

# ABC da Física I: **MECÂNICA**

**LEONARDO DIEGO LINS**  
(AUTOR)



**E-BOOK**





LEONARDO DIEGO LINS  
(AUTOR)

# ABC da Física I:

---

# Mecânica

E-BOOK



Paulo Afonso - BA

2020

**Diagramação e Capa:**

Rubervânio Lima

(editoraoxente@gmail.com)

**Impressão:**

Editora Oxente

**Fotos da capa cedidas por:**

Lenilson de Oliveira Silva (Pataxó)

**Realização:**

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA HUMANA



E-mail: editora.sabeh@gmail.com

**CONTRIBUIÇÕES:**

Carlos Alberto Batista dos Santos

Lenilson de Oliveira Silva (Pataxó)

Maíra Cavalcanti Coelho

Maísa Cavalcanti Coelho

Nahíma Costa Castro Silva (Pataxó)

Sandra Valéria Silva Lins

Stefane Amorim Melo

Uilian Conceição de Souza Rodrigues (Pataxó)

---

**Catálogo na publicação (CIP)**

Ficha Catalográfica

---

L759a Lins, Leonardo Diego, autor,  
**ABC da Física 1 - Mecânica** /Leonardo Diego Lins (autor)  
Carlos Alberto Batista dos Santos, Lenilson de Oliveira Silva  
Maíra Cavalcanti Coelho, Maísa Cavalcanti Coelho, Nahíma  
Costa Castro Silva, Sandra Valéria Silva Lins, Stefane  
Amorim Melo Uilian Conceição de Souza Rodrigues, orgs.  
Paulo Afonso/BA: SABEH, 2020.

188 p.; il.

**ISBN: 978-65-5732-001-3**

1. Física - Mecânica
2. Material didático
3. Física – Estudo e ensino - I. Título

CDD: 530.07

---

**E-BOOK**

## CONSELHO EDITORIAL DA SABEH

### Brasil:

Dr. Juracy Marques (UNEB/PPGECOH)  
Dr. Alfredo Wagner Berno de Almeida (UFAM/PPGAS);  
Dr. João Pacheco de Oliveira (UFRJ/Museu Nacional);  
Dra. Maria Cleonice de Souza Vergne (CAAPA/PPGEcoH/UNEB);  
Dra. Eliane Maria de Souza Nogueira (NECTAS/PPGEcoH/UNEB);  
Dr. Fábio Pedro Souza de F. Bandeira (UEFS/PPGEcoH);  
Dr. José Geraldo Wanderley Marques (UNICAMP/UEFS/PPGEcoH);  
Dr. Júlio Cesar de Sá Rocha (PPGEcoH/UNEB);  
Dra. Flavia de Barros Prado Moura (UFAL);  
Dr. Sérgio Malta de Azevedo (PPGEcoH/UFC);  
Dr. Ricardo Amorim (PPGEcoH/UNEB);  
Dr. Ronaldo Gomes Alvim (Centro Universitário Tiradentes–AL);  
Dr. Artur Dias Lima (UNEB/PPGECOH);  
Dra. Adriana Cunha – (UNEB/PPGECOH);  
Dra. Alpina Begossi (UNICAMP);  
Dr. Anderson da Costa Armstrong (UNIVASF);  
Dr. Luciano Sérgio Ventin Bomfim (PPGEcoH/UNEB);  
Dr. Ernani M. F. Lins Neto (UNIVASF);  
Dr. Gustavo Hees de Negreiros (UNIVASF/SABEH);  
Dr. Carlos Alberto Batista Santos (PPGEcoH/UNEB);  
Draª Maria do Socorro Pereira de Almeida (UFRPE)

### Internacional:

Dr. Ajibula Isau Badiru – NIGÉRIA (UNIT);  
Dr. Martín Boada Jucá – ESPANHA (UAB);  
Dra. Iva Miranda Pires – PORTUGAL (FCSH);  
Dr. Paulo Magalhães – PORTUGAL (QUERCUS);  
Dr. Amado Insfrán Ortiz – PARAGUAI (UNA);  
Dra. María José Aparicio Meza – PARAGUAI (UNA);  
Dr. Luca Valera - CHILE (PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE).

## COMITÊ CIENTÍFICO

Lutiane Queiroz de Almeida (DG/UFRN)  
Oswaldo Girão da Silva (DCG/UFPE)  
Valéria Raquel Porto de Lima (DG/UEPB)  
Saulo Roberto de Oliveira Vital (CERES/UFRN)

## PREFÁCIO

A interculturalidade como proposta pedagógica na educação formal, busca desenvolver relações de cooperação, respeito e aceitação, preservando as identidades culturais e propiciando a troca de experiências, saberes e fazeres educativos, envolvendo diferentes sujeitos e culturas.

A partir dessa proposta, identificamos o fazer do autor nesta obra didática, primeiramente na abordagem dos conteúdos formais do componente curricular Física – Mecânica, cujos conceitos fundamentais, habilidades e competências são necessários à formação teórica dos professores/formadores/estudantes da Licenciatura Intercultural com Habilitação em Ciências da Natureza e Matemática e posteriormente aos estudantes indígenas na continuidade da vida acadêmica.

A transposição dos conteúdos didáticos é essencial à dinâmica da educação intercultural, assim como a sensibilidade e a percepção dos formadores que constroem com os discentes a contextualização dos processos, fatos e fenômenos naturais.

Dessa forma, o presente livro, primeiro de uma tríade, vem contribuir na construção de uma aprendizagem, participativa, colaborativa e mais humana, inserindo os temas acadêmicos sistematizados na proposta pedagógica intercultural, compondo de forma socialmente justa os componentes curriculares dos estudos da Física na Educação Intercultural.

A iniciativa provoca os formadores dos processos educativos, e nos solicita a construção de um novo olhar sobre as demais áreas dos saberes constituídos e o currículo intercultural. Desafio posto, cabe a todos nós, participes dos processos de educação formal e informal, repensar as práticas e propor a construção de materiais didáticos direcionados à cooperação, aceitação e respeito às diversas identidades culturais no Brasil, especialmente nos sertões, onde as comunidades e povos tradicionais tem uma forma própria de ver, ser e estar no mundo.

Grato pela oportunidade de participar dessa construção, votos de sucesso a todos os educadores interculturais!

**Carlos Alberto Batista Santos**

Dr. em Etnobiologia e Conservação da Natureza (UFRPE).  
Docente do Programa de Pós-Graduação em Ecologia Humana e Gestão  
Socioambiental (PPGEcoH), Universidade do Estado da Bahia (UNEB),  
*Campus III, Juazeiro.*

# APRESENTAÇÃO

Este livro didático complementar é a tentativa de buscar uma nova percepção para o aluno do Ensino Médio e Pré-vestibular no que diz respeito ao ensino e aprendizagem de Física na Escola indígena. O texto, embora se apresente com uma linguagem um pouco rebuscada, não chega a ser excessivamente formal, pois foi construído com a ajuda permanente dos professores indígenas, buscando alternativas de inclusão da interculturalidade no conteúdo apresentado em sala de aula.

No capítulo I são apresentadas noções básicas de vetores, na assimilação da diferença entre grandezas escalares e vetoriais, como também a operacionalização com vetores. O conteúdo de vetores é essencial para compreensão da mecânica como também outras partes da Física, como a Eletrostática e Eletromagnetismo. Esperamos, com isso, que o aluno fique apto a somar, subtrair e decompor vetores. Consequentemente, utilizem de forma adequada as regras do polígono, do paralelogramo e Lei dos cossenos, traduzindo-se, assim, numa aprendizagem significativa o conceito de grandezas vetoriais.

No capítulo II são desenvolvidas as noções básicas de Cinemática Escalar do ponto material. É importante destacar que os conceitos estudados nesse capítulo serão fundamentais para o estudo do próximo capítulo. Por isso, o aluno deverá inicialmente conhecer meios de determinar a posição de um corpo, ou seja, saber informar onde o corpo está. Para isso, ele precisa assimilar o conceito de referencial, no qual toda física newtoniana está fundamentada. Sugiro que apresente o conceito de referencial através de uma árvore próxima da escola e a partir disto, determinar a posição de um aluno, ônibus escolar ou de um avião em relação à árvore ou da própria escola. Tornando o aluno

apto a perceber que posição e movimento estão relacionados a um referencial.

Na sequência, o aluno deverá estar apto sobre o conceito de trajetória e tipos de trajetórias, retilínea e parabólica, que está relativo a um referencial adotado. Pois, em movimentos que ocorrem em trajetórias a posição de um corpo é dada pelo espaço. Sendo assim, é importante mostrar o significado da função horária do espaço. Vale ressaltar que a variação do espaço ocorrida em um determinado intervalo de tempo introduz o conceito de velocidade escalar. Outro conceito fundamental é o da aceleração escalar, cuja definição deriva da variação da velocidade escalar num certo intervalo de tempo. Facilmente representadas nas freadas (desaceleração) e arrancadas (aceleração) dos automóveis e animais.

O capítulo III e IV trazem os conceitos do Movimento Uniforme e Movimento Uniformemente variado e suas relações gráficas, como também suas aplicações no cotidiano de maneira a identificar suas constantes e saber descrever de diversas maneiras: por meio de gráficos, tabelas e equações características do movimento.

Logo após, o Capítulo V, VI, VII os conteúdos abordados: Movimento na vertical, Movimento Oblíquo e Lançamento Horizontal, trazem os conceitos de Movimento Uniforme e Uniformemente aplicados tanto na horizontal como na vertical. Trazendo o conceito da aceleração da gravidade, como uma constante.

Já no Capítulo VIII, traz os conceitos do Movimento Circular, no qual o aluno deverá ser capaz de distinguir as grandezas escalares lineares e angulares, além de relacionar esses novos conceitos ao seu cotidiano, por exemplo, acoplamento de polias de eixos iguais e diferentes.

Em seguida no capítulo IX traz os conceitos de força e massa, bem como as Leis de Newton, que nortearão o estudo da Dinâmica.

Podemos dizer, sem sombra de dúvidas, que este capítulo nos traz várias possibilidades de aplicação do conteúdo com o cotidiano do aluno, bem como a possibilidade de contextualização e caracterização de fenômenos naturais. Despertando a curiosidade e conseqüentemente um maior envolvimento do aluno em sala de aula e fora dela. É fundamental que o discente observe que a força é uma grandeza vetorial capaz de provocar variações de velocidade, que também é uma grandeza vetorial, em um determinado corpo.

Lembre-se que é importante trazer para a sala de aula o contexto histórico desde as ideias aristotélicas de força, como também as ideias de Galileu Galilei sobre inércia até o momento histórico de Isaac Newton. Lembrando que a ciência é uma constante quebra de paradigmas, que está em constante evolução. É preciso enfatizar as principais forças encontradas na natureza, exemplificando no cotidiano do aluno. É preciso ratificar que as forças de ação e reação nunca se equilibram mutuamente, já que ocorre em corpos distintos. Aconselho que tragam vários exemplos para a sala de aula e instiguem o aluno a trazer também.

No capítulo X, o conceito de trabalho e potência é abordado de forma que o aluno perceba que realizar trabalho é transferir energia, ação que exige sempre a presença de uma força. Quanto a potência o aluno deverá ter a concepção que essa grandeza traduz a rapidez de transferência de energia.

Posteriormente no Capítulo XI, aborda um dos conceitos mais importantes da Física, Energia. O docente deverá salientar que toda a Física se fundamenta no princípio geral de conservação da energia, princípio este aplicado no capítulo em sistemas mecânicos. Prontamente no Capítulo XII, os conteúdos sobre impulso e quantidade de movimento, são apresentados como grandezas vetoriais (intensidade, direção e sentido) nos fenômenos do cotidiano em que se mostram. Complementando essa abordagem, no Capítulo XIII os tipos de colisões são definidos

e diferenciados.

Na sequência, o capítulo XV nos traz os conceitos da Gravitação Universal, que contextualmente instigam aos alunos a buscar outros conhecimentos paralelos, como por exemplo Astronomia e Astrofísica. Basicamente, as ideias apresentadas são as três Leis de Kepler e a Lei da Gravitação de Newton. Sugiro que a apresentação da gravitação traga uma abordagem histórica sobre os modelos dos planetas geocêntrico e heliocêntrico. Temas como: Big-bang e a condição do planeta-anão Plutão instigam a curiosidade do aluno.

Por fim, no capítulo XIV trago os conceitos norteadores da hidrostática, fundamentais pelo seu caráter histórico como também por sua praticidade e aplicabilidade no dia a dia do aluno. A hidrostática ou Estática dos fluidos é baseada nos teoremas de Stevin, Pascal e Arquimedes. Inicialmente é importante apresentar ao aluno as definições de densidade e pressão, que servirão de subsunçores para os demais conteúdos. Na sequência, apresentamos os demais teoremas, discorrendo suas aplicações no cotidiano. Este capítulo nos traz várias possibilidades de aplicação no cotidiano do aluno, como por exemplo a navegação em canoas – podendo contextualizar com os conceitos de densidade, pressão e empuxo.

Vale ressaltar que ao final de cada capítulo propomos desenvolver atividades dos principais vestibulares do país com o intuito de complementar e fortalecer a compreensão dos assuntos abordados em sala de aula.

# SUMÁRIO

PREFÁCIO	06
APRESENTAÇÃO	08
CAPÍTULO 1 - VETORES	15
CAPÍTULO 2 - CINEMÁTICA	24
CAPÍTULO 3 - MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME	32
CAPÍTULO 4 - MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO	48
CAPÍTULO 5 - MOVIMENTO NA VERTICAL	57
CAPÍTULO 6 - LANÇAMENTO OBLÍQUO	64
CAPÍTULO 7 - LANÇAMENTO HORIZONTAL	71
CAPÍTULO 8 - MOVIMENTO CIRCULAR	78
CAPÍTULO 9 - DINÂMICA	90
CAPÍTULO 10 - TRABALHO (W)	121
CAPÍTULO 11 - ENERGIA MECÂNICA ( $E_{MEC}$ )	129
CAPÍTULO 12 - IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO	138
CAPÍTULO 13 - COLISÕES	148
CAPÍTULO 14 - LEIS DE KEPLER	154
CAPÍTULO 15 - HIDROSTÁTICA	166
CAPÍTULO 16 - PRINCÍPIO DE PASCAL	178
POSFÁCIO	186



---

ABC da Física I:

# Mecânica

---



## CAPÍTULO 1

### VETORES



#### GRANDEZAS ESCALARES E VETORIAIS

Na Física tratamos de dois tipos principais de grandezas: as grandezas escalares e grandezas vetoriais.

#### GRANDEZAS ESCALARES

A grandeza escalar é aquela que fica perfeitamente caracterizada quando conhecemos apenas sua **intensidade (módulo)** acompanhada pela correspondente unidade de medida. Como exemplos de grandezas físicas escalares, por exemplo: a massa de um corpo (80 kg), a temperatura do corpo (37,5 °C), o volume (30 m<sup>3</sup>), a densidade d'água (1000 kg/m<sup>3</sup>), a pressão atmosférica (10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>), distância percorrida (100m) etc.

#### GRANDEZAS VETORIAIS

As grandezas físicas vetoriais são caracterizadas pela **intensidade (módulo)**, pelo **sentido** e **direção**. Geralmente a grandeza vetorial é indicada por uma letra com uma setinha, por exemplo,  $\vec{v}$ , e o módulo ou intensidade, por  $|\vec{v}|$ , ou simplesmente por  $v$  (negrito). A velocidade ( $\vec{v}$ ), a aceleração ( $\vec{a}$ ), a força ( $\vec{F}$ ), o deslocamento ( $\vec{d}$ ) são exemplos de grandezas vetoriais.

**Atenção:** 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  $\alpha$ ) 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:

$|\vec{a}|$  ou  $a$  (negrito)

### Observação:

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

- 1) Somente poderemos dizer que dois vetores são iguais quando eles possuírem mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.
- 2) Um vetor tem uma origem e uma extremidade.

origem  $\longrightarrow$  extremidade

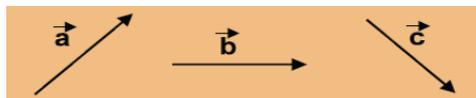
- 3) Somente poderemos dizer que dois vetores são iguais quando eles possuírem mesmo módulo, mesma direção e mesmo sentido.

## OPERAÇÕES COM VETORES

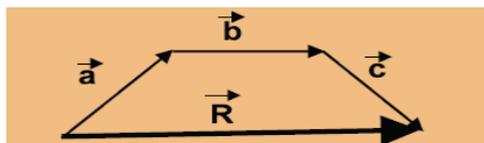
### ADIÇÃO OU SOMA

#### Método do Polígono

Imagine que queiramos somar os três vetores abaixo.



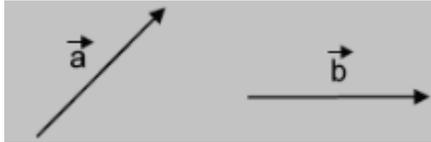
Pelo método do polígono, vamos enfileirando os vetores, tomados ao acaso, fazendo coincidir a origem de um vetor com a extremidade do anterior. O vetor soma (ou resultante) terá origem na origem do primeiro e extremidade na extremidade do último vetor.



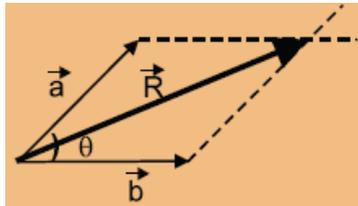
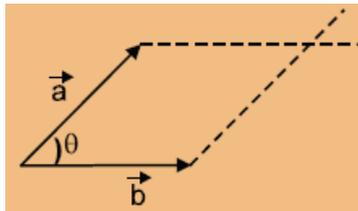
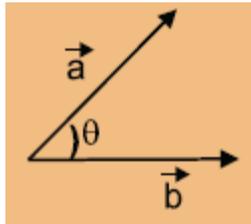
Apesar de este método ser gráfico, podemos identificar o módulo do vetor resultante.

### Método do Paralelogramo

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



Inicialmente devemos fazer coincidir as origens dos dois vetores.



Note que os dois vetores formam entre si um ângulo  $\theta$ . A partir da extremidade de um dos vetores, traçamos uma reta paralela ao outro. 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:

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

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

**Atenção:**

Quando  $\theta = 0^\circ$ : Vetores com mesma direção e sentido, ocorrerá a adição dos vetores e esta é a maior resultante entre dois vetores.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

Quando  $\theta = 180^\circ$ : Vetores com mesma direção e sentidos opostos, ocorrerá a subtração dos vetores e esta é a menor resultante entre dois vetores.

$$\vec{R} = \vec{a} - \vec{b}$$

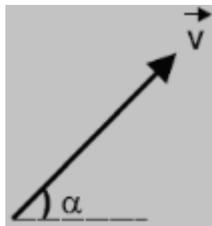
Quando  $\theta = 90^\circ$ : Vetores perpendiculares entre si ocorrerá o teorema de Pitágoras entre os vetores.

$$\vec{R} = \vec{a} + \vec{b}$$

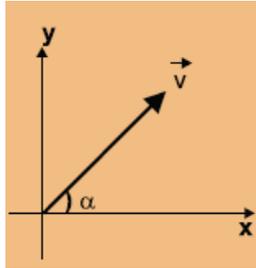
$$R = \sqrt{a^2 + b^2}$$

**DECOMPOSIÇÃO DE VETORES**

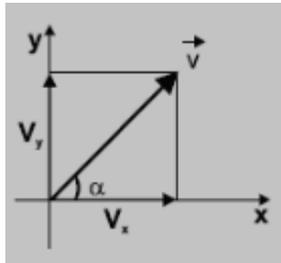
Anteriormente, através da soma ou composição, obtínhamos um único vetor a partir de dois outros. Agora, pela decomposição, a partir de um vetor podemos obter dois outros. Estudaremos a decomposição de um vetor em componentes ortogonais. Seja um vetor  $\vec{v}$  inclinado de um ângulo  $\alpha$  em relação 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  $\vec{v}$  desenhemos 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. Nos quais os módulos das componentes do vetor  $\vec{v}$  são:

$$\text{sen } \alpha = \frac{V_y}{v} \Rightarrow V_y = v \cdot \text{sen } \alpha$$

$$\text{cos } \alpha = \frac{V_x}{v} \Rightarrow V_x = v \cdot \text{cos } \alpha$$

Vale lembrar:

$$\vec{V} = \vec{V}_X + \vec{V}_Y$$

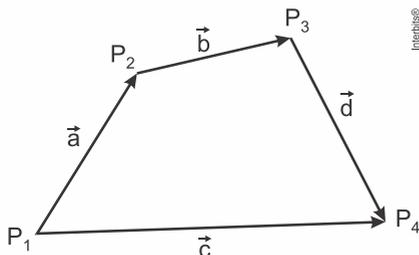
$$V^2 = V_X^2 + V_Y^2$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) A adição de dois vetores de mesma direção e mesmo sentido resulta num vetor cujo módulo vale 8. Quando estes vetores são colocados perpendicularmente, entre si, o módulo do vetor resultante vale  $4\sqrt{2}$ . Portanto, os valores dos módulos destes vetores são:

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

(02)



Uma partícula move-se do ponto  $P_1$  ao  $P_4$  em três deslocamentos vetoriais sucessivos  $\vec{a}$ ,  $\vec{b}$  e  $\vec{d}$ . Então o vetor de deslocamento  $\vec{d}$  é

- a)  $\vec{c} - (\vec{a} + \vec{b})$                       b)  $\vec{a} + \vec{b} + \vec{c}$                       c)  $(\vec{a} + \vec{c}) - \vec{b}$   
d)  $\vec{a} - \vec{b} + \vec{c}$                       e)  $\vec{c} - \vec{a} + \vec{b}$

(03) Um avião, após deslocar-se 120 km para nordeste (NE), desloca-se 160 km para sudeste (SE). Sendo um quarto de hora, o tempo total dessa viagem, o módulo da velocidade vetorial média do avião, nesse tempo, foi de:

- a) 320 km/h                      b) 480 km/h  
c) 540 km/h                      e) 800 km/h  
d) 640 km/h

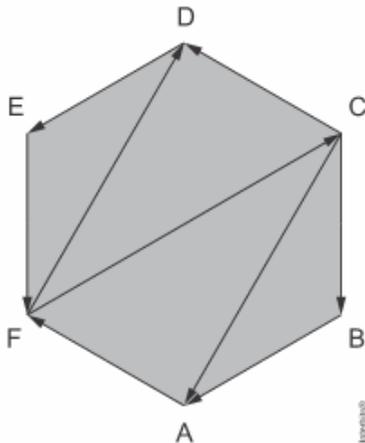
## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) Considere um móvel que percorre a metade de uma pista circular de raio igual a 10,0m em 10,0s. Adotando-se  $\sqrt{2}$  como sendo 1,4 e  $\pi$  igual a 3, é correto

afirmar:

- a) O espaço percorrido pelo móvel é igual a 60,0m.
- b) O deslocamento vetorial do móvel tem módulo igual a 10,0m.
- c) A velocidade vetorial média do móvel tem módulo igual a 2,0m/s.
- d) O módulo da velocidade escalar média do móvel é igual a 1,5m/s.
- e) A velocidade vetorial média e a velocidade escalar média do móvel têm a mesma intensidade.

(02) Um robô no formato de pequeno veículo autônomo foi montado durante as aulas de robótica, em uma escola. O objetivo do robô é conseguir completar a trajetória de um hexágono regular ABCDEF, saindo do vértice A e atingindo o vértice F, passando por todos os vértices sem usar a marcha ré. Para que a equipe de estudantes seja aprovada, eles devem responder duas perguntas do seu professor de física, e o robô deve utilizar as direções de movimento mostradas na figura a seguir:



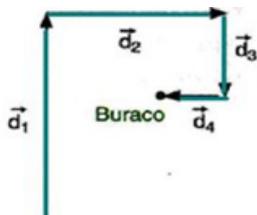
Suponha que você é um participante dessa equipe. As perguntas do professor foram as seguintes:

- I. É possível fazer a trajetória completa sempre seguindo as direções indicadas?
- II. Qual segmento identifica o deslocamento resultante desse robô?

Responda às perguntas e assinale a alternativa **CORRETA**.

- a) I – Não; II – AF
- b) I – Não; II – CB
- c) I – Não; II – Nulo
- d) I – Sim; II – FC
- e) I – Sim; II – AF

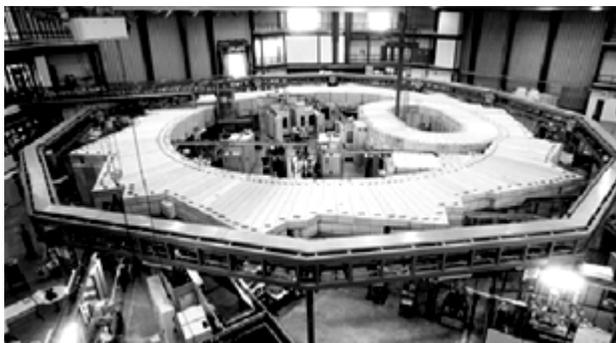
(03) Um jogador de golfe necessita de quatro tacadas para colocar a bola no buraco. Os quatro deslocamentos estão representados na figura abaixo.



Sendo  $d_1 = 15$  m,  $d_2 = 6,0$  m,  $d_3 = 3,0$  m e  $d_4 = 1,0$  m, a distância inicial da bola ao buraco era, em metros, igual a:

- (a) 5,0 (b) 11 (c) 13  
(d) 17 (e) 25

(04) O Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS), instalado no Pólo Tecnológico de Campinas-SP, é o único desse gênero existente no Hemisfério Sul. O LNLS coloca o Brasil num seleto grupo de países capazes de produzir luz síncrotron. Luz síncrotron é a intensa radiação eletromagnética produzida por elétrons de alta energia num acelerador de partículas.



Com base no Texto responda:

O acelerador de partículas do Laboratório Nacional de Luz Síncrotron (LNLS) tem a forma de um dodecágono regular inscrito em um círculo com diâmetro de 30 metros. Em cada um de seus vértices, está instalado um dipolo (eletroímã usado para defletir os elétrons de suas trajetórias nos vértices), conforme figura ao lado. A distância, em metros, entre dois dipolos adjacentes é



## CAPÍTULO 2

### CINEMÁTICA



#### Cinemática Escalar

A cinemática estuda o movimento dos corpos, independentemente das causas desse movimento. Seu objetivo é descrever apenas como se movem os corpos.

#### CONCEITOS:

**Ponto Material** – A ideia física de ponto material é a de um corpo cujas dimensões possam ser desprezadas em relação a outras dimensões envolvidas no fenômeno que se esteja examinando.

**Corpo extenso** – É todo corpo cujas dimensões interferem no estudo de um determinado fenômeno.



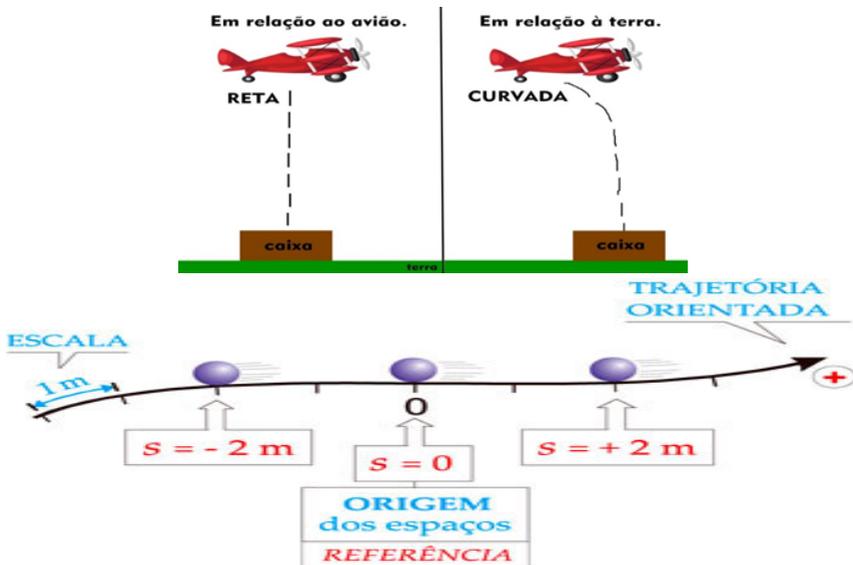
**Referencial** – É o lugar onde está localizado de fato um observador em relação ao qual um dado fenômeno (como um corpo em movimento) está sendo analisado. Por exemplo, quando o movimento é analisado a partir de um referencial preso a Terra, imaginemos um observador ligado a ela e nos transmitindo as imagens do fenômeno como ele o vê.



**Movimento e repouso** – Um corpo está em movimento em relação a um dado referencial quando as sucessivas posições ocupadas pelo corpo, em relação a esse referencial, se modificam no decorrer do tempo. Caso contrário, dizemos que o corpo está em repouso em relação a esse mesmo referencial.

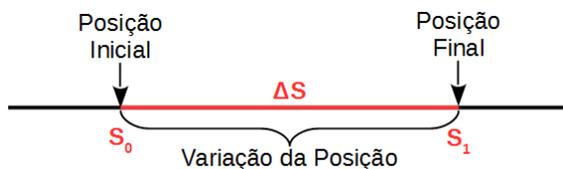
**Trajatória** – Corresponde à linha geométrica descrita por um ponto material ao se deslocar em relação a um dado referencial. A forma assumida pela trajetória depende do referencial adotado.

**Espaço** – representado pela letra  $S$  é a medida algébrica, ao longo de uma determinada trajetória, da distância do ponto onde se encontra o móvel a ponto de referência adotado como origem.



**Deslocamento Escalar** – É a variação do espaço, representamos por  $\Delta S$ , dado pela diferença entre o espaço final e o espaço inicial.

$$\Delta S = S_1 - S_0$$



## VELOCIDADE ESCALAR

Imaginemos uma formiga em movimento e um homem andando sem correr. Qual deles é o mais rápido? Certamente o homem é o mais rápido, pois, num mesmo intervalo de tempo, o homem percorrerá uma distância muito maior do que a percorrida pela formiga. Em vez de dizer que o homem é o mais rápido, podemos dizer que a velocidade do homem é maior do que a velocidade da formiga.

A velocidade escalar média é a relação entre o deslocamento escalar  $\Delta S$  e o correspondente intervalo de tempo  $\Delta T$ .

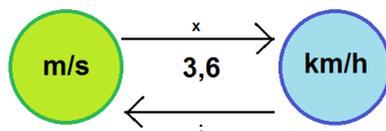
$$V_m = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

No Sistema Internacional (SI), a unidade de velocidade é metro por segundo (m/s). É também muito comum o emprego da unidade quilômetro por hora (km/h). Pode-se demonstrar que 1 m/s é equivalente a 3,6 km/h. Assim temos:

### Classificação do Movimento

**Movimento Progressivo** – Acontece quando a velocidade escalar é positiva, significa que o móvel se desloca a favor da orientação da trajetória.

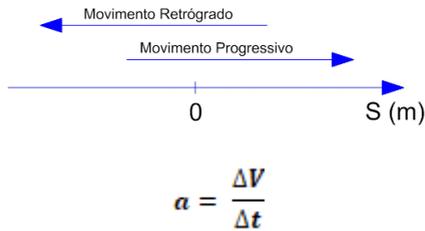
### Conversão



**Movimento Retrógrado** – Acontece quando a velocidade escalar é negativa, significa que o móvel se desloca contra a orientação da trajetória.

## ACELERAÇÃO ESCALAR

A **aceleração** é um conceito muito importante na física, na medida em que determina a quantidade de movimento de um corpo. Em outras palavras, a aceleração é uma grandeza que indica como a variação da velocidade de um corpo ao longo do tempo.



Note que, a aceleração trata-se de uma grandeza vetorial, visto que possui módulo (intensidade), direção (leste, oeste, norte, sul) e sentido (para direita, para a esquerda). No Sistema Internacional (SI) a aceleração é medida em m/s<sup>2</sup>.

### Classificação da Aceleração

**Acelerado** – Acontece quando a aceleração escalar é positiva.

**Retardado** – Acontece quando a aceleração escalar é negativa.

### Classificação velocidade/aceleração

Velocidade	Aceleração	Movimento
Positiva	Positiva	Progressivo Acelerado
Positiva	Negativa	Progressivo Retardado
Negativa	Positiva	Retrógrado Retardado
Negativa	Negativa	Retrógrado Acelerado

## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

(01) Um aluno do Opará está sentado na poltrona de um metrô que se move em linha reta. Num certo instante, ele joga uma bola verticalmente para cima. Pode-se afirmar que a bola:

- a) cairá nas mãos do garoto apenas se o trem mantiver a velocidade constante enquanto ela estiver no ar;
- b) cairá nas mãos do garoto apenas se o trem reduzir sua velocidade enquanto ela estiver no ar;
- c) sempre cairá atrás do garoto;
- d) sempre retornará às mãos do garoto;
- e) sempre cairá à frente do garoto.

**(02)** O professor de física, verificando em sala de aula que todos os seus alunos encontram-se sentados, passou a fazer algumas afirmações para que eles refletissem e recordassem alguns conceitos sobre movimentos. Das afirmações seguintes formuladas pelo professor, a única correta é:

- a) Pedro (aluno da sala) está em repouso em relação aos demais colegas, mas todos nós estamos em movimento em relação à Terra.
- b) Mesmo para mim (professor), que não paro de andar, seria possível eu achar um referencial em relação ao qual eu estivesse em repouso.
- c) A velocidade dos alunos que eu consigo observar agora, sentados em seus lugares, é nula para qualquer observador humano.
- d) Como não há repouso absoluto, nenhum de nós está em repouso, em relação a nenhum referencial.
- e) O Sol está em repouso em relação a qualquer referencial

**(03)** Assinale certo (C) ou errado (E):

I. Um corpo em movimento em relação a um referencial está em movimento em relação a qualquer outro referencial.

II. Todo corpo em repouso em relação a um referencial está em repouso em relação a outro referencial que não se movimenta em relação ao primeiro.

III. A forma da trajetória do movimento de uma partícula depende do referencial escolhido

- a) E, C, C.
- d) E, E, C.

- b) E, E, E.
- e) C, C, E.

- c) C, C, C.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

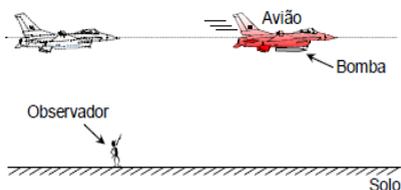
**(01)** Newton, um observador inercial, observa um objeto em repouso devido às ações de duas forças opostas exercidas pela vizinhança desse objeto. No mesmo instante, Lorena e Leonardo, observando o mesmo objeto, a partir de referenciais diferentes do referencial de Newton, chegam às seguintes conclusões: para Lorena, o objeto se move com momento linear constante, e, para Leonardo, o objeto se move com aceleração constante. Face ao exposto, é correto afirmar que:

- a) Lorena está num referencial não inercial com velocidade constante.
- b) Lorena e Leonardo estão, ambos, em referenciais não inerciais.
- c) Leonardo está num referencial não inercial com aceleração constante.
- d) Leonardo e Lorena estão, ambos, em referenciais inerciais.

**(02)** De acordo com os conceitos estudados em cinemática, analise as proposições a seguir e assinale a correta.

- a) Se um motorista deseja medir o consumo de combustível de seu automóvel, ele deve se basear no conceito de deslocamento que é medido pelo odômetro do automóvel.
- b) Um avião, em velocidade, deixa cair pacotes de mantimentos para um grupo de pessoas isoladas por uma enchente. Em relação ao avião, a trajetória dos pacotes é praticamente retilínea e vertical; em relação às pessoas, a trajetória é uma parábola.
- c) Um trem está chegando numa estação, onde algumas pessoas estão sentadas. Em relação à estação, pode-se afirmar que o trem e as pessoas estão em movimento.
- d) Sempre que a aceleração de um móvel for negativa a sua velocidade diminui.
- e) Uma partícula realiza um movimento circular e uniforme em relação a um dado sistema de referência. Com base nisto, pode-se afirmar que a sua aceleração é nula.

**(03)** A figura ilustra um avião que realiza um movimento retilíneo, deslocando-se paralelamente ao solo horizontal com velocidade escalar constante. Num determinado instante, uma bomba solta-se do avião. Nestas circunstâncias (quaisquer efeitos de atrito e resistência do ar são desprezados), pode-se dizer que a trajetória da bomba com relação a um observador em repouso no solo é um:



- a) segmento de reta formando um ângulo de  $45^\circ$  com o solo.
- b) arco de circunferência.
- c) segmento de reta formando um ângulo de  $90^\circ$  com o solo.
- d) arco de parábola.
- e) segmento de hélice (trajetória helicoidal).

(04.) Leia com atenção a tira da Turma da Mônica mostrada abaixo e analise as afirmativas que se seguem, considerando os princípios da Mecânica Clássica.



Turma da Mônica/Maurício de Souza

I. Cascão encontra-se em movimento em relação ao skate e também em relação ao amigo Cebolinha.

II. Cascão encontra-se em repouso em relação ao skate, mas em movimento em relação ao amigo Cebolinha.

III. Cebolinha encontra-se em movimento em relação ao amigo Cascão. Estão corretas:

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

(05) Uma pipa voa horizontalmente, com velocidade constante, uma pedrinha é abandonada em queda livre. Desprezando-se o efeito do ar, a trajetória da pedrinha, em relação à pipa, será um:

- a) arco de elipse.
- b) arco de parábola.
- c) segmento de reta vertical.
- d) ramo de hipérbole.
- e) um ponto.

## CAPÍTULO 3

### MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME



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:

<b>M.R.U.</b>	Trajetória:	Reta
	Velocidade:	Constante
	Aceleração:	Nula

#### 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:

$$(v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S - S_0}{t - 0} \rightarrow S = S_0 + v \cdot t)$$

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

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:

$S \Rightarrow$  Posição do móvel em um instante  $t$

$S_0 \Rightarrow$  Posição inicial do móvel

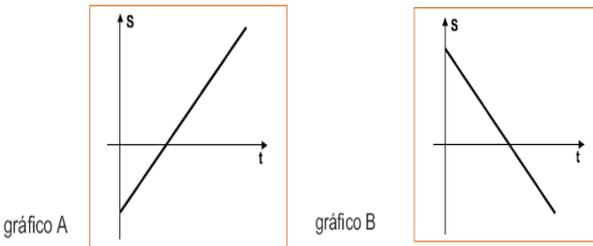
$V \Rightarrow$  Velocidade escalar do móvel

$t \Rightarrow$  Instante de tempo

### Relações Gráficas

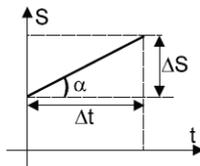
#### Espaço X Tempo

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  $\alpha$  é numericamente igual à velocidade do móvel.

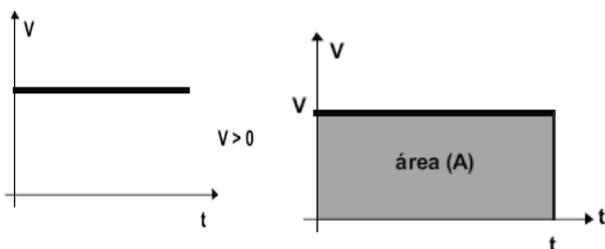


$$\text{tg } \alpha = V$$

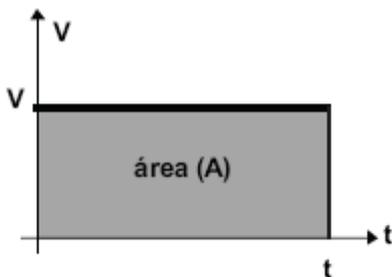
Utilizaremos a nomenclatura “Inclinação da Reta” para designar a  $\text{tg } \alpha$ . Na verdade, o correto seria “declividade”. Porém, os vestibulares utilizam o termo citado inicialmente.

### 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:



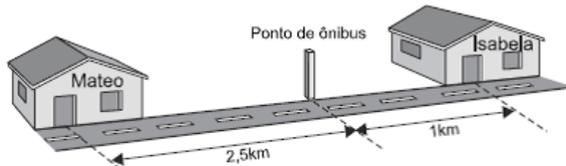
$$A = V \cdot t \Rightarrow \Delta S$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) Dois automóveis A e B encontram-se estacionados paralelamente ao marco zero de uma estrada. Em um dado instante, o automóvel A parte, movimentando-se com velocidade escalar constante  $V_A = 80 \text{ km/h}$ . Depois de certo intervalo de tempo,  $\Delta t$ , o automóvel B parte no encalço de A com velocidade escalar constante  $V_B = 100 \text{ km/h}$ . Após 2 h de viagem, o motorista de A verifica que B se encontra 10 km atrás e conclui que o intervalo  $\Delta t$ , em que o motorista B ainda permaneceu estacionado, em horas, é igual a:

- a) 0,25                                      b) 0,50                                      c) 1,00                                      d) 4,00

(02) Sofia combinou de se encontrar com seu primo Bruno no ponto de ônibus para ir a UNEB. Ela mora a 1 km do ponto, e ele a 2,5 km do mesmo ponto de ônibus, conforme figura a seguir.



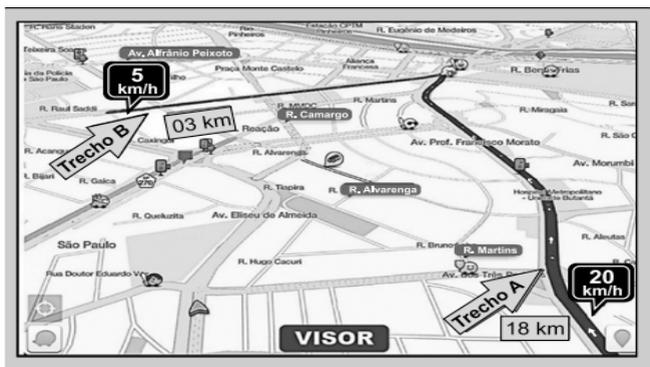
Bruno ligou para Sofia e avisou que sairia de casa às 12h 40min. Para chegar ao local marcado no mesmo horário que seu primo, Sofia deve sair de sua casa aproximadamente às:

- a) 13h 00min.                                      b) 13h 05min.  
 c) 13h 10min.                                      d) 13h 15min.  
 e) 13h 25min.

**Considere que ambos caminhem com a mesma velocidade em módulo de 3,6km/h.**

(03) O aplicativo Waze, instalado em tablets e smartphones, tem sido usado com frequência para auxiliar os motoristas a “fugirem” do trânsito pesado das grandes cidades. Esse aplicativo consegue apresentar ao usuário uma boa rota alternativa e o tempo estimado para chegada ao destino, baseando-se tão somente nas distâncias e velocidades médias dos diversos usuários nessas rotas. Suponha que um candidato da UNEB saia de casa às 11h 10 min. Ele se dirige ao local de realização da prova, iniciando pelo trecho A, de 18 km, e

finalizando pelo trecho B, de 3 km, às velocidades médias apresentadas na tela do aplicativo (conforme a figura)



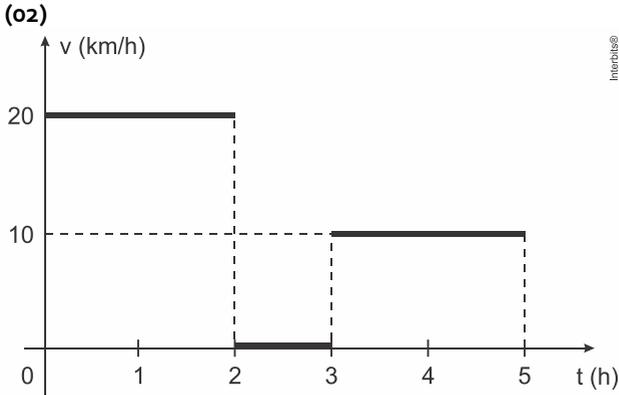
É correto afirmar que a hora estimada para chegada ao destino é:

- a) 11h 40 min                      b) 12h 10 min                      c) 12h 40 min  
 d) 13h 10 min                      e) 13h 25 min

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) O físico inglês Stephen Hawking (1942-2018), além de suas contribuições importantes para a cosmologia, a física teórica e sobre a origem do universo, nos últimos anos de sua vida passou a sugerir estratégias para salvar a raça humana de uma possível extinção, entre elas, a mudança para outro planeta. Em abril de 2018, uma empresa americana, em colaboração com a Nasa, lançou o satélite TESS, que analisará cerca de vinte mil planetas fora do sistema solar. Esses planetas orbitam estrelas situadas a menos de trezentos anos-luz da Terra, sendo que um ano-luz é a distância que a luz percorre no vácuo em um ano. Considere um ônibus espacial atual que viaja a uma velocidade média  $v = 2,0 \times 10^4$  km/s. O tempo que esse ônibus levaria para chegar a um planeta a uma distância de 100 anos - luz é igual a: **Dado:** A velocidade da luz no vácuo é igual a  $c = 3,0 \times 10^8$  m/s. Se necessário, use aceleração da gravidade  $g = 10$  m/s<sup>2</sup>. Aproxime  $\pi = 3,0$  e  $1 \text{ atm} = 10^5$  Pa.

- a) 66 anos.                      b) 100 anos.                      c) 600 anos.  
 d) 1.500 anos.



Uma pessoa realiza uma viagem de carro em uma estrada retilínea, parando para um lanche, de acordo com gráfico acima. A velocidade média nas primeiras 5 horas deste movimento é:

- a) 10 km/h.                      b) 12 km/h.                      c) 15 km/h.  
 d) 30 km/h.                      e) 60 km/h.

(03) Um móvel completa  $\frac{1}{3}$  de um percurso com o módulo da sua velocidade média igual a 2 km/h e o restante com o módulo da velocidade média igual a 8 km/h. Sendo toda a trajetória retilínea, podemos afirmar que a velocidade média desse móvel durante todo o percurso, em km/h, foi igual a:

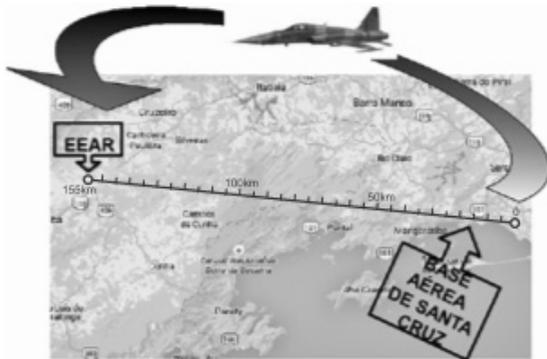
- a) 4                      b) 5                      c) 6                      d) 10

(04) Suponha que a velocidade média do Kasato Maru durante a sua viagem de 52 dias do Japão ao Brasil em 1908 tenha sido de 15 km/h. Podemos afirmar que, especificamente nessa viagem histórica para imigração japonesa, o navio percorreu, em milhas náuticas, aproximadamente, a distância de: (Dado: 1 milha náutica  $\cong$  1,85 km)

- a) 14.000                      b) 13.000                      c) 12.000  
 d) 11.000                      e) 10.000

(05) Uma aeronave F5 sai da base aérea de Santa Cruz às 16h30min para fazer um sobrevoo sobre a Escola de Especialistas de Aeronáutica (EEAR), no momento da formatura de seus alunos do Curso de Formação de Sargentos. Sabendo que o avião deve passar sobre o evento exatamente às 16h36min e que a distância entre a referida base aérea e a EEAR é de 155 km, qual a

velocidade média, em km/h, que a aeronave deve desenvolver para chegar no horário previsto?



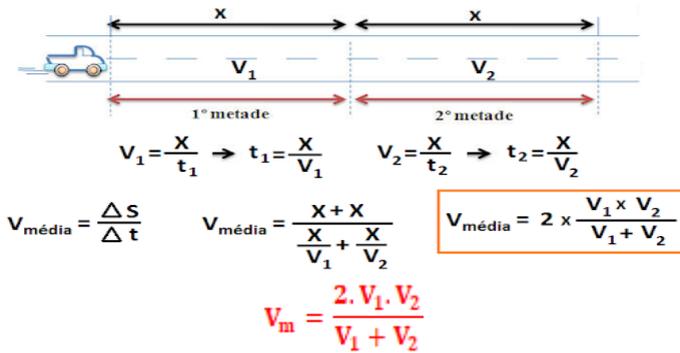
- a) 1.550
- b) 930
- c) 360
- d) 180

**MOVIMENTO UNIFORME (RELAÇÕES IMPORTANTES)**

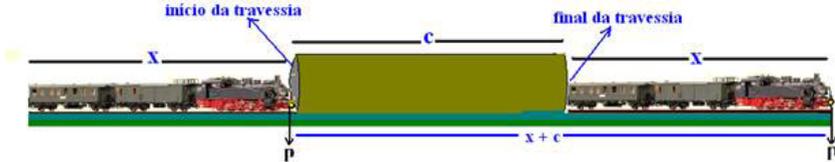


**Velocidade Média (M.U)**

Distâncias percorridas iguais nos trechos:



**Travessia (corpos extensos)**

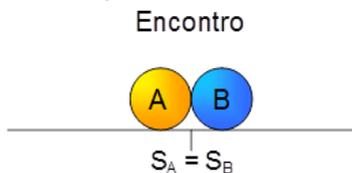


Ex: Ponte, túnel, etc.

$$v_m = \frac{C_{\text{Ponte}} + C_{\text{móvel}}}{\Delta t}$$

$C_{\text{Ponte}}$  = Comprimento da ponte

$C_{\text{móvel}}$  = Comprimento do móvel

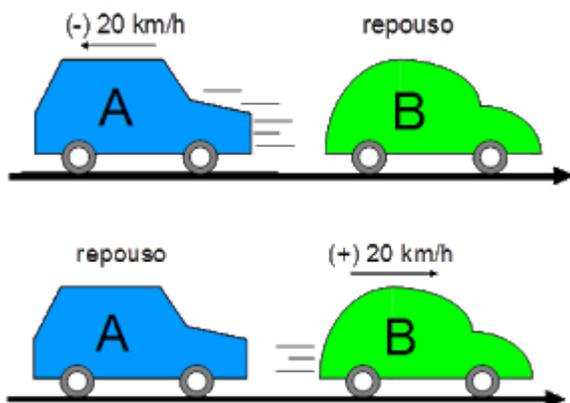
**Encontro entre móveis ou corpos****Velocidade Relativa entre corpos**

Como já visto, o movimento é relativo, ou seja, depende de um referencial. Ao estudar um movimento, pode-se alterar o referencial, sem prejuízo ao fenômeno observado.

Considere dois móveis **A** e **B** em movimento numa mesma trajetória com velocidades iguais a 60 km/h e 80 km/h.



Observa-se que os corpos se afastam com uma velocidade de 20 km/h. Mas o movimento de afastamento é idêntico para ambos os corpos? Não. O carro **A** afasta-se de **B** movimentando-se contra a trajetória e o carro **B** afasta-se de **A** no sentido da trajetória.



O movimento relativo entre dois móveis é determinado tomado um deles como referência, assim ele estará em repouso em relação a si próprio enquanto o outro

se aproxima ou se afasta, com determinada velocidade, denominada, velocidade relativa. Para se determinar a velocidade de **A** em relação a **B** deve-se executar a diferença entre as velocidades de **A** e **B**, respectivamente,

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

Para se determinar a velocidade de **B** em relação a **A** deve-se executar a diferença entre as velocidades de **B** e **A**, respectivamente.

$$V_{BA} = V_B - V_A$$

Para generalizar, pode-se aplicar a seguinte equação:

$$|V_R| = ||V_A| \pm |V_B||$$

**Fique de Olho:**

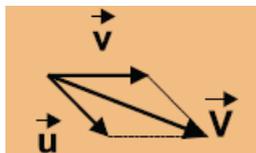
- se os corpos estão no mesmo sentido utiliza-se (-).
- se os corpos estão em sentidos opostos utiliza-se (+).

### Composição de Movimento

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.

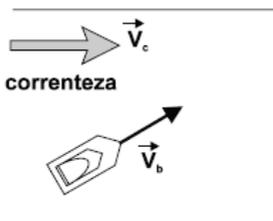


Para isso devemos efetuar a composição (soma) de velocidades, lembrando que a velocidade resultante será:

$$\vec{V} = \vec{v} + \vec{u}$$

### Travessia de Rios

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



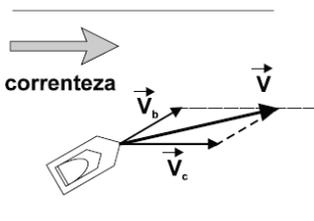
Na figura:

$\vec{V}_c$  = 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:

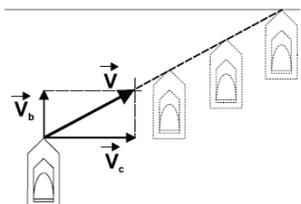
$$\vec{V} = \vec{V}_c + \vec{V}_b.$$



Há duas situações interessantes a respeito da travessia de rios.

#### 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:

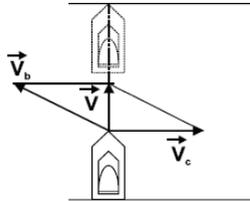
$$V = \sqrt{V_b^2 + V_c^2}$$

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:

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

## 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:

$$t_{\min} = \frac{L}{V}$$

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:

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

2 - Para o barco que sobe o rio (viaja contra a correnteza), a sua velocidade resultante será:

$$V_R^2 = \sqrt{V_b^2 - V_c^2}$$

### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) Um barco com velocidade de 40 m/s em relação às águas, que se movimenta mantendo o eixo do barco perpendicular às margens do rio, cuja velocidade da correnteza é 30 m/s, tem, em relação às margens, velocidade, em m/s, igual a:

- a) 10
- b) 20
- c) 35
- d) 50
- e) 70

(02) Três amigos, Antônio, Bernardo e Carlos, saíram de suas casas para se encontrarem numa lanchonete. Antônio realizou metade do percurso com velocidade média de 4 km/h e a outra metade com velocidade média de 6 km/h. Bernardo percorreu o trajeto com velocidade média de 4 km/h durante metade do tempo que levou para chegar à lanchonete e a outra metade do tempo fez com velocidade média de 6 km/h. Carlos fez todo o percurso com velocidade média de 5 km/h. Sabendo que os três saíram no mesmo instante de suas casas e percorreram exatamente as mesmas distâncias, pode-se concluir que:

- a) Bernardo chegou primeiro, Carlos em segundo e Antônio em terceiro.
- b) Carlos chegou primeiro, Antônio em segundo e Bernardo em terceiro.
- c) Antônio chegou primeiro, Bernardo em segundo e Carlos em terceiro.
- d) Bernardo e Carlos chegaram juntos e Antônio chegou em terceiro.
- e) Os três chegaram juntos à lanchonete

(03) O cruzamento dos dois metrô, exibido nas fotografias seguintes, foi observado na estação do bairro de Santa Luzia. Uma das composições tem 50m de comprimento e está desenvolvendo uma velocidade constante de 36 km/h e a outra tem 40m de comprimento e desenvolve uma velocidade constante igual a 72 km/h.



Qual o tempo, em segundos, gasto desde o início do encontro até o cruzamento total dos metrô?

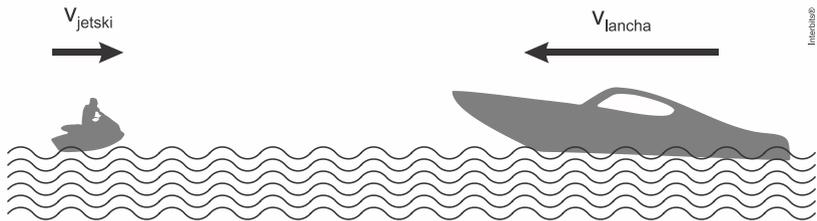
- a) 3.                                      b) 9.                                      c) 6.
- d) 4.                                      e) 2.

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) Um trem de 150 m de comprimento se desloca com velocidade escalar constante de 16 m/s. Esse trem atravessa um túnel e leva 50 s desde a entrada até a saída completa de dentro dele. O comprimento do túnel é de:

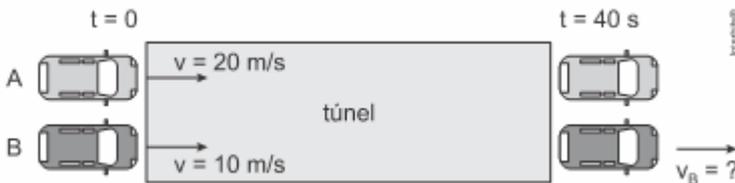
- a) 500 m                                      b) 650 m                                      c) 800 m
- d) 950 m                                      e) 1.100 m

(02) Durante as férias, Caíque visitou os parentes que moram perto de um grande lago navegável. Pela primeira vez ele experimentou pilotar um *jet ski* e gostou da aventura. Durante o passeio, ele observou vários barcos que andavam paralelamente à sua trajetória. Um primo que estava na margem do lago filmando Caíque no *jet ski* verificou que ele percorreu 900 m em 3 minutos sem alterar sua velocidade. Durante esse tempo, Caíque viu à frente uma lancha se aproximando com velocidade constante. Seu primo constatou que a lancha gastava um terço do tempo para percorrer a mesma distância. Com base nesses dados, marque a afirmativa **CORRETA**:



- a) Os módulos das velocidades do *jet ski* e da lancha em relação à margem eram de 30 m/s e de 10,0 m/s, respectivamente.
- b) O módulo da velocidade da lancha em relação ao *jet ski* era de 20,0 m/s
- c) O módulo da velocidade da lancha registrado pelo primo de Caíque foi de 5,0 m/s.
- d) O módulo da velocidade do *jet ski* em relação à da lancha era de 10,0 m/s.
- e) O módulo da velocidade da lancha era o dobro do módulo da velocidade do *jet ski*.

(03) Dois carros, A e B, entram simultaneamente em um túnel retilíneo. Sabe-se que o carro A atravessa todo o túnel em movimento uniforme, com velocidade de 20 m/s, e que o carro B entra no túnel com velocidade de 10 m/s e o atravessa em movimento uniformemente acelerado.



Desprezando as dimensões dos carros e sabendo que eles saem juntos do túnel 40 s após terem entrado, a velocidade do carro B no instante em que ele sai do

túnel é de:

- a) 22 m/s  
 b) 24 m/s  
 c) 26 m/s  
 d) 28 m/s  
 e) 30 m/s

(04) Em uma viagem de carro com sua família, um garoto colocou em prática o que havia aprendido nas aulas de física. Quando seu pai ultrapassou um caminhão em um trecho reto da estrada, ele calculou a velocidade do caminhão ultrapassado utilizando um cronômetro.



(<http://ijper.es>, Adaptado.)

O garoto acionou o cronômetro quando seu pai alinhou a frente do carro com a traseira do caminhão e o desligou no instante em que a ultrapassagem terminou, com a traseira do carro alinhada com a frente do caminhão, obtendo 8,5 s para o tempo de ultrapassagem. Em seguida, considerando a informação contida na figura e sabendo que o comprimento do carro era 4 m e que a velocidade do carro permaneceu constante e igual a 30 m/s, ele calculou a velocidade média do caminhão, durante a ultrapassagem, obtendo corretamente o valor:

- a) 24 m/s.  
 b) 21 m/s.  
 c) 22 m/s.  
 d) 26 m/s.  
 e) 28 m/s.

(05) Em um longo trecho retilíneo de uma estrada, um automóvel se desloca a 80 km/h e um caminhão a 60 km/h, ambos no mesmo sentido e em movimento uniforme. Em determinado instante, o automóvel encontra-se 60 km atrás do caminhão. O intervalo de tempo, em horas, necessário para que o automóvel alcance o caminhão é cerca de:

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

## CAPÍTULO 4

### MOVIMENTO UNIFORMEMENTE VARIADO



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.

<b>M.R.U.V</b>	<b>Trajectoria:</b>	<b>Reta</b>
	<b>Velocidade:</b>	<b>Variável</b>
	<b>Aceleração:</b>	<b>Constante</b>

### FUNÇÕES HORÁRIAS

#### Função Horária da Velocidade

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

*V* ⇒ **Velocidade do móvel no instante t**

*V*<sub>0</sub> ⇒ **Velocidade inicial do móvel**

*a* ⇒ **Aceleração escalar do móvel**

*t* ⇒ **Instante de tempo**

## 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:

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

*S* ⇒ Posição do móvel em um instante *t*

*S*<sub>0</sub> ⇒ Posição inicial do móvel

*V*<sub>0</sub> ⇒ Velocidade inicial do móvel

*a* ⇒ Aceleração escalar do móvel

*t* ⇒ Instante de tempo

## 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.

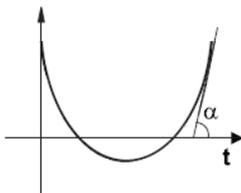
$$V^2 = V_0^2 \pm 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

## GRÁFICOS

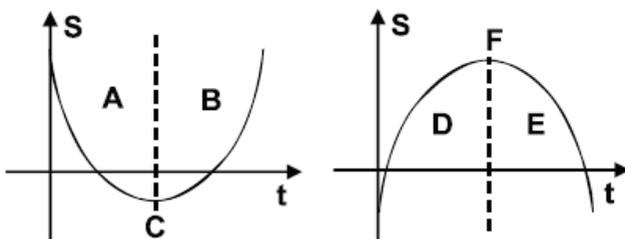
### Espaço x Tempo

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:



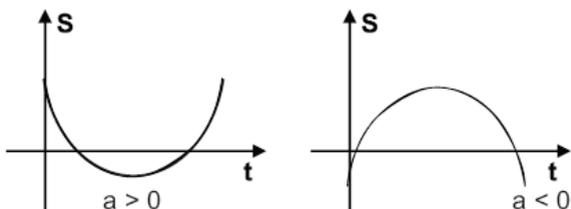
Em cada ponto da parábola devemos desenhar uma reta tangente a ela. A inclinação desta reta tangente nos informará a velocidade da partícula naquele ponto. Note que no gráfico, posição  $\times$  tempo podemos descobrir em qual trecho do movimento foi acelerado ou retardado. Acompanhe o raciocínio:



Na parte A do gráfico 1, percebe-se que as posições vão diminuindo com o passar do tempo, logo a velocidade escalar do móvel é negativa. Como a aceleração é positiva (a concavidade da parábola é voltada para cima), o movimento será **RETARDADO**.

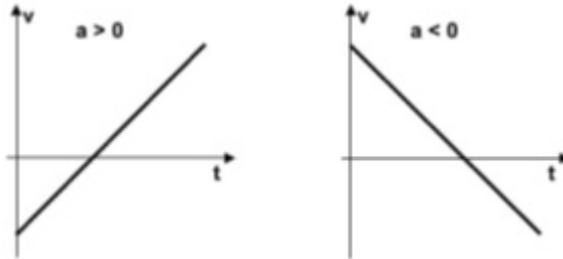
Já na parte B do mesmo gráfico, o móvel tem as suas posições aumentando de valor, o que mostra que a velocidade é positiva. A aceleração é, também, positiva, o que nos faz concluir que o movimento é **ACELERADO**.

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.



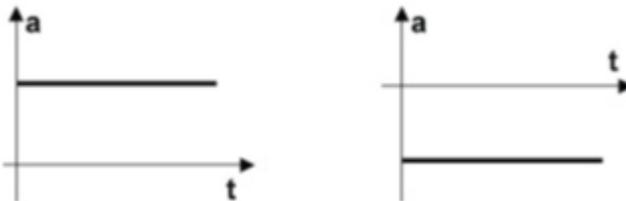
### Velocidade X Tempo

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.



### 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:

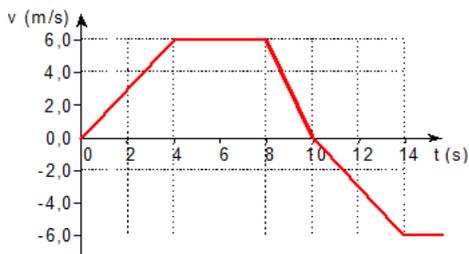
Gráfico	INCLINAÇÃO	ÁREA
$S \times t$	$V$	
$V \times t$	$a$	$\Delta S$
$a \times t$		$\Delta V$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

**(01)** Um motociclista trafega a 100 km/h em uma via cuja velocidade máxima permitida é 80 km/h. Em determinado momento, uma placa é avistada, indicando que a 100 m há um radar de velocidade. Qual deverá ser a desaceleração aproximada do motociclista para que o mesmo não seja multado.

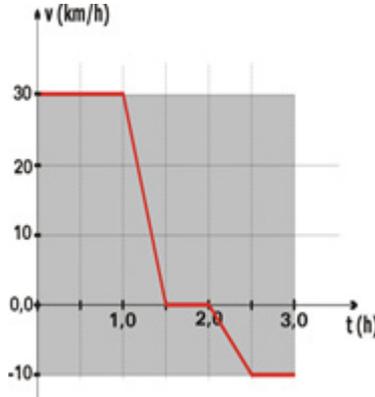
- a)  $1,0 \text{ m/s}^2$                       b)  $1,4 \text{ m/s}^2$                       c)  $1,8 \text{ m/s}^2$   
 d)  $2,2 \text{ m/s}^2$                       e)  $3,2 \text{ m/s}^2$

**(02)** O gráfico abaixo representa, aproximadamente, a velocidade de um atleta, em função do tempo, em um trecho de um percurso retilíneo. No instante em que ocorreu a mudança no sentido do movimento, a quantos metros da sua posição inicial (em  $t = 0 \text{ s}$ ) se encontrava o atleta?



- a) 12                                      b) 24                                      c) 30  
 d) 36                                      e) 42

**(03)** O gráfico abaixo representa a velocidade de um ciclista, em função do tempo, em um determinado percurso retilíneo. Qual a velocidade média do ciclista, em km/h, no percurso considerado?



- a) 10                      b) 15                      c) 20                      d) 25                      e) 30

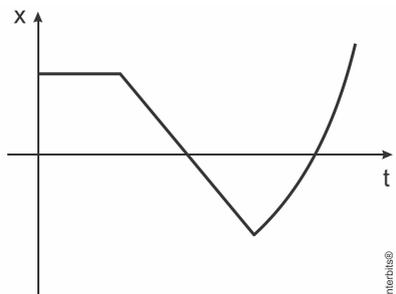
### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

**(01)** Considere os dados a seguir.

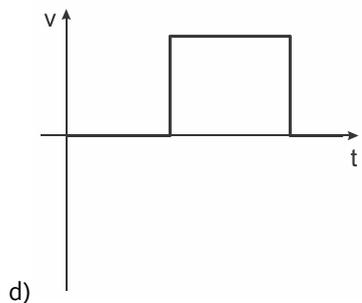
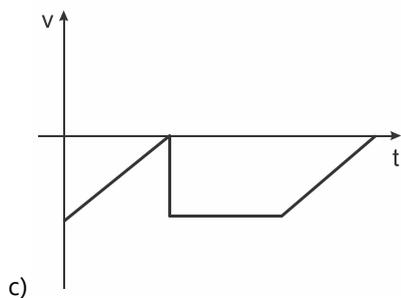
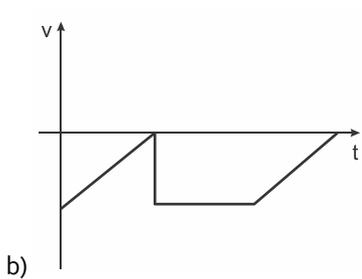
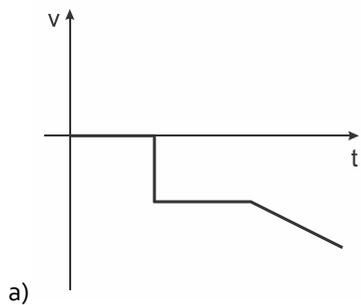
O guepardo é um velocista por excelência. O animal mais rápido da Terra atinge uma velocidade máxima de cerca de 110 km/h. O que é ainda mais notável: leva apenas três segundos para isso. Mas não consegue manter esse ritmo por muito tempo; a maioria das perseguições é limitada a menos de meio minuto, pois o exercício anaeróbico intenso produz um grande débito de oxigênio e causa uma elevação abrupta da temperatura do corpo (até quase 108 km/h perto do limite letal). Um longo período de recuperação deve se seguir. O elevado gasto de energia significa que o guepardo deve escolher sua presa cuidadosamente, pois não pode se permitir muitas perseguições infrutíferas. Considere um guepardo que, partindo do repouso com aceleração constante, atinge 108 km/h após três segundos de corrida, mantendo essa velocidade nos oito segundos subsequentes. Nesses onze segundos de movimento, a distância total percorrida pelo guepardo foi de:

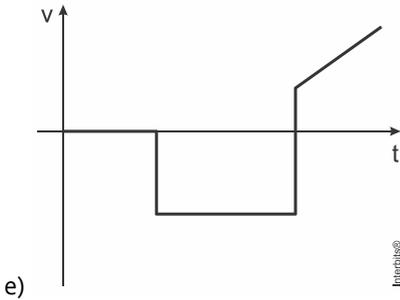
- a) 180 m.                      b) 215 m.                      c) 240 m.  
 d) 285 m.                      e) 305 m.

**(02)** A posição de uma partícula ao longo do tempo está representada no gráfico abaixo.

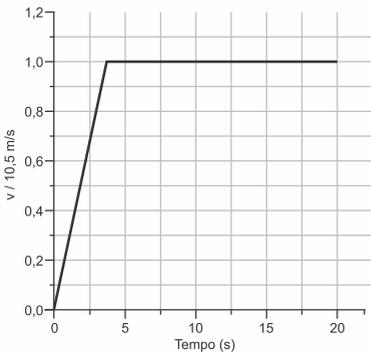


Assinale a opção que pode corresponder à velocidade dessa partícula.





**(03)** O gráfico a seguir mostra como varia a velocidade de um atleta em função do tempo para uma prova de 200 m. [...] Para médias e longas distâncias, a velocidade média do atleta começa a decrescer à medida que a distância aumenta, pois o suprimento de  $O_2$  começa a diminuir, tornando-se insuficiente para a demanda. O atleta inicia seu esgotamento de  $O_2$  entre 200 m e 400 m.



DURAN, José Enrique Rodas. *Biofísica – fundamentos e aplicações*. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

De acordo com as informações, o tempo necessário para completar uma prova de 200 m é de aproximadamente

- a) 13 s.                      b) 17 s.                      c) 21 s.                      d) 25 s.                      e) 29 s.

**(04)** Um veículo trafegando sobre uma estrada retilínea tem sua velocidade variando em função do tempo de acordo com o gráfico a seguir.



## CAPÍTULO 5

### MOVIMENTO NA VERTICAL



#### LANÇAMENTO VERTICAL

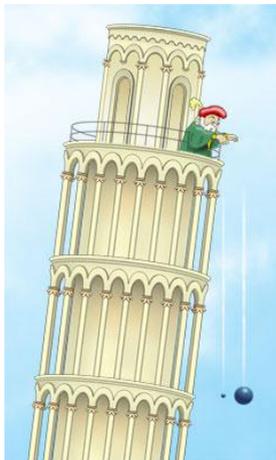
**Salvador**, temperatura altíssima, tumulto na praia, começa o corre-corre! Dizem que é um arrastão! A polícia chega e a correria se torna desordenada, quando alguém dá um tiro para cima. Essa é uma cena que, infelizmente, temos visto ocorrer diversas vezes, não só em Salvador como em várias metrópoles do mundo. Algumas vezes alguém sai ferido com uma bala perdida, que, normalmente, ninguém sabe de onde veio, nem se foi intencional.

Uma das causas mais conhecidas dessas “balas perdidas” são os tais “tiros pra cima”, quando alguém pega seu revólver, aponta para cima e dá um tiro. Mas, como diz o ditado: **Tudo que sobe, desce!**

Não podemos saber a origem de todas as balas perdidas, mas podemos nos perguntar, em alguns casos especiais, qual pode ter sido sua origem. Podemos nos perguntar como os objetos jogados para cima, perto da superfície da Terra, retornam ao solo. Essa pergunta vem sendo feita há muito tempo, desde a Grécia antiga até os dias de hoje!

Uma resposta satisfatória começou a ser dada por um físico chamado Galileu Galilei. Ele criou uma experiência em que se pudesse verificar se um corpo mais “pesado” caía mais rápido do que um mais “leve”. Galileu chegou à conclusão de que, quando a resistência do ar influi pouco:

**Corpos diferentes soltos da mesma altura caem juntos e atingem o chão ao mesmo tempo.**



Isso a princípio pode parecer um absurdo, pois como se diz por aí “os corpos mais pesados caem mais rápido do que os mais leves”. E mais ainda: na nossa experiência diária não vemos essa afirmativa de Galileu acontecer. Aqui está um dos triunfos do método experimental! Nem sempre podemos ver certos fenômenos em nossa experiência diária, pois eles só ocorrem em situações muito especiais. Criar uma experiência é na verdade criar condições para que um fenômeno ocorra! Fenômeno esse que nem sempre é fácil de observar.

## **MOVIMENTOS VERTICAIS PRÓXIMOS À SUPERFÍCIE DA TERRA**

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.

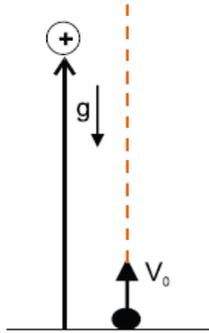
### **Aceleração da Gravidade**

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,  $10 \text{ m/s}^2$ .

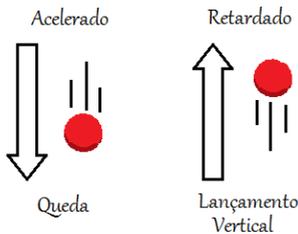
Além disso, sabe-se que esta aceleração não depende da massa do corpo. Assim, dois corpos de massas diferentes, quando abandonados de uma mesma altura (no vácuo), irão chegar ao solo exatamente com a mesma velocidade e no mesmo instante. Como a aceleração da gravidade será considerada constante, o estudo dos movimentos verticais será, na verdade, uma extensão do movimento retilíneo uniformemente variado.

### 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 **ACCELERADO** 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 abaixo mostra a 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:

$$S = S_0 + V_0 \cdot t \pm \frac{a}{2} \cdot t^2 \Rightarrow h = h_0 + V_0 t \pm g \cdot \frac{t^2}{2}$$

$$V = V_0 \pm a \cdot t \Rightarrow V = V_0 \pm g \cdot t$$

$$V^2 = V_0^2 \pm 2 \cdot a \cdot d \Rightarrow V^2 = V_0^2 \pm 2 \cdot g \cdot h$$

**h** – altura ou deslocamento vertical

**g** – aceleração da gravidade

## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

**(01)** Uma pulga pode dar saltos verticais de até 130 vezes sua própria altura. Para isto, ela imprime a seu corpo um impulso que resulta numa aceleração ascendente. Qual é a velocidade inicial necessária para a pulga alcançar uma altura de 20cm? (Dado:  $g = 10\text{m/s}^2$ )

a) 2 m/s  
d) 8 m/s

b) 5 m/s  
e) 9 m/s

c) 7 m/s

**(02)** Um ginasta de cama elástica precisa planejar cada movimento que será realizado enquanto estiver em voo. Para isso, ele gostaria de calcular de quanto tempo irá dispor para realizar cada movimento. Desprezando a resistência do ar e sabendo que a altura máxima atingida pelo atleta é 5 m, calcule o tempo total de voo do atleta, em segundos. (Dado:  $g = 10\text{m/s}^2$ )

a) 1  
d) 4

b) 2  
e) 5

c) 3

**(03)** Uma esfera de aço de 300 g e uma esfera de plástico de 60 g de mesmo diâmetro são abandonadas, simultaneamente, do alto de uma torre de 60 m de altura. Qual a razão entre os tempos que levarão as esferas até atingirem o solo? (Despreze a resistência do ar).

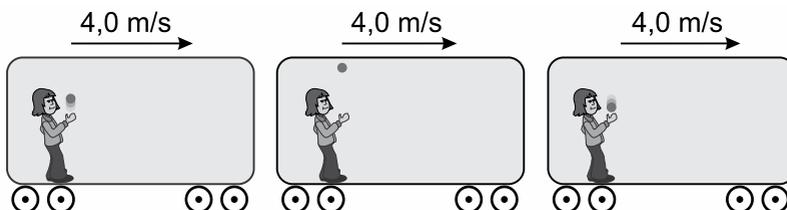
a) 5,0  
d) 0,5

b) 3,0  
e) 0,2

c) 1,0

## EXERCÍCIO PROPOSTOS

(01) No interior de um vagão hermeticamente fechado que se move horizontalmente em trajetória retilínea com velocidade  $4,0 \text{ m/s}$  em relação ao solo, uma pessoa arremessa uma pequena esfera verticalmente para cima, com velocidade  $3,0 \text{ m/s}$  em relação ao vagão.



(<http://portaloprofessor.mec.gov.br>. Adaptado.)

Desprezando o atrito com o ar, os módulos das velocidades da esfera, em relação ao solo, no ponto mais alto de sua trajetória e no instante em que retorna à mão da pessoa são, respectivamente,

- a)  $4,0 \text{ m/s}$  e  $3,0 \text{ m/s}$ .  
 b) zero e  $5,0 \text{ m/s}$ .  
 c)  $4,0 \text{ m/s}$  e  $5,0 \text{ m/s}$ .  
 d) zero e  $3,0 \text{ m/s}$ .  
 e)  $5,0 \text{ m/s}$  e zero.

(02) Em uma tribo indígena de uma ilha tropical, o teste derradeiro de coragem de um jovem é deixar-se cair em um rio, do alto de um penhasco. Um desses jovens se soltou verticalmente, a partir do repouso, de uma altura de  $360 \text{ m}$ , em relação à superfície da água. O tempo decorrido, em segundos, entre o instante em que o jovem iniciou sua queda e aquele em que um espectador, parado no alto do penhasco, ouviu o barulho do impacto do jovem na água é, aproximadamente,

Note e adote:

- Considere o ar em repouso e ignore sua resistência.
- Ignore as dimensões das pessoas envolvidas.
- Velocidade do som no ar:  $360 \text{ m/s}$ .
- Aceleração da gravidade:  $10 \text{ m/s}^2$ .

- a) 3,1.  
 b) 4,3.  
 c) 5,2.  
 d) 6,2.  
 e) 7,0.

(03) No período de estiagem, uma pequena pedra foi abandonada, a partir do repouso, do alto de uma ponte sobre uma represa e verificou-se que demorou 2,0 s para atingir a superfície da água. Após um período de chuvas, outra pedra idêntica foi abandonada do mesmo local, também a partir do repouso e, desta vez, a pedra demorou 1,6 s para atingir a superfície da água.



(www.folharibeiraopires.com.br. Adaptado.)

Considerando a aceleração gravitacional igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e desprezando a existência de correntes de ar e a sua resistência, é correto afirmar que, entre as duas medidas, o nível da água da represa elevou-se

- a) 5,4 m.                                      b) 7,2 m.                                      c) 1,2 m.  
d) 0,8 m.                                      e) 4,6 m.

(04) TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Recentemente, uma equipe de astrônomos afirmou ter identificado uma estrela com dimensões comparáveis às da Terra, composta predominantemente de diamante. Por ser muito frio, o astro, possivelmente uma estrela anã branca, teria tido o carbono de sua composição cristalizado em forma de um diamante praticamente do tamanho da Terra.

Considerando que a massa e as dimensões dessa estrela são comparáveis às da Terra, espera-se que a aceleração da gravidade que atua em corpos próximos à superfície de ambos os astros seja constante e de valor não muito diferente. Suponha que um corpo abandonado, a partir do repouso, de uma altura  $h = 54 \text{ m}$  da superfície da estrela, apresente um tempo de queda  $t = 3,0 \text{ s}$ . Desta forma, pode-se afirmar que a aceleração da gravidade na estrela é de

- a)  $8,0 \text{ m/s}^2$ .                                      b)  $10 \text{ m/s}^2$ .                                      c)  $12 \text{ m/s}^2$ .  
d)  $18 \text{ m/s}^2$ .

(05) O Turbo Drop chegou em 1997 para substituir a antiga torre símbolo do Playcenter. Ele media 60 metros de altura e era de fabricação americana; em sua gôndola, estavam acoplados 12 assentos, três em cada face. Esses assentos eram levantados até a altura aproximada de 60 metros em 17 segundos, ficando suspensos no alto, durante 5 segundos, despencando até pararem em apenas 4 segundos (...). Analisando o movimento de um assento do Turbo Drop durante a descida e considerando que até o início da frenagem ele desce em queda livre, assinale a alternativa **CORRETA**.

- a) A distância percorrida em queda livre é de 15 m.
- b) A aceleração de parada tem módulo igual a 3 g.
- c) A velocidade máxima durante o movimento é de 60 m/s.
- d) O intervalo de tempo em queda livre é igual a 1 segundo.
- e) A aceleração tem intensidade constante em todo o percurso.

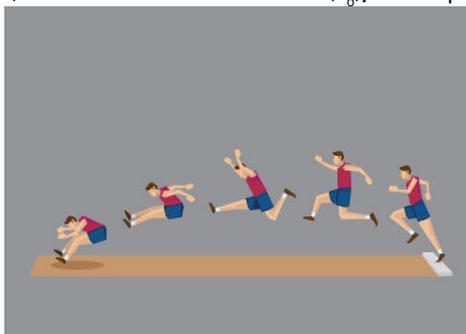
## CAPÍTULO 6

### LANÇAMENTO OBLÍQUO

O **lançamento oblíquo** acontece quando um objeto é lançado na diagonal. Esse tipo de lançamento também une dois movimentos: um que acontece na horizontal e outro na vertical, como no lançamento horizontal. Porém, o objeto arremessado forma um ângulo ( $\theta$ ) entre  $0^\circ$  e  $90^\circ$  com a superfície.



No eixo horizontal ( $x$ ), não há aceleração, sendo assim, tudo ocorre sob as condições do Movimento Uniforme (MU). Já no eixo vertical ( $y$ ), temos a aceleração da gravidade, fazendo com que haja o Movimento Uniformemente Variado (MUV). Vamos analisar o exemplo de uma saltadora nas olimpíadas. Ao fazer isso, a saltadora realiza uma trajetória em **forma de parábola**, algo característico do movimento oblíquo. Isso acontece porque a saltadora sai com um certo ângulo ( $\theta$ ) e com uma velocidade inicial ( $v_0$ ), decomposta nos eixos  $x$  e  $y$ .

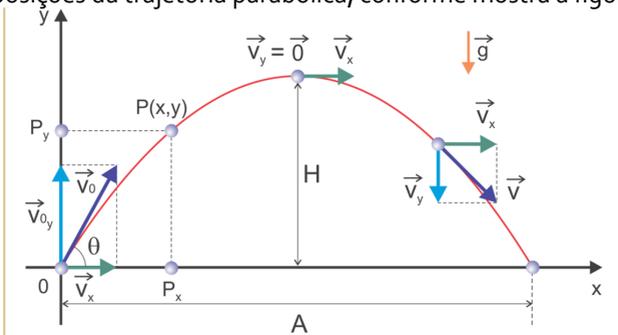


Com o passar do tempo, a velocidade do eixo  $y$  começa a diminuir por conta da

ação da aceleração da gravidade, que está em sentido contrário ao da trajetória, até que atinge zero. Esse é o ponto em que a saltadora está em sua altura máxima em relação à superfície. Após isso, a velocidade começa a aumentar, por conta da aceleração da gravidade, que agora está no mesmo sentido da trajetória, até que chega ao chão. Já no eixo  $x$ , a velocidade não muda em nenhum momento e não tem nenhum tipo de aceleração.

### MOVIMENTO DE UM PROJÉTIL

Um projétil é qualquer objeto que, recebendo uma velocidade inicial, segue uma trajetória determinada pela ação de força gravitacional e pela força de resistência do ar. Como a força de resistência do ar depende da velocidade e da geometria do objeto, seu estudo é complexo e não será abordado. Os estudos serão realizados sem levar em consideração a resistência do ar. Seja um corpo posicionado na origem, sendo lançado com velocidade inicial  $v_0$ , sob um ângulo  $\theta_0$  formado com o eixo horizontal. O vetor velocidade  $v$  é representado em algumas posições da trajetória parabólica, conforme mostra a figura a seguir.



Onde:

$V_0$  = velocidade inicial de lançamento do projétil.

$V_{ox}$ ,  $V_{oy}$  = componentes da velocidade inicial nas direções  $x$  e  $y$ , respectivamente.

$\theta_0$  = ângulo de lançamento.

$V$  = velocidade num instante de tempo qualquer.

$V_x$ ,  $V_y$  = componentes da velocidade  $v$  nas direções  $x$  e  $y$ , respectivamente.

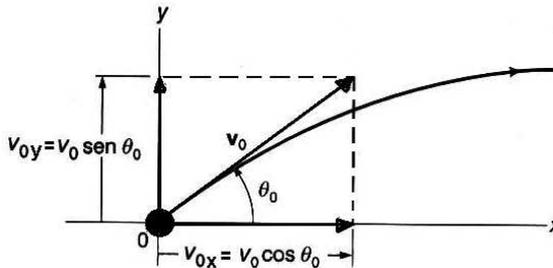
( $v_x = v_{ox}$ ).

$\theta$  = direção da velocidade num instante de tempo qualquer.

$A$  = alcance horizontal, ou seja, distância máxima alcançada pelo projétil na direção  $x$ .

$h_{máx}$  = altura máxima alcançada pelo projétil.

**Obs:** Na direção x o movimento é uniforme e na direção y o movimento é uniformemente variado, sujeito à aceleração gravitacional g. Utilizando a decomposição de vetores aplicada nas condições iniciais do lançamento do projétil, temos, da figura a seguir:



$$V_x = V_{ox} = V_o \cos \theta_o$$

$$V_{oy} = V_o \sin \theta_o$$

O movimento em x e y é dado pelas equações:

No sentido horizontal (M.U)

$$A = V_{ox} \cdot t$$

No sentido vertical (M.U.V)

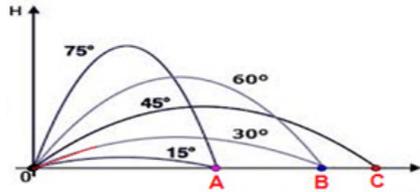
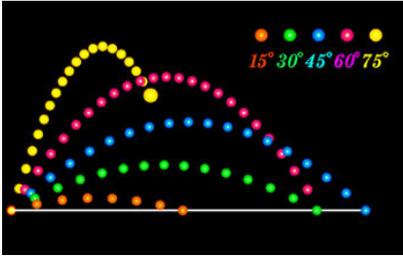
$$h = h_o + V_{oy} \cdot t \pm \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$V_y = V_{oy} \pm g \cdot t$$

$$V_y^2 = V_{oy}^2 \pm 2 \cdot g \cdot h$$

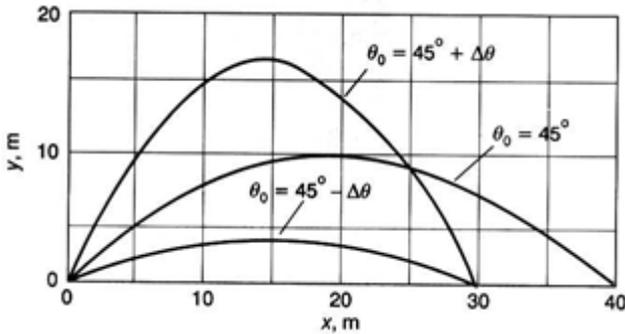
### ATENÇÃO:

O máximo alcance adquirido por um corpo, em função de sua velocidade inicial e da aceleração da gravidade, é determinado quando o valor atribuído a  $\text{sen}2\theta$  é o maior possível. O máximo valor de seno é 1 e corresponde ao ângulo de  $90^\circ$ . Sendo assim, quando o ângulo de lançamento é  $45^\circ$ , o valor do seno contabilizado é o seno de  $90^\circ$  ( $\text{sen}2 \cdot 45^\circ = \text{sen}90^\circ = 1$ ), e o alcance é o máximo possível.



Veja uma representação dos ângulos de lançamento

A figura acima indica os alcances horizontais referentes a distintos ângulos iniciais de lançamento. Nas modalidades esportivas de salto em distância, lançamento de peso, lançamento de martelo e lançamento de dardo, o objetivo do atleta é alcançar a maior distância horizontal possível. Os atletas treinam para que o ângulo de lançamento dos objetos seja o mais próximo possível de  $45^\circ$  para que, assim, o alcance do objeto arremessado seja o máximo possível. Ou seja, o alcance máximo, para uma determinada velocidade inicial  $v_0$ , são iguais para ângulos de lançamento complementares, como mostra a figura a seguir.



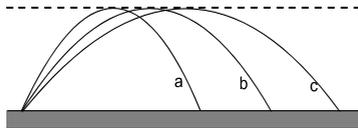
### EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) Uma esfera de aço é lançada obliquamente com pequena velocidade, formando um ângulo de  $45$  graus com o eixo horizontal. Durante sua trajetória, desprezando-se o atrito com o ar, pode-se afirmar que:

- a) a velocidade é zero no ponto de altura máxima.
- b) a componente vertical da velocidade mantém-se constante em todos os pontos.
- c) a componente horizontal da velocidade é variável em todos os pontos.

- d) o vetor velocidade é o mesmo nos pontos de lançamento e de chegada.
- e) a componente vertical da velocidade é nula no ponto de máxima altura.

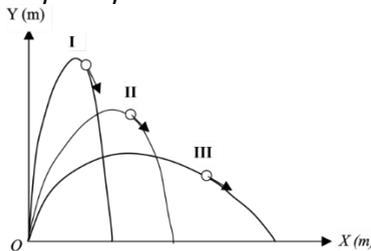
(02) A figura abaixo mostra três trajetórias de uma bola de futebol que é chutada de um mesmo ponto.



Sejam “t” representando o tempo de permanência da bola no ar, “ $V_v$ ” a componente vertical da velocidade inicial da bola e “ $V_h$ ” a componente horizontal da velocidade inicial. Em relação a estas três grandezas físicas e considerando as três trajetórias a, b e c acima, livres da resistência do ar, pode-se concluir que:

- a)  $t_a < t_b < t_c$ ,  $V_{va} = V_{vb} = V_{vc}$ ,  $V_{ha} = V_{hb} = V_{hc}$ .
- b)  $t_a = t_b = t_c$ ,  $V_{va} = V_{vb} = V_{vc}$ ,  $V_{ha} < V_{hb} < V_{hc}$ .
- c)  $t_a = t_b = t_c$ ,  $V_{va} = V_{vb} = V_{vc}$ ,  $V_{ha} > V_{hb} > V_{hc}$ .
- d)  $t_a = t_b = t_c$ ,  $V_{va} < V_{vb} < V_{vc}$ ,  $V_{ha} < V_{hb} = V_{hc}$ .
- e)  $t_a < t_b < t_c$ ,  $V_{va} < V_{vb} < V_{vc}$ ,  $V_{ha} = V_{hb} > V_{hc}$ .

(03) No instante  $t = 0$ , uma partícula é lançada, três vezes, do ponto O no solo, com velocidade inicial  $V_0$ , formando, a cada vez, um ângulo diferente com a horizontal (desprezar os efeitos do ar). O tempo, T, gasto pela partícula para atingir o solo, nos casos I, II e III, está de acordo com a relação:



- (01)  $T(I) = T(II) > T(III)$ .
- (02)  $T(I) > T(II) > T(III)$ .
- (03)  $T(I) < T(II) < T(III)$ .
- (04)  $T(I) > T(II) < T(III)$ .

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

**(01)** Em um planeta X, uma pessoa descobre que pode pular uma distância horizontal máxima de 20,0 m se sua velocidade escalar inicial for de 4,0 m/s. Nessas condições, a aceleração de queda livre no planeta X, em  $10^{-1} \text{m/s}^2$ , é igual a

- a) 10,0                                      b) 8,0                                      c) 6,0  
d) 4,0                                      e) 2,0

**(02)** A figura a seguir mostra uma das cenas vistas durante a Copa das Confederações no Brasil. Os policiais militares responderam às ações dos manifestantes com bombas de gás lacrimogêneo e balas de borracha em uma região totalmente plana onde era possível avistar a todos.



(Fonte: <http://noticias.uol.com.br/ultimas-noticias/efe/2013/09/07/protestos-em-sao-paulo-terminam-com-violencia-e-confrontos.htm>)

Suponha que o projétil disparado pela arma do PM tenha uma velocidade inicial de 200,00 m/s ao sair da arma e sob um ângulo de  $30,00^\circ$  com a horizontal. Calcule a altura máxima do projétil em relação ao solo, sabendo-se que ao deixar o cano da arma o projétil estava a 1,70 m do solo. Despreze as forças dissipativas e adote  $g = 10,00 \text{ m/s}^2$ .

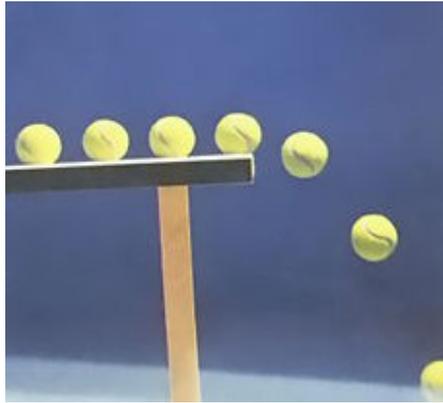
- a) 401,70 m                                      b) 501,70 m                                      c) 601,70 m  
d) 701,70 m                                      e) 801,70 m

**(03)** Galileu, ao estudar problemas relativos a um movimento composto, propôs o princípio da independência dos movimentos simultâneos — um móvel que descreve um movimento composto, cada um dos movimentos componentes se realiza como se os demais não existissem e no mesmo intervalo de tempo. Assim, considere um corpo lançado obliquamente a partir do solo sob ângulo de tiro de  $45^\circ$  e com velocidade de módulo igual a 10,0m/s. Desprezando-se a resistência do ar, admitindo-se que o módulo da aceleração da gravidade local é igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar:



## CAPÍTULO 7

### LANÇAMENTO HORIZONTAL

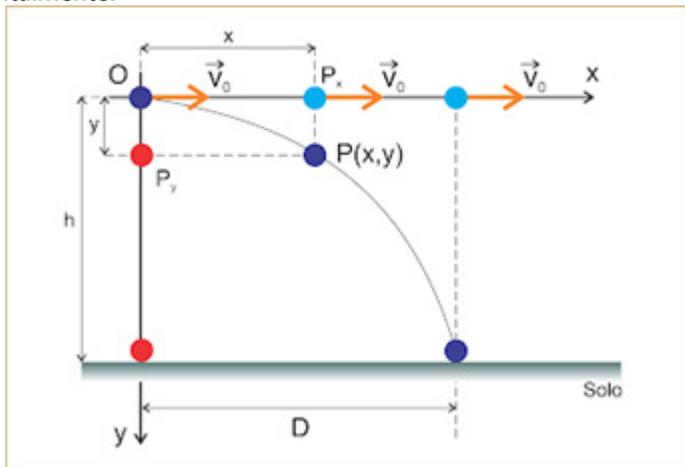


Imagine uma bola de gude rolando sobre a mesa e, de repente, ela cai em direção ao chão. Qual trajetória você acha que ela irá realizar? Uma **trajetória** em que cai de forma reta ou uma que vai fazendo uma curva no mesmo sentido em que estava seu movimento antes de cair? Se você respondeu a segunda opção, acertou. Quando a bolinha está rolando sobre a mesa, considerando que o **atrito** pode ser desprezado, não existe nenhuma força horizontal atuando sobre ela e sua **velocidade é constante**. Isso nos leva a pensar que ela percorre distâncias iguais em intervalos de tempos iguais. Ou seja, temos um Movimento Uniforme. A característica principal nesse tipo de movimento, além dessa que foi falada, é que ele não tem aceleração.

Agora, por que a bolinha cai quando ultrapassa a borda da mesa? Isso acontece porque a gravidade começa a atuar. Temos aqui um exemplo de **movimento em queda livre**, em que a bolinha sofre as consequências da aceleração da gravidade. Isso faz com que, a cada intervalo de tempo igual, ela percorra uma distância maior. Ao juntar esses dois movimentos, o que acontece no eixo horizontal e o que acontece no eixo vertical, temos uma **trajetória curvilínea**. E toda essa situação, da bolinha rolando sobre a mesa e depois caindo, caracteriza um lançamento horizontal.

Todo **objeto lançado horizontalmente**, seja ele uma bola sobre uma mesa, um míssil de um avião ou a flecha de um arco, realiza uma trajetória curvilínea. Isso porque há duas componentes atuando sobre o objeto, a horizontal (MU) e a vertical (queda livre). Trata-se de uma particularidade do movimento oblíquo

onde o ângulo de lançamento é zero, ou seja, é lançado horizontalmente. Por exemplo, quando uma criança chuta uma bola que cai em um penhasco, ou quando um jardineiro está regando um jardim com uma mangueira orientada horizontalmente.

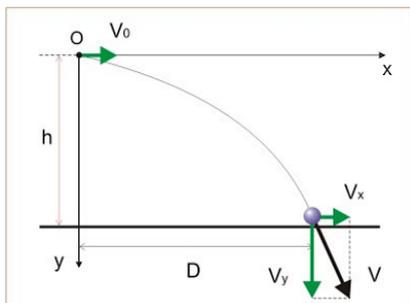


No qual a sua representação matemática será:

*No sentido horizontal (M.U)*

$$A = D = V_{0x} \cdot t$$

**Obs: A velocidade final ao corpo tocar no solo é igual:**



A velocidade resultante do móvel, em cada instante, é:

$$\vec{V} = \vec{V}_0 + \vec{V}_y$$

No sentido vertical (M.U.V)

$$h = h_0 + V_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

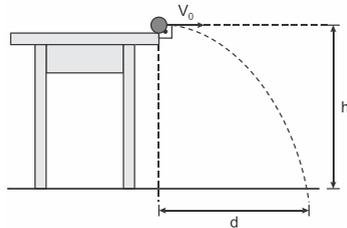
$$V_y = V_{0y} + g \cdot t$$

$$V_y^2 = V_{0y}^2 + 2 \cdot g \cdot h$$

**Obs:** Lembre-se que a componente vertical da velocidade inicial no ato do lançamento é igual à zero.

**EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM**

(01) Da borda de uma mesa, uma esfera é lançada horizontalmente de uma altura  $h$ , com velocidade inicial  $v_0$ . Após cair livre de resistência do ar, a esfera toca o solo horizontal em um ponto que está a uma distância  $d$  da vertical que passa pelo ponto de partida, como representado na figura.



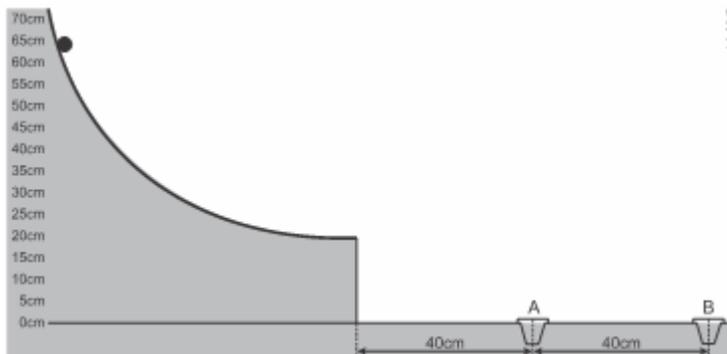
Considerando que a aceleração da gravidade local tem módulo  $g$ , o valor de  $v_0$  é

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

(02) Em uma feira de ciências, Maria e Rute propuseram um experimento, esquematizado abaixo, em que os participantes eram desafiados a acertarem uma bolinha de ferro dentro de um dos copinhos.

Cada participante tinha direito de abandonar uma vez a bolinha de ferro com massa  $m$  em uma das posições da rampa do experimento. Desconsidere o rolamento da bolinha, a resistência do ar e o atrito entre a rampa e a bolinha.

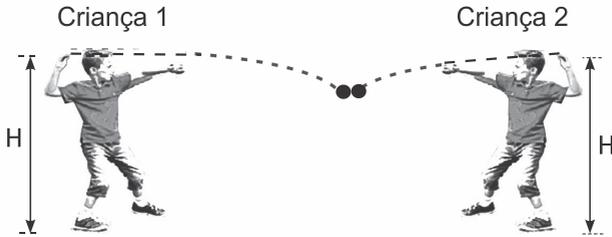
Com base na figura e no exposto acima, é correto afirmar que:



- I) a bolinha cai dentro do copinho A quando é abandonada na posição vertical 40 cm.
- II) para cair dentro do copinho B, a bolinha tem que ser abandonada na posição vertical 60 cm.
- III) a velocidade da bolinha na saída da rampa, quando abandonada na posição vertical 50 cm, terá o dobro do valor da velocidade da bolinha na saída da rampa, quando abandonada na posição vertical 35 cm.
- IV) independentemente da posição de onde a bolinha é abandonada, o tempo para alcançar a posição vertical 0,0 cm após abandonar a rampa, será o mesmo.
- V) após sair da rampa, a bolinha gasta 0,2 s para alcançar a posição vertical 0,0 cm.
- VI) a massa da bolinha não influencia o valor de sua velocidade ao sair da rampa.
- VII) a altura da rampa permite que a bolinha possa alcançar a posição do copinho B.

- a) I, II, V, VII
- b) I, IV, V, VI
- c) I, II, III, IV, V, VII, VII
- d) V, VI, VII
- e) IV, V, VII, VII

(03) João observa duas esferas idênticas, lançadas horizontalmente por duas crianças 1 e 2 de uma mesma altura  $H$ , interceptarem-se antes de tocarem o chão, como mostra a figura abaixo.



Considerando-se que a resistência do ar é desprezível, João conclui, sobre esse evento, que:

- I. A criança 1 arremessou a esfera um pouco antes da criança 2.
- II. A criança 2 imprimiu menor velocidade na esfera que a criança 1.
- III. A aceleração da esfera da criança 1 é menor que a esfera da criança 2, ao longo das trajetórias.

A alternativa que expressa a(s) conclusão(ões) correta(s) de João é:

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

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

**(01)** Sem considerar qualquer atrito e assumindo a força da gravidade constante, é correto afirmar que a trajetória idealizada de corpos que são arremessados horizontalmente próximos à superfície da Terra é:

- a) reta.
- b) hiperbólica.
- c) parabólica.
- d) semicircular.

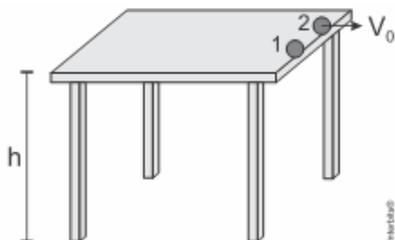
**(02)** Duas bolas encontram-se a uma mesma altura  $H$  em relação ao chão. No mesmo instante em que a bola 1 é solta com velocidade inicial nula, a bola 2 é lançada horizontalmente. Desconsiderando a resistência do ar, podemos afirmar que:

- a) as duas bolas só chegam juntas ao chão caso a massa da bola 2 seja maior que a massa da bola 1.
- b) a bola 1 chega primeiro ao chão já que sua trajetória linear é mais curta que a trajetória parabólica da bola 2.
- c) a bola 2 chega primeiro ao chão já que, como possui uma velocidade inicial diferente de zero, gasta menos tempo do que a bola 1 para percorrer a distância vertical  $H$ .

d) as duas bolas chegam juntas ao chão já que, nas duas situações, além da altura  $H$  ser a mesma, são iguais as componentes verticais das velocidades iniciais, bem como as acelerações.

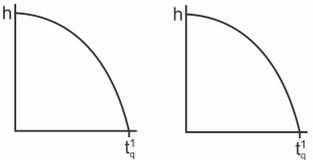
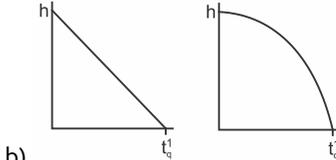
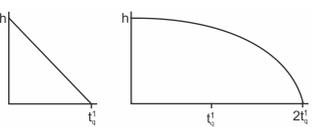
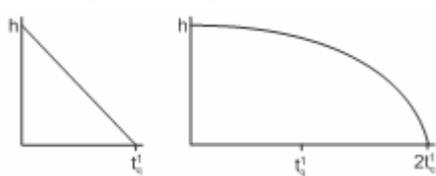
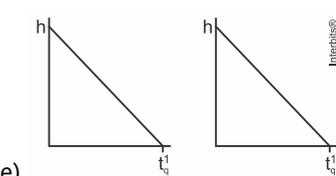
e) as duas bolas só chegam juntas ao chão caso a bola 2 seja mais pesada que a bola 1.

**(03)** Dois objetos de massas  $m_1$  e  $m_2 (= 2m_1)$  encontram-se na borda de uma mesa de altura  $h$  em relação ao solo, conforme representa a figura abaixo.



O objeto 1 é lentamente deslocado até começar a cair verticalmente. No instante em que o objeto 1 começa a cair, o objeto 2 é lançado horizontalmente com velocidade  $V_0$ . A resistência do ar é desprezível. Assinale a alternativa que melhor representa os gráficos de posição vertical dos objetos 1 e 2, em função do tempo.

Nos gráficos,  $t_q^1$  representa o tempo de queda do objeto 1. Em cada alternativa, o gráfico da esquerda representa o objeto 1 e o da direita representa o objeto 2.

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

**(04.)** A partir de um mesmo ponto a uma certa altura do solo, uma partícula é lançada sequencialmente em três condições diferentes, mas sempre com a mesma velocidade inicial horizontal  $v_0$ . O primeiro lançamento é feito no vácuo e o segundo, na atmosfera com ar em repouso. O terceiro é feito na atmosfera com ar em movimento cuja velocidade em relação ao solo é igual em módulo, direção e sentido à velocidade  $v_0$ . Para os três lançamentos, designando-se respectivamente de  $t_1$ ,  $t_2$  e  $t_3$  os tempos de queda da partícula e de  $v_1$ ,  $v_2$  e  $v_3$  os módulos de suas respectivas velocidades ao atingir o solo, assinale a alternativa correta.

- a)  $t_1 < t_3 < t_2$ ;  $v_1 > v_3 > v_2$
- b)  $t_1 < t_2 = t_3$ ;  $v_1 > v_3 > v_2$
- c)  $t_1 = t_3 < t_2$ ;  $v_1 = v_3 > v_2$
- d)  $t_1 < t_2 < t_3$ ;  $v_1 = v_3 > v_2$
- e)  $t_1 < t_2 = t_3$ ;  $v_1 > v_2 = v_3$

**(05.)** Em um campeonato recente de voo de precisão, os pilotos de avião deveriam "atirar" um saco de areia dentro de um alvo localizado no solo. Supondo que o avião voe horizontalmente a 500 m de altitude com uma velocidade de 144 km/h e que o saco é deixado cair do avião, ou seja, no instante do "tiro" a componente vertical do vetor velocidade é zero, podemos afirmar que: Considere a aceleração da gravidade  $g=10\text{m/s}^2$  e despreze a resistência do ar)

- a) o saco deve ser lançado quando o avião se encontra a 100 m do alvo;
- b) o saco deve ser lançado quando o avião se encontra a 200 m do alvo;
- c) o saco deve ser lançado quando o avião se encontra a 300 m do alvo;
- d) o saco deve ser lançado quando o avião se encontra a 400 m do alvo;
- e) o saco deve ser lançado quando o avião se encontra a 500 m do alvo.

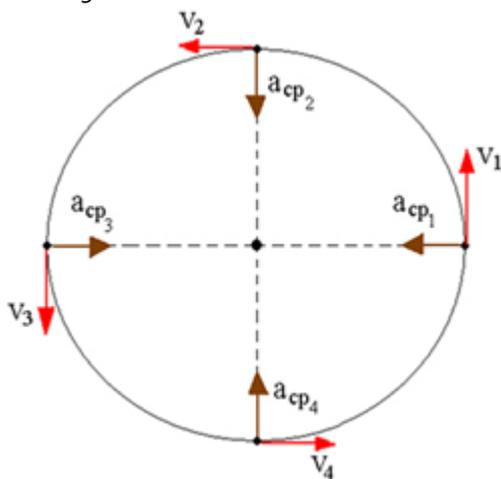
## CAPÍTULO 8

### MOVIMENTO CIRCULAR



### 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 abaixo 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:

$$|\mathbf{v}_1| = |\mathbf{v}_2| = |\mathbf{v}_3| = |\mathbf{v}_4|$$

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 ( $a_t$ ) 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 ( $a_c$ ) 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.

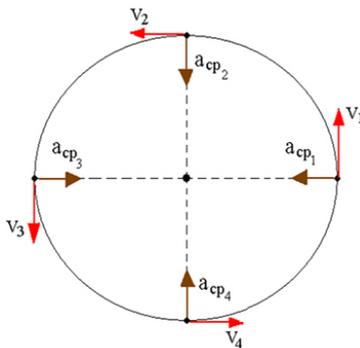
Chamamos de aceleração vetorial à soma vetorial entre as acelerações tangencial e centrípeta.

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

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:

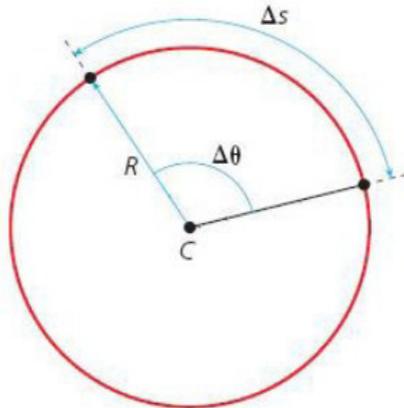
$$a_c = \frac{V^2}{R} = \omega^2 \cdot R$$

Onde R é o raio da trajetória circular e  $\omega$  a velocidade angular.

### VELOCIDADE ANGULAR ( $\omega$ )

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  $\Delta S$  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:

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

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 ( $\omega$ ). A sua expressão matemática será:

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

E sua unidade no S.I. será:

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

## PERÍODO (T) E FREQUÊNCIA (F)



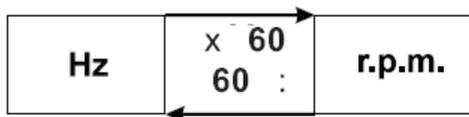
### Período

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.

### 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:

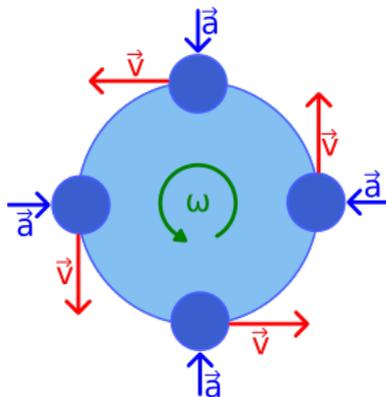


Podemos mostrar que a frequência é o inverso do período. Matematicamente:

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

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

#### Algumas relações importantes



Através da definição de radiano dada anteriormente temos que:

$$\varphi = \frac{S}{R}$$

mas se isolarmos S:

$$S = \varphi \cdot R$$

Se dividirmos ambos os lados em função do tempo obteremos:

$$\frac{S}{t} = \frac{\varphi}{t} \cdot R$$

logo:

$$V = \omega \cdot R$$

Onde podemos novamente dividir (derivar) a igualdade em função do tempo e obteremos:

$$V/t = \omega/t \cdot R$$

Mas a derivada da velocidade linear em função do tempo é igual a aceleração linear, que no movimento circular é tangente à trajetória, e a derivada da velocidade angular em função do tempo é igual a aceleração angular, então:

$$a = \alpha \cdot R$$

Então:

LINEAR		ANGULAR
$S$	$=$	$\varphi \cdot R$
$V$	$=$	$\omega \cdot R$
$a$	$=$	$\alpha \cdot R$

## Movimento Circular Uniformemente Variado



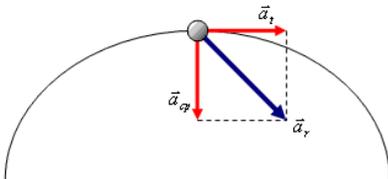
Quando um corpo, que descreve trajetória circular, e sofre mudança na sua velocidade angular, então este corpo tem aceleração angular ( $\alpha$ ).

As formas angulares das equações do Movimento Curvilíneo Uniformemente Variado são obtidas quando divididas pelo raio R da trajetória a que se movimenta o corpo.

Assim:

MUV	MCUV
Grandezas Lineares	Grandezas Angulares
$V = V_0 + a \cdot t$	$\omega = \omega_0 + \alpha \cdot t$
$S = S_0 + V_0 t + 1/2 a \cdot t^2$	$\varphi = \varphi_0 + \omega_0 \cdot t + 1/2 \alpha \cdot t^2$
$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$	$\alpha_m = \frac{\Delta \omega}{\Delta t}$
$V^2 = V_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$	$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \Delta \varphi$

E, aceleração resultante é dada pela soma vetorial da aceleração tangencial e da aceleração centrípeta:



$$\vec{a}_R = \vec{a}_T + \vec{a}_{cp}$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM



Olimpíadas de Inverno de Pyeongchang



(01)

No mês de fevereiro do vigente ano, do dia 7 ao dia 25, na cidade de Pyeongchang na Coreia do Sul, o mundo acompanhou a disputa de 2.952 atletas, disputando 102 provas de 15 disciplinas esportivas na 23ª edição dos Jogos Olímpicos de Inverno. Praticamente todas as provas ocorreram sob temperaturas negativas, dentre elas, a belíssima patinação artística no gelo, que envolve um par de atletas. A foto acima mostra o italiano Ondrej Hotarek que, em meio à coreografia da prova, crava a ponta de um de seus patins em um ponto e gira a colega Valentina Marchei, cuja ponta de um dos patins desenha no gelo uma circunferência de raio 2,0 metros. Supondo-se que a velocidade angular de Valentina seja constante e valha  $6,2 \text{ rad/s}$  e considerando-se  $\pi \cong 3,1$ , pode-se afirmar corretamente que o módulo da velocidade vetorial média da ponta dos patins de Valentina, ao percorrer de um ponto a outro diametralmente oposto da circunferência, vale, em  $\text{m/s}$ ,

- a) 2,0                                      b) 3,0                                      c) 5,0  
 d) 6,0                                      e) 8,0

(02) Ainda que tenhamos a sensação de que estamos estáticos sobre a Terra, na verdade, se tomarmos como referência um observador parado em relação às estrelas fixas e externo ao nosso planeta, ele terá mais clareza de que estamos em movimento, por exemplo, rotacionando junto com a Terra em torno de seu eixo imaginário. Se consideramos duas pessoas (A e B), uma delas localizada em Ottawa (A), Canadá, (latitude  $45^\circ$  Norte) e a outra em Caracas (B), Venezuela,

(latitude  $10^\circ$  Norte), qual a relação entre a velocidade angular média ( $\omega$ ) e velocidade escalar média ( $v$ ) dessas duas pessoas, quando analisadas sob a perspectiva do referido observador?

a)  $\omega_A = \omega_B$  e  $v_A = v_B$

b)  $\omega_A < \omega_B$  e  $v_A < v_B$

c)  $\omega_A = \omega_B$  e  $v_A < v_B$

d)  $\omega_A > \omega_B$  e  $v_A = v_B$

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

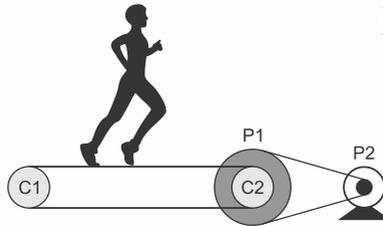
Considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$  e a constante da gravitação universal como  $G = 6,7 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}\text{s}^{-2}$  e utilize  $\pi = 3$ .

**(03)** Como um velocista, Bolt passa muito pouco tempo correndo. Em todas as finais olímpicas das quais participou, nos últimos três jogos (Pequim, Londres e Rio), ele correu um total de “apenas” 114 segundos, ou seja, nem dois minutos.

	Pequim 2008	Londres 2012	Rio 2016
100m	9,69	9,63	9,81
200 m	19,3	19,32	19,78
4 x 100 m	8,98	8,7	9 *

\*O tempo individual de Bolt ainda não foi publicado. Medimos o tempo dele pela TV.

Esteiras ergométricas são dispositivos que auxiliam no treino e na execução de atividades físicas, como caminhada e corrida. Uma esteira é formada por uma lona, que envolve dois cilindros idênticos,  $C_1$  e  $C_2$ , de 2 cm de raio, conforme indicado na figura a seguir. No eixo do cilindro frontal, está montada uma polia  $P_1$  de 4 cm de raio que, através de uma correia, está acoplada ao eixo de um motor elétrico. O motor gira a correia em uma polia  $P_2$ , que possui 1 cm de raio. Supondo que Usain Bolt desenvolvesse a velocidade média da prova 4 x 100 m dos Jogos Olímpicos Rio 2016, utilizando a esteira ergométrica descrita anteriormente, qual seria a velocidade aproximada de rotação da polia  $P_1$  em r.p.m.?



a) 40.000  
d) 5.000

b) 20.000  
e) 1.000

c) 10.000

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

**(01)** Para que um *satélite* seja utilizado para transmissões de televisão, quando em órbita, deve ter a mesma velocidade angular de rotação da Terra, de modo que se mantenha sempre sobre um mesmo ponto da superfície terrestre. Considerando  $R$  o raio da órbita do satélite, dado em km, o módulo da velocidade escalar do satélite, em km/h, em torno do centro de sua órbita, considerada circular, é

a)  $\frac{\pi}{24} \cdot R$ .

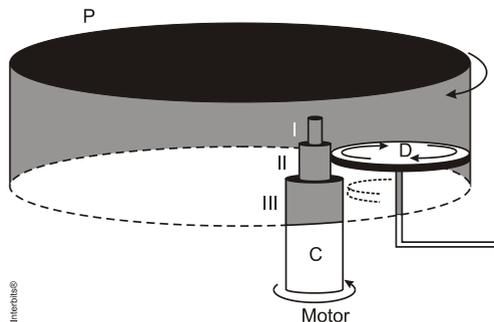
b)  $\frac{\pi}{12} \cdot R$ .

c)  $\pi \cdot R$ .

d)  $2\pi \cdot R$ .

e)  $12\pi \cdot R$ .

**(02)** A figura representa uma parte de um toca-discos que opera nas frequências de 33rpm, 45rpm e 78rpm. Uma peça metálica, cilíndrica  $C$ , apresentando três regiões I, II e III de raios, respectivamente, iguais a  $R_1$ ,  $R_2$  e  $R_3$ , que gira no sentido indicado, acoplada ao eixo de um motor. Um disco rígido de borracha  $D$ , de raio  $R_D$ , entra em contato com uma das regiões da peça  $C$ , adquirindo, assim, um movimento de rotação. Esse disco também está em contato com o prato  $P$ , sobre o qual é colocado o disco fonográfico. Quando se aciona o comando para passar de uma frequência para outra, o disco  $D$  desloca-se para cima ou para baixo, entrando em contato com outra região da peça  $C$ .



A análise da figura, com base nos conhecimentos sobre movimento circular uniforme, permite afirmar:

- A frequência do disco D é igual a  $0,75R_2/R_D$ .
- Todos os pontos periféricos da peça C têm a mesma velocidade linear.
- O disco D e o prato P executam movimentos de rotação com a mesma frequência.
- A peça C e o disco D realizam movimentos de rotação com a mesma velocidade angular.
- A velocidade linear de um ponto periférico da região I, do cilindro C, é igual a  $26\pi R_1 \text{ cm/s}$ , com raio medido em cm.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

Considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$  e utilize  $\pi = 3$ ,  $(3)^{1/2} = 1,7$  e  $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$ .

**(03)** Um atuador linear é um conjunto parafuso-porca, que transforma o movimento de rotação do parafuso num movimento linear de uma porca. Considerando que para cada volta do parafuso, a porca desloca-se 2 mm, assinale a alternativa **CORRETA**.

- A relação entre a velocidade angular do parafuso e a velocidade linear da porca é uma constante.
- Se a velocidade de rotação do parafuso é de 360 rpm, a velocidade linear da porca é de 6 mm/s.
- Se o parafuso realiza 10 voltas completas, o deslocamento linear da porca é igual a 20 cm.
- Se a velocidade de rotação do motor aumenta de zero até 360 rpm em 6 s, a aceleração linear da porca é de  $120 \text{ mm/s}^2$ .
- Quando a velocidade de rotação do parafuso é constante e igual a 120 rpm, a aceleração linear da porca é igual a  $2 \text{ mm/s}^2$ .

(04.) O ano de 2015 tem um segundo a mais. No dia 30 de junho de 2015, um segundo foi acrescido à contagem de tempo de 2015. Isso ocorre porque a velocidade de rotação da Terra tem variações em relação aos relógios atômicos que geram e mantêm a hora legal. Assim, no dia 30 de junho, o relógio oficial registrou a sequência: 23h59min59s - 23h59min60s, para somente então passar a 1º de julho, hoominoos Como essa correção é feita no horário de Greenwich, no Brasil a correção ocorreu às 21 h, horário de Brasília. Isso significa que, em média, a velocidade angular do planeta:

- a) cresceu.
- b) manteve-se constante e positiva.
- c) decresceu.
- d) é sempre nula.

(05) Uma das modalidades de corridas de automóveis muito populares nos Estados Unidos são as corridas de arrancadas, lá chamadas de *Dragsters Races*. Estes carros são construídos para percorrerem pequenas distâncias no menor tempo. Uma das características destes carros é a diferença entre os diâmetros dos seus pneus dianteiros e traseiros. Considere um *Dragster* cujos pneus traseiros e dianteiros tenham respectivamente diâmetros de  $d_1 = 1,00\text{m}$  e  $d_2 = 50,00\text{ cm}$ . Para percorrer uma distância de  $300,00\text{ m}$ , a razão ( $n_1 / n_2$ ). entre o número de voltas que os pneus traseiros e dianteiros, supondo que em nenhum momento haverá deslizamento dos pneus com o solo, será:

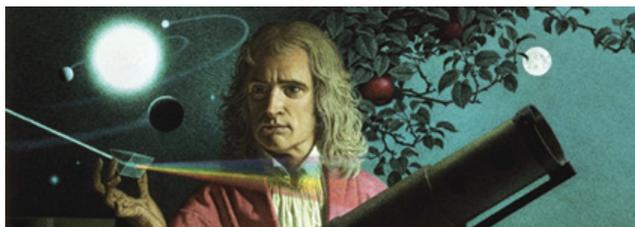


(Fonte: <http://www.bankspower.com/news/show/39-banks-dragster-development-continues>)

- a) 150,00
- b) 50,00
- c) 25,00
- d) 2,00
- e) 0,50

## CAPÍTULO 9

### DINÂMICA



#### INTRODUÇÃO AS LEIS DE NEWTON

As leis de Newton são os pilares de sustentação da Mecânica clássica. Elas descrevem o movimento dos corpos, tanto no céu como na terra, as órbitas dos planetas, preveem a existência de novos planetas e explicam, por exemplo, os fenômenos das marés. Mas precisamos de cautela ao interpretá-las e aplicá-las ao nosso cotidiano.

#### FORÇA

Força é uma ação física com que causa deformações ou que altera o estado de repouso ou de movimento de um determinado objeto. O primeiro a abordar este conceito foi Aristóteles, mas este acreditava que as forças provocavam o movimento, porque os corpos tinham a tendência de estar em repouso. Possíveis efeitos causados:

- 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”.

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

## 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.

### 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.

$$\mathbf{F}_R = 0 \text{ (Repouso ou MRU)}$$

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.

## 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. Matematicamente, podemos expressar esta Lei da seguinte forma:

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

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.

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

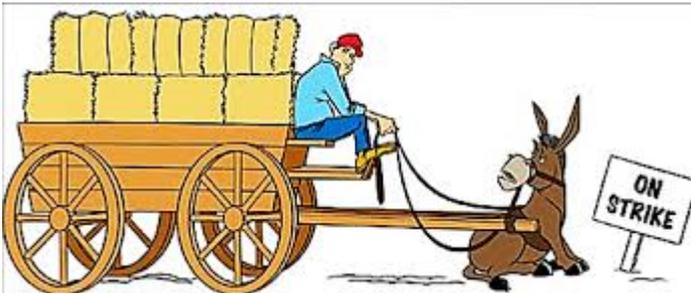
Para que se tenha uma ideia, 1 newton de força equivale ao peso de uma pequena xícara de café, aproximadamente. Uma outra unidade utilizada na prática é o quilograma-força (kgf). A relação entre o newton e o kgf é:

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

## 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.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

(01) O personagem Cebolinha, na tirinha abaixo, vale-se de uma Lei da Física para executar tal proeza que acaba causando um acidente.



Copyright©1999 Mauricio de Sousa Produções Ltda. Todos os direitos reservados.

A lei considerada pelo personagem é:

- a) 1ª Lei de Newton: Inércia.
- b) 2ª Lei de Newton:  $F = m \cdot a$ .
- c) 3ª Lei de Newton: Ação e Reação.
- d) Lei da Conservação da Energia.

(02) Em um dia de calmaria, um barco reboca um paraquedista preso a um *paraglider*. O barco e o paraquedista deslocam-se com velocidade vetorial e alturas constantes.



(www.gettyimages.pt)

Nessas condições,

- a) o peso do paraquedista é a força resultante sobre ele.
- b) a resultante das forças sobre o paraquedista é nula.
- c) a força resultante exercida no barco é maior que a resultante no paraquedista.
- d) a força peso do paraquedista depende da força exercida pelo barco sobre ele.
- e) o módulo da tensão na corda que une o paraquedista ao *paraglider* será menor que o peso do paraquedista.

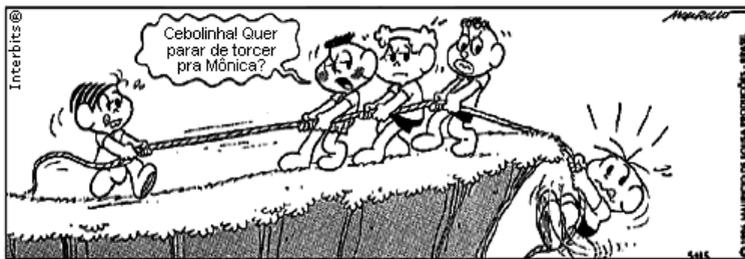
**(03)** Filmes de ficção, como Star Wars (Guerra nas Estrelas), mostram voos de espaçonaves e suas manobras direcionais, além de batalhas envolvendo naves e civilizações tecnologicamente avançadas. Em relação a esses filmes, é correto afirmar que eles:

- a) respeitam as leis da Física, especialmente aquelas que envolvem as conservações do momento linear e da energia mecânica.
- b) respeitam as questões relativas à acústica em meio vácuo, assim como a velocidade e a visualização de "pacotes de onda" ("disparos" laser) no vazio do espaço.
- c) desrespeitam as noções de gravidade artificial no interior da nave, desconsiderando efeitos de imponderabilidade.
- d) desrespeitam as noções de dinâmicas de voo em superfícies planetárias, adotando designs não aerodinâmicos de naves.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

(01) Em Tirinhas, é muito comum encontrarmos situações que envolvem conceitos de Física e que, inclusive, têm sua parte cômica relacionada, de alguma forma, com a Física.

Considere a tirinha envolvendo a “Turma da Mônica”, mostrada a seguir.



Copyright ©1999 Mauricio de Sousa Produções Ltda. Todos os direitos reservados.

Supondo que o sistema se encontra em equilíbrio, é correto afirmar que, de acordo com a Lei da Ação e Reação (3ª Lei de Newton),

- a) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que os meninos exercem sobre a corda formam um par ação-reação.
- b) a força que a Mônica exerce sobre o chão e a força que a corda faz sobre a Mônica formam um par ação-reação.
- c) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que a corda faz sobre a Mônica formam um par ação-reação.
- d) a força que a Mônica exerce sobre a corda e a força que os meninos exercem sobre o chão formam um par ação-reação.

(02) De um modo simplificado, pode-se descrever mecanicamente um amortecedor automotivo como uma haste cujo tamanho varia mediante a aplicação de uma força de tração ou compressão na direção de seu comprimento. Essa haste oferece uma força de resistência oposta à força aplicada. Diferentemente de uma mola helicoidal, cuja força é proporcional ao deslocamento, no amortecedor a força é proporcional à velocidade de compressão ou de distensão. Nesse amortecedor ideal, sendo aplicada uma tração que faça seu comprimento  $L$  variar como  $L = 2t$ , onde  $t$  é o tempo, a força de resistência é

- a) decrescente.
- b) constante e não nula.
- c) crescente.
- d) nula.

(03) Uma motocicleta de 120 kg se choca de frente com um automóvel de 800 kg, em uma rua horizontal. Sobre a força sofrida pelos veículos, devido à colisão, assinale o correto.

- a) As forças sofridas pelos dois veículos são iguais.
- b) A motocicleta sofre maior força.
- c) O automóvel sofre maior força.
- d) As forças sofridas pelos dois veículos vão depender de a colisão ser ou não elástica.

(04) Um pequeno automóvel colide frontalmente com um caminhão cuja massa é cinco vezes maior que a massa do automóvel. Em relação a essa situação, marque a alternativa que contém a afirmativa correta.

- a) Ambos experimentam desaceleração de mesma intensidade.
- b) Ambos experimentam força de impacto de mesma intensidade.
- c) O caminhão experimenta desaceleração cinco vezes mais intensa que a do automóvel.
- d) O automóvel experimenta força de impacto cinco vezes mais intensa que a do caminhão.
- e) O caminhão experimenta força de impacto cinco vezes mais intensa que a do automóvel.

(05) Mestre Shinohara, instrutor de artes marciais, demonstra uma técnica de Karatê em uma de suas aulas. A figura ilustra um chute conhecido tecnicamente como yoko-tobi-geri. Nesse chute, o mestre dá um salto projetando-se na direção de seu auxiliar e, num determinado instante, libera o golpe atingindo o alvo (uma tábua).

Face ao ilustrado na figura, podemos afirmar que

- a) a força que o pé do mestre faz no alvo é maior do que a exercida pelo alvo sobre seu pé, fato evidenciado pela quebra da tábua.
- b) o impulso que o pé do mestre exerce na tábua é igual, em intensidade, ao aplicado pela tábua no seu pé.
- c) o centro de massa e de gravidade do mestre não coincidem devido ao movimento que ele imprime às diferentes partes do seu corpo.
- d) a energia mobilizada pelo mestre, para arrebentar a tábua durante o golpe, é a energia potencial gravitacional no instante do contato do pé com o alvo.

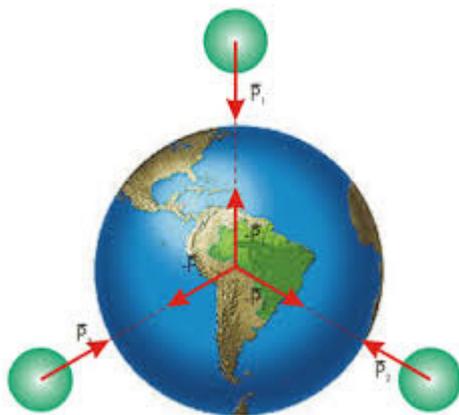
## LEIS DE NEWTON

### PRINCIPAIS FORÇAS

#### FORÇA PESO ( $\vec{P}$ )



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  $10 \text{ m/s}^2$ .



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:

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

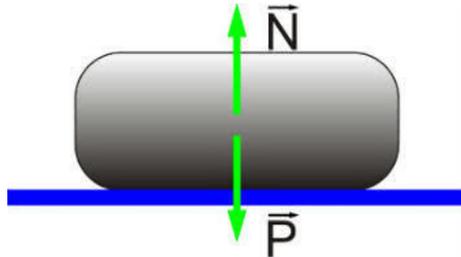
O peso tem direção radial e aponta sempre para o centro do planeta. Em nossos

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  $700\text{N}$ ." Pois, neste caso, efetuamos o seguinte cálculo:

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

### REAÇÃO NORMAL ( $\vec{N}$ )

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.



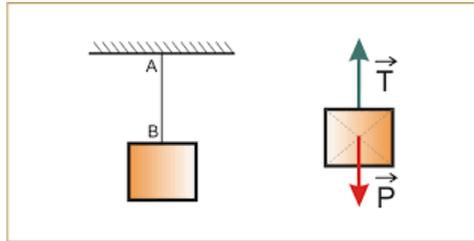
Note que, neste caso, as forças Peso e Normal possuem mesma direção, sentidos opostos e mesmo módulo. Por isso, estas forças se equilibram, produzindo uma força resultante nula.

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

### FORÇA DE TRAÇÃO EXERCIDA POR UM FIO IDEAL ( $\vec{T}$ )

Dado um sistema onde um corpo é puxado por um fio ideal, ou seja, que seja inextensível, flexível e tem massa desprezível. Podemos considerar que a força

é aplicada no fio, que por sua vez, aplica uma força no corpo, a qual chamamos de Força de Tração  $\vec{T}$ .



### FORÇA ELÁSTICA ( $\vec{F}_{el}$ )

Imagine uma mola presa em uma das extremidades a um suporte, e em estado de repouso (sem ação de nenhuma força).



Quando aplicamos uma força  $F$  na outra extremidade, a mola tende a deformar (esticar ou comprimir, dependendo do sentido da força aplicada). Ao estudar as deformações de molas e as forças aplicadas, Robert Hooke (1635-1703), verificou que a deformação da mola aumenta proporcionalmente à força. Daí estabeleceu-se a seguinte lei, chamada Lei de Hooke:

$$\vec{F}_{el} = k \cdot x$$

Onde:

$\vec{F}_{el}$ : intensidade da força aplicada (N);

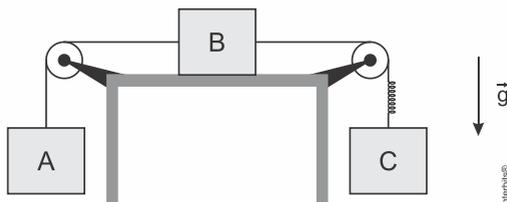
$k$ : constante elástica da mola (N/m);

$x$ : deformação da mola (m).

**Observação:** A constante elástica da mola depende principalmente da natureza do material de fabricação da mola e de suas dimensões. Sua unidade mais usual é o N/m (newton por metro) mas também encontramos N/cm; kgf/m, etc.

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

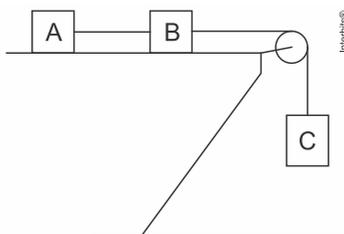
(01) Na montagem experimental abaixo, os blocos A, B e C têm massas  $m_A = 2,0 \text{ kg}$ ,  $m_B = 3,0 \text{ kg}$  e Desprezam-se os atritos e a resistência do ar. Os fios e as polias são ideais e adote



No fio que liga o bloco B com o bloco C, está intercalada uma mola leve de constante elástica. Com o sistema em movimento, a deformação da mola é?

- a) 2,0 cm
- b) 1,0 cm
- c) 1,5 cm
- d) 2,8 cm
- e) 4,2 cm

2.



O conceito de força, embora algo intuitivo, pode ser baseado nos efeitos causados por ela, tais como a aceleração e a deformação. Na figura, os corpos apresentam massas iguais a  $m_A = 2,0 \text{ kg}$ ,  $m_B = 3,0 \text{ kg}$  e  $m_C = 5,0 \text{ kg}$ , e o coeficiente de atrito entre a superfície de apoio e os blocos A e B é igual a 0,2. Nessas condições, é correto afirmar que a intensidade da força de tração entre os blocos A e B, em N, é igual a:

- a) 35,0
- b) 30,0
- c) 25,0
- d) 12,0
- e) 8,0

3. Grandezas vetoriais são frequentemente expressas em termos de vetores unitários que são os que não possuem dimensão, mas têm módulo igual a +1 e são utilizados para especificar uma determinada direção e sentido, não tendo nenhum outro significado físico. Considerando-se os três vetores velocidades:

$\vec{V}_1 = (2\vec{i} + 4\vec{j})\text{ m/s}$ ,  $\vec{V}_2 = (-3\vec{i} - 4\vec{j})\text{ m/s}$  e  $\vec{V}_3 = (\vec{i} + \vec{j})\text{ m/s}$ , então o vetor  $\vec{V} = 2\vec{V}_1 - \vec{V}_2 + \vec{V}_3$  tem módulo, em m/s, de, aproximadamente,

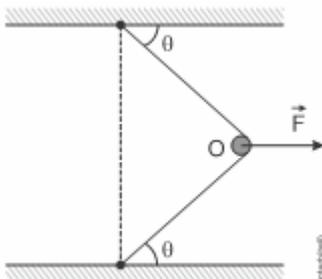
a) 14,5  
d) 15,1

b) 14,7  
e) 15,3

c) 14,9

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. No instante mostrado na figura a seguir, o cabo elástico está tensionado com uma tração de módulo igual a 36,0 N, ao passo que o objeto pontual O está submetido a uma força de módulo 16,0 N, resultando em uma aceleração de módulo 2,0 m/s<sup>2</sup> que aponta para a direita.

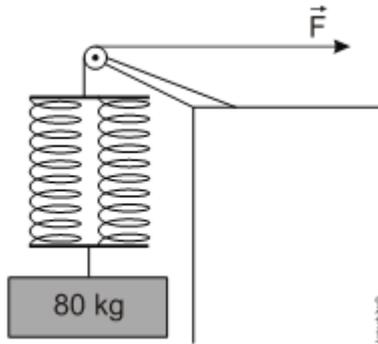


Sabendo que a massa do objeto O é igual a  $m = 2,0\text{ kg}$  e desprezando efeitos gravitacionais, é CORRETO afirmar que o valor do ângulo  $\theta$  :

a) está entre 10° e 20°  
c) está entre 30° e 60°  
e) está entre 60° e 90°

b) é exatamente igual a 30°  
d) é exatamente igual a 60°

2. O sistema da figura é formado por um bloco de 80 kg e duas molas de massas desprezíveis associadas em paralelo, de mesma constante elástica. A força horizontal  $\vec{F}$  mantém o corpo em equilíbrio estático, a deformação elástica do sistema de molas é 20 cm e a aceleração da gravidade local tem módulo 10 m/s<sup>2</sup>. Então, é correto afirmar que a constante elástica de cada mola vale, em N/cm:



a) 10  
d) 60

b) 20  
e) 80

c) 40

3. O equipamento representado na figura foi montado com o objetivo de determinar a constante elástica de uma mola ideal. O recipiente R, de massa desprezível, contém água; na sua parte inferior, há uma torneira T que, quando aberta, permite que a água escoe lentamente com vazão constante e caia dentro de outro recipiente B, inicialmente vazio (sem água), que repousa sobre uma balança. A torneira é aberta no instante  $t = 0$  e os gráficos representam, em um mesmo intervalo de tempo ( $t'$ ), como variam o comprimento L da mola (gráfico 1), a partir da configuração inicial de equilíbrio, e a indicação da balança (gráfico 2).

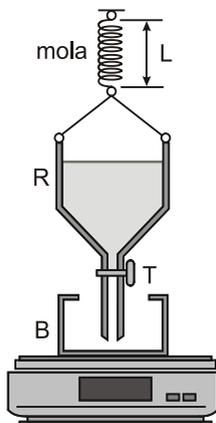


Gráfico 1

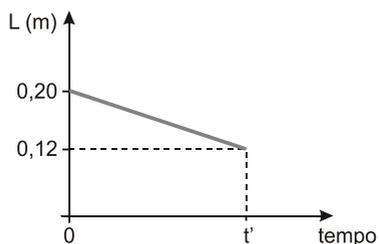
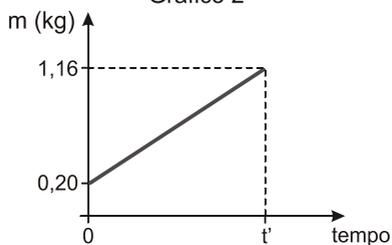


Gráfico 2



Analisando as informações, desprezando as forças entre a água que cair no recipiente B e o recipiente R e considerando é correto concluir que a constante elástica  $k$  da mola, em  $\text{N/m}$ , é igual a:

- a) 120.                      b) 80.                      c) 100.  
d) 140.                      e) 60.

4. A força resistiva ( $F_r$ ) que o ar exerce sobre os corpos em movimento assume,



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:

$$\vec{F}_{2t} = \mu \cdot N$$

Observação: 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.

## TIPOS DE ATRITO

### (1) 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:

$$\vec{F}_{2e} = \mu_e \cdot N$$

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

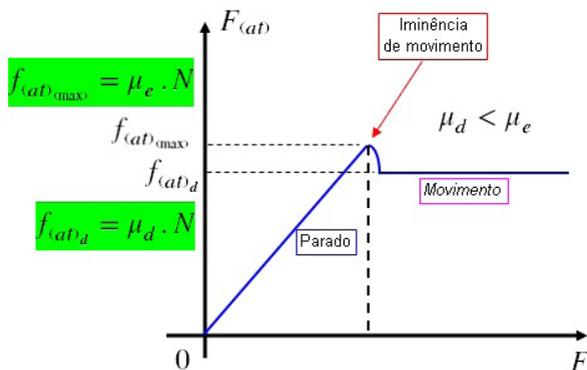
### (2) Força de atrito cinético

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:

$$\vec{F}_{2c} = \mu_c \cdot N$$

Onde:  $\mu_c$  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.

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. O caminhar humano, de modo simplificado, acontece pela ação de três forças sobre o corpo: peso, normal e atrito com o solo. De modo simplificado, as forças peso e atrito sobre o corpo são, respectivamente,

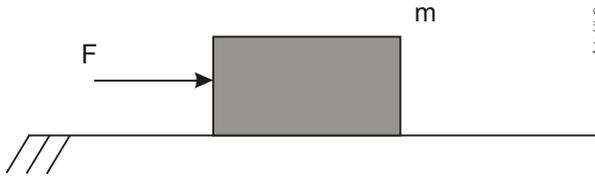
- vertical para cima e horizontal com sentido contrário ao deslocamento.
- vertical para cima e horizontal com mesmo sentido do deslocamento.
- vertical para baixo e horizontal com mesmo sentido do deslocamento.
- vertical para baixo e horizontal com sentido contrário ao deslocamento.

2. Uma força horizontal constante é aplicada num corpo de massa 3kg que se encontra sobre uma mesa cuja superfície é formada por duas regiões: com e sem atrito. Considere que o corpo realiza um movimento retilíneo e uniforme na região com atrito cujo coeficiente de atrito dinâmico é igual a 0,2 e se dirige para a região sem atrito. A aceleração adquirida pelo corpo ao entrar na região sem atrito é igual a: (Considere:  $g = 10\text{m/s}^2$ .)

- $2\text{m/s}^2$ .
- $4\text{m/s}^2$ .
- $6\text{m/s}^2$ .
- $8\text{m/s}^2$ .

3. Sobre um paralelepípedo de granito de massa  $m = 900,0\text{ kg}$ , apoiado sobre um terreno plano e horizontal, é aplicada uma força paralela ao plano de  $F = 2.900\text{ N}$ . Os coeficientes de atrito dinâmico e estático entre o bloco de granito e o terreno são 0,25 e 0,35, respectivamente. Considere a aceleração da gravidade

local igual a  $10,0 \text{ m/s}^2$ . Estando inicialmente em repouso, a força de atrito que age no bloco é, em newtons:



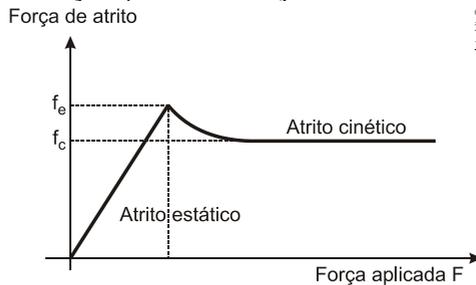
a) 2.250  
d) 7.550

b) 2.900  
e) 9.000

c) 3.150

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. Um jovem aluno de física, atendendo ao pedido de sua mãe para alterar a posição de alguns móveis da residência, começou empurrando o guarda-roupa do seu quarto, que tem  $200 \text{ kg}$  de massa. A força que ele empregou, de intensidade  $F$ , horizontal, paralela à superfície sobre a qual o guarda-roupa deslizaria, se mostrou insuficiente para deslocar o móvel. O estudante solicitou a ajuda do seu irmão e, desta vez, somando à sua força uma outra força igual, foi possível a mudança pretendida. O estudante, desejando compreender a situação-problema vivida, levou-a para sala de aula, a qual foi tema de discussão. Para compreendê-la, o professor apresentou aos estudantes um gráfico, abaixo, que relacionava as intensidades da força de atrito ( $f_e$ , estático, e  $f_c$ , cinético) com as intensidades das forças aplicadas ao objeto deslizante.



Com base nas informações apresentadas no gráfico e na situação vivida pelos irmãos, em casa, é correto afirmar que:

a) o valor da força de atrito estático é sempre maior do que o valor da força de atrito cinético entre as duas mesmas superfícies.

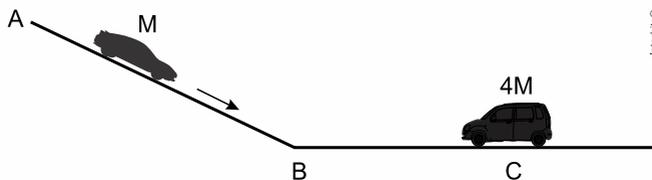
- b) a força de atrito estático entre o guarda-roupa e o chão é sempre numericamente igual ao peso do guarda-roupa.
- c) a força de intensidade  $F$ , exercida inicialmente pelo estudante, foi inferior ao valor da força de atrito cinético entre o guarda-roupa e o chão.
- d) a força resultante da ação dos dois irmãos conseguiu deslocar o guarda-roupa porque foi superior ao valor máximo da força de atrito estático entre o guarda-roupa e o chão.
- e) a força resultante da ação dos dois irmãos conseguiu deslocar o guarda-roupa porque foi superior à intensidade da força de atrito cinético entre o guarda-roupa e o chão.

2. Dois blocos A e B, de massas  $m_A = 1,5 \text{ kg}$  e  $m_B = 0,5 \text{ kg}$ , respectivamente, estão dispostos de forma que o bloco B está sobre o bloco A e este último sobre uma superfície horizontal sem atrito. O coeficiente de atrito estático entre os blocos é  $\mu = 0,4$ . Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , qual é a maior força que pode ser aplicada horizontalmente sobre o bloco A, de tal forma que os dois blocos se movam juntos?

- a) 4 N
- b) 8 N
- c) 16 N
- d) 32 N

O texto e a figura a seguir refere(m)-se à(s) questão(ões) a seguir:

Têm sido corriqueiras as notícias relatando acidentes envolvendo veículos de todos os tipos nas ruas e estradas brasileiras. A maioria dos acidentes são causados por falhas humanas, nas quais os condutores negligenciam as normas de boa conduta. A situação seguinte é uma simulação de um evento desse tipo.



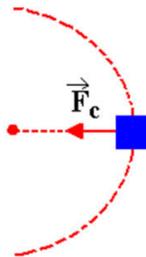
O motorista de um automóvel, de massa  $m$ , perdeu o controle do veículo ao passar pelo ponto A, deslizando, sem atrito, pela ladeira retilínea AB, de 200 m de extensão; o ponto A está situado 25 m acima da pista seguinte BC retilínea e horizontal. Ao passar pelo ponto B, a velocidade do carro era de 108 km/h. O trecho BC, sendo mais rugoso que o anterior, fez com que o atrito reduzisse a velocidade do carro para 72 km/h, quando, então, ocorreu a colisão com outro veículo, de massa  $4 M$ , que estava parado no ponto C, a 100 m de B. A colisão





**DINÂMICA DO MOVIMENTO CIRCULAR****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,  $F_c = m \cdot a_c$

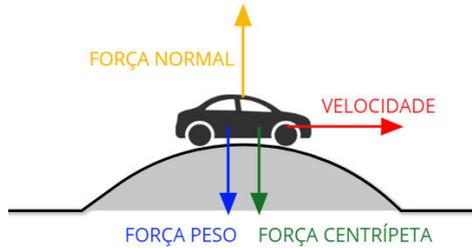
$$\vec{F}_c = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

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

**(1) Lombada**

Um móvel, ao passar pelo ponto mais alto de uma lombada circular terá,

desprezando-se os atritos, o seguinte diagrama de forças:

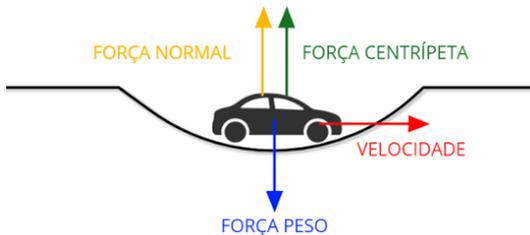


Como podemos perceber, a força peso aponta para o centro da trajetória, enquanto que a normal tem o sentido oposto ao do centro da curva. Assim, o módulo do peso deve ser maior do que o da normal, uma vez que a força resultante (centrípeta) tem que apontar para o centro da trajetória. Para calcularmos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

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

## (2) Depressão

Neste caso, o diagrama de forças será:



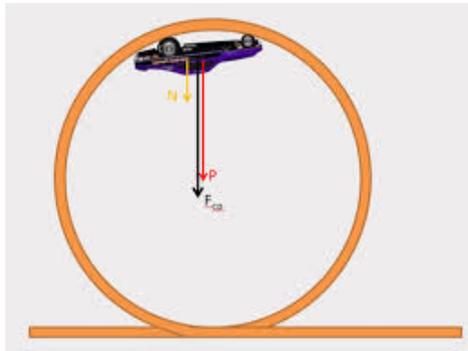
A força que aponta para o centro da curva é a normal. Logo, ela deve ter uma intensidade maior do que a do peso. Assim, a força centrípeta será:

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

### (3) 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:

$$F_{cp} = P + N = m \cdot \frac{v^2}{R}$$

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

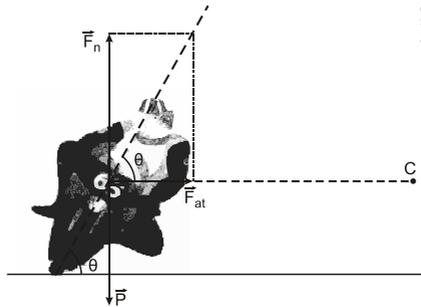
naquele ponto for pequena, a normal também terá um módulo pequeno. Podemos estabelecer que a velocidade mínima necessária para que o motociclista consiga completar a volta está relacionada com uma força normal nula. Assim:

$$V_{MIN} \Rightarrow N = 0 \Rightarrow F_C = P$$

$$m \cdot V_{MIN} = m \cdot g \Rightarrow V_{MIN} = \sqrt{Rg}$$

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

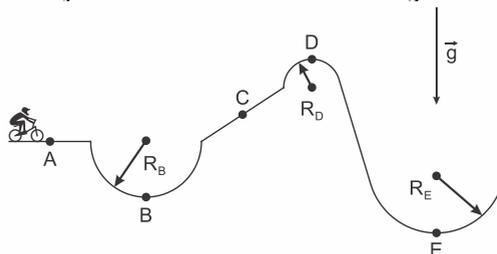
1.



A figura representa as forças que atuam sobre um piloto que tomba sua motocicleta em uma curva para percorrê-la com maior velocidade. Sabendo-se que a massa do conjunto moto-piloto é igual a  $m$ , a inclinação do eixo do corpo do piloto em relação à pista é  $\theta$ , o módulo da aceleração da gravidade local é  $g$  e que o raio da curva circular é igual a  $R$ , contida em um plano horizontal, em movimento circular uniforme, é correto afirmar que a energia cinética do conjunto moto-piloto é dada pela expressão:

- a)  $\frac{mR^2}{2g\theta}$       b)  $\frac{mRtg\theta}{2g}$       c)  $\frac{mgR}{2tg\theta}$       d)  $\frac{mgRtg\theta}{2}$       e)  $\frac{m(gRtg\theta)^2}{2}$

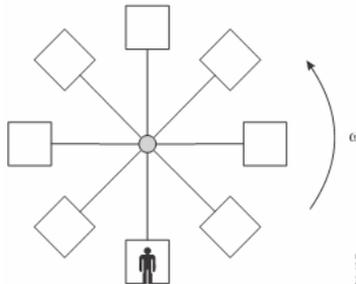
2. Suponha que, em uma prova olímpica de ciclismo BMX, presente nos Jogos Olímpicos desde a Olimpíada de Pequim 2008, um atleta percorre um trecho de pista de corrida cujo corte lateral é mostrado na figura a seguir.



A partir desse corte, percebe-se que o atleta viaja por segmentos de pista retos e por semicírculos onde  $R_D < R_B < R_E$ . Se o atleta pedala e utiliza os freios de forma a ter velocidade constante no trecho mostrado, o ponto de maior intensidade da reação normal da pista sobre a bicicleta é

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

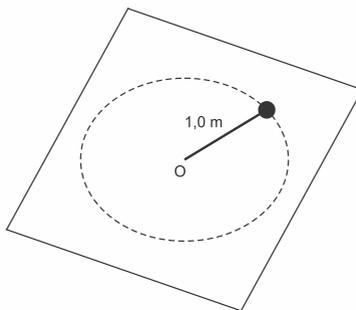
3. Em um filme de ficção científica, uma nave espacial possui um sistema de cabines girantes que permite ao astronauta dentro de uma cabine ter percepção de uma aceleração similar à gravidade terrestre. Uma representação esquemática desse sistema de gravidade artificial é mostrada na figura a seguir. Se, no espaço vazio, o sistema de cabines gira com uma velocidade angular  $\omega$  e o astronauta dentro de uma delas tem massa  $m$ , determine o valor da força normal exercida sobre o astronauta quando a distância do eixo de rotação vale  $R$ . Considere que  $R$  é muito maior que a altura do astronauta e que existe atrito entre o solo e seus pés.



- a)  $mR\omega^2$                       b)  $2mR\omega^2$                       c)  $mR\omega^2/2$   
 d)  $m\omega^2/R$                       e)  $8mR\omega^2$

### EXERCÍCIOS PROPOSTOS

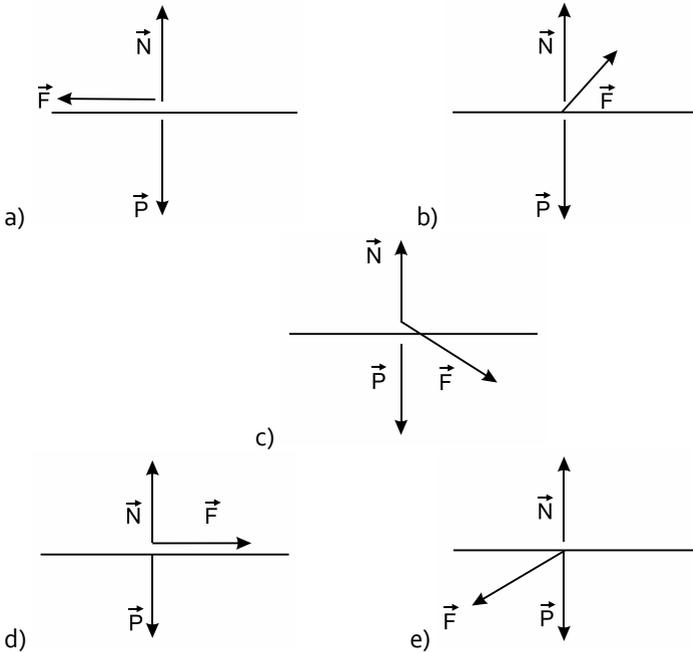
1.



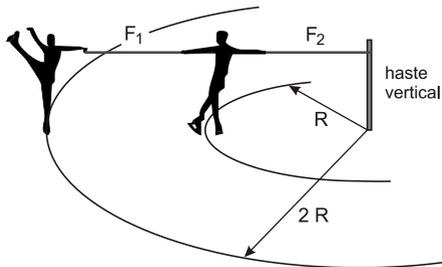
Uma esfera de massa 2,00 kg que está presa na extremidade de uma corda de



(Dados:  $F$  : força do tablado;  $N$  : reação normal do tablado;  $P$  : peso da criança)



4. Em um *show* de patinação no gelo, duas garotas de massas iguais giram em movimento circular uniforme em torno de uma haste vertical fixa, perpendicular ao plano horizontal. Duas fitas,  $F_1$  e  $F_2$ , inextensíveis, de massas desprezíveis e mantidas na horizontal, ligam uma garota à outra, e uma delas à haste. Enquanto as garotas patinam, as fitas, a haste e os centros de massa das garotas mantêm-se num mesmo plano perpendicular ao piso plano e horizontal

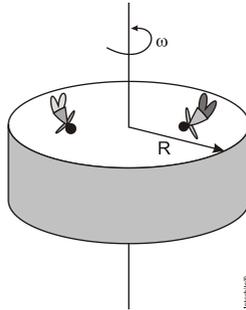


Considerando as informações indicadas na figura, que o módulo da força de tração na fita  $F_1$  é igual a 120 N e desprezando o atrito e a resistência do ar, é

correto afirmar que o módulo da força de tração, em newtons, na fita  $F_2$  é igual a

a) 120.                      b) 240.                      c) 60.                      d) 210.                      e) 180.

5. Uma estação espacial foi projetada com formato cilíndrico, de raio  $R$  igual a 100 m, como ilustra a figura abaixo.



Para simular o efeito gravitacional e permitir que as pessoas caminhem na parte interna da casca cilíndrica, a estação gira em torno de seu eixo, com velocidade angular constante  $\omega$ . As pessoas terão sensação de peso, como se estivessem na Terra, se a velocidade  $\omega$  for de, aproximadamente,

**Note e adote:** (aceleração gravitacional na superfície da Terra é  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)

- a) 0,1 rad/s
- b) 0,3 rad/s
- c) 1 rad/s
- d) 3 rad/s
- e) 10 rad/s

## CAPÍTULO 10

### TRABALHO (W)



O motor de um carro, através da queima do combustível nos pistões, 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  $F$  inclinada em relação ao deslocamento.



O trabalho realizado pela força  $F$  é:

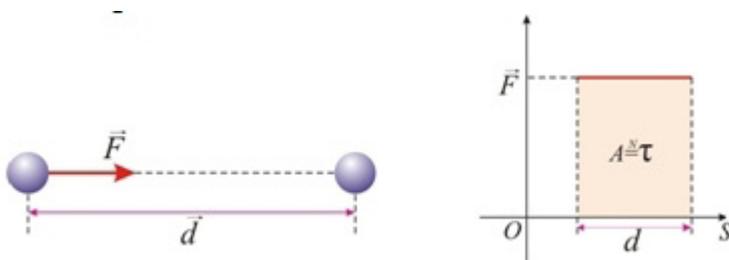
$$W = F \cdot d \cdot \cos \theta$$

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.:

$$[W] = [F] \cdot [d] = \text{N} \cdot \text{m} = \text{joule (J)}$$

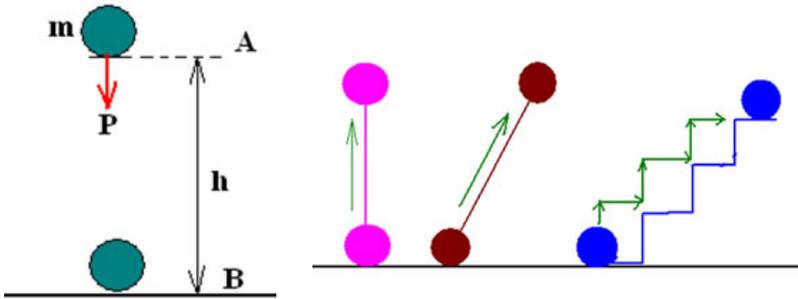
**Obs.:** A unidade do trabalho é a mesma de qualquer forma de energia, já que, conceitualmente, o trabalho representa a medida da transformação da energia.

**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.



**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.

**Trabalho da força Peso ( $W_p$ ):** Para realizar o cálculo do trabalho da força peso, devemos considerar a trajetória como a altura entre o corpo e o ponto de origem, e a força a ser empregada, a força Peso.

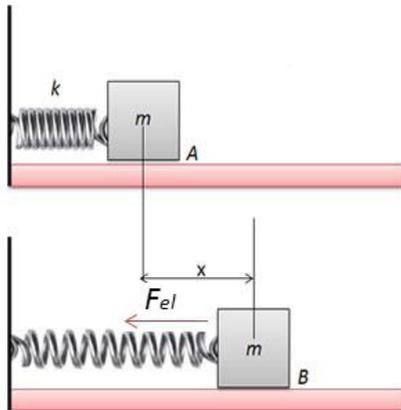


$$W = P \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

Observação:

- (1) O trabalho da força peso independe da trajetória
- (2) O trabalho da força peso será negativo quando o corpo estiver em sentido oposto ao adotado. Geralmente é considerado negativo quando o corpo sobe e positivo quando desce.

**Trabalho da força Elástica ( $W_{fel}$ ):** Para realizar o cálculo do trabalho da força elástica, devemos considerar a deformação da mola ou corda em relação ao ponto de origem, e a força a ser empregada, a força elástica.



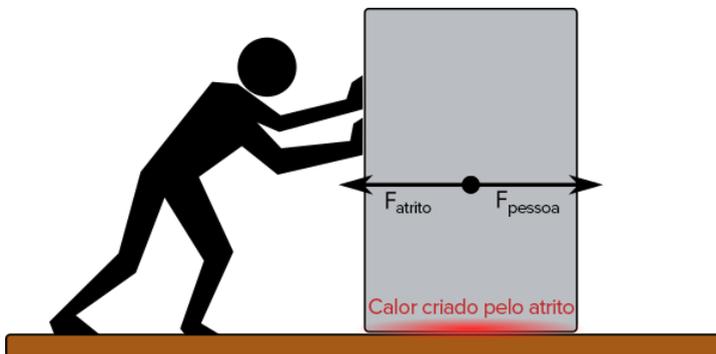
$$W_{fel} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Onde:

$K$  – Constante Elástica (N/m)

$x$  – deformação da mola (m)

**Trabalho da Força de atrito ( $W_{fat}$ ):** Para realizar o cálculo do trabalho da força de atrito, devemos considerar a o deslocamento em relação ao ponto de origem, e a força a ser empregada, a força de atrito.



$$W_{fat} = -F_{at} \cdot d = -\mu \cdot N \cdot d$$

**ATENÇÃO:** O trabalho da força de atrito é negativo devido à dissipação de energia que ocorre devido ao atrito entre o corpo e solo.

### 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:  $[P] = W / \Delta t = J / s = \text{watt (W)}$

Existem duas outras unidades que são bastante comuns:

**cavalo-vapor (cv)**  $\rightarrow 1 \text{ cv} = 735W$

**horse-power (hp)**  $\rightarrow 1 \text{ hp} = 746W$

**Obs.:** 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:

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

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

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

### POTÊNCIA INSTANTÂNEA ( $Pot_t$ )

Quando o tempo gasto for infinitamente pequeno teremos a potência instantânea, ou seja

$$Pot_t = F \cdot v$$

**ATENÇÃO:** O trabalho da força centrípeta é nulo, devido a força centrípeta ser perpendicular ao deslocamento.

### EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

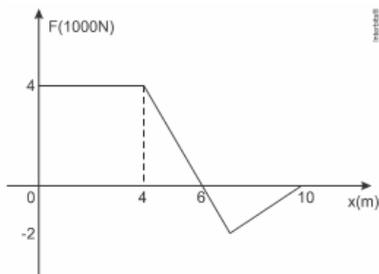
1. Um carro de 1.000 kg com o motor desligado é empurrado em uma rua plana e horizontal por um grupo de pessoas que, juntas, exercem uma força constante e horizontal de 600 N sobre o veículo. A partir do repouso, o carro adquire uma velocidade de 2 m/s após percorrer 10 m em linha reta.



(<http://estudio01.proj.ufsm.br>)

A energia dissipada ao final desses 10 m foi de

- a) 2.000 J.                      b) 2.000 J.                      c) 3.000 J.  
 d) 4.000 J.                      e) 5.000 J.



Considere uma partícula que se desloca sobre o eixo horizontal  $x$  sob a ação de uma força horizontal que varia com a posição  $x$  da partícula, de acordo com o gráfico representado. Sabe-se que o tempo gasto pela partícula para chegar à posição  $x$  igual a 10,0 m é de 4,0 s.

Com base nessas informações, analise as afirmativas e marque com **V** as verdadeiras e com **F**, as falsas.

- ( ) A partícula realiza um movimento uniforme entre as posições  $x = 0$  m e  $x = 4,0$  m.  
 ( ) O trabalho realizado sobre a partícula entre as posições  $x = 4,0$  m e  $x = 6,0$  m é igual a  $x = 0$  m  
 ( ) A potência média necessária para a partícula se deslocar de  $x = 0$  m até  $x = 10,0$  m é igual a 4,0 kW.  
 ( ) No intervalo entre  $x = 10,0$  m, e  $x = 10,0$  m, a partícula desenvolveu uma velocidade constante de módulo igual a 4,0 m/s.

A alternativa que contém a sequência correta, de cima para baixo, é a

- a) F – V – V – F                      b) F – F – V – V  
 c) F – V – F – V                      e) V – V – F – F  
 d) V – F – V – V

3. Muitas vezes, uma pessoa se surpreende com o aumento de consumo de combustível apresentado por um veículo que faz uma viagem em alta velocidade. Considere uma situação em que a intensidade da força total de resistência ao movimento,  $F_r$ , seja proporcional ao quadrado da intensidade da velocidade  $v$  do veículo. Se o veículo descrever movimento retilíneo e uniforme e duplicar o módulo da sua velocidade, então a potência desenvolvida pelo motor será multiplicada por

- a) 4                                      b) 6                                      c) 8  
d) 10                                      e) 12

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. Considere um gás ideal que sofre uma compressão pela realização de trabalho sobre o recipiente que o contém. Este trabalho tem a mesma unidade de medida de

- a) razão entre pressão e volume.  
b) produto de pressão por temperatura.  
c) razão entre temperatura e pressão.  
d) produto de pressão por volume.

2. Considere um pneu de 10 kg que gira sem deslizar sobre uma estrada horizontal. Despreze as deformações que o pneu possa sofrer, considere que o eixo de rotação se mantém sempre horizontal e que sobre o pneu haja apenas a força de atrito com a estrada ( $\hat{i} = 0,1$ ) e a força da gravidade ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ ) e a normal. Durante um deslocamento de 2 m sobre a estrada, o trabalho realizado pela força de atrito é, em J,

- a) 20.                                      b) 2.                                      c) 200.                                      d) 0.

3. Considere uma locomotiva puxando vagões sobre trilhos. Em um primeiro trecho da viagem, é aplicada uma força de 1 kN aos vagões, que se deslocam a 10 m/s. No trecho seguinte, é aplicada uma força de 2 kN e a velocidade é 5 m/s. A razão entre a potência no trecho inicial e no segundo trecho é

- a) 1.                                      b) 50.                                      c) 1/2.                                      d) 2.

**TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:** Considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$  e utilize  $\pi = 3$ ,  $(3)^{1/2} = 1,7$  e  $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$ .

4. Um jipe que possui um guincho elétrico de potência máxima igual a  $1,0 \text{ hp}$  é empregado para puxar uma caixa de  $1.000,0 \text{ kg}$  ao longo de uma trajetória horizontal, com velocidade de  $0,1 \text{ m/s}$ . Sabendo que o cabo do guincho está alinhado ao longo da trajetória da caixa e que o coeficiente de atrito entre o solo e a caixa é igual a  $0,5$ , assinale a alternativa **CORRETA**.

- a) A potência consumida é de  $1,0 \text{ hp}$ .
- b) O guincho não consegue movimentar a caixa.
- c) A energia consumida em  $2,0 \text{ s}$  é de  $1.000,0 \text{ J}$ .
- d) A potência média consumida é de aproximadamente  $750,0 \text{ W}$ .
- e) A distância percorrida pela caixa em  $2,0 \text{ s}$  é de  $30 \text{ cm}$ .

5. Um bloco de madeira desliza com atrito sobre uma mesa horizontal pela ação de uma força constante. É correto afirmar que o trabalho realizado sobre o bloco pela força

- a) de atrito é sempre positivo.
- b) normal é zero.
- c) de atrito é zero em uma trajetória fechada.
- d) normal é negativo.

## CAPITULO 11

### 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.

**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 é:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$



**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.

$$W_{FR} = \Delta E_C$$

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

**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).

**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).

$$E_{PG} = W_P = P \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

**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.

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

**Energia Mecânica ( $E_M$ ):** Como já vimos, a energia mecânica é a soma das energias cinética e potencial, ou seja:

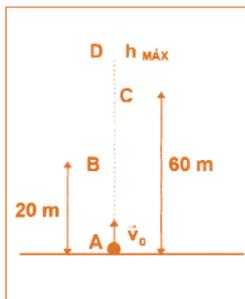


$$E_M = E_C + E_P$$

### 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  $1,0 \text{ kg}$ ) é lançada verticalmente para cima, a partir do solo, com uma velocidade de  $40 \text{ m/s}$ . Desprezando a resistência do ar, vamos estudar o movimento desta pedra. A figura acima mostra o instante do lançamento e diversos pontos da trajetória. O ponto A representa o local do lançamento, B está situado a  $20 \text{ m}$  de altura, C a  $60 \text{ m}$  e o ponto D é o de altura máxima atingida pela pedra. Iremos considerar a aceleração da gravidade local constante e igual  $10 \text{ m/s}^2$ . 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,

$$E_{MA} = E_{CA} = 800 \text{ J}$$

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.

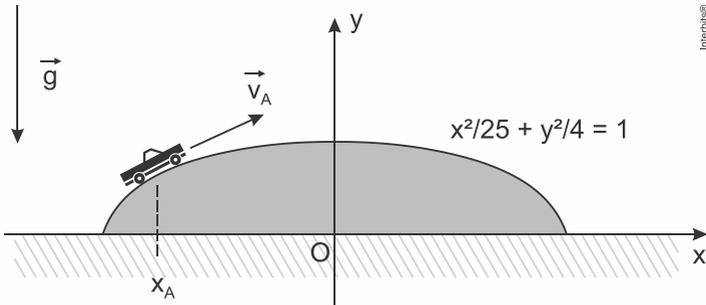
**Obs.:** Quando houver atrito no sistema, a energia mecânica irá diminuir progressivamente com o tempo, de tal forma que:

$$W_{FA} = E_{M\text{final}} - E_{M\text{inicial}}$$

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. Desejando ampliar seus conhecimentos sobre conservação da energia mecânica, um estudante observa o movimento de um pequeno carro, de massa  $250 \text{ g}$ , ao longo de uma trajetória que é descrita pela equação

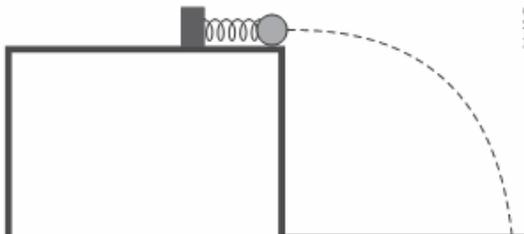
$x^2/25 + y^2/4 = 1$ , onde  $x$  e  $y$  são medidos em metros. Se no ponto A de coordenada horizontal  $x = x_A = -3,0$  m, o carro foi arremessado com velocidade inicial de módulo  $v_B = 0,0$  m/s? qual é a velocidade do carro no ponto B de coordenada horizontal  $x_B = 0,0$  m? Considere que o carro pode ser tratado como partícula e despreze os efeitos do atrito.



- a) 0,0 m/s                      b) 1,0 m/s                      c) 3,0 m/s  
 d) 6,2 m/s                      e) 8,4 m/s

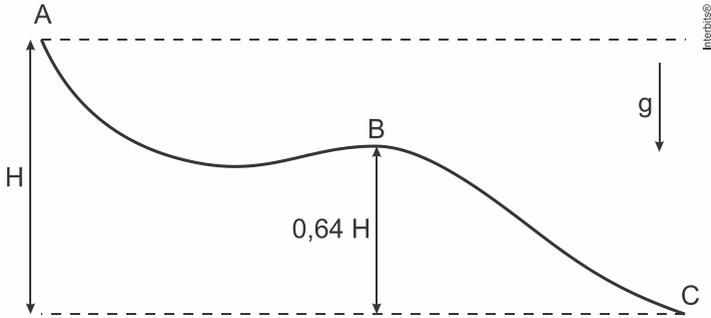
2. Em uma mesa de 1,25 metros de altura, é colocada uma mola comprimida e uma esfera, conforme a figura. Sendo a esfera de massa igual a 50 g e a mola comprimida em 10 cm, se ao ser liberada a esfera atinge o solo a uma distância de 5 metros da mesa, com base nessas informações, pode-se afirmar que a constante elástica da mola é:

(Dados: considere a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ .)



- a) 62,5 N/m                      b) 125 N/m                      c) 250 N/m  
 d) 375 N/m                      e) 500 N/m

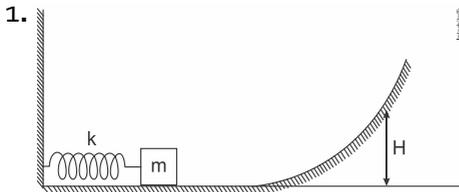
3. Um pequeno objeto é colocado no alto da rampa, no ponto A, mostrado na Figura. Esse objeto escorrega rampa abaixo, a partir do repouso, e alcança o ponto final da rampa (ponto C). Não há perdas por atrito.



Calcule a razão  $V_B/V_C$  entre as velocidades do objeto nos pontos B (altura  $0,64 H$ ) e C, respectivamente.

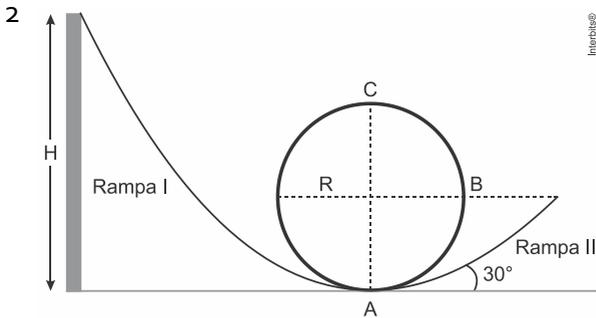
- a) 1,25      b) 1,0      c) 0,8      d) 0,64      e) 0,60

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS



A figura representa um sistema massa-mola ideal, cuja constante elástica é de  $4 \text{ N/cm}$ . Um corpo de massa igual a  $12,0 \text{ cm}$  é empurrado contra a mola, comprimindo-a de  $12,0 \text{ cm}$ . Ao ser liberado, o corpo desliza ao longo da trajetória representada na figura. Desprezando-se as forças dissipativas em todo o percurso e considerando a aceleração da gravidade igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar que a altura máxima  $H$  atingida pelo corpo, em  $\text{cm}$ , é igual a

- a) 24      b) 26      c) 28      d) 30      e) 32



A figura representa o perfil idealizado de uma pista de skate, uma das atividades físicas mais completas que existem pois trabalha o corpo, a mente e a socialização do praticante. A pista é composta por duas rampas, I e II, interligadas por um *loop* circular de raio  $R$ , em um local onde o módulo da aceleração da gravidade é igual a  $g$ . Considere um garoto no skate, de massa total  $m$ , como uma partícula com centro de massa movendo-se ao longo da pista. Sabe-se que o garoto no skate desce a rampa I, a partir do repouso, passa pelo ponto C com velocidade mínima sem perder o contato com a pista e abandona a rampa II. Com base nessas informações e nos conhecimentos de Física, desprezando-se o atrito e a resistência do ar, é correto afirmar:

a) A altura  $H$  da rampa I é igual a  $\frac{3R}{2}$ .

b) O módulo da velocidade do garoto no skate, ao passar pelo ponto A, é igual a  $5gR$ .

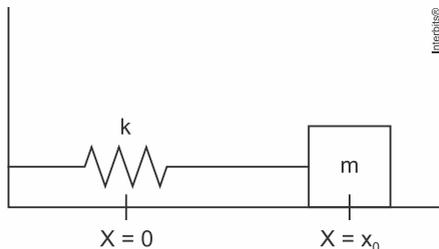
c) A intensidade da força normal que o garoto no skate recebe da superfície circular, ao passar pelo ponto B, é igual a  $3mg$ .

d) O módulo da velocidade mínima que o garoto no skate deve ter no ponto C é igual a  $gR$ .

e) A componente horizontal da velocidade com que o garoto no skate abandona

a rampa II, tem módulo igual a  $\frac{\sqrt{15gR}}{4}$ .

3.



Um bloco de massa igual a  $10,0 \text{ kg}$  se encontra preso na extremidade de uma mola de constante elástica  $k$  igual a  $10,0 \text{ N/cm}$ , conforme a figura. O bloco é puxado para uma posição  $x_0$  igual a  $6,0 \text{ cm}$  para a direita da posição de equilíbrio e, em seguida, é abandonado do repouso. Nessas condições, é correto afirmar que a velocidade do bloco, ao passar pela posição de equilíbrio, em  $\text{m/s}$ , é igual a:

- a)  $0,65$                       b)  $0,60$                       c)  $0,55$   
 d)  $0,50$                       e)  $0,45$

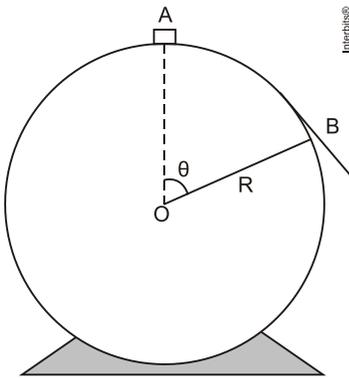
4. Ao deslizar por uma pista localizada nos Andes, sem utilizar os bastões para impulsionar seu movimento, a energia cinética de um esquiador aumenta de  $1,40 \times 10^4 \text{ J}$  quando desce uma altura de  $25 \text{ m}$ .



Considerando que o peso do esquiador juntamente com o do equipamento seja  $800 \text{ N}$ , o trabalho realizado pelas forças de resistência nesse deslocamento é, em módulo, igual a

- a)  $5,6 \times 10^2 \text{ J}$                       b)  $3,4 \times 10^4 \text{ J}$                       c)  $6,0 \times 10^3 \text{ J}$   
 d)  $6,0 \times 10^3 \text{ J}$                       e)  $3,5 \times 10^5 \text{ J}$

5. O progresso alcançado até hoje, no campo da Física, baseou-se nas investigações e nas descobertas das diferentes modalidades de energia e na constatação de que as várias formas de energia obedecem a um princípio de conservação. A figura representa a trajetória descrita por um bloco sobre uma superfície circular de raio  $R$ . O bloco parte do repouso, de um ponto A, desliza sem atrito e, ao atingir o ponto B, perde o contato com a superfície. Sabendo-se que o módulo da aceleração da gravidade local é  $g$  e desprezando-se a resistência do ar, o valor de  $\cos \theta$ , determinado com base na conservação da energia mecânica, é igual a



a)  $\frac{5}{3}$

b)  $\frac{4}{3}$

c) 1

d)  $\frac{2}{3}$

e)  $\frac{1}{3}$

## CAPÍTULO 12

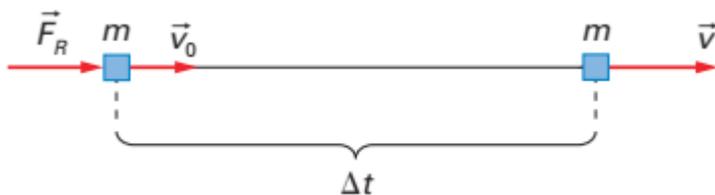
### IMPULSO E QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Sabemos, com base na nossa experiência diária, que empurrar um corpo não é apenas exercer força sobre ele, mas exercer força durante um determinado intervalo de tempo. Quanto maior o intervalo de tempo em que determinada força é exercida sobre um corpo, maior será o efeito que ela produzirá em relação à velocidade desse corpo. Veja as fotos a seguir.



As duas primeiras fotos mostram atletas em uma competição de *bobsleigh*. O *bobsleigh* é um esporte de inverno em que equipes de atletas descem uma pista em um carrinho em alta velocidade. Em um trecho plano e horizontal, os atletas empurram o carrinho durante certo tempo: a velocidade inicial adquirida, um dos fatores determinantes da vitória, depende da intensidade média da força desenvolvida pelos atletas e do tempo em que eles conseguem exercê-la antes de pular para dentro do carrinho e começar a descer pela pista sob ação exclusiva da gravidade.

Para entender o significado físico das relações entre força, intervalo de tempo e o efeito por elas produzido num corpo de determinada massa e velocidade, vamos retomar a segunda lei de Newton,  $F_R = ma$ .



A força resultante  $F_R$ , constante, exercida sobre o bloco de massa  $m$ , representado na figura, faz a sua velocidade variar de  $v_0$  a  $v$ , ou seja, o bloco adquire aceleração  $a$ . Da definição de aceleração  $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , temos:

$$F_R = m \cdot a = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Ou

$$F_R \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v = m \cdot v - m \cdot v_0$$

Do ponto de vista da Física, podemos concluir dessa expressão que a força resultante multiplicada pelo intervalo de tempo ( $F_R \cdot \Delta t$ ) em que ela é exercida sobre o bloco de massa  $m$  representa uma grandeza capaz de variar outro tipo de grandeza: o produto  $mv$ . Em outras & palavras, essa expressão nos permite definir duas novas grandezas físicas:

- O produto  $F \cdot \Delta t$  é, por definição, o **impulso** da força  $F$  sobre o corpo, que denominamos  $I_F$ . Portanto:

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

- O produto  $mv$  é, por definição, a & quantidade de movimento ou momento linear do corpo, que denominamos  $Q$ :

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$

Dessa definição podemos escrever:

$m \cdot v = Q$ : quantidade de movimento final do corpo;

$m \cdot v_0 = Q_0$ : quantidade de movimento inicial do corpo

Dessa forma, podemos representar essa nova grandeza

$$F \cdot \Delta t = m \cdot v - m \cdot v_0$$

Como:

$$F \cdot \Delta t = Q - Q_0$$

$$I = \Delta Q$$

**(Teorema do Impulso)**

O impulso da força resultante exercido sobre um corpo durante determinado intervalo de tempo é igual à variação da quantidade de movimento desse corpo nesse intervalo de tempo.

- A unidade de impulso é o produto da unidade de força pela unidade de tempo, portanto, N.s (newton.segundo) no SI.
- A unidade de quantidade de movimento é o produto da unidade de massa pela unidade de velocidade, portanto, kg.m/s (quilograma.metro por segundo) no SI.

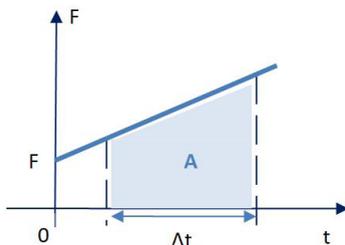
É fácil ver que ambas as unidades são equivalentes, pois:

$$\text{N.s} = (\text{kg.m/s}^2).\text{s} = \text{kg.m/s}$$

Essas unidades não têm nome específico porque se referem a grandezas auxiliares — impulso e quantidade de movimento são grandezas que permitem a análise de situações e a resolução de problemas de Física, mas individualmente têm pouco interesse, ao contrário do que acontece com velocidade, força, energia e potência, por exemplo.

**Observação:** A notação vetorial foi mantida em todas as expressões para ressaltar o caráter vetorial do impulso e da quantidade de movimento. No entanto, quando todas as grandezas vetoriais envolvidas tiverem a mesma direção, poderemos associar a essa direção um eixo orientado como referencial e operar algebricamente por meio dos módulos dessas grandezas acrescidos do sinal correspondente ao referencial adotado.

**Observação:** Frequentemente, na interação entre dois corpos, o módulo da força varia com o tempo. Nesse caso, a determinação do módulo do impulso dessa força  $F$ , no intervalo de tempo  $\Delta t$ , pode ser feita pelo cálculo da “área sob a curva” (A) no gráfico força  $\times$  tempo nesse intervalo de tempo.



## CONSERVAÇÃO DA QUANTIDADE DE MOVIMENTO

Vamos supor que um meteoro de massa  $m$  percorra uma região distante do espaço com velocidade  $v_0$  em relação a determinado referencial e nenhuma força externa seja exercida sobre ele. O meteoro é, portanto, um sistema isolado cuja quantidade de movimento é:

$$\vec{Q} = m \cdot \vec{v}$$



Em determinado instante, por algum processo interno, o meteoro explode em três fragmentos de massas  $m_1$ ,  $m_2$  e  $m_3$  que passam a se deslocar com velocidades  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $v_3$ . Como não há forças externas, o conjunto desses três fragmentos continua sendo o mesmo sistema isolado cuja quantidade de movimento é:

$$Q = m_1 \cdot v_1 + m_2 \cdot v_2 + m_3 \cdot v_3$$

Pelo *princípio da conservação da quantidade de movimento* pode-se afirmar que a quantidade de movimento inicial do asteroide ( $Q_0$ ) é igual à soma das quantidades de movimento dos seus fragmentos, ou seja:

$$\vec{Q} = \vec{Q}_0$$

Essa é a expressão matemática desse princípio cujo enunciado, em síntese, afirma que:

**Num sistema isolado a quantidade de movimento total permanece constante.**

Embora a conservação da quantidade de movimento seja um dos princípios

fundamentais da Física, é possível deduzi-la a partir da terceira lei de Newton. Mesmo quando há forças externas, o sistema pode ser considerado isolado desde que a resultante dessas forças seja nula. Desse modo, o princípio da conservação da quantidade de movimento pode ser enunciado também da seguinte maneira:

**Se a resultante das forças externas exercidas em um sistema for nula, a quantidade de movimento total desse sistema permanecerá constante.**

Quando o tempo de interação é muito pequeno, o sistema pode ser considerado isolado, mesmo que haja forças externas não equilibradas.



Na foto acima, é possível observar várias colisões entre as bolas e entre as bolas e as tabelas da mesa. A rigor, nenhuma dessas colisões pode ser considerada em um sistema isolado, pois sempre há forças externas de atrito entre as bolas e entre elas e a mesa (em pouco tempo, todas as bolas ficam em repouso). No entanto, como o intervalo de tempo em que cada colisão ocorre é muito pequeno, o impulso externo exercido por essas forças durante a colisão é desprezível, e sistemas como esses podem ser considerados isolados “no tempo”.

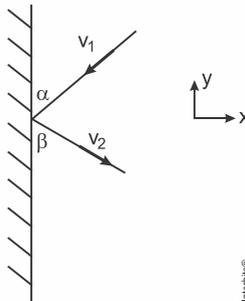
Assim como há situações em que as forças externas existem, mas não precisam ser consideradas por serem ou terem efeitos desprezíveis, também há situações em que há forças externas cujos efeitos devem ser considerados, porque, se não forem, podem nos levar a conclusões absurdas na análise de situações físicas. O princípio da conservação da quantidade de movimento, no entanto, não tem exceções, desde que aplicado a sistemas verdadeiramente isolados.

**ATENÇÃO:** A rigor não existem sistemas isolados, mesmo nas regiões mais remotas do espaço. Todo corpo ou sistema de corpos, por exemplo, na superfície

da Terra, está sujeito, no mínimo, à ação gravitacional terrestre e, portanto, a forças externas. Mesmo que incluíssemos a Terra no sistema, haveria a força externa da Lua. Se incluíssemos a Lua no sistema, haveria forças externas do Sol e dos planetas e assim por diante. No entanto, como será visto a seguir, muitas vezes as forças externas se equilibram ou têm efeitos desprezíveis, por isso a existência de sistemas isolados, na prática, é bastante frequente.

## EXERCÍCIOS DE APRENDIZAGEM

1. O impulso é uma grandeza física que estuda a interação de uma força aplicada a um corpo com o tempo de aplicação. A aplicação do impulso determina a variação da quantidade de movimento. Uma bola de 200,0 g colide com uma velocidade  $v_1$  igual a 4,0 m/s em uma parede com um ângulo  $\beta$  igual a  $37^\circ$  e é rebatida com uma velocidade  $v_2$  igual a 2,0 m/s a um ângulo  $\alpha$  igual a  $53^\circ$  como mostra a figura.



Considerando-se  $\sin 37^\circ = \cos 53^\circ = 0,6$ ;  $\sin 53^\circ = \cos 37^\circ = 0,8$  e que a bola fica em contato com a parede durante 12,0 ms, então a força média que a bola exerce sobre a parede, em N, é, aproximadamente, igual a

- a) 75                      b) 70                      c) 65                      d) 60                      e) 55

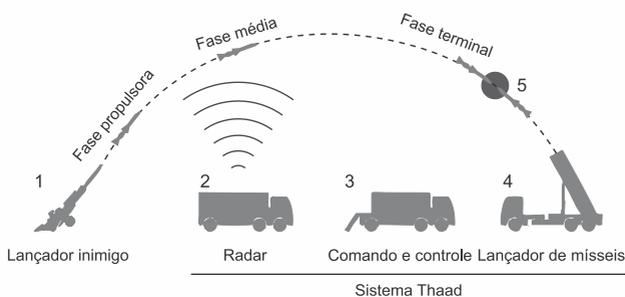
2. Uma esfera de massa igual a 2,0 kg, inicialmente em repouso sobre o solo, é puxada verticalmente para cima por uma força constante de módulo igual a 30,0 N, durante 2,0 s. Desprezando-se a resistência do ar e considerando-se o módulo da aceleração da gravidade local igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , a intensidade da velocidade da esfera, no final de 2,0 s, é igual, em m/s, a

- a) 10,0    b) 8,0                      c) 6,0                      d) 5,0                      e) 4,0

**TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:** (Considere o módulo da aceleração da gravidade como  $g = 10,0 \text{ m/s}^2$  e utilize  $\pi = 3, (3)^{1/2} = 1,7$  e  $1 \text{ hp} = 746 \text{ W}$ .)

3. Os Estados Unidos anunciaram, nesta terça-feira, o início da operação de instalação de um controverso sistema antimísseis na Coreia do Sul. Batizado de Terminal de Defesa Aérea para Grandes Altitudes (Thaad, na sigla em inglês), o sistema foi desenhado para proteger o país asiático de seu vizinho mais próximo, a Coreia do Norte. (...) O que é o Thaad? É um sistema capaz de interceptar mísseis de curto e médio-alcance na fase terminal de seu voo.

Como funciona o sistema de defesa Thaad



Fontes: Federação de Cientistas Americanos e Departamento de Defesa dos EUA



A fim de simular esse sistema, certo estudante reproduz um experimento de lançamento oblíquo, onde duas partículas de massa,  $m_1$  e  $m_2$ , são arremessadas do solo, no instante  $t = 0$ , com velocidades de módulos iguais a  $v_1$  e  $v_2$ , respectivamente. As partículas colidem no instante de tempo  $t = T$ , e no instante de tempo  $t = 4T$  ainda não atingiram o solo. Desprezando efeitos resistivos, o valor do módulo do impulso resultante sobre as partículas entre os instantes  $t = 0$  e  $t = 4T$  vale

- a)  $gT(m_1 + m_2)/2$       b)  $gT(m_1 + m_2)/8$   
 c)  $2gT(m_1 + m_2)^2/m_1m_2$       d)  $4gT(m_1 + m_2)$       e)  $gT(m_1m_2)^2/(m_1 + m_2)$

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

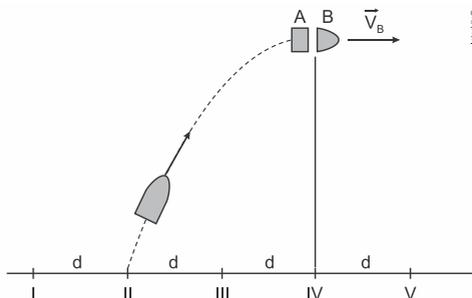
1. "Ao utilizar o cinto de segurança no banco de trás, o passageiro também está protegendo o motorista e o carona, as pessoas que estão na frente do carro. O uso do cinto de segurança no banco da frente e, principalmente, no banco de trás pode evitar muitas mortes. Milhares de pessoas perdem suas vidas no trânsito, e o uso dos itens de segurança pode reduzir essa estatística. O Brasil



caminhonete arrastou o sedã, em linha reta, por uma distância de 10m. Com este dado e estimando que o coeficiente de atrito cinético entre os pneus dos veículos e o asfalto, no local do acidente, era 0,5, a perícia concluiu que a velocidade real da caminhonete, em km/h, no momento da colisão era, aproximadamente:  
 Note e adote: (Aceleração da gravidade:  $10 \text{ m/s}^2$ . Desconsidere a massa dos motoristas e a resistência do ar. )

- a) 10.                      b) 15.                      c) 36.                      d) 48.                      e) 54.

4. A figura mostra a trajetória de um projétil lançado obliquamente e cinco pontos equidistantes entre si e localizados sobre o solo horizontal. Os pontos e a trajetória do projétil estão em um mesmo plano vertical.



No instante em que atingiu o ponto mais alto da trajetória, o projétil explodiu, dividindo-se em dois fragmentos, A e B, de massas  $M_A$  e  $M_B$ , respectivamente, tal que  $M_A = 2M_B$ . Desprezando a resistência do ar e considerando que a velocidade do projétil imediatamente antes da explosão era  $V_H$  e que, imediatamente após a explosão, o fragmento B adquiriu velocidade  $V_B = 5V_H$ , com mesma direção e sentido de  $V_H$ , o fragmento A atingiu o solo no ponto.

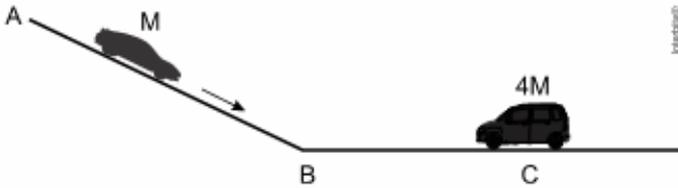
- a) IV.                      b) III.                      c) V.                      d) I.                      e) II.

TEXTO PARA A PRÓXIMA QUESTÃO:

O texto e a figura a seguir refere(m)-se à(s) questão(ões) a seguir:

Têm sido corriqueiras as notícias relatando acidentes envolvendo veículos de todos os tipos nas ruas e estradas brasileiras. A maioria dos acidentes são causados por falhas humanas, nas quais os condutores negligenciam as normas de boa conduta. A situação seguinte é uma simulação de um evento desse tipo. O motorista de um automóvel, de massa  $m$ , perdeu o controle do veículo ao passar pelo ponto A, deslizando, sem atrito, pela ladeira retilínea AB, de 200 m

de extensão; o ponto A está situado 25 m acima da pista seguinte BC retilínea e horizontal. Ao passar pelo ponto B, a velocidade do carro era de 108 km/h. O trecho BC, sendo mais rugoso que o anterior, fez com que o atrito reduzisse a velocidade do carro para 72 km/h, quando, então, ocorreu a colisão com outro veículo, de massa  $4M$ , que estava parado no ponto C, a 100 m de B. A colisão frontal foi totalmente inelástica. Considere a aceleração da gravidade com o valor  $10 \text{ m/s}^2$  e os veículos como pontos materiais.



5. A energia mecânica dissipada na colisão, em função de  $M$ , foi

- a)  $160 M$ .                      b)  $145 M$ .                      c)  $142,5 M$ .  
d)  $137,5 M$ .                      e)  $125 M$ .

## CAPÍTULO 13

### COLISÕES



As colisões mecânicas podem ser classificadas em três tipos distintos a depender do que ocorre com a energia cinética antes e depois do choque. Dessa forma, as colisões são classificadas em perfeitamente elásticas, parcialmente elásticas e inelásticas. No estudo das colisões entre dois corpos, a preocupação está relacionada com o que acontece com a **energia cinética** e a **quantidade de movimento (momento linear)** imediatamente antes e após a colisão. As possíveis variações dessas grandezas classificam os tipos de colisões.

#### Definição de sistema

Um sistema é o conjunto de corpos que são objetos de estudo, de modo que qualquer outro corpo que não esteja sendo estudado é considerado como agente externo ao sistema. As forças exercidas entre os corpos que compõem o sistema são denominadas de forças internas, e aquelas exercidas sobre os corpos do sistema por um agente externo são denominadas de forças externas.

#### Quantidade de movimento e as colisões

As forças externas são capazes de gerar variação da quantidade de movimento do sistema por completo. Já as forças internas podem apenas gerar mudanças na quantidade de movimento individual dos corpos que compõem o sistema. Uma colisão leva em consideração apenas as forças internas existentes entre os objetos que constituem o sistema, portanto, a quantidade de movimento sempre será a mesma para qualquer tipo de colisão.

### Energia cinética e as colisões

Durante uma colisão, a **energia cinética** de cada corpo participante pode ser totalmente **conservada**, parcialmente conservada ou totalmente dissipada. As colisões são classificadas a partir do que ocorre com a energia cinética de cada corpo. As características dos materiais e as condições de ocorrência determinam o tipo de colisão que ocorrerá.

### Coefficiente de restituição

O coeficiente de restituição ( $e$ ) é definido como a razão entre as velocidades imediatamente antes e depois da colisão. Elas são denominadas de **velocidades relativas** de aproximação e de afastamento dos corpos.

$$e = \frac{V_{rel\text{afastamento}}}{V_{rel\text{aproximação}}}$$

### Tipos de colisão

- **Colisão perfeitamente elástica**

Nesse tipo de colisão, a energia cinética dos corpos participantes é totalmente conservada. Sendo assim, a velocidade relativa de aproximação e de afastamento dos corpos será a mesma, o que fará com que o coeficiente de restituição seja igual a **1**, indicando que toda a energia foi conservada. A colisão perfeitamente elástica é uma situação idealizada, sendo impossível a sua ocorrência no cotidiano, pois sempre haverá perda de energia.

- **Colisão parcialmente elástica**

Quando ocorre perda parcial de energia cinética do sistema, a colisão é classificada como parcialmente elástica. Desse modo, a velocidade relativa de afastamento será ligeiramente menor que a velocidade relativa de aproximação, fazendo com que o coeficiente de restituição assuma valores compreendidos entre 0 e 1.

- **Colisão inelástica**

Quando há perda máxima da energia cinética do sistema, a colisão é classificada como inelástica. Após a ocorrência desse tipo de colisão, os objetos participantes permanecem grudados e executam o movimento como um único corpo. Como após a colisão não haverá afastamento entre os objetos, a velocidade relativa de afastamento será nula, fazendo com que o coeficiente de restituição seja zero.

A tabela a seguir pode ajudar na memorização das relações entre os diferentes tipos de colisões:

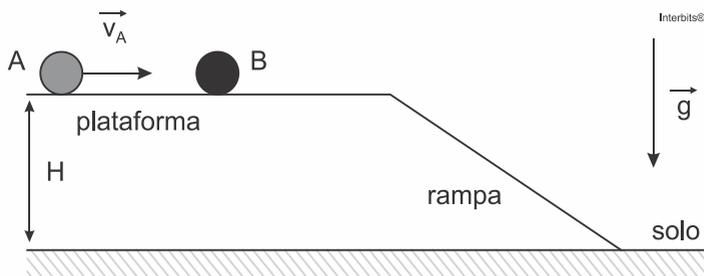
TIPO DE COLISÃO	ENERGIA CINÉTICA	QUANTIDADE DE MOVIMENTO	COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO
PERFEITAMENTE ELÁSTICA	Totalmente conservada	Conservada	$e = 1$
PARCIALMENTE ELÁSTICA	Parcialmente conservada	Conservada	$0 < e < 1$
INELÁSTICA	Dissipada ao máximo	Conservada	$e = 0$

## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. Ultimamente o futebol tem sido foco de noticiários em função da copa do mundo. Durante uma partida, suponha que a bola cai verticalmente sem girar e se choca com o solo. De modo simplificado, pode-se descrever esse choque como uma colisão entre dois corpos, sendo um a bola e o outro o planeta Terra. Caso se considere este evento como uma colisão elástica, é correto afirmar que há conservação:

- da energia potencial da bola.
- da energia potencial da Terra.
- do momento linear total do sistema composto pela bola e o planeta.
- do momento linear da bola.

2.



Em um experimento utilizando bolas de bilhar, uma bola A é arremessada com velocidade horizontal de módulo  $v_A$ , em uma superfície horizontal fixa e sem atrito. A bola A colide elasticamente com outra bola idêntica, B. Sobre

o movimento do centro de massa do conjunto de bolas, sabendo que a bola B está sempre em contato com a superfície, assinale a alternativa **CORRETA**.

- a) Permanece em repouso, durante o movimento de A e B na plataforma.
- b) Permanece em repouso, durante o movimento na rampa da partícula B.
- c) Está em movimento uniformemente variado, antes da colisão.
- d) Está em movimento uniforme, depois da colisão, enquanto B ainda está na plataforma.
- e) Está em movimento uniforme, durante o movimento descendente da partícula B.

3. Por transportar uma carga extremamente pesada, um certo caminhão trafega a uma velocidade de 10 m/s. Um rapaz à beira da estrada brinca com uma bola de tênis. Quando o caminhão passa, ele resolve jogar a bola na traseira do mesmo. Sabendo-se que a bola atinge a traseira do caminhão perpendicularmente, com velocidade de 20 m/s, em relação ao solo, qual a velocidade horizontal final da bola após o choque? (Considere um choque perfeitamente elástico.)

- a) 10 m/s
- b) 20 m/s
- c) 30 m/s
- d) Zero

## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. Tempestades solares são causadas por um fluxo intenso de partículas de altas energias ejetadas pelo Sol durante erupções solares. Esses jatos de partículas podem transportar bilhões de toneladas de gás eletrizado em altas velocidades, que podem trazer riscos de danos aos satélites em torno da Terra. Considere que, em uma erupção solar em particular, um conjunto de partículas de massa

total  $m_p = 5 \text{ kg}$ , deslocando-se com velocidade de módulo  $v_p = 2 \times 10^5 \text{ m/s}$ , choca-se com um satélite de massa  $M_s = 95 \text{ kg}$  que se desloca com velocidade de módulo igual a  $V_s = 4 \times 10^3 \text{ m/s}$  na mesma direção e em sentido contrário ao das partículas. Se a massa de partículas adere ao satélite após a colisão, o módulo da velocidade final do conjunto será de:

- a) 102.000 m / s.
- b) 14.000 m / s.
- c) 6.200 m / s.
- d) 3.900 m / s.

2. Na loja de um supermercado, uma cliente lança seu carrinho com compras, de massa total 30 kg, em outro carrinho vazio, parado e de massa 20 kg. Ocorre o engate entre ambos e, como consequência do engate, o conjunto dos carrinhos



$$d) A' = \sqrt{\frac{M+m}{K}} v$$

$$e) A' = A$$

4. Um corpo A colide com um corpo B que se encontra inicialmente em repouso. Os dois corpos estão sobre uma superfície horizontal sem atrito. Após a colisão, os corpos saem unidos, com uma velocidade igual a 20% daquela inicial do corpo A.

Qual é a razão entre a massa do corpo A e a massa do corpo B,  $m_A/m_B$  ?

$$a) 0,20$$

$$b) 0,25$$

$$c) 0,80$$

$$d) 1,0$$

$$e) 4,0$$

5. Sobre uma superfície horizontal sem atrito, duas partículas de massas  $m$  e  $4m$  se movem, respectivamente, com velocidades  $2v$  e  $v$  (em módulo) na mesma direção e em sentidos opostos. Após colidirem, as partículas ficam grudadas. Calcule a energia cinética do conjunto após a colisão, em função de  $m$  e  $v$ .

$$a) 0$$

$$b) 0,2 mv^2$$

$$c) 0,4 mv^2$$

$$d) 2,5 mv^2$$

$$e) 3,0 mv^2$$

## CAPÍTULO 14

### LEIS DE KEPLER



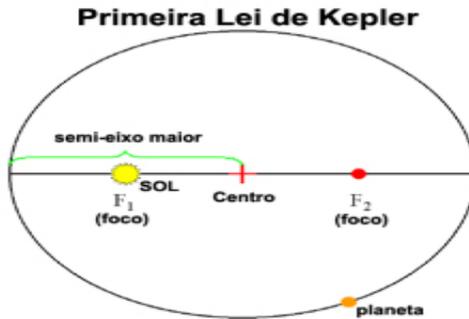
Estudaremos as leis que regem o movimento dos planetas, dos satélites e dos sistemas solares. Com este estudo, poderemos entender um pouco mais a respeito do universo que nos cerca e seremos capazes de compreender as relações básicas entre as grandezas que estão relacionadas com a Gravitação Universal.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

### LEIS DE KEPLER

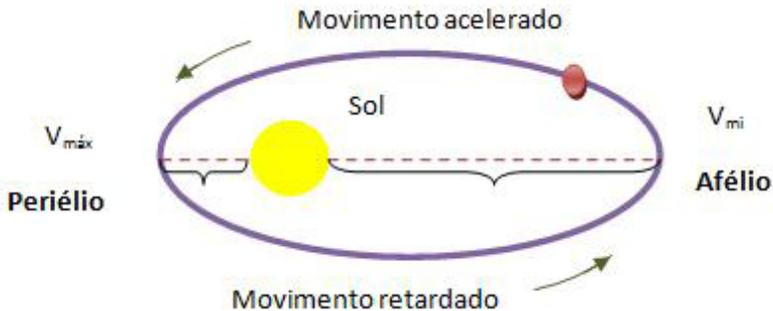
#### 1ª Lei de Kepler: Lei das órbitas



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

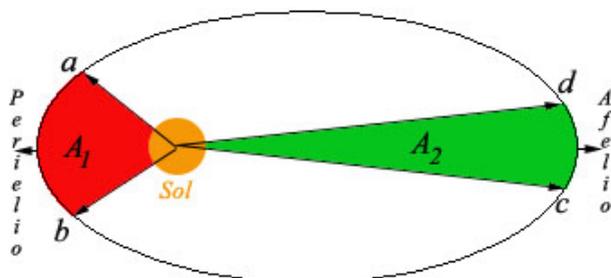


Essa lei mostra apenas a forma da órbita e é válida não só para o movimento dos planetas em torno do Sol. Se estivermos estudando o movimento de translação da Lua, a sua órbita será, também, uma elipse e a Terra ocupará um dos focos dessa elipse. A principal consequência dessa lei é mostrar que a distância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



### 2ª Lei de Kepler: Lei das áreas

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



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

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.

### 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.”

$$T^2 = k.R^3$$

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.

Planeta	Período de revolução ( T )	Raio da órbita (r)	$K = \frac{T^2}{r^3}$
Mercúrio	0,241 anos	0,387 u.a.	1,002
Vênus	0,615 anos	0,723 u.a.	1,000
Terra	1 ano	1 u.a.	1,000
Marte	1,8881 ano	1,524 u.a.	0,999
Júpiter	11,86 anos	5,204 u.a.	0,997
Saturno	29,6 anos	9,58 u.a.	0,996
Urano	83,7 anos	19,14 u.a.	1,000
Netuno	165,4 anos	30,2 u.a.	0,993

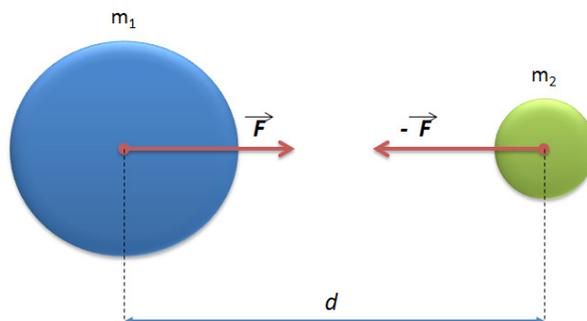
Sendo 1 u.a. = 1 unidade astronômica = raio da órbita da Terra

## 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  $d$ , 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:

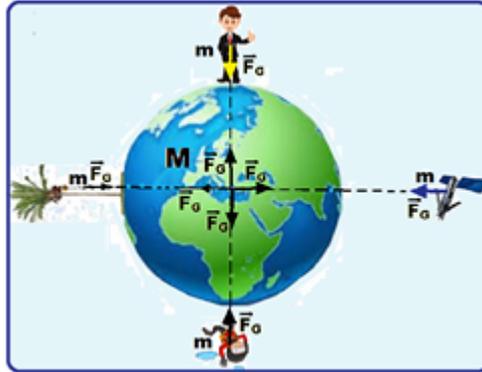
$$\vec{F}_G = G \cdot \frac{m_1 m_2}{d^2}$$

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

### 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.



$$\vec{F}_G = \vec{P}$$

$$G \cdot \frac{M_1 \cdot m}{d^2} = m \cdot g$$

$$g = G \cdot \frac{M_1}{d^2}$$

Assim:

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 polos.

### 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. Para o satélite, podemos escrever:

$$F_C = F_G \rightarrow m \cdot \frac{v^2}{d} = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2} \Rightarrow v = \sqrt{G \frac{M}{d}}$$

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 ideia 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.

### VELOCIDADE DE ESCAPE

Para o caso simples do escape de um único corpo, a velocidade de escape é tal que a correspondente energia cinética é igual a menos a energia potencial gravitacional. Isto por que a energia cinética positiva é necessária para aumentar o potencial gravitacional negativo para zero, que é o caso para um objeto a distância infinita.

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot V_{\epsilon}^2 = G \cdot \frac{M \cdot m}{d} \Rightarrow V_{\epsilon} = \sqrt{\frac{2GM}{d}} = \sqrt{\frac{2M}{r}} = \sqrt{2gr}$$

Onde  $v_{\epsilon}$  é a velocidade de escape,  $G$  é a constante gravitacional,  $M$  é a massa do corpo do qual se está escapando,  $m$  é a massa do corpo que está escapando,

$g$  é a aceleração da gravidade, e  $r$  é a distância entre o centro do corpo e o ponto no qual a velocidade de escape está sendo calculada, e  $\mu$  é o parâmetro gravitacional padrão.

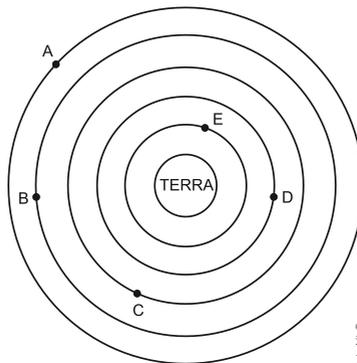
## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. A primeira lei de Kepler demonstrou que os planetas se movem em órbitas elípticas e não circulares. A segunda lei mostrou que os planetas não se movem a uma velocidade constante. PERRY, Marvin. *Civilização Ocidental: uma história concisa*. São Paulo: Martins Fontes, 1999, p. 289. (Adaptado)  
É correto afirmar que as leis de Kepler

- confirmaram as teorias definidas por Copérnico e são exemplos do modelo científico que passou a vigorar a partir da Alta Idade Média.
- confirmaram as teorias defendidas por Ptolomeu e permitiram a produção das cartas náuticas usadas no período do descobrimento da América.
- são a base do modelo planetário geocêntrico e se tornaram as premissas científicas que vigoram até hoje.
- forneceram subsídios para demonstrar o modelo planetário heliocêntrico e criticar as posições defendidas pela Igreja naquela época.

2. A Lei da Gravitação Universal, de Isaac Newton, estabelece a intensidade da força de atração entre duas massas. Ela é representada pela expressão:

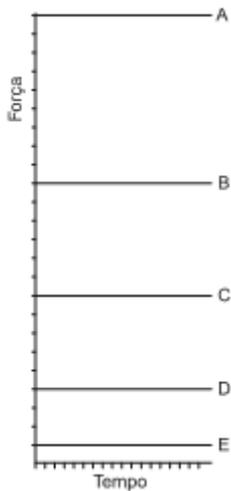
$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$ , onde  $m_1$  e  $m_2$  correspondem às massas dos corpos,  $d$  à distância entre eles,  $G$  à constante universal da gravitação e  $F$  à força que um corpo exerce sobre o outro. O esquema representa as trajetórias circulares de cinco satélites, de mesma massa, orbitando a Terra.



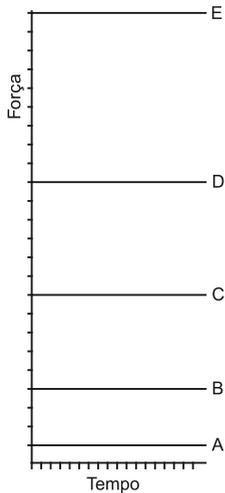
Qual gráfico expressa as intensidades das forças que a Terra exerce sobre cada

satélite em função do tempo?

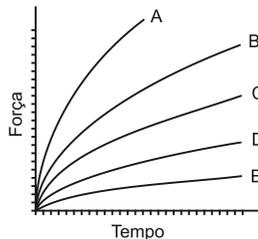
a)



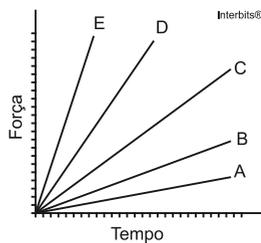
b)



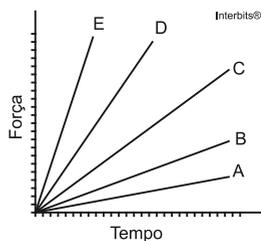
c)



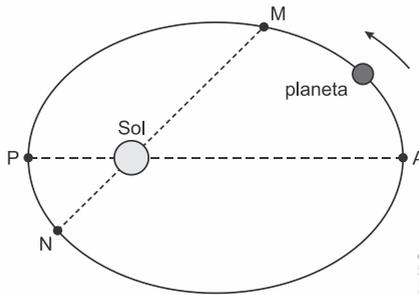
d)



e)



3. A figura representa a trajetória elíptica de um planeta em movimento de translação ao redor do Sol e quatro pontos sobre essa trajetória: M, P (periélio da órbita), N e A (afélio da órbita).



O módulo da velocidade escalar desse planeta

- a) sempre aumenta no trecho MPN.
- b) sempre diminui no trecho NAM.
- c) tem o mesmo valor no ponto A e no ponto P.
- d) está aumentando no ponto M e diminuindo no ponto N.
- e) é mínimo no ponto P e máximo no ponto A.

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

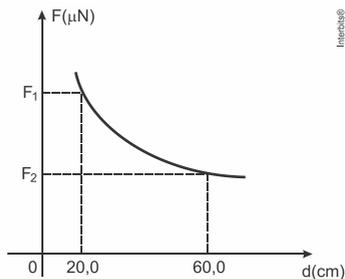
1. Cientistas descobrem planeta parecido com a Terra que orbita estrela vizinha do Sol, nomeado de Próxima B. O planeta é pequeno, rochoso e pode ter água líquida. Ele orbita ao redor da Próxima Centauri, que fica a uma distância de 4,2 anos-luz do Sistema Solar. Os dados permitiram concluir que Próxima B tem uma massa de, aproximadamente, 1,3 vezes a da Terra e orbita em torno da Próxima Centauri a cada 11,2 dias terrestres a uma distância média de 7,5 milhões de km dessa estrela, que equivale a cerca de 5% da distância entre a Terra e o Sol.

Considerando-se a massa da Terra igual a  $6,0 \cdot 10^{24}$  kg a constante de gravitação universal  $G = 6,7 \cdot 10^{-11}$  N.m<sup>2</sup>.kg<sup>-2</sup>,  $\pi = 3$ , as informações do texto e os conhecimentos de Física, é correto afirmar:

- a) As leis de Kepler não têm validade para descrever o movimento do planeta Próxima B em torno da estrela Próxima Centauri, tomando essa estrela como referencial.
- b) A ordem de grandeza da massa da estrela Próxima Centauri é maior do que  $10^3$  m/s.

- c) A ordem de grandeza da velocidade orbital do planeta Próxima B é igual a  $10^3$  m/s.  
 d) A ordem de grandeza da distância entre a Próxima Centauri e o sistema solar é igual a  $10^{12}$  km.  
 e) O módulo da força de interação gravitacional entre a estrela Próxima Centauri e o planeta Próxima B é da ordem de  $10^{17}$  N.

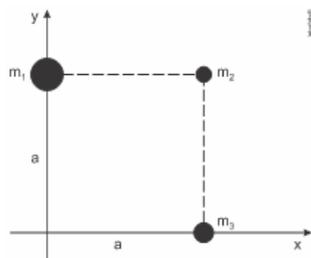
2.



A figura mostra como a força gravitacional entre dois corpos de massas  $M_1$  e  $M_2$  varia com a distância entre seus centros de massas. Baseado nas informações contidas no diagrama, é correto afirmar que a razão  $F_1/F_2$  é dada por

- a)  $\frac{1}{3}$                       b)  $\frac{2}{5}$                       c) 3                      d) 6  
 e) 9

3.





## CAPÍTULO 15

### HIDROSTÁTICA

A Hidrostática é o ramo da Física que estuda as propriedades relacionadas aos líquidos em equilíbrio estático; tais propriedades podem ser estendidas aos fluidos de um modo geral. Supõe-se, nos estudos deste capítulo, que o líquido seja incompressível, com volume definido, sem viscosidade e não aderente à superfície do recipiente que o contenha.



#### FLUIDO

Denominamos fluidos os corpos que não têm forma própria. Quando encerrados num recipiente, os fluidos adquirem a forma do recipiente. Os líquidos e os gases são considerados fluidos. Características:

- Os líquidos têm volume praticamente invariável. Quando se transfere água de um recipiente para outro, seu volume permanece o mesmo.
- Os gases têm volume variável, ocupando totalmente o recipiente que o contém.

#### DENSIDADE

Se tivermos um corpo de massa  $m$  e volume  $v$ , definimos sua densidade  $\mu$  através da relação:

$$\mu = \frac{m}{v}$$

A unidade de densidade no Sistema Internacional de unidades é o  $\text{kg/m}^3$ . No entanto, usualmente são utilizados o  $\text{g/cm}^3$  e o  $\text{kg/l}$ , que são unidades equivalentes. Por exemplo, a densidade da água vale:  $\mu = 1\,000\text{ kg/m}^3 = 1\text{ kg/l} = 1\text{ g/cm}^3$ . Se o corpo for homogêneo, pode-se usar o termo massa específica ou densidade absoluta como sinônimo de densidade.

**Tabela 1**

**Densidade de alguns materiais**

materiais	densidade ( $\text{kg/m}^3$ )
ar ( $20^\circ\text{C}$ e 1 atm)	1,2
gelo	$0,92 \cdot 10^3$
água	$1,0 \cdot 10^3$
alumínio	$2,7 \cdot 10^3$
ferro	$7,6 \cdot 10^3$
mercúrio	$13,6 \cdot 10^3$
ouro	$19,3 \cdot 10^3$
platina	$21,4 \cdot 10^3$

**ATENÇÃO:** Visto que a densidade absoluta  $d$  de um corpo de massa  $m$  depende do volume  $v$ , devemos lembrar que alterações de temperatura provocam variações no volume, modificando dessa forma a densidade. O volume dos sólidos e dos líquidos pode ser alterado de forma sensível devido a variações de temperatura, o que ocasiona mudanças em sua densidade. No caso de gases, seu volume fica sujeito às variações de temperatura e pressão existentes; portanto, sempre que nos referimos à densidade de um gás, deveremos citar quais as condições de pressão e temperatura que nos levaram ao valor obtido.

**DENSIDADE RELATIVA**



Dadas duas substâncias A e B, de densidades absolutas  $\mu_A$  e  $\mu_B$ , respectivamente, definimos densidade da substância A em relação à substância B ( $\mu_{A,B}$ ) através da relação:

$$\mu_{A,B} = \frac{\mu_A}{\mu_B}$$

Observe que o resultado final não pode apresentar unidades, ou seja, a grandeza densidade relativa é adimensional e constitui uma forma de compararmos a densidade de duas substâncias distintas.

## PRESSÃO

Considere a ação de polimento de um automóvel. Suponha que neste trabalho esteja sendo aplicada uma força  $F$  constante, esfregando-se a palma da mão sobre a superfície do carro. (**Figura 1**)



Imagine, agora, que se deseja eliminar uma mancha bastante pequena existente no veículo. Nesta ação esfregam-se apenas as pontas dos dedos na região da mancha, a fim de aumentar o “poder de remoção” da mancha. (**figura 2**)



Nos dois casos, a força aplicada  $F$  foi a mesma, porém os resultados obtidos no trabalho foram diferentes. Isto acontece por que o efeito do “polimento”

depende não apenas da força que a mão exerce sobre o carro, mas também da área de aplicação. A grandeza que relaciona a força **F** aplicada com a área "A" de aplicação denomina-se "pressão".

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

No S.I. a unidade de pressão é o newton por metro quadrado (N/m<sup>2</sup>) denominado pascal (Pa). Outras unidades usadas com frequência são:

- centímetro de mercúrio: cmHG
- milímetro de mercúrio: mmHg
- atmosfera: atm
- milibar: mbar

**ATENÇÃO:** Deve-se observar que o valor da pressão depende não só do valor da força exercida, mas também da área **A** na qual esta força está distribuída. Uma vez fixado o valor de **A**, a pressão será, evidentemente, proporcional ao valor de **F**. Por outro lado, uma mesma força poderá produzir pressões diferentes, dependendo da área sobre a qual ela atuar. Assim, se a área **A** for muito pequena, poderemos obter grandes pressões, mesmo com pequenas forças. Por este motivo, os objetos de corte (faca, tesoura, enxada, etc.) devem ser bem afiados e os objetos de perfuração (prego, broca, etc.) devem ser pontiagudos. Desta maneira, a área na qual atua a força exercida por estes objetos será muito pequena, acarretando uma grande pressão, o que torna mais fácil obter o efeito desejado. Em outros casos, quando desejamos obter pequenas pressões devemos fazer com que a força se distribua sobre grandes áreas. Para caminhar na neve, uma pessoa usa sapatos especiais, de grande área de apoio, para diminuir a pressão que a impede de afundar.

### PRESSÃO DE UMA COLUNA DE LÍQUIDO OU PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Pressão hidrostática ou pressão efetiva ( $P_{ef}$ ) num ponto de um fluido em equilíbrio é a pressão que o fluido exerce no ponto em questão.

Considere-se um copo cilíndrico com um líquido até a altura **h** e um ponto B no fundo; sendo **A** a área do fundo, o líquido exerce uma pressão no ponto B, dada por:



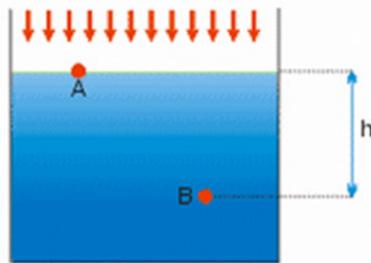
$$p_b = \frac{P}{A} = \frac{m \cdot g}{A} = \frac{\mu \cdot V \cdot g}{A} = \frac{\mu \cdot A \cdot h \cdot g}{A} = \mu \cdot g \cdot h' \quad P = \mu \cdot g \cdot h$$

Levando-se em conta a pressão atmosférica ( $P_o$ ), a pressão absoluta ( $P_{abs}$ ) no fundo do copo é calculada por:

$$P_{abs} = P_o + P \quad \text{ou} \quad P_{abs} = P_o + \mu \cdot g \cdot h$$

### TEOREMA DE STEVIN

Da expressão da pressão absoluta, pode-se obter rapidamente a relação do Teorema de Stevin:



As pressões em A e B são:

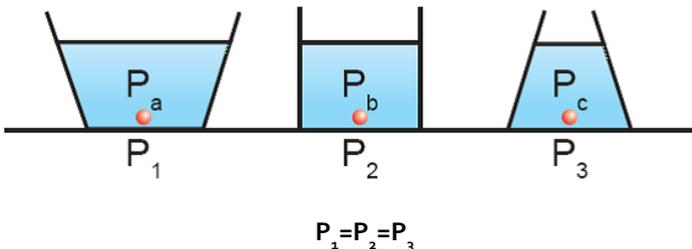
$$P_A = P_o + \mu \cdot g \cdot h_A$$

$$P_B = P_o + \mu \cdot g \cdot h_B$$

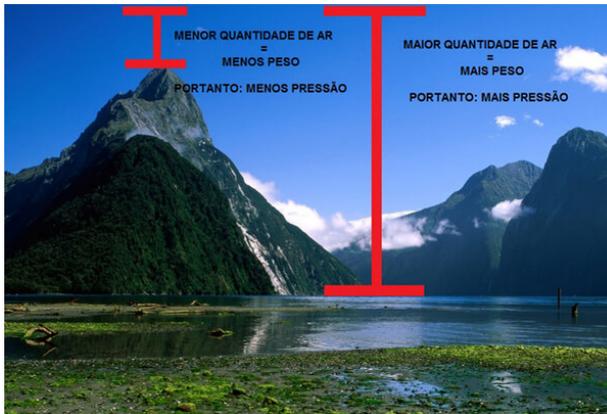
Então, a diferença de pressão entre A e B é:

$$P_A - P_B = \mu \cdot g \cdot (h_A - h_B) \quad \text{ou} \quad \Delta p = \mu \cdot g \cdot \Delta h$$

**ATENÇÃO:** Através do teorema de Stevin, pode-se concluir que todos os pontos que estão numa mesma profundidade, num fluido homogêneo em equilíbrio, estão submetidos à mesma pressão.



## PRESSÃO ATMOSFÉRICA



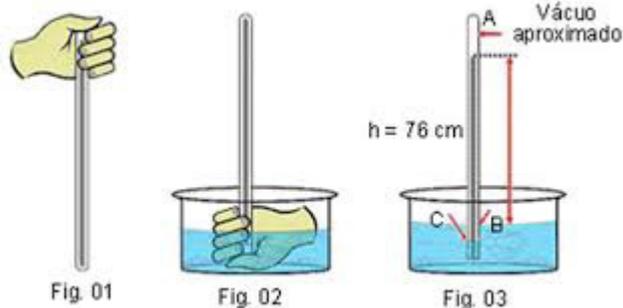
Em torno da Terra há uma camada de ar, denominada atmosfera. Ela é constituída por uma mistura gasosa cujos principais componentes são o oxigênio e o nitrogênio. Aproximadamente 90% de todo o ar existente se encontra abaixo de 18 000 metros. Essa massa de ar exerce pressões sobre todos os corpos no seu interior, pressão esta denominada atmosférica. Observe os exemplos que comprovam a existência dessa pressão:

- I. Com uma bomba de vácuo, podemos extrair grande parte do ar do interior de uma lata vazia. Se fizermos isto, a lata será esmagada pela pressão atmosférica. Antes de retirarmos o ar isto não acontecia porque a pressão atmosférica estava atuando tanto no interior quanto no exterior da lata. Ao ser ligada a bomba de vácuo, a pressão interna torna-se bem menor do que a externa e a lata é esmagada.
  
- II. A primeira bomba de vácuo foi construída por Von Guericke, em Magdeburg, na Alemanha, permitindo que ele realizasse a famosa experiência dos "hemisférios de Magdeburgo". Tomando dois hemisférios, bem adaptados um ao outro, formando, assim, uma esfera oca de cerca de 50 cm de diâmetro, von Guericke extraiu o ar do interior desta esfera. Como a pressão interna foi muito reduzida, a pressão externa (pressão atmosférica) forçou um hemisfério tão fortemente contra o outro que foram necessários 16 fortes cavalos para separá-los.
  
- III. É também, graças à força exercida pela atmosfera que você consegue tomar refresco com um canudinho. Quando você chupa na extremidade do canudo, você provoca uma redução na pressão do ar no interior do canudo. A

pressão atmosférica, atuando na superfície do líquido, faz com que ele suba no canudinho. Algumas bombas, para elevação de água, têm seu funcionamento baseado neste mesmo princípio.

### EXPERIÊNCIA DE TORRICELLI

No início do século XVII, um problema foi apresentado a Galileu Galilei: por que as bombas aspirantes não conseguem elevar água acima de 18 braças (10,3 metros)? Galileu não chegou à solução do problema, porém supôs que essa altura máxima dependia do líquido: quanto mais denso fosse, menor seria a altura alcançada. Um discípulo de Galileu, Evangelista Torricelli, resolveu fazer a experiência com um líquido muito denso: o mercúrio. Tomou um tubo de vidro de 1,30 m de comprimento, fechado em uma extremidade, encheu-o completamente com mercúrio e, tampando a extremidade aberta, emborcou-o num recipiente contendo mercúrio também. Ao destampar o tubo, Torricelli verificou que a coluna de mercúrio no tubo descia até o nível de aproximadamente 76 cm acima do nível do mercúrio do recipiente, formando-se vácuo na parte superior do tubo (na verdade esse espaço fica preenchido com vapor de mercúrio, mas esse fato não é relevante para a experiência).



Torricelli concluiu que a coluna de mercúrio era equilibrada pela atmosfera através de sua pressão. Ao nível do mar, num local onde  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ , a  $0^\circ\text{C}$ , a coluna de mercúrio tem a altura de 76 cm ou 760 mm. Então, a pressão atmosférica, ao nível do mar, é:

$$p_0 = \mu \cdot g \cdot h = 13,6 \cdot 10^3 \text{ (kg/m}^3\text{)} \cdot 9,8 \text{ (m/s}^2\text{)} \cdot 0,76 \text{ (m)}$$

$$\text{logo } p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

Então por convenção dizemos que:

$$1 \text{ atm} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa} = 760 \text{ mmHg}$$

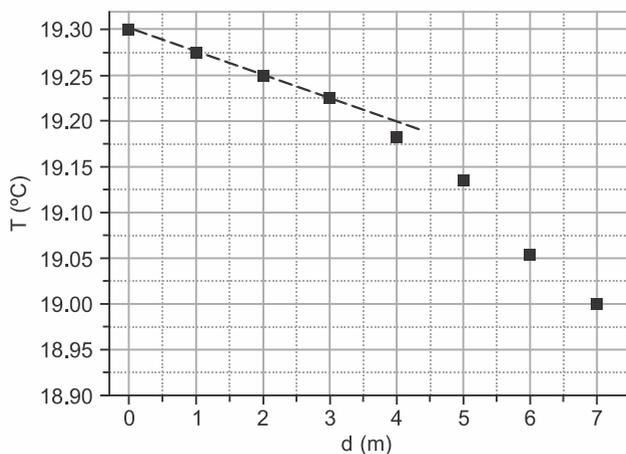


3. (Uesc 2011) Considere um tubo em forma de U, contendo água, de densidade  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , e mercúrio, de densidade  $13,6 \text{ g/cm}^3$ , em equilíbrio. Sabendo-se que o módulo da aceleração da gravidade local é igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e que a altura da coluna de mercúrio, medida a partir de separação, é de  $5,0 \text{ cm}$ , é correto afirmar que a altura da coluna de água, medida a partir do mesmo nível da superfície de separação, é igual, em cm, a

- a) 13,6                      b) 27,2                      c) 40,8  
d) 54,4                      e) 68,0

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Unicamp 2019) Frequentemente esses drones são usados para medir a temperatura da água ( $T$ ) em função da profundidade ( $d$ ), a partir da superfície ( $d = 0$ ), como no caso ilustrado no gráfico a seguir (dados adaptados).



Considere que a densidade da água é  $\rho = 1.000 \text{ kg/m}^3$  e constante para todas as profundidades medidas pelo drone. Qual é a diferença de pressão hidrostática entre a superfície e uma profundidade para a qual a temperatura da água é  $T - 19^{\circ}\text{C}$ ? **Dados:** Se necessário, use aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , aproxime  $\pi = 3,0$  e  $1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$ .

- a)  $1,4 \times 10^3 \text{ Pa}$ .                      b)  $2,0 \times 10^4 \text{ Pa}$ .  
c)  $4,0 \times 10^4 \text{ Pa}$ .                      d)  $7,0 \times 10^4 \text{ Pa}$ .

2. (Unesp 2018) No processo de respiração, o ar flui para dentro e para fora dos pulmões devido às diferenças de pressão, de modo que, quando não há fluxo de ar, a pressão no interior dos alvéolos é igual à pressão atmosférica. Na inspiração, o volume da cavidade torácica aumenta, reduzindo a pressão alveolar de um valor próximo ao de uma coluna de 2,0 cm de  $H_2O$  (água). Considerando a aceleração gravitacional igual a  $10 \text{ m/s}^2$  e a massa específica da água igual a  $1,0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , a variação da pressão hidrostática correspondente a uma coluna de 2,0 cm de  $H_2O$  é

- a)  $2,0 \times 10^1 \text{ Pa}$ .                      b)  $0,5 \times 10^3 \text{ Pa}$ .  
 c)  $0,5 \times 10^2 \text{ Pa}$ .                      e)  $2,0 \times 10^3 \text{ Pa}$ .  
 d)  $2,0 \times 10^2 \text{ Pa}$ .

3. (Unesp 2017) Considere as seguintes características da moeda de R\$ 0,10: massa = 4,8 g; diâmetro = 20,0 mm; espessura = 2,2 mm.

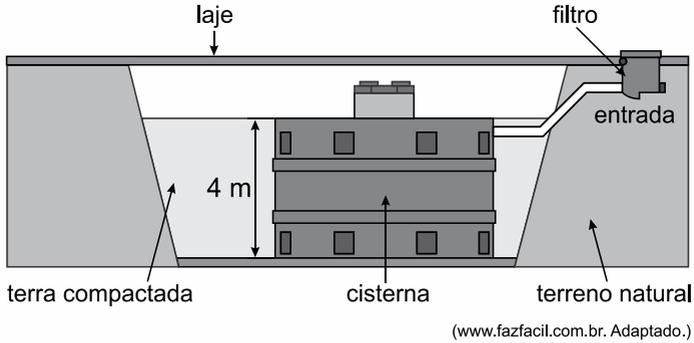


(www.bcb.gov.br)

Admitindo como desprezível o efeito das variações de relevo sobre o volume total da moeda e sabendo que o volume de um cilindro circular reto é igual ao produto da área da base pela altura e que a área de um círculo é calculada pela fórmula  $\pi r^2$ , a densidade do material com que é confeccionada a moeda de R\$ 0,10 é de aproximadamente

- a)  $9 \text{ g/cm}^3$ .                                      b)  $18 \text{ g/cm}^3$ .  
 c)  $14 \text{ g/cm}^3$ .  
 d)  $7 \text{ g/cm}^3$ .                                      e)  $21 \text{ g/cm}^3$ .

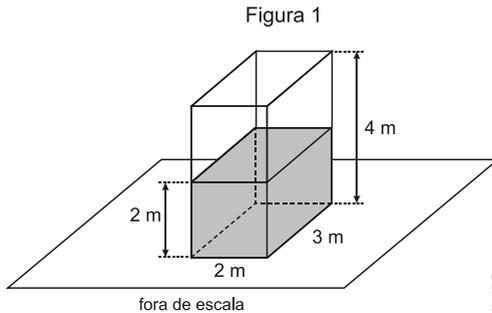
4. (Unesp 2015) A figura representa uma cisterna com a forma de um cilindro circular reto de 4 m de altura instalada sob uma laje de concreto.



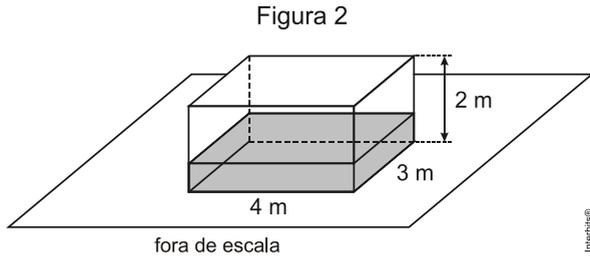
Considere que apenas 20% do volume dessa cisterna esteja ocupado por água. Sabendo que a densidade da água é igual a  $1000 \text{ kg/m}^3$ , adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e supondo o sistema em equilíbrio, é correto afirmar que, nessa situação, a pressão exercida apenas pela água no fundo horizontal da cisterna, em Pa, é igual a

- a) 2000.
- b) 16000.
- c) 1000.
- d) 4000.
- e) 8000.

5. (Unesp 2014) Um reservatório tem a forma de um paralelepípedo reto-retângulo com dimensões 2 m, 3 m e 4 m. A figura 1 o representa apoiado sobre uma superfície plana horizontal, com determinado volume de água dentro dele, até a altura de 2 m. Nessa situação, a pressão hidrostática exercida pela água no fundo do reservatório é  $P_1$ .



A figura 2 representa o mesmo reservatório apoiado de um modo diferente sobre a mesma superfície horizontal e com a mesma quantidade de água dentro dele.



Considerando o sistema em equilíbrio nas duas situações e sendo  $P_2$  a pressão hidrostática exercida pela água no fundo do reservatório na segunda situação, é correto afirmar que

a)  $P_2 = P_1$

b)  $P_2 = 4 \cdot P_1$

c)  $P_2 = \frac{P_1}{2}$

d)  $P_2 = 2 \cdot P_1$

e)  $P_2 = \frac{P_1}{4}$

## CAPÍTULO 16

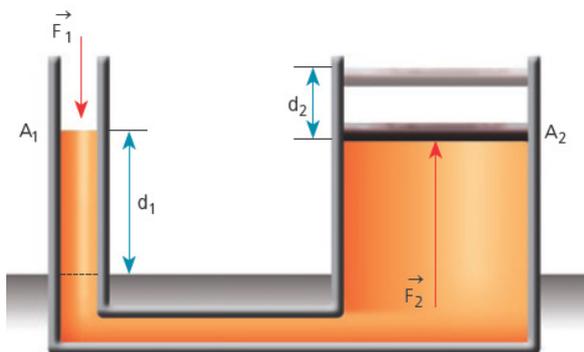
### PRINCÍPIO DE PASCAL



O princípio de Pascal diz que quando um ponto de um líquido em equilíbrio sofre uma variação de pressão, todos os outros pontos também sofrem a mesma variação.

Uma aplicação importante desse princípio é a **prensa hidráulica**, que consiste em dois vasos comunicantes, com êmbolos de áreas diferentes ( $A_1$  e  $A_2$ ) sobre as superfícies livres do líquido contido nos vasos. Aplicando-se uma força  $F_1$  sobre o êmbolo de área  $A_1$ , a pressão exercida é propagada pelo líquido até o êmbolo de área  $A_2$ . Portanto teremos que

:



$$P_1 = P_2$$

**Obs.** Apesar da verificação do aumento ou da diminuição na intensidade de forças, a prensa hidráulica não pode modificar a quantidade de energia envolvida, pois deve obedecer ao princípio da conservação de energia.

## EMPUXO

Quando mergulhamos um corpo num líquido, seu peso aparente diminui, chegando às vezes a parecer totalmente anulado (quando o corpo flutua). Esse fato se deve à existência de uma força vertical de baixo para cima, exercida no corpo pelo líquido, a qual recebe o nome de empuxo. O empuxo se deve à diferença das pressões exercidas pelo fluido nas superfícies inferior e superior do corpo. Sendo as forças aplicadas pelo fluido à parte inferior maiores que as exercidas na parte superior, a resultante dessas forças fornece uma força vertical de baixo para cima, que é o empuxo.



### Princípio de Arquimedes:

“Todo corpo imerso, total ou parcialmente, num fluido em equilíbrio, dentro de um campo gravitacional, fica sob a ação de uma força vertical, com sentido ascendente, aplicada pelo fluido. Esta força é denominada empuxo (E), cuja intensidade é igual ao peso do líquido deslocado pelo corpo.”

$$E = P_{fd} \Rightarrow E = m_{fd} \cdot g \Rightarrow E = \mu_{fd} \cdot V_{des} \cdot g$$

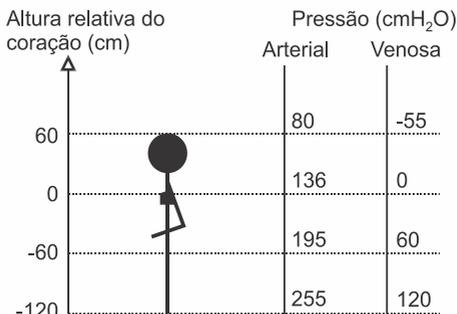
onde  $\mu$  é a densidade do fluido e  $V_{des}$  é o volume do fluido deslocado.

**ATENÇÃO:** O valor do empuxo não depende da densidade do corpo imerso no fluido; a densidade do corpo é importante para se saber se o corpo afunda ou não no fluido.

$\mu_c < \mu_f \Rightarrow$ O corpo pode flutuar na superfície do fluido (no caso de líquido).
$\mu_c = \mu_f \Rightarrow$ O corpo fica em equilíbrio no interior do fluido (com o corpo totalmente imerso).
$\mu_c > \mu_f \Rightarrow$ O corpo afunda no fluido.

## EXERCÍCIO DE APRENDIZAGEM

1. (Ebmsp 2016)



OKUNO, E.; CALDAS, I. L.; CHOW, C.  
*Física para ciências biológicas e biomédicas.*  
 São Paulo: Harbra, 1982, p.309. Adaptado.

A figura mostra a pressão arterial média e a pressão venosa média, em cm de água, para uma pessoa de 1,80 m de altura, em vários níveis em relação ao coração. Admitindo-se a densidade do sangue igual a da água,  $1,0 \text{ g/cm}^3$ , e o módulo da aceleração da gravidade local igual a  $10 \text{ m/s}^2$ , é correto afirmar, com base nessas informações e nos conhecimentos da Física, que

- a) a pressão arterial no cérebro desse indivíduo é igual a  $1,03 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ .
- b) a pressão alta pode provocar o desmaio porque ocorre a diminuição de fluxo sanguíneo no cérebro de um indivíduo.
- c) as pressões arteriais em todas as partes do corpo de uma pessoa, deitada sobre uma superfície horizontal, são de, aproximadamente,  $1,36 \cdot 10^4 \text{ Pa}$ .
- d) o princípio de Pascal fundamenta a recomendação de que, no momento da verificação da pressão arterial, o braço do paciente deve sempre estar apoiado no nível do coração.
- e) um monômetro aberto, contendo mercúrio, ao ser utilizado para medir as pressões arteriais em vários pontos de um indivíduo deitado, deve ter a altura da coluna de mercúrio em torno de 100 cm.

2. (Ebmsp 2018) Uma parte ocidental da barreira Larsen C na Antártida – a maior geleira na Antártida – se desprendeu e formou o maior iceberg na história da região. O surgimento do iceberg aconteceu no período entre 10 e 12 de julho de 2017, quando uma parte da geleira Larsen C com  $5,8 \cdot 10^3 \text{ km}^2$  finalmente se desprendeu. Cientistas da Universidade de Swansea, Reino Unido, que estiveram observando essa geleira durante meses, tinham avisado que se o desprendimento acontecesse, resultaria no aparecimento de um iceberg com 190 m de altura e  $1.155 \text{ km}^3$  de gelo, representando perigo para a navegação marítima.

Disponível em: <<https://br.sputniknews.com/mundo>>. Acesso em: ago. 2017. Adaptado.



Considerem-se a densidade do gelo igual a  $0,92 \text{ g/cm}^3$  a da água doce igual a  $1,0 \text{ g/cm}^3$  e a da água do mar igual a  $1,03 \text{ g/cm}^3$  e o módulo da aceleração da gravidade local igual a  $10 \text{ m/s}^2$ .

Sabendo-se que as densidades da água do mar antes e depois do descongelamento total do iceberg são diferentes, e utilizando-se como modelo físico para representar o iceberg um cubo de aresta  $x$  e um recipiente com base quadrada de lado  $y$ , como na figura, é correto afirmar:

a) A altura  $h_2$  que indica o nível da água do recipiente após o descongelamento

total do gelo é  $\frac{d_a}{d_p}$  vezes maior do que a altura  $h_1$ , sendo  $d_a$  a densidade da água

do estado inicial e  $d_p$  a densidade da água do estado final.

b) O princípio de Arquimedes assegura que, após o descongelamento total do iceberg, que flutuava em equilíbrio nas águas do mar, o nível da água  $h_1$  não sofre alteração, mantendo-se  $h_1$  igual a  $h_2$ .

c) A altura  $x - b$  da aresta do cubo que representa o iceberg, que permanece emersa nas águas do recipiente corresponde a 8% do comprimento total  $x$ .

d) A parte imersa do iceberg  $bx^2$ , que flutua em equilíbrio nas águas do mar,

corresponde a 92% do volume total  $x^3$ .

e) A massa do iceberg é da ordem de cem milhões de toneladas.

3. (Uefs 2017) Considere um objeto com massa igual a 2,5 kg e volume igual a 2,0 dm<sup>3</sup> colocado totalmente no interior de um recipiente contendo água. Sendo a densidade da água igual a 1,0 kg/L, a aceleração da gravidade local igual a 10 m/s<sup>2</sup> e desprezando o atrito com a água, é correto afirmar que a aceleração à qual fica submetido o objeto, em m/s<sup>2</sup>, é igual a

a) 2,0

b) 2,5

c) 3,0

d) 3,5

e) 4,0

## EXERCÍCIOS PROPOSTOS

1. (Uefs 2016) Um bloco cúbico de madeira com aresta igual a 20,0 cm flutua em um líquido de massa específica igual a 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Um pequeno objeto de massa  $m$  igual a 200,0 g é colocado sobre o bloco e o sistema fica em equilíbrio com o topo do bloco no nível da superfície do líquido.

Nessas condições, conclui-se que a densidade da madeira, em g/cm<sup>3</sup>, é igual a

a) 1,037

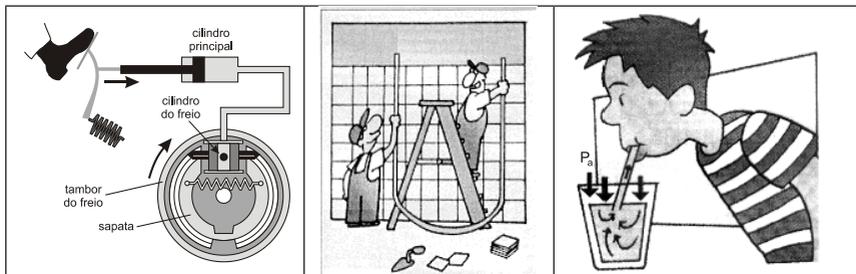
b) 1,042

c) 1,175

d) 1,213

e) 1,314

2. (Uepb 2013) Os precursores no estudo da Hidrostática propuseram princípios que têm uma diversidade de aplicações em inúmeros “aparelhos” que simplificam as atividades extenuantes e penosas das pessoas, diminuindo muito o esforço físico, como também encontraram situações que evidenciam os efeitos da pressão atmosférica. A seguir, são apresentadas as situações-problema que ilustram aplicações de alguns dos princípios da Hidrostática.



<p><b>Situação I</b> – Um sistema hidráulico de freios de alguns carros, em condições adequadas, quando um motorista aciona o freio de um carro, este para após alguns segundos, como mostra figura acima.</p>	<p><b>Situação II</b> – Os pedreiros, para nivelar dois pontos em uma obra, costumam usar uma mangueira transparente, cheia de água. Observe a figura acima, que mostra como os pedreiros usam uma mangueira com água para nivelar os azulejos nas paredes.</p>	<p><b>Situação III</b> – Ao sugar na extremidade e de um canudo, você provoca uma redução na pressão do ar em seu interior. A pressão atmosférica, atuando na superfície do líquido, faz com que ele suba no canudinho.</p>
--	---	---

Assinale a alternativa que corresponde, respectivamente, às aplicações dos princípios e do experimento formulados por:

- a) Arquimedes (Situação I), Pascal (Situação II) e Arquimedes (Situação III)
- b) Pascal (Situação I), Arquimedes (Situação II) e Stevin (Situação III)
- c) Stevin (Situação I), Torricelli (Situação II) e Pascal (Situação III)
- d) Pascal (Situação I), Stevin (Situação II) e Torricelli (Situação III)
- e) Stevin (Situação I), Arquimedes (Situação II) e Torricelli (Situação III).

3. (Upe 2015) Considere as afirmações a seguir que analisam a situação de um carro sendo erguido por um macaco hidráulico.

- I. O macaco hidráulico se baseia no princípio de Arquimedes para levantar o carro.
- II. O macaco hidráulico se baseia no princípio de Pascal para levantar o carro.
- III. O macaco hidráulico se baseia no princípio de Stevin para levantar o carro.
- IV. O princípio de funcionamento do macaco hidráulico se baseia em uma variação de pressão comunicada a um ponto de um líquido incompressível e, em equilíbrio, é transmitida integralmente para todos os demais pontos do líquido e para as paredes do recipiente.
- V. O princípio de funcionamento do macaco hidráulico se baseia em uma variação de pressão comunicada a um ponto de um líquido incompressível e, em equilíbrio, é transmitida apenas para a superfície mais baixa do recipiente que contém o líquido.

Estão CORRETAS apenas

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



**REFERÊNCIAS**

ALMEIDA, Maria José; Costa, Maria Margarida - Fundamentos de Física. 3ª Edição. Edições Almedina, 2012.

CABRAL, F. Física. São Paulo: Harbra, 2002. v. 1.

GASPAR, A. Física. São Paulo: Ática, 2000. v. 1.

GONÇALVES FILHO, A. Física para o ensino médio. São Paulo: Scipione, 2002.

GRAF, Física. 4. ed. São Paulo: Edusp, 1998. v. 1.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 1;

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 2;

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física. 8. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, c2009 vol 3;

HEWITT, P. G. Física conceitual. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

JUNIOR, Francisco; Soares, Paulo; Ferraro, Nicolau - Os Fundamentos da Física 1-Mecânica. 8ª Edição. Moderna, 2003.

Junior, Francisco; Soares, Paulo; Ferraro, Nicolau - Os Fundamentos da Física 2-Termologia, óptica e ondas. 8ª Edição. Moderna, 2003.

LINS, L.D. Interculturalidade no Ensino de Física na Educação Escolar Indígena: A construção do Livro Didático para uma aprendizagem Significativa. UNEB, Salvador, 2019. (Tese de Doutorado em Educação)

PARANÁ, D. N. Física. São Paulo: Ática, 1998. v. 1.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física I-Mecânica. 12ª Edição. Pearson Education Limited, 2008.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física II-Termodinâmica e Ondas. 12ª Edição. Pearson, 2008.

YOUNG, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física III-Eletromagnetismo. 12ª Edição. Pearson Higher Education, 2010.

Young, Hugh; FREEDMAN, Roger - Física IV-Ótica e Física Moderna. 12ª Edição. Pearson, 2009.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 1)-Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. Livros Técnicos e Científicos, 2009.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 2)-Eletricidade & Magnetismo e Ótica. Livros Técnicos e Científicos, 2009.

## POSFÁCIO

A partir da década de 1970, ocorreu acentuado processo de mobilização indígena no Brasil. O protagonismo dos índios foi enfatizado em diversos estudos e novas abordagens, favorecendo debates para a promoção de uma educação específica e diferenciada.

Os indígenas foram e são partícipes fundamentais na afirmação identitária, na garantia às terras, na presença indígena, habitando os diversos espaços geopolíticos do País. Sendo a Educação Escolar Indígena Específica e Diferenciada compondo todo o processo de mobilização e garantia de direitos na Constituição de 1988.

A efetivação de uma Educação Escolar Indígena Específica e Diferenciada ainda é um desafio. Exige primordialmente o exercício da interculturalidade, uma troca de saberes entre indígenas e não indígenas. Um fazer/desfazer da cultura centrada nos conhecimentos do universo não indígena, da colonialidade do saber para envolver os conhecimentos dos diversos universos indígenas, outra ou uma nova lógica.

Dessa forma, é desafiador a construção de conhecimentos para uma educação específica e diferenciada, na efetivação de práticas educativas que considere a diferença como fundante das identidades plurais, imprescindíveis para os reconhecimentos e valorizações dos processos pedagógicos que priorizam as formas de ser e de viver de cada povo indígena (CANDAU, 2016)<sup>7</sup>.

A proposta do livro em tela é tentar envolver os componentes curriculares que competem à área de Física,

---

7. CANDAU, Vera Maria Ferrão. Cotidiano escolar e práticas interculturais. **Cadernos de Pesquisas**, v.46, n.16, p.802-820, julh./set., 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cp/v46n16/1980-5314-cp-46-161-00802.pdf>. Acessado em 06/04/2020.

especificamente à Mecânica, de forma contextualizada e com exemplos de interculturalidade, especialmente com a participação de professores(as) indígenas atuando no processo de ensino e aprendizagem, resultando na referida Obra. Portanto, este material didático é de grande significância por promover novas abordagens, possibilitando a docentes e discentes aproximações com a realidade cotidiana em cada povo/aldeia indígena.

Por fim, faz parte da área da Física a linguagem rebuscada, como bem o autor ressaltou foram exercitadas propostas de atividades com diversas ilustrações, numa linguagem didática envolvendo o cotidiano dos indígenas.

**Edivania Granja da Silva Oliveira**

Doutoranda em História Social (USP).

Mestre em História (UFCG).

Docente IF Sertão Pernambucano, Campus Petrolina.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA HUMANA



**SABEH**

E-mail: [editora.sabeh@gmail.com](mailto:editora.sabeh@gmail.com)

---