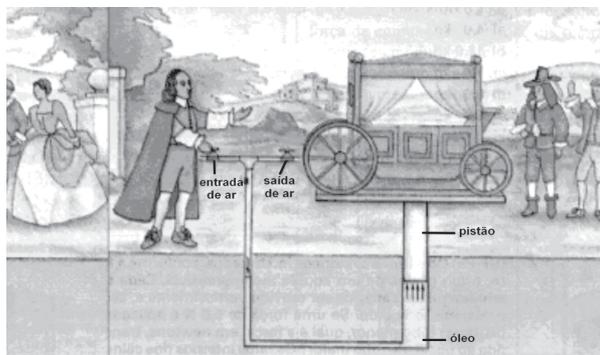
- a) está rigorosamente correta.
 b) supõe uma comparação entre volumes iguais do corpo e da água.
 c) só é válida para a água do mar, porque é salgada.
 d) explica porque os navios transatlânticos possuem grandes motores.

12) Um dos fenômenos da dinâmica de galáxias, considerado como evidência da existência de matéria escura, é que estrelas giram em torno do centro de uma galáxia com a mesma velocidade angular, independentemente de sua distância ao centro. Sejam M_1 e M_2 as porções de massa (uniformemente distribuída) da galáxia no interior de esferas de raios R e $2R$, respectivamente.

Nestas condições, a relação entre essas massas é dada por

- a) $M_2 = M_1$. b) $M_2 = 2M_1$. c) $M_2 = 4M_1$.
 d) $M_2 = 8M_1$. e) $M_2 = 16M_1$.

13) A figura está mostrando um dispositivo chamado elevador hidráulico, muito utilizado para se erguer objetos pesados com um mínimo de esforço. O dispositivo consiste em um tubo em forma de "U", no qual é colocado um óleo. Ao injetarmos ar comprimido pelo braço do tubo de menor calibre, o veículo da figura é erguido com grande facilidade.



A facilidade de se conseguir erguer o veículo se deve

- a) ao aumento da pressão do ar dentro do tubo em forma de "U".
 b) ao aumento da força pela transmissão da pressão através do óleo.
 c) à diminuição do peso do veículo que está sobre o pistão.
 d) à diminuição da pressão atmosférica dentro do tubo em forma de "U".

14) Em uma estrada reta e horizontal, o limite de velocidade é de 80km/h. A marca no asfalto, feita pelos pneus de um carro sob a ação dos freios, tem um comprimento de 90m. Sabe-se que, ao acionar os freios, o carro sofreu uma aceleração média de $5,0 \text{ m/s}^2$. De acordo com a situação apresentada, assinale a afirmativa **INCORRETA**.

- a) O movimento descrito pelo carro até parar foi uniformemente retardado.
 b) O motorista deve ser multado por excesso de velocidade.
 c) A velocidade do carro e a aceleração produzida durante a frenagem têm sentidos opostos.
 d) O carro leva 6,0 s para atingir o repouso.

15) A Terceira Lei de Kepler afirma, no caso de planetas de órbita circular, que o quadrado do tempo gasto para dar uma volta completa em torno do Sol é proporcional ao cubo do raio da órbita desse planeta. Sabendo que o movimento desses planetas é uniforme, pode-se concluir que, para eles, sua velocidade em torno do Sol é:

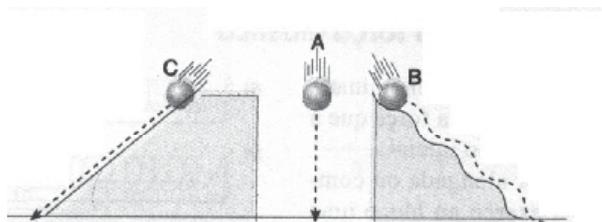
- a) diretamente proporcional ao raio da órbita.
 b) inversamente proporcional ao raio da órbita.
 c) inversamente proporcional ao quadrado do raio da órbita.

- d) inversamente proporcional à raiz quadrada do raio da órbita.
 e) diretamente proporcional ao quadrado do raio da órbita.

16) O novo Código Nacional de Trânsito prevê penalidades muito rigorosas aos infratores. Uma das infrações consideradas graves é o excesso de velocidade. Sabemos que um carro em alta velocidade, em um possível impacto, deve dissipar toda a energia cinética que ele possui, seja em calor, som e/ou deformação. Dobrando-se o valor da velocidade do carro, sua energia cinética se torna:

- a) 4 vezes menor.
 b) 2 vezes menor.
 c) 2 vezes maior.
 d) 4 vezes maior.

17) Três corpos de mesma massa são abandonados de uma mesma altura, mas caindo de três formas distintas, conforme o desenho abaixo. Com relação ao trabalho da força peso (T_P) nas três trajetórias, é **CORRETO** afirmar que:



- a) $T^C > T^B > T^A$ c) $T^A > T^C > T^B$
 b) $T^A > T^B > T^C$ d) $T^A = T^B = T^C$

18) Atira-se uma bola, verticalmente, para cima. A bola sobe e desce, caindo no mesmo ponto de onde foi lançada. Desprezando-se o atrito com o ar, pode-se dizer que

- a) a energia cinética da bola é 1/4 da energia cinética inicial quando ela, na subida, atinge a metade da altura máxima.
 b) a energia cinética da bola é a mesma, tanto na subida quanto na descida, quando ela estiver na metade da altura máxima.
 c) a energia cinética da bola é máxima quando ela atinge o ponto mais alto de sua trajetória.
 d) a energia potencial da bola é máxima no ponto de partida.

19) Um aluno leu a seguinte informação em uma revista de circulação nacional. "A usina de Furnas gera uma energia de 800 MW, o suficiente para abastecer toda a região centro-sul do estado de Minas Gerais."

A informação contém um erro físico. Uma forma de corrigir esse erro seria substituir:

- a) o valor da energia citada, pois esta energia é insuficiente para abastecer a região.
 b) o termo energia por potência, pois o valor citado tem unidade de potência e não de energia.
 c) o termo energia por potência e a unidade por kWh, pois ambos encontram-se mal empregados na frase.
 d) a unidade de energia usada MW para kW.

20) Um corpo de massa 2,0 kg é abandonado de uma altura $h = 10\text{m}$. Observa-se que, durante a queda, é gerada uma quantidade de calor igual a 100 J, em virtude do atrito com o ar. Considerando $g = 10 \text{ m/s}^2$, podemos concluir que a velocidade do corpo, imediatamente antes de tocar o solo, em m/s, vale:

- a) $10\sqrt{2}$ b) 10 c) 20 d) 200

GABARITO

- 1) d 2) c 3) c 4) a 5) a 6) d 7) a 8) c 9) b 10) a
 11) b 12) d 13) b 14) a 15) d 16) d 17) d 18) b 19) b 20) b