

# **Física**

## **MECÂNICA**

**AUTOR**  
**LOURIVAL GOMES DA SILVA FILHO**  
(Doutorando em Ciências - UFRGS)

**Recife, 2015**

# ÍNDICE

	CINEMÁTICA	06
<b>1 – INTRODUÇÃO.....</b>		
☞	Por que Estuda Física no Ensino Médio e Técnico em Informática ?	
☞	Alguns Personagens que Fizeram a História da Física	
☞	O Estudo da Física	
☞	O Método Científico	
☞	Medidas e Grandezas Fundamentais	
☞	Algarismos Significativos e Notação Científica	
☞	Grandezas Físicas	
☞	Estudo da Cinemática	
☞	Partícula e Corpo Extenso	
☞	Referencial	
☞	Posição na Trajetória	
☞	Deslocamento	
☞	Velocidade Escalar Média	
☞	Aceleração Escalar Média	
☞	Classificação dos Movimentos	
<b>2 – MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORME (MRU).....</b>		20
☞	Introdução	
☞	Função Horária	
☞	Gráficos do MRU	
☞	Propriedades dos Gráficos do MRU	
<b>3 - MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (MRUV).....</b>		25
☞	Introdução	
☞	Função da Velocidade	
☞	Gráfico da Velocidade e Aceleração no MRUV	
☞	Função Horária do MRUV	
☞	Propriedades nos Gráficos do MRUV	
☞	Equação de Torricelli	
<b>4 - MOVIMENTOS VERTICAIS NO VÁCUO.....</b>		34
☞	Introdução	
☞	Queda Livre	
☞	Lançamento Vertical	
☞	Descrição Matemática dos Movimentos Verticais no Vácuo	

38



# CINEMÁTICA



## 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 - POR QUE ESTUDAR FÍSICA NO ENSINO MÉDIO E NO ENSINO SUPERIOR ?

É muito comum hoje em dia os alunos perguntarem a razão de estar estudando aquela ou essa disciplina. Nem sempre a resposta dada é suficiente para que ele tome consciência da importância desse estudo.

Em nosso caso, poderíamos enumerar vários motivos da importância do estudo da física nos cursos de Matemática e Química da **FAMASUL**, mas neste breve comentário falaremos de apenas dois deles.

A primeira razão para este estudo seria o conhecimento de como a física precisa da matemática para resolver os seus problemas numéricos, daí e que dissemos que a matemática é a principal ferramenta da física. Para atingirmos este conhecimento é necessário, antes de tudo, nos dedicarmos à física básica, pois dela se originará os pré-requisitos necessários para o bom entendimento do fenômenos naturais.

Uma segunda razão é o fato de que o conhecimento científico das pessoas de um modo geral é muito pobre, exatamente pelo fato de estarmos preocupados em estudar apenas o que nos convém. Não se pode admitir, por exemplo, que um estudante do Ensino Médio não seja capaz de responder algumas questões simples do nosso cotidiano como:

- ☞ Por que a Terra gira em torno do Sol e não o inverso ?
- ☞ O que é um Eclipse ?
- ☞ Por que vemos primeiro a luz do relâmpago para só depois ouvir o trovão ?

## 1.4 – O MÉTODO CIENTÍFICO

O Método Científico ou Método Experimental pode ser dividido em três partes:

- (a) observação dos fenômenos;
- (b) medida de suas grandezas;
- (c) indução ou conclusão de leis ou princípios que regem os fenômenos.

Este método é muito utilizado pela Física, a Física Clássica foi quase toda construída utilizando-se deste método. O precursor deste método foi Galileu Galilei.

## 1.5 – MEDIDAS E GRANDEZAS FUNDAMENTAIS

Ao estudar um fenômeno físico, é necessário obtermos uma informação quantitativa, afim de tornar o estudo completo. Obtemos essa informação fazendo-se uma medida física que pode ser direta, como por exemplo utilizar uma régua para medir um lápis ou indireta, como por exemplo a velocidade média de um automóvel viajando de Taubaté a São José, esta propriedade física pode ser obtida através do conhecimento da distância percorrida e do tempo que se leva para percorrê-la.

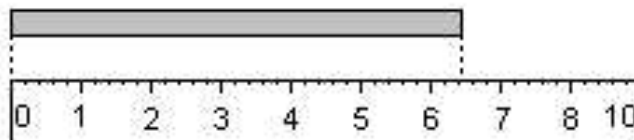
Existem grandezas físicas consideradas fundamentais e derivadas. Na Mecânica as grandezas fundamentais são: comprimento, tempo e massa. As grandezas que resultam de combinações dessas são consideradas derivadas.

O Brasil adota desde 1960 como padrão para unidades de medidas o Sistema Internacional de Unidades (SI), veja mais detalhes no Apêndice X.

### 1.5.1 – Algarismos Significativos e Notação Científica

Já vimos que saber medir é muito importante para o entendimento físico de um fenômeno. É importante saber representar uma medida de maneira apropriada. Vejamos o seguinte exemplo:

Temos que medir o comprimento  $L$  de uma peça de metal e para isso possuímos uma régua. Observemos a medição:



$$L = 6,41 \text{ cm}$$

Os números 6 e 4 são corretos, mas o número 1 é duvidoso.

Os algarismos corretos mais o duvidoso são denominados algarismos significativos.

É sempre muito útil é muito usado escrever as grandezas medidas em notação científica. Para isso devemos escrever o número na seguinte forma:

$$x \cdot 10^n, \text{ onde:}$$

$x$  um número tal que  $1 \leq x < 10$   
 $n$  é um expoente inteiro.

É importante ressaltar que n deve conter os algarismos significativos do problema.

Exemplo: Escreva a distância entre o Sol e a Terra que é de 150 000 000 km em notação científica.

$$d_{\text{Sol-Terra}} = 1,5 \cdot 10^8 \text{ km}$$

Exercício:

1) Uma corrida de formula 1 teve uma duração 1h 46 min 36 s. Sabendo que a corrida teve 65 voltas, determine o intervalo de tempo médio gasto para cumprir cada uma das voltas.

2) Efetue as seguintes conversões de unidades a seguir:

(a) 10 km em m;                      (b) 2 m em cm;                      (c) 2 h em s;                      (d) 2m em mm.

3) No estádio do Morumbi 120000 torcedores assistem a um jogo. Através de cada uma das 6 saídas disponíveis podem passar 1000 pessoas por minuto. Qual o tempo mínimo necessário para se esvaziar o estádio ?

(a) uma hora;                      (b) meia hora;                      (c) 1/4 de hora;                      (d) 1/3 de hora;                      (e) 3/4 de hora.

4) O número de algarismos significativos de 0,00000000008065 cm é:

(a) 3;                      (b) 4;                      (c) 11;                      (d) 14;                      (e) 15.

5) Escreva as medidas abaixo em notação científica:

(a) 2000 m;                      (b) 348,24 cm;                      (c) 0,00023 s;                      (d) 0,03 m.

## 1.6 - GRANDEZAS FÍSICAS

No estudo da física nos baseamos em discutir medidas de grandezas, as quais são chamadas grandezas físicas. Como exemplo podemos mencionar a velocidade de um carro que passa pela rua de nossa casa, a potência da luz que ilumina o quadro negro de nossa sala de aula, a temperatura do local onde estamos e muitas outras que estudaremos durante o nosso curso. Essas grandezas são divididas em escalares e vetoriais.

### 1.6.1 - Grandeza Escalar

Grandeza física que para o seu completo entendimento basta o seu módulo (valor numérico) acompanhado de uma unidade de medida. Podemos dar como exemplo: a massa, a temperatura, o tempo, etc.

### 1.6.2 - Grandeza Vetorial

Grandeza física que para sua completa descrição é necessário além do módulo acompanhado de uma unidade, da sua orientação, ou seja, direção (por exemplo: horizontal, vertical) e sentido (por exemplo: da direita para esquerda, de cima para baixo). São exemplos de grandezas vetoriais: a força, a velocidade, a quantidade de movimento e outras que estaremos estudando no nosso curso.

Utilizamos para representar este tipo de grandeza um vetor que é o símbolo matemático de uma grandeza vetorial.



## 1.7 - O ESTUDO DA CINEMÁTICA

A Mecânica divide-se em Cinemática, Dinâmica e Estática, em nosso curso nos estaremos estudando as duas primeiras partes. Iniciaremos os nossos estudos pela Cinemática que é o estudo do movimento sem se preocupar com suas causas.

## 1.8 - PARTÍCULA E CORPO EXTENSO

Um corpo é considerado partícula (ou ponto material) em física quando suas dimensões são desprezíveis na situação considerada. Por exemplo, um carro se movimentando na BR 101, neste caso podemos considerar este carro como sendo uma partícula, já que sua dimensão, quando comparada com a extensão da rodovia, é totalmente desprezível. Já um corpo extenso é aquele que não possui dimensões desprezíveis na situação considerada. O mesmo carro que na BR 101 pode ser descrito como partícula, dentro de uma garagem não será mais desprezível, pois ocupará praticamente toda a garagem, neste caso ele passa a ser considerado um corpo extenso.

É importante ressaltar que essas definições nos trouxeram um importante conceito em física - Referencial. Um corpo pode ser considerado partícula ou corpo extenso, depende do referencial ao qual estamos comparando, no primeiro caso a BR 101 e no segundo a garagem. A seguir descreveremos melhor a importância desse conceito em física.

## 1.9 – REFERENCIAL

Poderíamos iniciar este tópico perguntando: Neste instante você está em movimento ou parado (em repouso)

A princípio esta pergunta pode parecer sem importância e com resposta óbvia, mas se pararmos para pensar veremos que essa resposta não é tão óbvia.

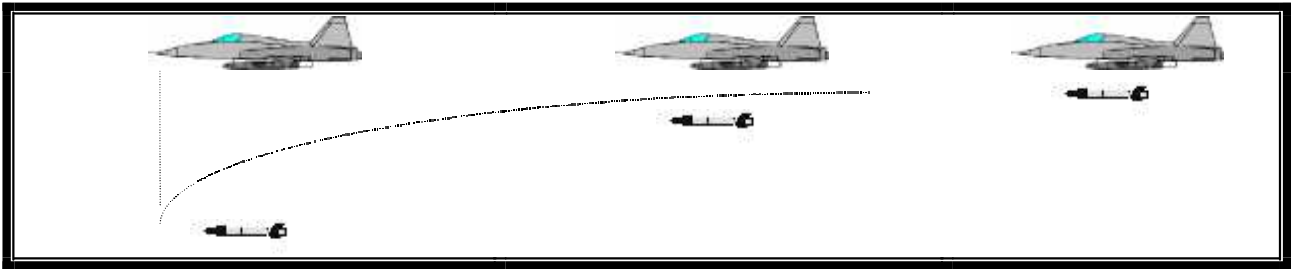
Podemos estar parados em relação ao chão de nossa sala de aula, mas como todos estão na Terra, temos os movimentos que ela possui, ou seja, rotação e translação. Portanto, em relação a um outro planeta qualquer, Marte, por exemplo, estamos em movimento.

Afinal de contas, estamos parados ou em movimento ?

O problema é que a pergunta não está bem formulado, e portanto devemos modifica-la da seguinte forma:

Em relação à sala de aula estamos parados ou em movimento ?

O conceito de referencial é muito importante inclusive no que diz respeito a trajetórias de um movimento. Ilustraremos a seguir duas pessoas observando um mesmo fenômeno, mas cada uma delas assiste uma trajetória diferente. Este é o caso de um avião soltando uma bomba em campo aberto. Repare que para um observador fora do avião verá a bomba caindo de forma curva (parábola). Já o piloto assiste a bomba caindo sempre abaixo de seu avião e portanto assiste uma trajetória reta. Evidentemente que consideramos nula a resistência do ar.

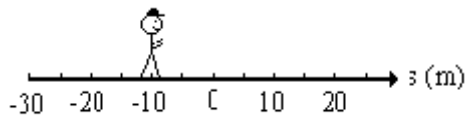


A partir de agora devemos estar mais atentos com os fenômenos que nos cercam e passar a observar fatos que antes passavam despercebidos.

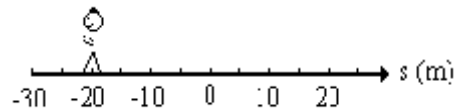
É importante dizer ainda que utilizaremos durante o curso o referencial Inercial, que é comparar os fenômenos que nos rodeiam com o chão.

## 1.10 - POSIÇÃO NA TRAJETÓRIA OU ESPAÇO NA TRAJETÓRIA (S)

Representaremos a grandeza física posição pela letra  $s$  minúscula. Essa grandeza indica a posição ocupada por um móvel ao longo de uma trajetória.



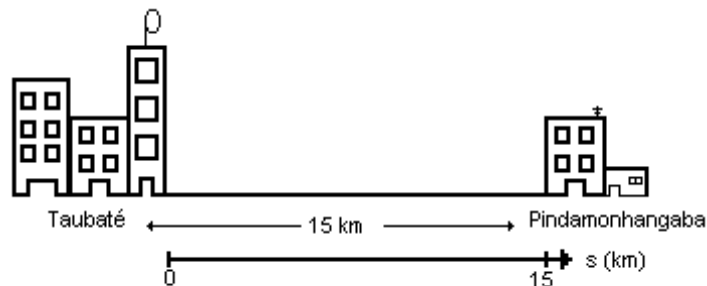
$$s = -10 \text{ m}$$



$$s = -20 \text{ m}$$

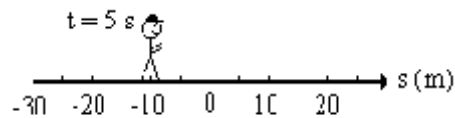
### IMPORTANTE:

- Embora não tenhamos na realidade posições negativas, quando estivermos resolvendo problemas físicos de trajetórias isso poderá ocorrer, já que não podemos repetir a numeração positiva antes do zero.
- Quando estivermos resolvendo um problema que envolva trajetória, devemos orientar esta trajetória, ou seja, indicar o sentido crescente, indicando início e fim. Observe o exemplo:



A distância entre Taubaté e Pindamonhangaba é de 15 km, orientamos nossa trajetória, colocando como posição inicial Taubaté,  $s = 0$ , e posição final Pinda,  $s = 15$  km.

Depois de definida a posição de um móvel numa trajetória, passaremos a associar a esta posição um respectivo tempo, ou seja, construiremos uma função da posição ocupada pelo móvel com o tempo. Isso será de extrema importância para os próximos capítulos.



Neste caso temos que para  $s = -10$  m, temos  $t = 5$  s.

Nos próximos capítulos estudaremos uma regra geral para formar esta função (entre a posição e o tempo) para determinados tipos de movimento.

**IMPORTANTE:**

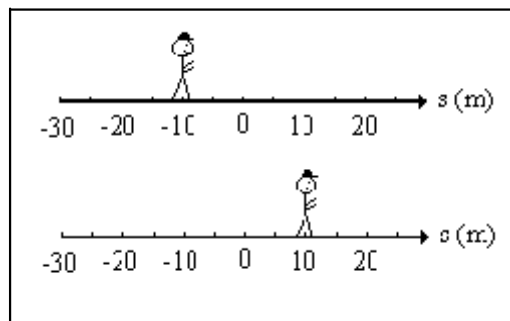
Chamamos de posição inicial aquela em que o instante é  $t = 0$ , ou seja, o início do movimento e indicamos por  $s_0$ .

### 1.11 - DESLOCAMENTO OU VARIAÇÃO DO ESPAÇO( $\Delta s$ )

Imaginemos a seguinte situação: Em um certo instante  $t_1$ , um garoto se encontra na posição  $s = -10$  m e no instante  $t_2$  ele se encontra em  $s = 10$  m, o deslocamento ou variação do espaço desse garoto no intervalo de tempo  $\Delta t = t_2 - t_1$  é igual a:

$$\Delta s = s_2 - s_1$$

No nosso exemplo, temos:



$$\Delta s = 10 - (-10) = 20\text{m}$$

**IMPORTANTE:**

Neste caso o deslocamento é igual a distância percorrida pelo garoto, mas nem sempre isto será verdade. O deslocamento apenas será igual a distância percorrida quando o movimento, considerado, é num único sentido. Caso exista inversão de sentido durante o movimento o deslocamento não será mais igual a distância percorrida.

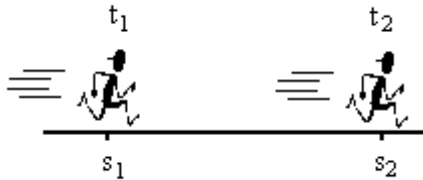
Exemplo: Uma pessoa que dê a volta ao mundo, retornando ao ponto de partida terá deslocamento igual a zero.



## 1.12 - VELOCIDADE ESCALAR MÉDIA ( $v_m$ )

Velocidade é a grandeza em física que indica a rapidez com que a posição de um certo móvel varia com o passar do tempo.

Por definição temos:



$$v_m = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

UNIDADES NO SI:

$\Delta s \Rightarrow$  metros (m)  
 $\Delta t \Rightarrow$  segundos (s)  
 $v_m \Rightarrow$  metros por segundo (m/s)

Nem sempre as unidades nos exercícios são adequadas, muitas vezes teremos que fazer transformações. Logo devemos ter prática em transformações como:

m  $\rightarrow$  km; km  $\rightarrow$  m; min  $\rightarrow$  s; s  $\rightarrow$  min; cm  $\rightarrow$  m, etc.

**DESAFIO:**



1) Como primeiro desafio prove que:

$$1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$$

**IMPORTANTE:**

A velocidade instantânea é a velocidade no instante, ou seja, quando estamos dentro de um carro e observamos o velocímetro, vemos que a cada instante o automóvel possui uma velocidade, isto é velocidade instantânea.

Por exemplo, se você observa o velocímetro após 5 s de movimento e verifica que a velocidade é de 40 km/h, temos que a velocidade no instante 5 s, corresponde a 40 km/h.

## Velocistas da Natureza

Um dos animais terrestres mais veloz que temos é o guepardo, que acelera de 0 a 72 km/h em 2 segundos. Ele alcança uma velocidade de 115 km/h em distâncias de até 500m.

A velocidade é muito importante quando se trata de apanhar outros animais em busca de alimento. Por isso, os predadores estão entre os bichos mais rápidos da natureza. O leão, por exemplo, bem mais pesado e menos ágil que o guepardo, atinge 65 km/h em sua caçada. Velocidade essa, pouco maior que a de um cachorro de corrida e pouco abaixo de um cavalo puro-sangue.

É claro que os animais caçados também se defendem fugindo velozmente dos predadores. Por exemplo, a gazela africana chega a correr 80 km/h e, o que é mais importante, agüenta esse ritmo por mais tempo que qualquer outro felino de grande porte.

De todos os animais que servem de presa a outros, o mais rápido é o antilocaprídeo norte americano, que atinge 88 km/h em corridas de pequena distância, e 56 km/h em extensões de até 6 km.

O mais veloz de todos os animais que voa é o falcão peregrino, que em seu vôo de cruzeiro chega a atingir 115 km/h, mas quando mergulha para capturar sua presa, essa ave de rapina chega a atingir inacreditáveis 360 km/h (o mesmo que um cachorro de corrida, como na Fórmula Indy em circuitos ovais). Já, o andorinhão, em suas evoluções núprias, alcança 170 km/h.

## Exercício:

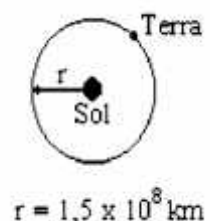
6) Determine, em km/h, a velocidade escalar média de uma pessoa que percorre a pé 1200 m em 30 min.

7) Um dos fatos mais significativos nas corridas de automóveis é a tomada de tempos, isto é, a medida do intervalo de tempo gasto para dar uma volta completa no circuito. O melhor tempo obtido no circuito de Suzuka, no Japão, pertenceu ao austríaco Gerard Berger, piloto da equipe McLaren, que percorreu os 5874 m da pista em cerca de 1 min 42 s.

Com base nesses dados, responda:

- Quanto vale o deslocamento do automóvel de Gerard Berger no intervalo de tempo correspondente a uma volta completa no circuito ? (Justifique)
- Qual a velocidade escalar média desenvolvida pelo carro do piloto austríaco em sua melhor volta no circuito ? (Justifique)

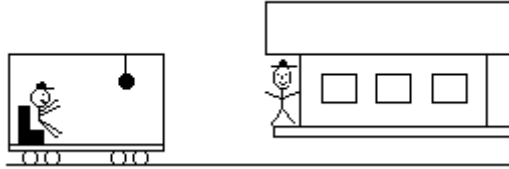
8) A figura ao lado esquematiza a trajetória aproximada da Terra no seu movimento de translação em torno do Sol. Estime o tempo necessário para que a luz do Sol alcance a Terra.



Dado: velocidade da luz no vácuo =  $3,0 \times 10^8 \text{ m/s}$

9) Um carro percorreu 20 km com velocidade média de 60 km/h e 60 km a 90 km/h. Determine a velocidade escalar média do carro nos 80 km percorridos.

10) Um trem anda sobre trilhos horizontais retilíneos com velocidade constante igual a 80 km/h. No instante em que o trem passa por uma estação, cai um objeto, inicialmente preso ao teto do trem.



Pergunta-se:

(a) Qual a trajetória do objeto, vista por um passageiro parado dentro do trem ?

(b) Qual a trajetória do objeto, vista por um observador parado na estação ?

(suponha que o trem vai em sentido da estação)

11) Após chover na cidade de São Paulo, as águas da chuva descerão o rio Tietê até o rio Paraná, percorrendo cerca de 1000 km. Sendo 4 km/h a velocidade média das águas, o percurso mencionado será cumprido pelas águas da chuva em aproximadamente:

(a) 30 dias;

(b) 10 dias;

(c) 25 dias;

(d) 2 dias;

(e) 4 dias.

## Aceleração Média

Quando você faz uma viagem de carro numa rodovia com sua família, muito provavelmente, vocês ficaram “presos” atrás de um caminhão de carga. Quando o caminhão vai devagar, é uma tristeza!

E, certamente, no momento adequado, seu pai fez uma ultrapassagem e deixou o caminhão para trás, certo !

Mas, fisicamente falando, o que ele fez ?

Seu pai teve que acelerar o carro para que pudesse superar a velocidade do caminhão e, logicamente fez algumas manobras necessárias.

Nesse caso a velocidade foi aumentada, ou seja, houve aceleração.

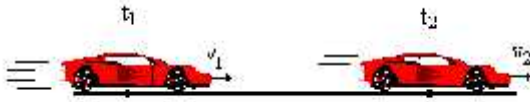
Imagine, agora, um carro aproximando-se de um sinal de trânsito, no vermelho! É o caso, então, de reduzir a velocidade freando o carro. Aqui, também, existe aceleração (ou, popularmente, desaceleração !)

É claro que a aceleração está presente no dia a dia não somente nos movimentos de carros: quando andamos, também aceleramos e freamos constantemente.

### 1.13 - ACELERAÇÃO ESCALAR MÉDIA ( $a_m$ )

Aceleração é a grandeza física que indica a taxa da variação da velocidade com o tempo. Evidentemente se a velocidade não varia a aceleração é igual a zero. Utilizaremos a letra **a** para indicar aceleração.

Por definição, temos que aceleração escalar média é:



$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

UNIDADES NO SI:

$\Delta v \Rightarrow$  metros por segundo (m/s)

$\Delta t \Rightarrow$  segundos (s)

$a_m \Rightarrow$  metros por segundo ao quadrado ( $m/s^2$ )

**IMPORTANTE:**

A aceleração escalar instantânea é a aceleração correspondente a apenas um instante  $t$  qualquer. Para determinarmos, matematicamente, a aceleração instantânea e a velocidade instantânea é necessário o conceito de limite. Como não possuímos, ainda, esse conceito, faremos apenas um tratamento qualitativo nestes estudos.

### Alguns Valores Aproximados de Acelerações Médias

Descrição	Aceleração ( $m/s^2$ )
Prótons num acelerador de partículas	$9 \times 10^{13}$
Ultracentrífuga	$3 \times 10^6$
Choque (freagem) de carro a 100 km/h contra obstáculo rígido	1000
Pára-quedas abrindo (freagem na condição limite)	320
Aceleração da gravidade na superfície solar	270
Ejeção do acento em aeronave (na condição limite)	150
Aceleração máxima suportável pelo ser humano sem perda de consciência	70
Aceleração da gravidade terrestre	9,8
Freios de um Automóvel comum	8
Aceleração da gravidade da Lua	1,7

**Exercício:**

12) Um automóvel parte do repouso e atinge a velocidade de 108 km/h após um tempo de 5 s. Calcule a aceleração escalar média do automóvel, nesse intervalo de tempo, em  $m/s^2$ .

## 1.14 - CLASSIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS

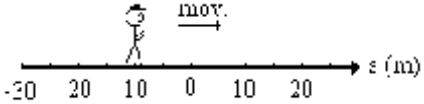
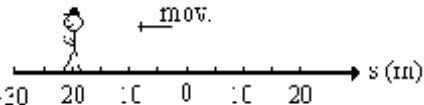
De uma forma geral podemos classificar os movimentos retilíneos da seguinte forma:

- ☞ Movimento Retilíneo Uniforme (MRU);
- ☞ Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV);
- ☞ Movimento Retilíneo Variado (MRV).

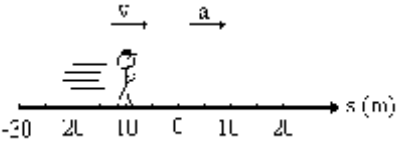
Em nosso curso estaremos estudando o MRU e o MRUV.

De uma forma mais específica, podemos classificar os movimentos:

### (A) QUANTO A VARIAÇÃO DO ESPAÇO

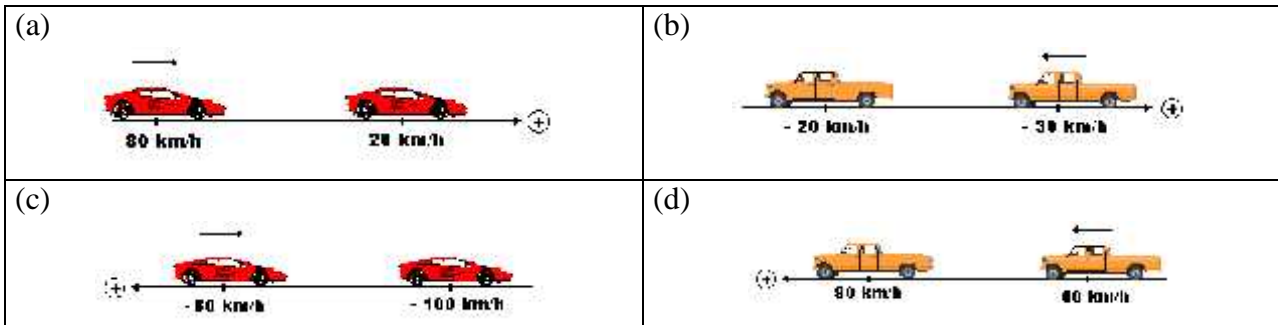
<p><u>Movimento Progressivo:</u> Os espaços aumentam a medida que o tempo passa. (movimento no sentido positivo da trajetória)</p>	
<p><u>Movimento Retrógrado:</u> Os espaços diminuem a medida que o tempo passa. (movimento no sentido negativo da trajetória)</p>	

### (B) QUANTO A VARIAÇÃO DE VELOCIDADE

<p><u>Movimento Acelerado:</u> O módulo da velocidade aumenta com o tempo. Ou seja, a velocidade e a aceleração possuem o mesmo sentido.</p>	
<p><u>Movimento Retardado:</u> O módulo da velocidade diminui com o tempo. Ou seja, a velocidade e a aceleração possuem sentidos opostos.</p>	

## Exercício:

13) Em cada caso, classifique o movimento em progressivo ou retrógrado, e acelerado ou retardado.



14) As tabelas abaixo fornecem as velocidades de duas bicicletas em função do tempo:

t (s)	v (m/s)
0	20
1	16
2	12
3	8

t (s)	v (m/s)
0	-13
1	-11
2	-9
3	-7

Em cada caso, classifique o movimento em progressivo ou retrógrado, acelerado ou retardado.

## Exercício Complementar:

15) Efetue as seguintes conversões:

- (a) 1 m em cm;                      (b) 1 cm em m;                      (c) 1 km em m;                      (d) 1 m em km;  
 (e) 1 h em min;                      (f) 1 min em s;                      (g) 1 s em h;                      (h) 1 dia em s.

16) A velocidade escalar média de um móvel durante a metade de um percurso é 30 km/h e esse mesmo móvel tem a velocidade escalar média de 10 km/h na metade restante desse mesmo percurso. Determine a velocidade escalar do móvel no percurso total.

17) Um ônibus sai de São Paulo às 8 h e chega a Jaboticabal, que dista 350 km da capital, às 11 h 30 min. No trecho de Jundiaí a Campinas, de aproximadamente 45 km, a sua velocidade foi constante e igual a 90 km/h.

- (a) Qual a velocidade média, em km/h, no trajeto São Paulo – Jaboticabal ?  
 (b) Em quanto tempo o ônibus cumpre o trecho Jundiaí – Campinas ?

18) Na prova dos 100 m pelo Mundial de Atletismo, disputada em Tóquio (Japão), no dia 25.08.91, o americano Carl Lewis estabeleceu o novo recorde mundial com 9,86 s. Nessa prova, o brasileiro Róbson Caetano completou os 100 m em 10,12 s, conforme Zero Hora de 26.08.91. A distância entre os dois atletas citados, quando o vencedor cruzou a linha de chegada, foi, em centímetros, aproximadamente de :

- (a) 2,57;                      (b) 2,64;                      (c) 25,7;                      (d) 257;                      (e) 264.

19) Um automóvel de competição é acelerado de forma tal que sua velocidade ( $v$ ) em função do tempo ( $t$ ) é dado pela tabela abaixo. A aceleração média em  $\text{m/s}^2$  no intervalo de 5 a 15 s é:

$t$ (s)	5	10	15
$v$ (m/s)	20	50	60

- (a) 4,5;                      (b) 4,33;                      (c) 5,0;                      (d) 4,73;                      e) 4,0.

20) Um livro possui 200 folhas, que totalizam uma espessura de 2 cm. A massa de cada folha é de 1,2 gramas e a massa de cada capa do livro é de 10 gramas.

- (a) Qual a massa do livro ?  
 (b) Qual a espessura de uma folha ?

21) Diante de uma agência do INPS há uma fila de aproximadamente 100 m de comprimento, ao longo da qual se distribuem de maneira uniforme 200 pessoas. Aberta a porta, as pessoas entram, durante 30 s, com uma velocidade média de 1 m/s.

Avalie:

- (a) o número de pessoas que entram na agência;  
 (b) o comprimento da fila que restou do lado de fora.

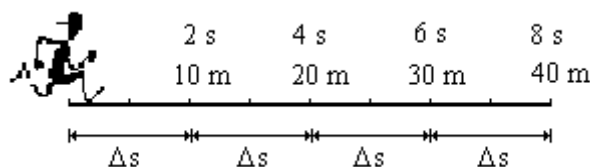
22) Um condomínio possui uma caixa d'água com capacidade para 30000 litros, que supre 40 apartamentos. O síndico observou que foram consumidos  $\frac{2}{3}$  da água contida na caixa, inicialmente cheia, num período de 20 h. Considerando que não houve reposição de água na caixa nesse período, qual o consumo médio por apartamento ?

- (a) 12,5 litros/h;                      (c) 25,0 litros/h;                      (e) 62,5 litros/h.  
 (b) 37,5 litros/h;                      (d) 50,0 litros/h;

## 2 - Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)

### 2.1 - INTRODUÇÃO

A partir de agora passaremos a discutir tipos de movimentos e começaremos pelo Movimento Retilíneo Uniforme. Este tipo de movimento se define por variações de espaços iguais em intervalos de tempo iguais, em outras palavras a velocidade é constante.



Observe no nosso exemplo que o rapaz percorre espaços iguais em tempos iguais. Ele leva 2 s para percorrer cada 10 m, ou seja, quando está a 10 m se passaram 2 s, quando está em 20 m se passaram 4 s e assim sucessivamente, de tal forma que se calcularmos sua velocidade em cada uma das posições descritas (comparadas com a posição inicial), teremos:

$$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10}{2} = \frac{20}{4} = \frac{30}{6} = \frac{40}{8} = 5 \text{ m/s}$$

Portanto quando falamos de MRU não tem mais sentido em utilizarmos o conceito de velocidade média, já que a velocidade não se altera no decorrer do movimento, logo passaremos a utilizar:

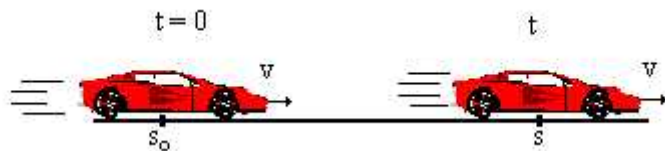
$$v = v_m$$

## 2.2 - FUNÇÃO HORÁRIA DO MRU

A função horária de um movimento, representa o endereço de um móvel no tempo, ou seja, ela fornece a posição desse móvel num instante qualquer. Com ela seremos capazes de prever tanto posições futuras do movimento, como conhecer posições em que o móvel já passou.

A seguir deduziremos a função  $s = f(t)$  para o MRU e como ponto de partida utilizaremos a definição de velocidade.

Observe o esquema abaixo:



- O móvel parte de uma posição inicial  $s_0$  no instante  $t = 0$ ;
- Num instante  $t$  qualquer ele estará na posição  $s$ .

### DEMONSTRAÇÃO

Partindo da definição da velocidade:	$v = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$
Aplicando as observações descritas acima, temos:	$v = \frac{s - s_0}{t - 0}$
Simplificando a expressão, temos que:	$v \cdot t = s - s_0$
Isolando o espaço $s$ , fica:	$s_0 + v \cdot t = s$
Portanto a Função Horária do MRU é dada por:	$\boxed{s = s_0 + v \cdot t}$

### Exercício:

23) Um móvel descreve um movimento retilíneo uniforme, de acordo com a função horária:



$$s = -20 + 5t \quad (\text{SI})$$

Para esse móvel determine:

- (a) o espaço inicial e sua velocidade escalar;
- (b) a posição no instante  $t = 10\text{s}$ ;
- (c) o instante em que ele passará pela origem dos espaços.

24) Um trem de 100m de comprimento, a uma velocidade constante de 10 m/s demora 1 min para atravessar uma ponte. Determine o comprimento da ponte.

25) Dois carros, A e B, se deslocam numa pista retilínea, ambos no mesmo sentido e com velocidades constantes. O carro que está na frente desenvolve 72 km/h e o que está atrás desenvolve 126 km/h. Num certo instante, a distância entre eles é de 225 m.

- (a) Quanto tempo o carro A gasta para alcançar o carro B ?
- (b) Que distância o carro que está atrás precisa percorrer para alcançar o que está na frente ?

26) Duas estações A e B estão separadas por 200 km, medidos ao longo da trajetória. Pela estação A passa um trem P, no sentido de A para B, e simultaneamente passa por B um trem Q, no sentido de B para A. Os trens P e Q têm movimentos retilíneos e uniformes com velocidades de valores absolutos 70 km/h e 30 km/h, respectivamente. Determine o instante e a posição do encontro.

**DESAFIO:**



2> De duas cidadezinhas, ligadas por uma estrada reta de 10 km de comprimento, partem simultaneamente, uma em direção à outra, duas carroças, puxadas cada uma por um cavalo e andando à velocidade de 5 km/h. No instante da partida, uma mosca, que estava pousada na testa do primeiro cavalo, parte voando em linha reta, com velocidade de 15 km/h e vai pousar na testa do segundo cavalo. Após intervalo de tempo desprezível, parte novamente e volta, com a mesma velocidade de antes, em direção ao primeiro cavalo até pousar em sua testa. E assim prossegue nesse vaivém, até que os dois cavalos se encontram e a mosca morre esmagada entre as duas testas. Quantos quilômetros percorreu a mosca ?

## 2.3 – GRÁFICOS DO MRU

A utilização de gráficos é uma poderosa arma para interpretação de dados. Os gráficos são utilizados, por exemplo, em geografia para mostrar a evolução da densidade populacional de uma região, na política afim de mostrar a corrida eleitoral, ou seja, o posicionamento dos candidatos na disputa de um cargo político e também na matemática mostrando desde funções simples a funções complexas.

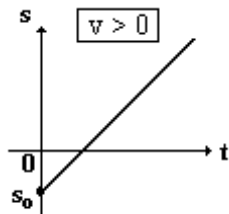
Em física, utilizaremos os gráficos para mostrar a evolução no tempo de grandezas como espaço, velocidade e aceleração.

### GRÁFICOS DO ESPAÇO EM FUNÇÃO DO TEMPO (s x t)

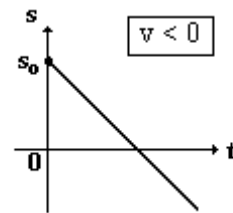
No MRU, temos a seguinte função horária ( $s = f(t)$ ):

$$s = s_0 + v \cdot t$$

Como esta função é do 1º grau, podemos ter os seguintes gráficos  $s \times t$  para o MRU:



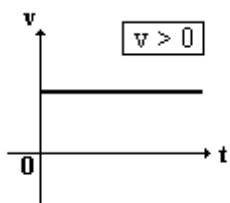
MOVIMENTO PROGRESSIVO



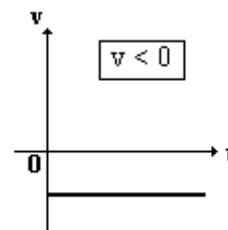
MOVIMENTO RETRÓGRADO

### GRÁFICOS DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO ( $v \times t$ )

Para o MRU, a velocidade é constante e diferente de zero. Nesse caso a função será uma reta paralela ao eixo dos tempos.



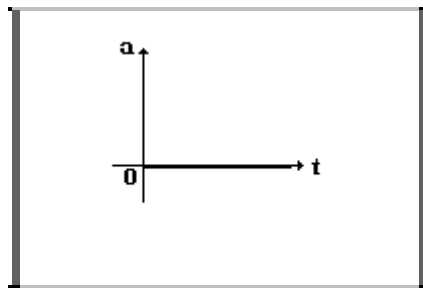
MOVIMENTO PROGRESSIVO



MOVIMENTO RETRÓGRADO

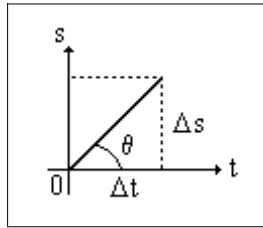
### GRÁFICOS DA ACELERAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO ( $a \times t$ )

No MRU a aceleração é igual a zero e portanto teremos:



## 2.4 – PROPRIEDADES NOS GRÁFICOS DO MRU

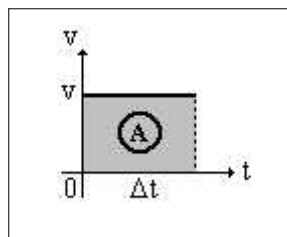
No gráfico  $s \times t$ , no MRU temos:



### DEMONSTRAÇÃO

A definição de tangente:	$\text{tg } \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$
Aplicando a definição de tangente no nosso caso, temos:	$\text{tg } \theta = \frac{\Delta s}{\Delta t}$
Sabendo que $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ , temos então:	$v \equiv \text{tg } \theta$

No gráfico  $v \times t$ , no MRU temos:



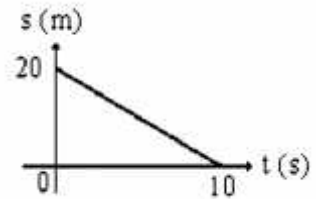
### DEMONSTRAÇÃO

A área de um retângulo:	$A = B \cdot h$
Aplicando em nosso caso, temos:	$A = \Delta t \cdot v$
Sabendo que $v \cdot \Delta t = \Delta s$ , teremos então:	$\Delta s \equiv A$

## Exercício:

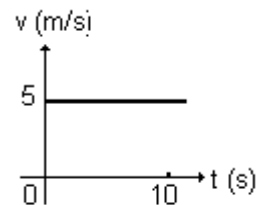
27) Um móvel se desloca segundo o diagrama da figura. Determine:

- (a) a função horária do movimento;
- (b) a posição do móvel no instante  $t = 30$  s;



28) O diagrama horário representa o comportamento escalar de um móvel em função do tempo. No instante  $t = 0$  encontra-se na posição  $s_0 = 3$  m.

- (a) Determine o deslocamento do corpo nos primeiros 10 s;
- (b) Escreva a função horária para o espaço escalar.
- (c) Determine o espaço do corpo após 10 s do início do movimento.
- (d) Construa um esboço do gráfico  $s \times t$  deste movimento.



## Exercício Complementar:

29) Durante uma tempestade, um indivíduo vê um relâmpago, mas ouve o trovão 5 s depois. Considerando-se o som no ar, com velocidade praticamente constante e igual a 340 m/s determine:

- (a) a distância que separa o indivíduo e o local do relâmpago;
- (b) o tempo que a luz levou para ir do local onde foi produzido o relâmpago até onde está o indivíduo. A velocidade da luz é aproximadamente 300 000 km/s.

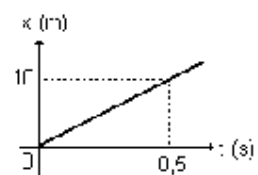
30) Um atirador aponta para um alvo e dispara um projétil. Este sai da arma com velocidade de 300 m/s. O impacto do projétil no alvo é ouvido pelo atirador 3,2 s após o disparo. Sendo 340 m/s a velocidade de propagação do som no ar, calcule a distância do atirador ao alvo.

31) Uma composição ferroviária (19 vagões e uma locomotiva) desloca-se a 20 m/s. Sendo o comprimento de cada elemento da composição 10 m, qual é o tempo que o trem gasta para ultrapassar:

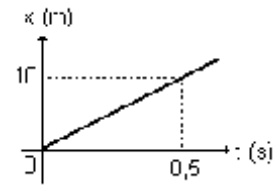
- (a) um sinaleiro ?
- (b) uma ponte de 100 m de comprimento ?

32) Uma partícula está em movimento retilíneo e suas posições variam com o tempo de acordo com o gráfico ao lado. No instante  $t = 1,0$  minuto, sua posição será:

- (a) 5,0 m;
- (b) 12 m;
- (c) 20 m;
- (d) 300 m;
- (e) 1.200 m.



- 33) O gráfico relaciona a posição (s) de um móvel em função do tempo (t). A partir do gráfico pode-se concluir corretamente que:
- (a) o móvel inverte o sentido do movimento no instante  $t = 5$  s;
  - (b) a velocidade é nula no instante  $t = 5$  s;
  - (c) o deslocamento é nulo no intervalo de 0 a 5 s;
  - (d) a velocidade é constante e vale 2 m/s;
  - (e) a velocidade vale  $-2$  m/s no intervalo de 0 a 5 s e 2 m/s no intervalo de 5 a 10 s.

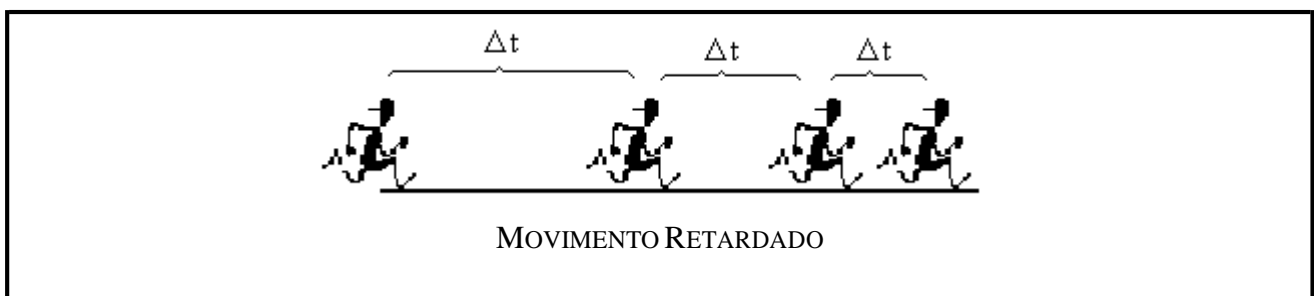
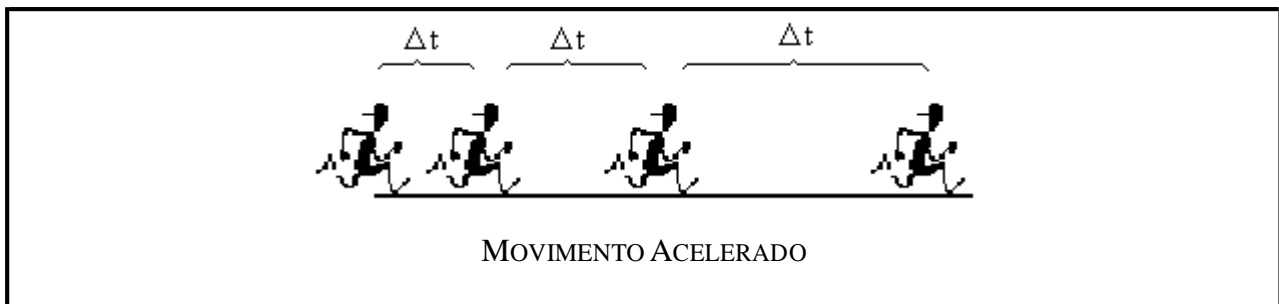


### 3 - MOVIMENTO RETILÍNEO UNIFORMEMENTE VARIADO (MRUV)

#### 3.1 - INTRODUÇÃO

A partir de agora, passaremos a estudar um tipo de movimento em que a velocidade não é mais constante. No MRUV passa a existir a aceleração constante, isso significa que a velocidade varia de uma forma uniforme. Poderíamos citar como exemplo desse tipo de movimento uma pedra caindo de uma certa altura ou um carro freando ao ver os sinal vermelho.

Então, o MRUV é aquele em que o móvel sofre variações de velocidades iguais em intervalos de tempo iguais.



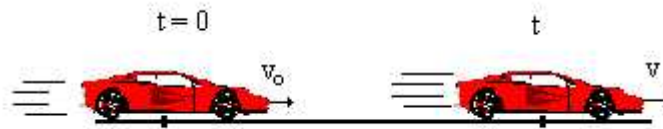
No MRUV, como a aceleração é constante, a aceleração média será igual a instantânea, logo:

$$a = a_m$$

### 3.2 - FUNÇÃO DA VELOCIDADE

Determinaremos, agora, a expressão que relaciona velocidade e tempo no MRUV. Para isso faremos algumas considerações iniciais.

Observe o esquema abaixo:



- ☞ móvel parte com velocidade inicial  $v_0$  no instante  $t = 0$ ;
- ☞ Num instante  $t$  qualquer ele estará com velocidade  $v$ .

#### DEMONSTRAÇÃO

Partindo da definição da aceleração:	$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$
Aplicando as observações descritas acima, temos:	$a = \frac{v - v_0}{t - 0}$
Simplificando a expressão, temos que:	$a \cdot t = v - v_0$
Isolando a velocidade $v$ , fica:	$v_0 + a \cdot t = v$
Portanto a Função da velocidade no MRUV é dada por:	$v = v_0 + a \cdot t$

#### Exercício:

34) Um móvel realiza um MRUV e sua velocidade varia com o tempo de acordo com a função:  

$$v = -20 + 4t \quad (\text{SI})$$

Determine:

- (a) a velocidade inicial e a aceleração escalar;
- (b) sua velocidade no instante  $t = 4$  s;
- (c) o instante em que atingirá a velocidade de 20 m/s;
- (d) o instante em que ocorrerá a inversão no sentido do movimento.

35) Um ponto material parte do repouso com aceleração constante e 4 s depois tem velocidade de 108 km/h. Determine sua velocidade 10 s após a partida.

### 3.3 – GRÁFICO DA VELOCIDADE E ACELERAÇÃO NO MRUV

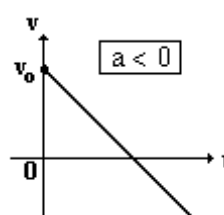
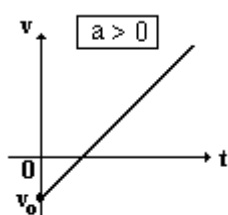
Passemos a analisar os gráficos do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado.

#### GRÁFICOS DA VELOCIDADE EM FUNÇÃO DO TEMPO ( $v \times t$ )

No caso do MRUV a função da velocidade é:

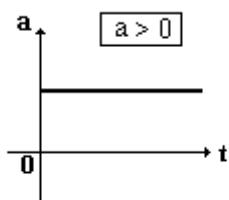
$$v = v_0 + a.t$$

Observamos que a função é do 1º grau, portanto o gráfico será uma reta crescente ou decrescente.



#### GRÁFICOS DA ACELERAÇÃO EM FUNÇÃO DO TEMPO ( $a \times t$ )

No MRUV a aceleração é constante, e portanto o gráfico será uma reta paralela ao eixo  $t$ .

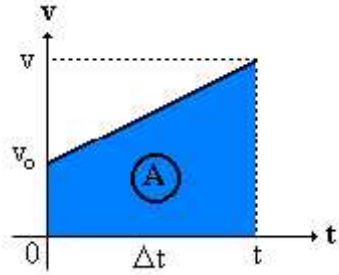
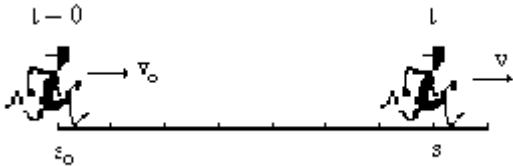


### 3.4 - FUNÇÃO HORÁRIA DO MRUV

Precisamos encontrar uma função que nos forneça a posição do móvel em qualquer instante num Movimento Retilíneo Uniformemente Variado.

Considerando que o móvel realiza um MRUV e está partindo, no instante  $t = 0$ , do espaço inicial  $s_0$  com velocidade inicial  $v_0$  e aceleração  $a$ , passemos a demonstrar a função horária  $s = f(t)$ .

DEMONSTRAÇÃO

<p>Observando o gráfico v x t do MRUV, temos:</p>	
<p>Calculando a área do Trapézio fica:</p>	$A = \frac{B + b}{2} h = \frac{v + v_0}{2} t$
<p>mas, sabemos que:</p>	$v = v_0 + a.t$
<p>Logo, podemos rescrever a área da seguinte maneira:</p>	$A = \frac{v_0 + a.t + v_0}{2} .t = \frac{2v_0.t}{2} + \frac{a.t^2}{2}$
<p>Finalmente a área fica:</p>	$A = v_0 .t + \frac{a.t^2}{2}$
<p>Como vimos na 2ª propriedade de gráficos do MRU, o deslocamento Δs é numericamente igual a área, logo:</p>	$\Delta s \equiv A \text{ ou ainda, } s - s_0 = A$
<p>Finalmente temos, então que:</p>	$s - s_0 = v_0 .t + \frac{a.t^2}{2}$
<p>ou seja:</p> 	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: fit-content; margin: auto;"> <math display="block">s = s_0 + v_0 .t + \frac{a.t^2}{2}</math> </div>

Sabemos que essa função é do 2º grau e nos fornecerá a posição do móvel num instante qualquer.

Exercício:

36) Um móvel realiza um MRUV regido pela função horária:

$$s = 3 + 2t - t^2 \text{ (SI)}$$

Determine:



- (a) o espaço inicial, a velocidade inicial e a aceleração;
- (b) a função velocidade;
- (c) o espaço e a velocidade do móvel no instante 2 s;
- (d) o instante em que o móvel inverte o sentido do movimento;
- (e) o instante em que o móvel passa pela origem dos espaços.

37) Um veículo parte do repouso em movimento retilíneo e acelera a  $2 \text{ m/s}^2$ . Pode-se dizer que sua velocidade e a distância percorrida, após 3 segundos, valem, respectivamente:

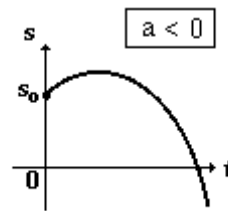
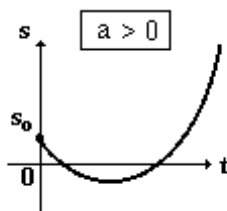
- (a) 6 m/s e 9 m;
- (b) 6 m/s e 18 m;
- (c) 3 m/s e 12 m;
- (d) 12 m/s e 36 m;
- (e) 2 m/s e 12 m.

### GRÁFICOS DO ESPAÇO EM FUNÇÃO DO TEMPO (s x t)

No caso do MRUV a função horária é:

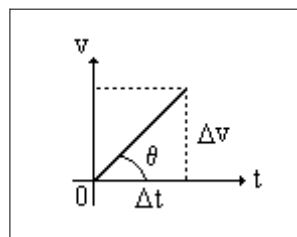
$$s = s_o + v_o t + \frac{1}{2} at^2$$

Como a função horária é do 2º grau podemos ter os seguintes gráficos para o MRUV:



### 3.5 - PROPRIEDADES NOS GRÁFICOS DO MRUV

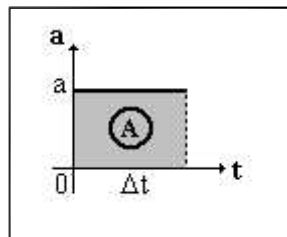
No gráfico v x t, no MRUV temos:



DEMONSTRAÇÃO

A definição de tangente:	$\text{tg } \theta = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{cateto adjacente}}$
Aplicando a definição de tangente no nosso caso, temos:	$\text{tg } \theta = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
Sabendo que $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , temos então:	$a \equiv \text{tg } \theta$

No gráfico a x t, no MRUV temos:



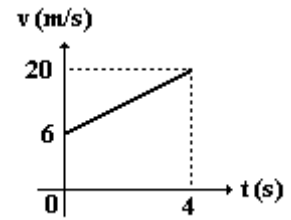
DEMONSTRAÇÃO

A área de um retângulo:	$A = B \cdot h$
Aplicando em nosso caso, temos:	$A = \Delta t \cdot a$
Sabendo que $a \cdot \Delta t = \Delta v$ , teremos então:	$\Delta v \equiv A$

Portanto, se tivermos um gráfico a x t no MRUV, a área abaixo da curva, nos fornecerá o valor do deslocamento.

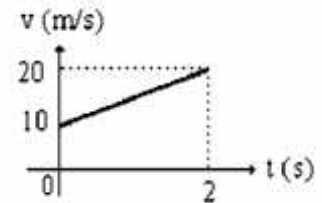
## Exercício:

8) O gráfico ao lado fornece a velocidade de um corpo no decorrer do tempo.

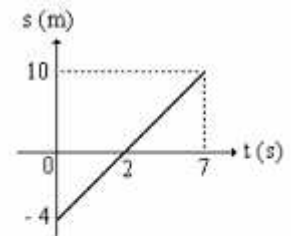


- Qual a aceleração do corpo ?
- Qual a função horária da velocidade ?
- Qual a velocidade do corpo no instante 20 s ?

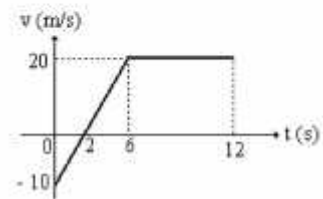
39) A posição inicial para o móvel que descreve o movimento retilíneo, cujo gráfico  $v \times t$  é o representado ao lado, vale 5 m. Quais são as equações horárias para o movimento considerado ?



40) O gráfico  $s \times t$  do movimento de um móvel é mostrado ao lado. Calcule a velocidade desse móvel no instante  $t = 6$  s.



41) Um móvel descreve um movimento em que sua velocidade escalar varia com o tempo de acordo com o gráfico ao lado.



Calcule:

- a aceleração escalar desse móvel no instante  $t = 3$  s;
- seu deslocamento entre os instantes  $t = 2$  s e  $t = 12$  s.

DESAFIO:



3) Um trem de metrô parte de uma estação com aceleração uniforme até atingir, após 10 s, a velocidade 90 km/h, que é mantida durante 30 s, para então desacelerar uniformemente durante 10 s até parar na estação seguinte.

- Represente graficamente a velocidade em função do tempo.
- Calcule a distância entre as duas estações.
- Calcule a velocidade média do trem nesse percurso.

DESAFIO:



4) Um ciclista A inicia uma corrida a partir do repouso, acelerando  $0,50 \text{ m/s}^2$ . Nesse instante passa por ele um outro ciclista B, com velocidade constante de  $5,0 \text{ m/s}$  e no mesmo sentido de A.

- Depois de quanto tempo, após a largada, o ciclista A alcança o ciclista B ?
- Qual a velocidade do ciclista A ao alcançar o ciclista B ?

### 3.6 - EQUAÇÃO DE TORRICELLI

Até agora estudamos sempre equações que relacionavam grandezas físicas com o tempo. A equação de Torricelli é uma relação de extrema importância pois ela independe do tempo e será fundamental em problemas que não trabalhem com o mesmo.

Para obtermos a Equação de Torricelli teremos que eliminar a grandeza tempo e faremos isso combinando a função da velocidade com a função horária.

#### DEMONSTRAÇÃO

Partindo da função da velocidade:	$v = v_o + a.t$
Elevando a equação ao quadrado e desenvolvendo, temos:	$v^2 = (v_o + a.t)^2$ $v^2 = v_o^2 + 2.v_o.a.t + a^2.t^2$ $v^2 = v_o^2 + 2.a.\left(v_o.t + \frac{1}{2}a.t^2\right) \text{ (1)}$
A função horária:	$s = s_o + v_o.t + \frac{1}{2}a.t^2$
Rescrevendo a função horária, temos:	$s - s_o = v_o.t + \frac{1}{2}a.t^2$
Ou ainda:	$\Delta s = v_o.t + \frac{1}{2}a.t^2 \text{ (2)}$
Substituindo a Eq. (2) na Eq. (1), temos a Equação de Torricelli:	$\boxed{v^2 = v_o^2 + 2.a.\Delta s}$

#### Exercício:

42) Um móvel em MRUV parte do repouso e atinge a velocidade de 20 m/s. Se a aceleração do móvel é 2 m/s<sup>2</sup>, determine a distância percorrida por esse móvel.

43) Um carro em alta velocidade (120 km/h) observa o semáforo indicar vermelho. Ao mesmo tempo uma pessoa atravessa sobre a faixa de segurança. Sabendo que a distância entre o carro e

faixa de segurança é de 50 m, pergunta-se qual deve ser a aceleração mínima para que o carro pare a tempo de evitar uma catástrofe.

### Exercício Complementar:

44) A equação horária do movimento de um ponto material P é:

$$s = 400 - 20t - 4t^2,$$

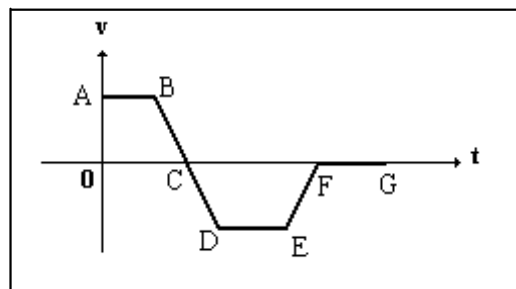
onde o espaço  $s$  é dado em metros e o tempo  $t$  em segundos. A velocidade média de P no intervalo de 0 a 5s é, em m/s:

- (a) - 40;                      (b) - 25;                      (c) 120;                      (d) 60;                      (e) - 30.

45) De uma estação parte um trem A com velocidade constante  $v_A = 80$  km/h. Depois de certo tempo, parte dessa mesma estação um outro trem B, com velocidade constante  $v_B = 100$  km/h. Depois de um tempo de percurso, o maquinista de B verifica que o seu trem se encontra a 3 km de A; a partir desse instante ele aciona os freios indefinidamente, comunicando ao trem uma aceleração  $a = - 50$  km/h<sup>2</sup>. O trem A continua no seu movimento anterior. Nessas condições:

- (a) não houve encontro dos trens.  
 (b) depois de duas horas o trem B pára e a distância que o separa de A é de 64 km.  
 (c) houve encontro dos trens depois de 12 min.  
 (d) Houve encontro dos trens depois de 36 min.  
 (e) Não houve encontro dos trens; continuam caminhando e a distância que os separa agora é de 2 km.

46) É dado o gráfico da velocidade em função do tempo para um móvel que realiza um movimento em trajetória retilínea. Classifique o movimento (MRU ou MRUV, progressivo ou retrógrado, acelerado ou retardado) para cada um dos trechos da curva dada.

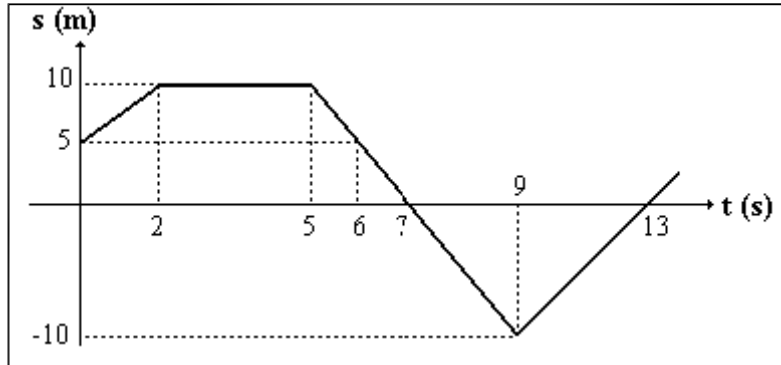


47) Um ponto material movimenta-se segundo:

$$s = 12 - 4t \text{ (SI)}$$

Faça os gráficos das funções:  $s = f(t)$ ,  $v = f(t)$  e  $a = f(t)$  desse movimento.

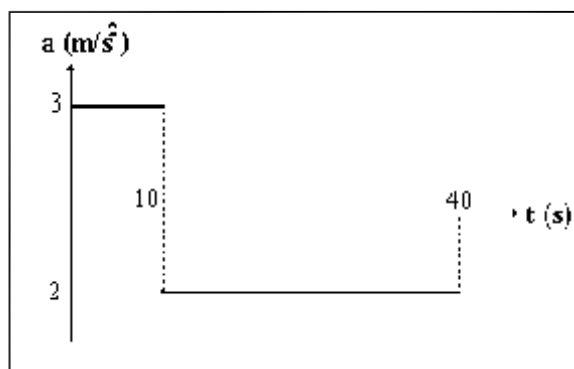
- 48) O espaço de um ponto material varia no decurso de tempo de acordo com o gráfico. Determine:
- o espaço inicial do movimento;
  - o que acontece com o ponto material no intervalo de tempo de 2 s a 5 s;
  - em que instantes o móvel passa pela origem;
  - a velocidade escalar no instante 1,5 s.



- 49) A tabela indica as posições  $s$  e os correspondentes instantes  $t$  de um móvel deslocando-se numa trajetória retilínea.
- Esboce o gráfico  $s \times t$  desse movimento.
  - Calcule a velocidade média do móvel entre os instantes  $t = 1$  s e  $t = 3$  s.

$t$ (s)	0	1	2	3	4	...
$s$ (m)	0	0,4	1,6	3,6	6,4	...

- 50) O gráfico da aceleração escalar de um móvel, em movimento retilíneo, em função do tempo é dado na figura. Determine:
- a aceleração escalar média no intervalo de 0 a 40 s;
  - o gráfico da velocidade escalar em função do tempo.
- Sabe-se que a velocidade inicial é nula.



## 4 – MOVIMENTOS VERTICAIS NO VÁCUO

### 4.1 - INTRODUÇÃO

Desde a antigüidade o estudo dos movimentos verticais era de grande importância para alguns cientistas conceituados, este era o caso de Galileu Galilei que fez um estudo minucioso da queda livre.

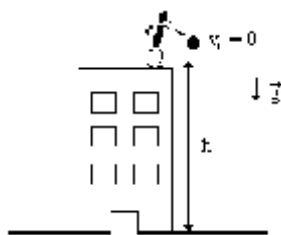
É importante o aluno notar que embora o movimento seja vertical ele ficará sujeito a leis de um movimento que já estudamos anteriormente.

Outro fato muito importante é que estaremos desprezando a resistência do ar, já que todas as observações serão feitas para movimentos no vácuo.

### 4.2 - QUEDA LIVRE

O Movimento de Queda Livre é caracterizado pelo abandono de um corpo a uma certa altura em relação ao solo.

Analisemos a seguinte situação:



Um garoto do alto do prédio abandona uma pedra. O que eu sei a respeito ?	Sua velocidade inicial é $v_0 = 0$
Observa-se que a medida que a pedra vai caindo sua velocidade aumenta.	Para velocidade aumentar é necessário que exista aceleração com sentido para baixo.
Se a pedra não possui motor de onde vem esta aceleração ?	É a aceleração da gravidade, $g$ . A aceleração é constante.

**IMPORTANTE:**

Aceleração da gravidade é uma grandeza vetorial, com as seguintes características:

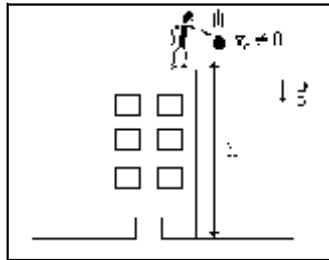
MÓDULO:  $g \cong 9,8 \text{ m/s}^2$ ;

DIREÇÃO: Vertical;

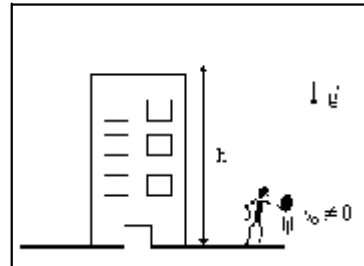
SENTIDO: Orientado para o centro da Terra.

### 4.3 - LANÇAMENTO VERTICAL

O que difere o lançamento vertical da queda livre é o fato da velocidade inicial no primeiro ser diferente de zero. No caso da queda livre só poderemos ter movimentos no sentido de cima para baixo, no caso do lançamento vertical poderemos ter movimentos em ambos os sentidos, ou seja, de cima para baixo ou de baixo para cima.



LANÇAMENTO VERTICAL PARA BAIXO



LANÇAMENTO VERTICAL PARA CIMA

Qual a velocidade, no ponto mais alto da trajetória de um Lançamento Vertical p/ cima ?	A velocidade é igual a zero.
Qual o tipo de movimento na subida ?	Movimento Retardado.
Qual o tipo de movimento na descida ?	Movimento Acelerado.

### 4.4 - DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DOS MOVIMENTOS VERTICAIS NO VÁCUO

As equações que descrevem os movimentos verticais no vácuo são as mesmas que apresentamos no MRUV, já que os movimentos verticais possuem aceleração constante e também são movimentos retilíneos.

Portanto as equações que regem esses movimentos são:

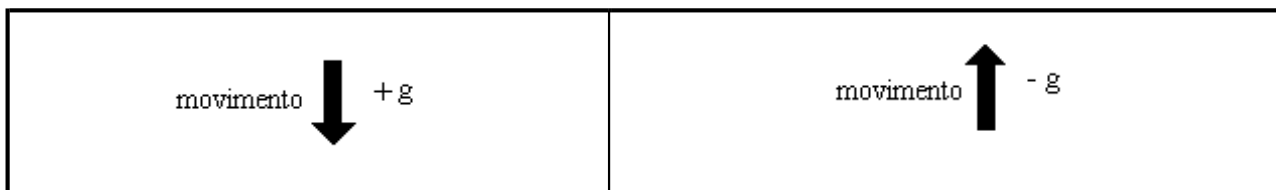
	QUEDA LIVRE	LANÇAMENTO VERTICAL
FUNÇÃO DA VELOCIDADE	$v = g \cdot t$	$v = v_0 + g \cdot t$
FUNÇÃO HORÁRIA	$s = \frac{1}{2} g \cdot t^2$	$s = s_0 + v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$
EQUAÇÃO DE TORRICELLI	$v^2 = 2 \cdot g \cdot \Delta s$	$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot \Delta s$



É importante notar que para facilidade dos problemas, utilizamos  $s_0 = 0$  no caso da queda livre, ou seja colocamos nosso referencial de origem no início do movimento.

#### 4.4.1 - ESTUDO DOS SINAIS DA ACELERAÇÃO DA GRAVIDADE

O sinal da aceleração da gravidade é adotado a partir do início do movimento. Caso o início seja de cima para baixo teremos  $g$  positivo (pois o corpo estará descendo auxiliado pela gravidade). Caso o início seja de baixo para cima, teremos  $g$  negativo (pois o corpo estará sendo lançado contra a gravidade).



**IMPORTANTE:**

O módulo da aceleração da gravidade varia com a altitude do local onde ela está sendo medida, mas em nosso estudo iremos considerá-la constante.

#### Exercício:

51) Uma pedra é lançada do solo, verticalmente para cima, com velocidade de 18 m/s.

Desprezando a resistência do ar e adotando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , determine:

- (a) as funções horárias do movimento;
- (b) o tempo de subida;
- (c) a altura máxima;
- (d) em  $t = 3\text{s}$ , contados a partir do lançamento, o espaço da pedra e o sentido do movimento;
- (e) o instante e a velocidade escalar quando o móvel atinge o solo.

52) Um corpo é lançado verticalmente para cima, com velocidade de 20 m/s, de um ponto situado a 160 m do solo. Despreze a resistência do ar e adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

- (a) Qual o tempo gasto pelo corpo para atingir o solo ?
- (b) Qual a velocidade do corpo no instante 5 s ?

53) Uma pedra é abandonada do topo de um prédio e gasta exatamente 4 segundos para atingir o solo. Despreze a resistência do ar e adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Determine:

- (a) a altura do prédio;
- (b) o módulo da velocidade da pedra ao atingir o solo.

**DESAFIO:**

5) Uma torneira, situada a uma altura de 1 m acima do solo, pinga lentamente à razão de 3 gotas por minuto.

- (a) Com que velocidade uma gota atinge o solo ?
- (b) Que intervalo de tempo separa as batidas de duas gotas consecutivas no solo ?  
Considere, para simplificar,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .



## Exercício Complementar:

54) Uma bola de tênis é arremessada verticalmente para cima, partindo do chão, com uma velocidade de 20 m/s. Em que instantes a bola estará a 15 m acima do chão ?

55) Dois móveis A e B são lançados verticalmente para cima, com a mesma velocidade inicial de 15 m/s, do mesmo ponto. O móvel A é lançado no instante  $t = 0$  e o móvel B é lançado 2 s depois. Determine, a contar do ponto de lançamento, a posição e o instante do encontro dos móveis. Adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e despreze a resistência do ar.

56) Um malabarista de circo deseja ter 3 bolas no ar em todos os instantes. Ele arremessa uma bola a cada 0,40 s. (Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)

(a) Quanto tempo cada bola fica no ar ?

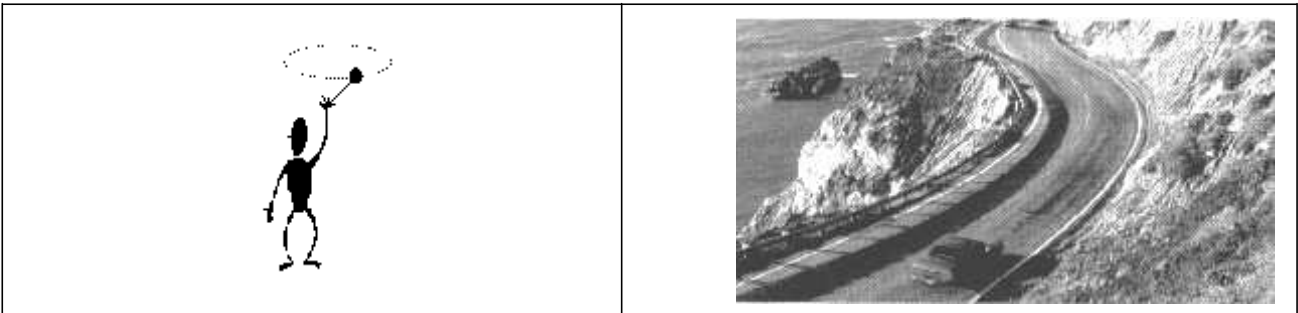
(b) Com que velocidade inicial deve o malabarista atirar cada bola para cima ?

(c) A que altura se elevará cada bola acima de suas mãos ?

## 5 – MOVIMENTO CIRCULAR

### 5.1 - INTRODUÇÃO

Uma partícula está em movimento circular quando sua trajetória é uma circunferência, como por exemplo, a trajetória descrita por uma pedra que gira presa na ponta de um barbante ou um carrinho num *looping* de uma montanha-russa..



### 5.2- PERÍODO (T)

Período de um movimento é o intervalo de tempo mínimo para que um fenômeno cíclico se repita. Estudaremos no capítulo 5.5 o Movimento Circular Uniforme, para este tipo de movimento o período seria o tempo gasto para o móvel completar uma volta.

UNIDADE NO SI:

$T \Rightarrow$  segundos (s)

# RESPOSTAS

## Exercícios e Exercícios Complementares

- 1> 1 min 38,4 s
- 2> (a) 10000 m  
(b) 200 cm  
(c) 7200 s  
(d) 2000 mm
- 3> letra d
- 4> letra b
- 5> (a)  $2,0 \times 10^3$  m  
(b)  $3,4824 \times 10^2$  cm  
(c)  $2,3 \times 10^{-4}$  s  
(e)  $3,0 \times 10^{-2}$  m
- 6> 3,6 km/h
- 7> (a) zero  
(b)  $\cong 207,32$  km/h
- 8> 500 s
- 9> 80 km/h
- 10> (a) ↓ (b) ↷
- 11> letra b
- 12>  $6 \text{ m/s}^2$
- 13>  
(a) progressivo retardado;  
(b) retrógrado retardado;  
(c) retrógrado acelerado;
- (a) Progressivo e acelerado
- 14>  
(a) progressivo, retardado;  
(b) retrógrado, retardado.
- 15> (a)  $10^2$  cm; (b)  $10^{-2}$  m  
(c)  $10^3$  m; (d)  $10^{-3}$  km  
(e) 60 min; (f) 60 s;  
(g)  $1/3600$  h;  
(h) 86400 s
- 16> 15 km/h
- 17> (a) 100 km/h  
(b) 0,5 h
- 18> letra d
- 19> letra e
- 20> (a) 260 g  
(b) 0,01 cm
- 21> (a) 60 pessoas  
(b) 70 m
- 22> letra c
- 23> (a) - 20 m e 5 m/s  
(b) 30 m  
(c) 4 s
- 24> 500 m
- 25> (a) 15s  
(b) 525 m
- 26> 2h e 140 km
- 27> (a)  $s = 20 - 2.t$   
(b)  $s = 40$  m
- 28> (a)  $\Delta s = 50$  m  
(b)  $s = 3 + 5.t$   
(c)  $s = 53$  m  
(d)
- 29> (a) 1700 m  
(b)  $\cong 5,67 \cdot 10^{-6}$  s
- 30> 510 m
- 31> (a) 10 s  
(b) 15 s
- 32> letra e
- 33> letra d
- 34> (a) -20 m/s e  $4 \text{ m/s}^2$   
(b) - 4 m/s  
(c) 10 s  
(d) 5 s
- 35> 75 m/s
- 36> (a) 3 m, 2 m/s, -  $2\text{m/s}^2$   
(b)  $v = 2 - 2.t$   
(c) 3 m e - 2 m/s  
(d) 1 s  
(e) 3 s
- 37> letra a
- 38> (a)  $3,5 \text{ m/s}^2$   
(b)  $v = 6 + 3,5.t$   
(c) 76 m/s
- 39>  $s = 5 + 10.t + 2,5.t^2$   
 $v = 10 + 5t$
- 40> 2 m/s
- 41> (a)  $5 \text{ m/s}^2$   
(b) 160 m
- 42> 100 m
- 43>  $\cong - 11,09 \text{ m/s}^2$
- 44> letra a
- 45> letra c
- 46>  
AB - MRU,  
progressivo.  
BC - MRUV,  
progressivo, retardado.  
CD - MRUV,  
retrógrado, acelerado.  
DE - MRU, retrógrado.  
EF - MRUV,  
retrógrado, retardado.  
FG - Parado.
- 47>

