

## **Aula 00**

*Prefeitura de Conselheiro Lafaiete-MG  
(PEB II - Ciências) Conhecimentos  
Específicos (Parte de Física) - 2024  
(Pós-Edital)*

Autor:

**Henrique Goulart da Silva Urruth**

13 de Agosto de 2024

## Sumário

Introdução.....	3
Cinemática.....	4
1 – Conceitos Básicos .....	4
2 – Distância e Deslocamento.....	5
3 – Velocidade Média e Velocidade Instantânea.....	7
4 – Aceleração Média .....	11
5 – Movimento Retilíneo Uniforme - MRU.....	12
5.1 – Casos de MRU .....	13
5.2 – Gráficos e Equação Horária da Posição para o MRU .....	15
5.3 – Velocidades Relativas e Encontros.....	21
6 – Movimento Retilíneo Uniformemente Variado - MRUV .....	24
6.1 – Casos de MRUV.....	25
6.2 – Gráficos e Equações para o MRUV.....	27
6.3 – Movimento de Queda-Livre - MQL.....	39
7 – Mecânica Newtoniana .....	50
7.1 – Primeira Lei de Newton .....	50
7.2 – Segunda Lei de Newton.....	53
7.3 – Terceira Lei de Newton .....	56
7.4 – Força Peso e a Lei da Gravitação Universal de Newton .....	56
7.5 – Força Normal.....	60
7.6 – Força de Tração.....	61



7.7 – Força de Atrito.....	62
7.8 – Força Elástica.....	69
7.9 – Força de Empuxo.....	70
Questões Comentadas.....	71
Lista de Questões .....	103
Gabarito.....	116
Resumo .....	117



## INTRODUÇÃO

**Faaaaaala, colega! Tudo bem contigo!?**

Eu sou o **Prof Henrique Goulart**, professor de Física aqui no Estratégia Concursos, e te convido para continuar nosso caminho até a aprovação!

Nessa aula, veremos os conceitos fundamentais da Cinemática, a descrição matemática do Movimento Retilíneo Uniforme – MRU e do Movimento retilíneo Uniformemente Variado – MRUV, bem como seus casos e exemplos. Além disso, também veremos a principal teoria científica da Física: a Mecânica Newtoniana, também chamada de Dinâmica Newtoniana.



Ah, colega, não posso deixar de te lembrar que, além desse livro digital, você pode conferir a videoaula e mandar qualquer dúvida diretamente pelo Fórum de Dúvidas, na plataforma do Estratégia Concursos. As videoaulas e esse livro digital são redundantes. Ou seja, você pode estudar somente pelo livro, ou somente pelas videoaulas, ou, ainda, por ambos.

Então, bora?



@profhenriquegoulart



/fisicaeducacional



# CINEMÁTICA

A Cinemática é a descrição matemática de movimentos. Todo corpo que se move pode ter uma equação matemática (uma função) que melhor descreve seu movimento.

Não conheço ninguém que acorde de manhã com vontade de fazer a cinemática de algo! Hehehe! Se faz cinemática por uma questão prática, porque é útil, muito útil!

A Ciência é capaz de desenvolver ferramentas capazes de descrever, satisfatoriamente, os fenômenos físicos e possibilitar, a partir desta descrição, a previsão futura e passada para um determinado evento. A Cinemática é uma destas ferramentas.

Ao se fazer a cinemática de um corpo, descrevendo seu movimento com uma função matemática adequada, temos a possibilidade de saber por onde e quando este corpo irá passar, além de se estimar por onde e quando este corpo já passou.

## 1 – Conceitos Básicos

Quando as dimensões de um determinado corpo são desprezíveis no estudo de um determinado fenômeno, denomina-se esse um **ponto material**. Por outro lado, quando as dimensões do corpo devem ser consideradas, esse será um **corpo extenso**.

Por exemplo, uma pequena formiga pode ser considerada um “ponto material” quando se desloca dentro de uma garagem de uma residência. Enquanto que um veículo que manobra para estacionar não pode ser considerado “um ponto”, pois seu tamanho (e formato) é relevante para a situação.

Portanto, sempre que o tamanho e formato de um corpo for irrelevante para a solução de um problema cinemático, podemos representar este corpo como um ponto material.

**Todo movimento, assim como sua descrição matemática, depende de uma referência.**

Quando dizemos que um corpo está em repouso, significa que ele não está se movendo em relação a um ponto de referência. Ou seja, se você está parado em um ponto específico e esse ponto não muda com o passar do tempo, você está em repouso em relação a esse ponto de referência. Por outro lado, se um corpo está se movendo, isso significa que sua posição está mudando com o passar do tempo em relação a esse mesmo ponto de referência. Por exemplo, se você estiver andando na rua, sua posição está mudando em relação a um ponto fixo na rua.

No entanto, é importante ressaltar que um corpo pode estar em repouso em relação a um ponto de referência, mas em movimento em relação a outro. Isso ocorre porque cada ponto de referência pode ser diferente e, portanto, pode influenciar se um objeto está ou não em movimento.



Como a Cinemática é a descrição matemática de movimentos, os referenciais que utilizaremos serão eixos cartesianos, os eixos “x” e “y”, por exemplo. Assim, todas as posições de um corpo que se move serão dadas por um valor nesses respectivos eixos.

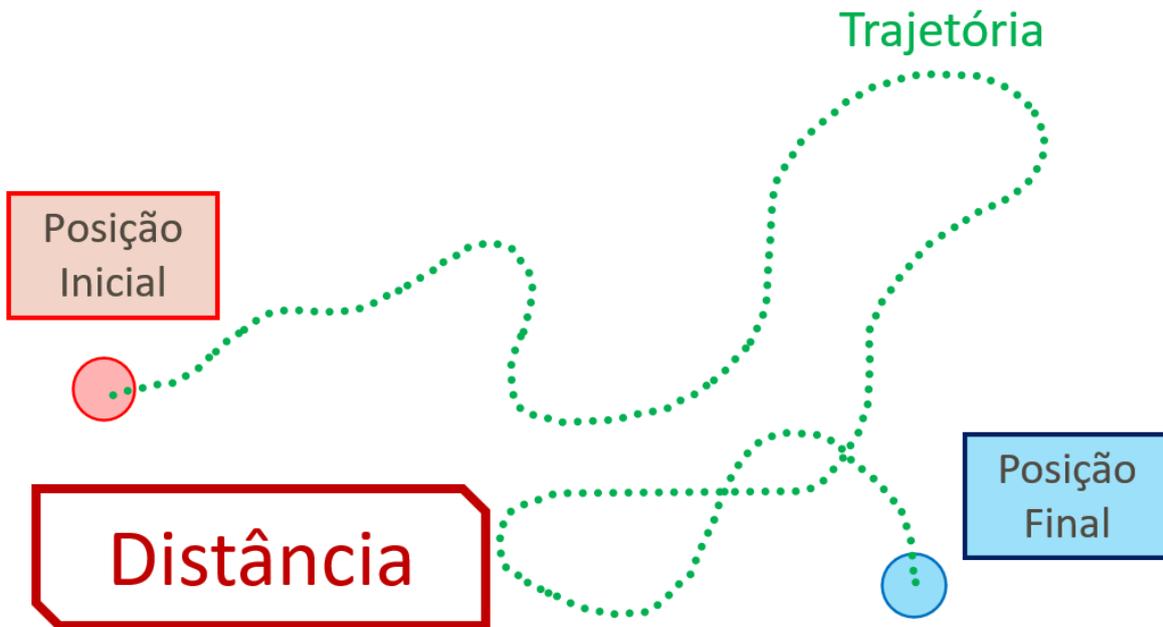


Se o movimento for unidimensional, sobre uma direção, uma linha, podemos utilizar somente um desses eixos. Em geral, utilizaremos o eixo x para a direção horizontal e para movimentos unidirecionais. Quando o movimento for em duas direções, horizontal e vertical, por exemplo, utilizaremos o eixo x na horizontal e o eixo y na vertical.

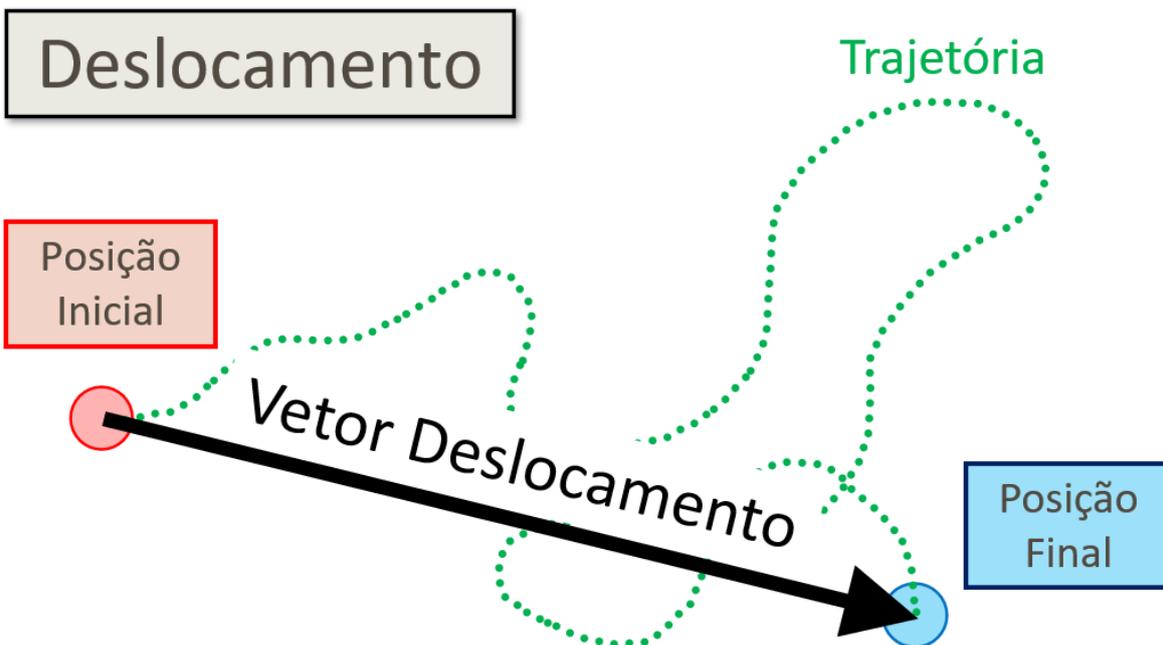
## 2 – Distância e Deslocamento

Distância e Deslocamento, embora às vezes possam se confundir, têm conceitos diferentes e fornecem informações bem distintas. Enquanto a **distância informa o comprimento de uma trajetória**, contando todos os pontos por onde um móvel passou ou poderá passar, o **deslocamento é um VETOR que aponta da posição inicial até a posição final**.

Se um corpo sai de uma posição inicial, percorre uma trajetória, como a indicada pelo traçado pontilhado, e termina no ponto indicado pela posição final, a distância percorrida pelo móvel será a medida de todo o trajeto percorrido, sendo uma grandeza escalar.



Já o deslocamento é indicado por um vetor que liga a posição inicial à posição final. Seu módulo é igual ao comprimento da seta, enquanto a orientação se dá da posição inicial à posição final.



Veja que o deslocamento ignora completamente a trajetória! Para o deslocamento, somente importam as posições inicial e final. Aqui está a principal diferença entre distância e deslocamento: para a distância, o que importa é a trajetória, enquanto que, para o deslocamento, não importa a trajetória.

### 3 – Velocidade Média e Velocidade Instantânea

A Velocidade é uma grandeza vetorial que indica para onde e quão rápido um corpo se move.

A Velocidade Média é definida como a razão (divisão) entre o Deslocamento e o Tempo.

$$Velocidade_{média} = \frac{Deslocamento}{Tempo}$$

Matematicamente, podemos escrever o valor do deslocamento, representado pela letra  $d$ , como sendo a diferença entre duas posições, a final e a inicial, para um corpo que se desloca em um referencial (eixo  $x$ , ou eixo  $y$ , ou eixo  $S$ , etc.):

$$d = posição_{final} - posição_{inicial}$$

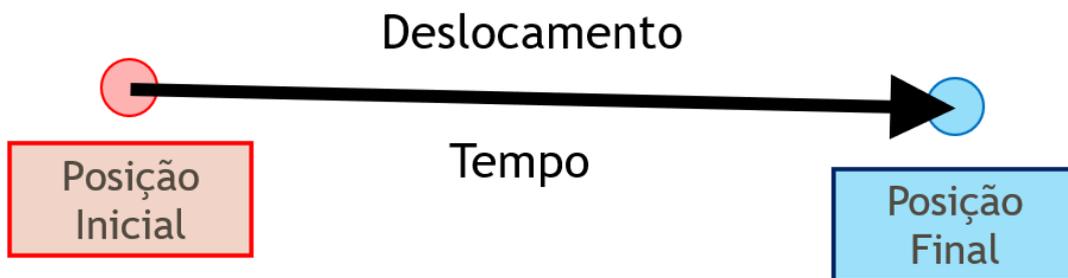
$$d = \Delta posição$$

$$d = \Delta x = x_{final} - x_{inicial}$$

Como o  $\Delta x$  é o deslocamento, podemos escrever a velocidade média da seguinte forma:

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

$$V_m = \frac{d}{t}$$



Sobre as unidades de medida, o deslocamento é um comprimento, sendo indicado em metros, no SI. O tempo, em segundos. Assim, a unidade de medida para velocidade fica:

$$[V] = \frac{[d]}{[t]}$$

$$[V] = \frac{m}{s}$$





**OBS:** Em muito livros, bem como em anúncios de questões de provas, o símbolo utilizado para posição é a letra S. Este símbolo tem origem em uma tradução (mal feita) do termo “Space”, em inglês, que não pode ser traduzido como “espaço” em português.

É bastante comum, em provas, nos depararmos com diferentes unidades de medida para valores de velocidade. Podemos encontrar m/s, mm/s, cm/s, km/s, além de m/min, km/min e km/h. O mais comum é o km/h.

Para converter uma velocidade indicada em km/h para m/s, por exemplo, precisamos transformar o km em m e o tempo em h para s.

Como  $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$  e  $1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$ , essa conversão acabará dependendo de um fator: o 3,6. Este fator vem, justamente da conversão simultânea dos km para m e das horas para segundos.

$$1 \frac{\text{km}}{\text{h}} = \frac{1000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = \frac{1 \text{ m}}{3,6 \text{ s}} = \frac{1}{3,6} \text{ m/s}$$

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

Se uma pessoa, ao caminhar, percorre um metro em um segundo, se assim permanecer, após uma hora de caminhada, terá percorrido 3 quilômetros e 600 metros. Assim, para passar de km/h para m/s dividimos o valor da velocidade por 3,6. Uma velocidade precisa ser multiplicada por 3,6 para se obter seu respectivo valor equivalente em km/h.

m/s	Fator Multiplicador da Velocidade	km/h
1		3,6
5		18
10		36
15		54
20		72
25		90
30		108



Contudo, em muitos exercícios em provas, temos contextos onde o que se quer é somente a média da rapidez com que um móvel percorreu determinada trajetória. Assim podemos definir uma grandeza escalar, chamada de Rapidez, como a razão entre a Distância percorrida e o Tempo.

$$Rapidez_{m\acute{e}dia} = \frac{Dist\grave{a}ncia}{Tempo}$$

A Rapidez Média nos informa o quão rápido, em média, um móvel percorreu um determinado percurso em uma trajetória. Em muitas questões, os enunciados pedem a “Velocidade Escalar Média”. Como Velocidade é uma grandeza vetorial, não é adequado se utilizar o termo “Escalar” depois de velocidade.

Assim, temos que interpretar o enunciado e o comando da questão. Se o enunciado estiver pedindo a “Velocidade Escalar Média”, devemos calcular a Rapidez Média do percurso. Se for pedido a Velocidade Média, devemos utilizar a razão entre o Deslocamento e o Tempo, ignorando a trajetória.

Mesmo que um móvel se desloque com diferentes velocidades em cada instante, a Velocidade Média é um valor fixo com que o móvel teria o mesmo deslocamento no mesmo intervalo de tempo. Da mesma forma, a Rapidez Média é o valor com que o móvel percorreria a mesma distância no mesmo tempo se tivesse andado todo o percurso com uma rapidez igual à rapidez média.



Muito cuidado com o termo “Velocidade Escalar”!

Velocidade é uma grandeza vetorial. Assim, não é adequado se utilizar o termo “escalar” para velocidade, bem como o termo “velocidade vetorial”, que é completamente redundante.

Assim, temos que interpretar o enunciado e o comando da questão. Se o enunciado estiver pedindo a “Velocidade Escalar Média”, devemos calcular a Rapidez Média do percurso. Se for pedido a Velocidade Média, devemos utilizar a razão entre o Deslocamento e o Tempo.

$$Velocidade_{m\acute{e}dia} = \frac{Deslocamento}{Tempo}$$

$$Rapidez_{m\acute{e}dia} = \frac{Dist\grave{a}ncia}{Tempo}$$

A velocidade instantânea nada mais é que a velocidade em um instante em particular.

(SEE - AC/2010 - FUNCAB)

Um automóvel realiza uma viagem entre duas cidades vizinhas, mantendo uma velocidade escalar média de 40 km/h durante a primeira metade do caminho e de 60 km/h no restante da viagem. A velocidade escalar média do automóvel durante toda a viagem foi, em km/h, igual a:

- A) 40
- B) 42
- C) 45
- D) 48
- E) 50

**Comentários:**

A velocidade escalar média na trajetória é calculada pela razão entre o deslocamento do móvel e o intervalo de tempo necessário para tal.

Assim, temos:

$$v_{m\acute{e}dia} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Note que o trajeto é dividido em duas partes iguais (dado pelo comando “[...] primeira metade do caminho [...]” e “[...] restante da viagem.”).

Dessa forma, os intervalos de tempo associados com esses deslocamentos ficam:

$$t_1 = \frac{\frac{\Delta S}{2}}{v_1} = \frac{\frac{\Delta S}{2}}{40} = \frac{\Delta S}{80}$$

$$t_2 = \frac{\frac{\Delta S}{2}}{v_2} = \frac{\frac{\Delta S}{2}}{60} = \frac{\Delta S}{120}$$

O tempo total de viagem corresponde à soma dos tempos de cada trecho.

Assim, podemos escrever o que segue:

$$v_{m\acute{e}dia} = \frac{\Delta S}{t_1 + t_2}$$

$$v_{m\acute{e}dia} = \frac{\Delta S}{\frac{\Delta S}{80} + \frac{\Delta S}{120}}$$

$$v_{m\acute{e}dia} = \frac{\Delta S}{\frac{3\Delta S + 2\Delta S}{240}}$$



$$v_{m\u00e9dia} = \frac{\Delta S}{\frac{5\Delta S}{240}}$$
$$v_{m\u00e9dia} = \Delta S \frac{240}{5\Delta S}$$
$$v_{m\u00e9dia} = \frac{240}{5}$$
$$v_{m\u00e9dia} = 48 \text{ km/h}$$

Gabarito: D

## 4 – Aceleração Média

A Aceleração é uma grandeza vetorial que aponta para onde e indica quão rapidamente a velocidade de um corpo aumenta.

A Aceleração Média é definida como a razão (divisão) da variação da velocidade pela variação do tempo.

$$Acelera\u00e7\u00e3o_{m\u00e9dia} = \frac{\text{Varia\u00e7\u00e3o da Velocidade}}{\text{Varia\u00e7\u00e3o do Tempo}}$$

A variação da velocidade pode ser escrita, formalmente, da seguinte forma:

$$\Delta V = V_{final} - V_{inicial}$$

Assim, temos a Aceleração Média:

Aceleração

$$a = \frac{\Delta \text{velocidade}}{\Delta \text{tempo}}$$

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

Sobre as unidades de medida, a variação da velocidade é dada em m/s, enquanto a variação do tempo é dada em segundos, no SI. Portanto, temos:

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



$$[a] = \frac{m/s}{s} = m/s^2$$

Veja que a unidade de medida  $\frac{m/s}{s}$  indica quantos valores de velocidade, em metros por segundo, mudaram durante um segundo. Por exemplo, se um carro, em uma prova de arrancadas, aumentar sua velocidade de zero, partindo do repouso, até 100km/h em apenas 10s, sua aceleração indica que, em média, sua velocidade variou 10km/h a cada segundo. Assim, podemos escrever que sua aceleração média foi igual a 10km/h/s.

## 5 – Movimento Retilíneo Uniforme - MRU

O movimento retilíneo e uniforme (MRU) se caracteriza pelo deslocamento de um corpo em uma **trajetória retilínea** (em linha reta) e com **velocidade constante** (uniforme).



Ao se manter com velocidade constante, a aceleração é mantida, permanentemente, nula, igual a zero, pois, como vimos, a aceleração está associada à variação da velocidade. Assim, podemos caracterizar o MRU, onde todo móvel tem seu respectivo deslocamento igual ao produto da velocidade pelo tempo.





MRU

- Velocidade constante.
- Aceleração nula.

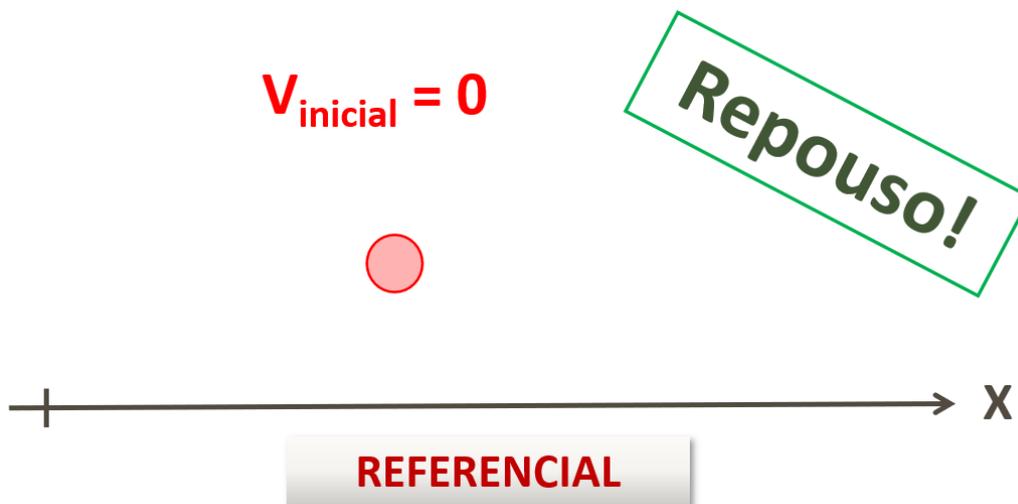
$$d = V \cdot t$$

## 5.1 – Casos de MRU

Além da condição de repouso, temos, somente, duas situações possíveis para um móvel em MRU.

Se um corpo, com o passar do tempo, não muda sua posição em relação a um referencial, então este corpo está na condição de repouso.

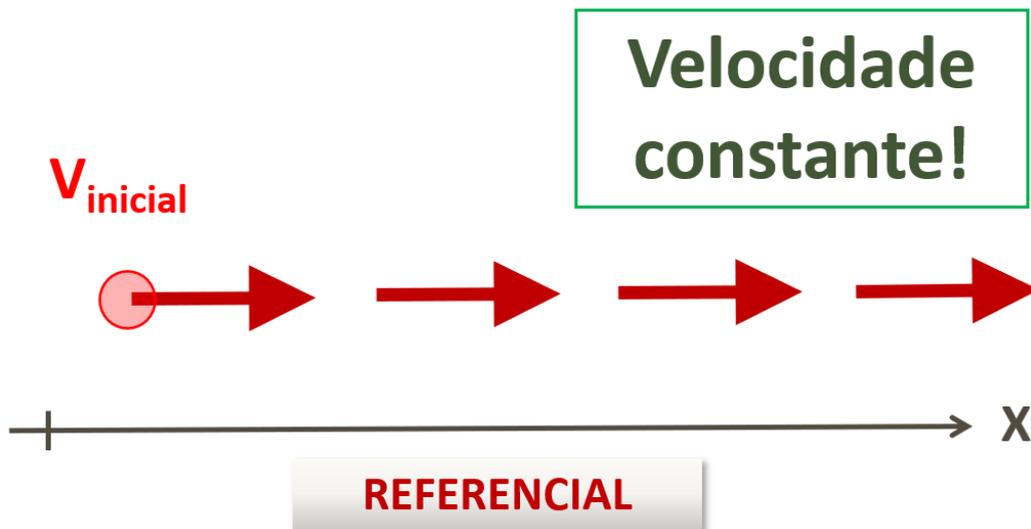
**Corpo em repouso.**



Além desta condição, um corpo se encontra em movimento retilíneo e uniforme, em relação a um referencial, sempre que avançar, a favor ou contra o referencial, iguais quantidades de deslocamentos em intervalos de tempos iguais.

**Caso 1: corpo se move a favor do crescimento do referencial.**





Caso 2: corpo se move contra o crescimento do referencial.



No MRU, temos somente estes dois casos. Para diferenciar uma velocidade a favor ou contra o sentido do crescimento do referencial, utilizamos os sinais + e -. Ou seja, sempre que uma velocidade apontar a favor do eixo de referência, esta velocidade deve ser indicada como positiva. Da mesma forma, sempre que uma velocidade apontar em sentido oposto ao do crescimento do eixo referencial, deve ser indicada como negativa.

Essa mesma ideia se aplica a todas as outras grandezas vetoriais:

- Deslocamentos que se dão a favor do referencial, são positivos. Deslocamentos que se dão contra o referencial, são negativos.
- Velocidades a favor do referencial, são positivas. Velocidades contra o referencial, são negativas.



- Acelerações a favor do referencial, são positivas. Acelerações contra o referencial, são negativas.



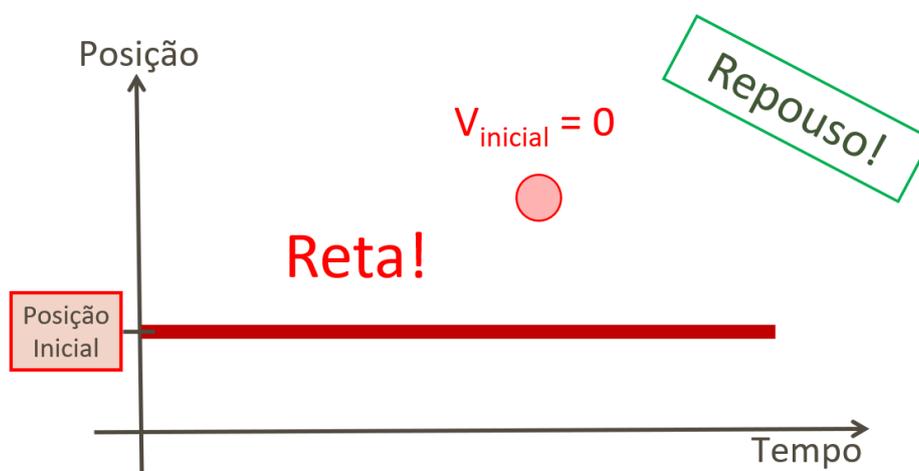
**Em todos os exercícios de cinemática, precisamos escolher um eixo de referência.** Mesmo assim, é importante se notar que, independentemente do eixo escolhido, a interpretação física do resultado obtido deve ser coerente com o fenômeno, nos levando, sempre, à resposta correta. Entretanto, não podemos resolver um problema sem a escolha de um sistema de referência adequado.

## 5.2 – Gráficos e Equação Horária da Posição para o MRU

Geralmente, os gráficos utilizados para as análises cinemáticas são os de Posição X Tempo, Velocidade X Tempo e Aceleração X Tempo.

Para o caso de um móvel em repouso, com velocidade nula, e que assim permanece, ele mantém sua posição sempre a mesma com o passar do tempo. Se representarmos isso graficamente, teremos uma reta horizontal no gráfico Posição X Tempo.

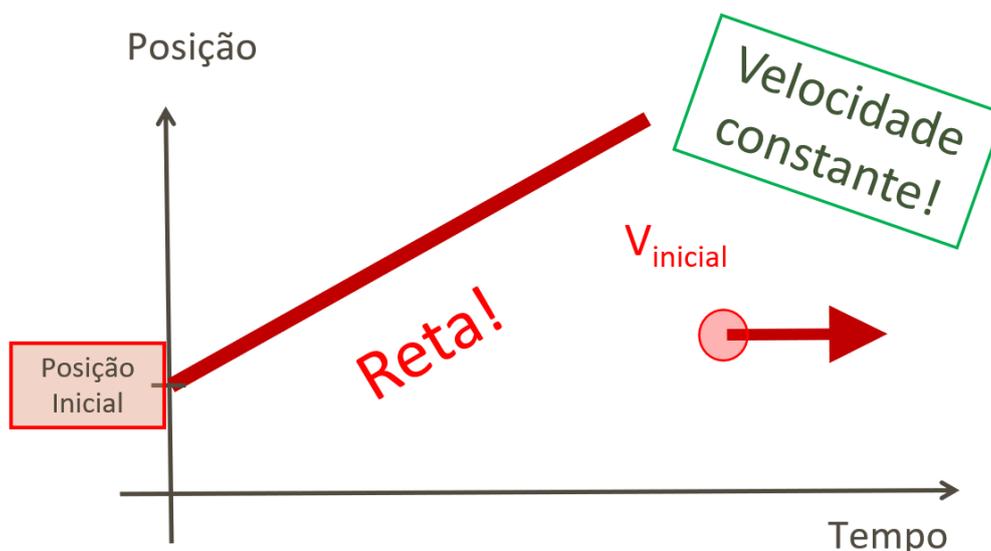
**Gráfico Posição X Tempo para um corpo em repouso.**



Nesta situação, o corpo permanece em sua mesma posição inicial em relação ao sistema de referência.

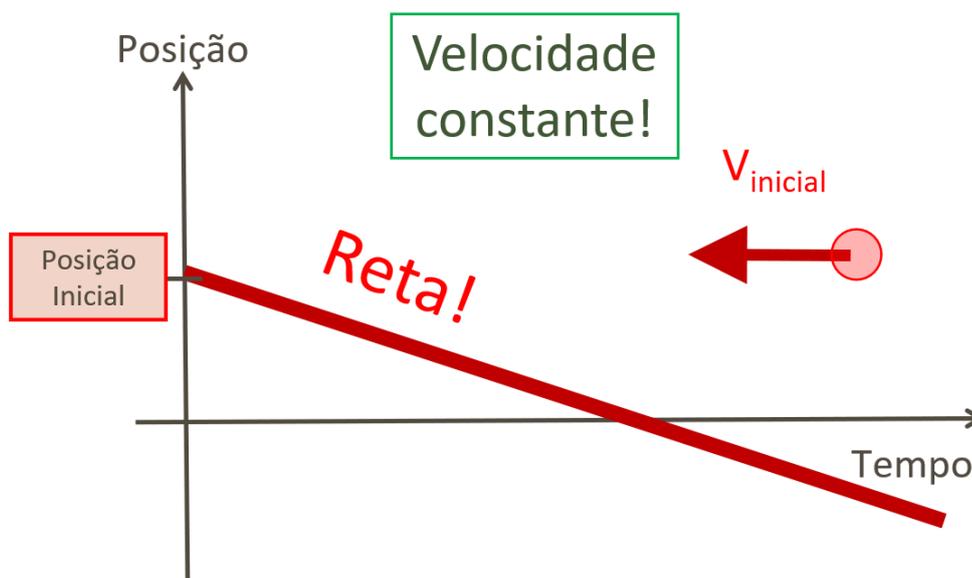
**Gráfico Posição X Tempo para o Caso 1: corpo se move a favor do crescimento do referencial.**





Neste caso, o corpo inicia seu movimento no tempo igual a zero, em sua posição inicial, e segue se movendo, sempre com a mesma velocidade, com a mesma rapidez, sempre no sentido do crescimento do eixo referencial. O próprio eixo das posições é o referencial. Assim, conforme passa o tempo, o gráfico irá registrar pontos que se encaixam perfeitamente em uma reta crescente.

**Gráfico Posição X Tempo para o caso 2: corpo se move contra o crescimento do referencial.**



Neste segundo caso temos algo semelhante, pois o corpo se move sempre a uma taxa constante, mas para o lado negativo do eixo das posições.

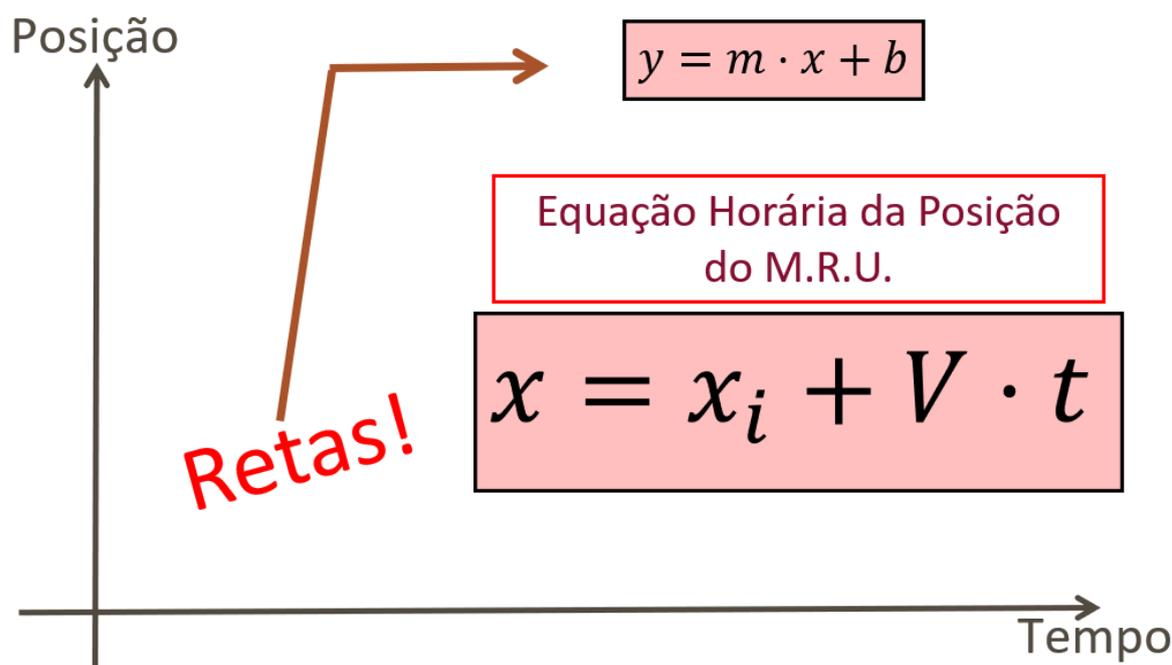
Neste segundo caso temos algo semelhante, pois o corpo se move sempre a uma taxa constante, mas para o lado negativo do eixo das posições.

No MRU, como todos os gráficos de Posição x Tempo são retas crescentes ou decrescentes, então a função matemática adequada para descrever esse movimento é a de um polinômio de primeiro grau, do tipo



$y = m \cdot x + b$ , onde  $y$  é a variável dependente,  $x$  a independente,  $m$  é o coeficiente angular da reta e  $b$  é o coeficiente linear.

Assim, podemos escrever a **Equação Horária da Posição para o MRU**, onde  $x$  é a posição do móvel no referencial definido pelo eixo  $x$  das posições,  $x_i$  é a posição inicial, no tempo igual a zero,  $V$  é a velocidade do móvel, que é constante, e  $t$  é o instante de tempo.



A velocidade  $V$  do móvel é o coeficiente angular da reta. Assim, quanto maior a inclinação da reta, maior o valor da velocidade. O coeficiente linear nada mais é do que a posição inicial do corpo.

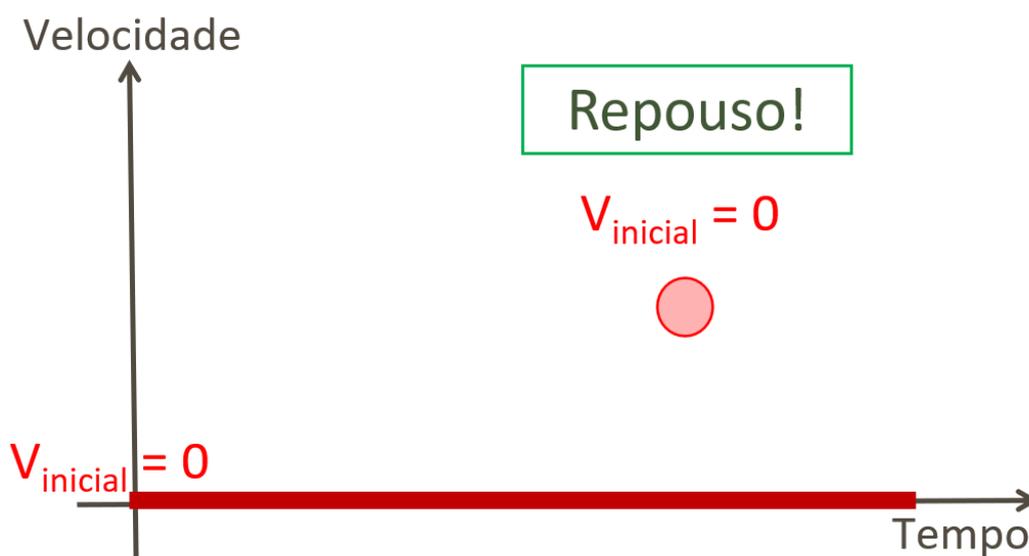
Assim, para se fazer a cinemática de um corpo que se move em MRU, precisamos de duas informações: a posição inicial e a velocidade. Ao conhecer a posição de início e a velocidade do móvel, podemos escrever a função matemática que descreve o movimento desse corpo, possibilitando prever, a cada instante, a respectiva posição do corpo.

Ao se escrever a Equação Horária do Movimento para um corpo, podemos dizer que fizemos a cinemática para o corpo. Por isso que Cinemática é a descrição matemática de movimentos. Com esta função pronta, podemos responder qualquer coisa sobre o movimento de um corpo, como por onde e quando ele irá passar ou chegar em algum lugar, por exemplo, além de poder dizer de onde veio, para onde vai, quanto tempo levou para chegar até aqui, etc.



Colega, perceba, que se um corpo que se move terá diferentes equações horárias para diferentes referenciais. Por isso, reitero que não existe cinemática sem um sistema de referências. É impossível descrever matematicamente o movimento de um móvel sem um referencial.

### Gráfico Velocidade X Tempo para um corpo em repouso.



Observe que o gráfico de Velocidade x Tempo para o caso do corpo em repouso apresenta uma reta com inclinação nula sobre o eixo do tempo.

### Gráfico Velocidade X Tempo para o Caso 1: corpo se move a favor do crescimento do referencial.



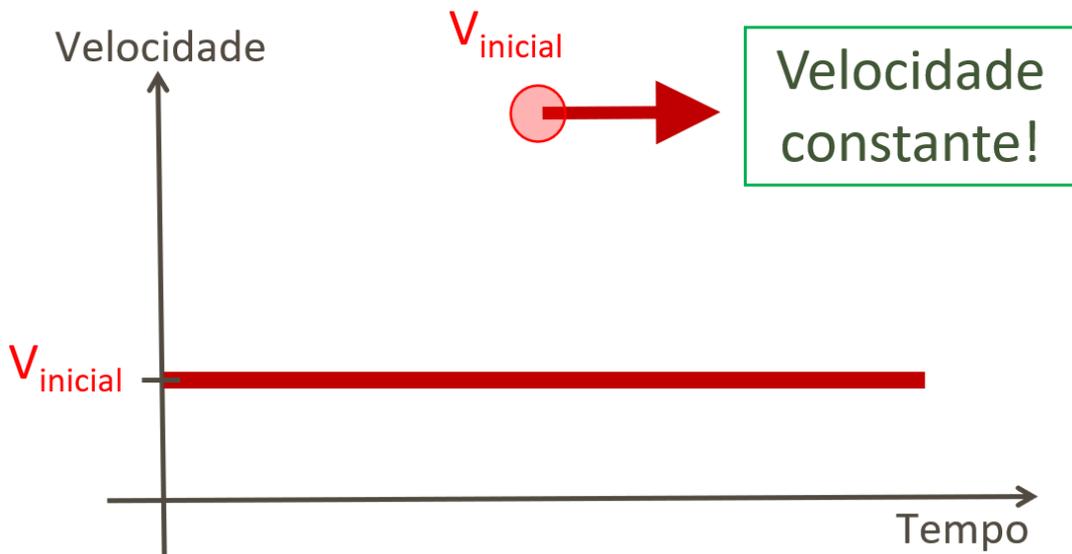
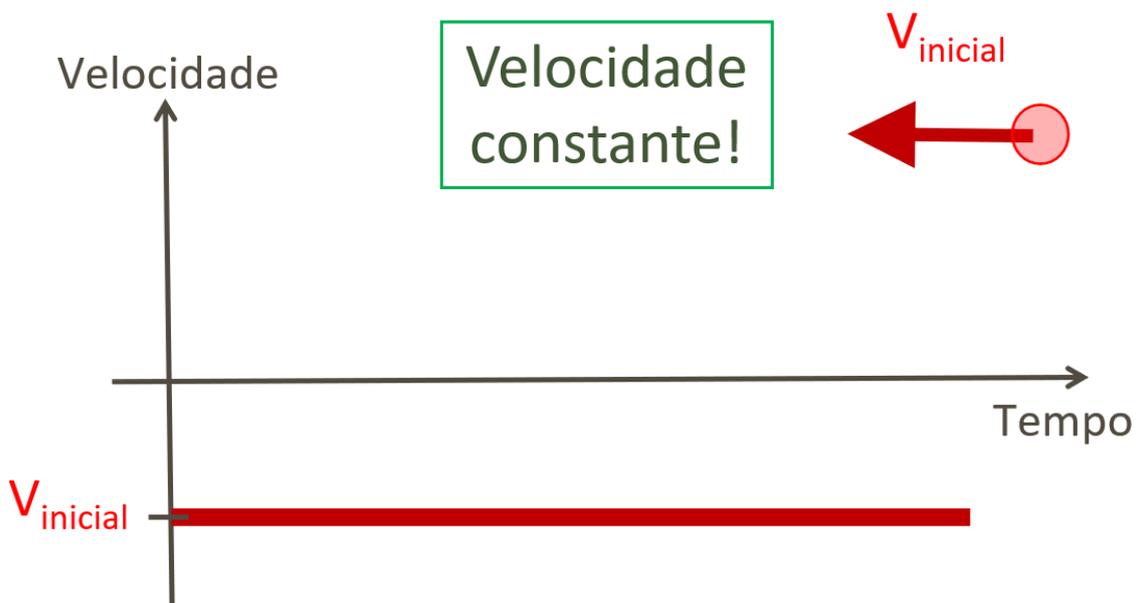


Gráfico Velocidade X Tempo para o caso 2: corpo se move contra o crescimento do referencial.



Já os gráficos para os dois casos do MRU, temos retas horizontais, indicando que, com o passar do tempo, a velocidade se mantém constante. No caso 1, a velocidade é positiva. No caso 2, a velocidade é negativa.

A partir de gráficos de Velocidade x Tempo, podemos obter os deslocamentos a partir das áreas formadas entre a linha do gráfico e o eixo do tempo.



### Áreas em gráficos V x t

As áreas formadas entre a linha do gráfico de velocidade e o eixo do tempo são iguais aos respectivos deslocamentos.

$$\text{Área}_{\text{Gráfico}} = d_{V \times t}$$

(SEDUC – RS/2023 - AOCP)

O professor de Física da sala de aula que João estuda resolveu deixar um desafio para ele com a motivação de despertar no aluno um espírito investigativo científico. O professor pediu que João fizesse um teste com o automóvel de seu pai, com o intuito de encontrar a função horária que descrevesse o movimento do veículo e apresentasse em sala de aula para seus colegas. Sendo assim, pediu a seu pai que saísse com o automóvel realizando um movimento com velocidade constante em determinado referencial.

Desse modo, anotou em uma tabela seus espaços, em metros, percorridos com seus respectivos tempos, em segundos. Assinale a alternativa que apresenta corretamente a função horária do movimento que João encontrou e apresentou em sala de aula para seus colegas.

Tabela 01: Variação de espaço x tempo de um móvel.

t (s)	0	1	2	3
s (m)	10	25	40	55

- A)  $s = 15 + 10t$ .
- B)  $s = 10 - 15t$ .
- C)  $s = 15t$ .



D)  $s = 10 + 15t$ .

E)  $s = 10 - 5t$ .

**Comentários:**

A função horária do movimento é dada pela seguinte equação:

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

Onde  $S$  é a posição final,  $S_0$  é a posição inicial,  $v$  é a velocidade e  $t$  o tempo.

A partir da tabela, temos que  $S_0$  é igual a 10 metros.

A velocidade pode ser obtida através da equação:

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

$$v = \frac{S - S_0}{t - t_0} = \frac{55 - 10}{3 - 0} = \frac{45}{3} = 15 \text{ m/s}$$

Substituindo os valores na equação horária, temos:

$$S = 10 + 15t$$

**Gabarito: D.**

### 5.3 – Velocidades Relativas e Encontros

Em problemas que envolvem dois corpos que se movem em uma mesma direção no mesmo sentido ou em sentidos opostos, podemos utilizar a velocidade relativa entre eles para calcular rapidamente quanto tempo eles levarão para se cruzarem, ou qual a distância que os separa em um determinado instante, etc.

Quando dois móveis estão em uma mesma direção, a velocidade relativa entre eles é igual à soma dos módulos das velocidades individuais se eles se moverem em sentidos opostos. Ao se moverem em sentidos opostos, seja se afastando ou se aproximando entre si, a velocidade de cada móvel contribui para que este afastamento ou aproximação ocorra mais rapidamente.

Quando dois móveis estão em uma mesma direção, a velocidade relativa entre eles é igual à diferença dos módulos das velocidades individuais se eles se moverem no mesmo sentido. Ao se moverem no mesmo sentido, um perseguindo o outro, eles se aproximam ou se afastam entre si a uma taxa relativa igual à diferença entre os módulos de suas velocidades.

Imagine que dois automóveis estão em uma mesma estrada retilínea. O móvel 1 se move a 60km/h em relação à estrada para a direita. O móvel 2 se move a 40km/h em relação à estrada, mas para a esquerda. Veja que eles se aproximam ou se afastam entre si a uma taxa de 100km/h. Esta taxa é justamente a velocidade relativa entre eles, indicando que eles se afastam ou se aproximam entre si, a cada 1h, uma distância relativa de 100km.

Entretanto, se estes dois móveis se moverem no mesmo sentido, ambos para a direita ou ambos para a esquerda, a rapidez de aproximação ou afastamento será igual a 20km/h, pois, enquanto o móvel 1 anda



60km em 1h, o móvel 2 anda somente 40km nesta mesma 1h. Ou seja, a cada 1h, eles se afastam ou se aproximam entre si uma distância relativa de 20km.

Veja que, se os dois móveis tiverem iguais valores de velocidade, em sentidos opostos, a velocidade relativa será igual à soma das velocidades, ou o dobro da velocidade de um deles. Mas, se os dois se moverem no mesmo sentido, a velocidade relativa será nula, pois, se um persegue o outro com igual velocidade, a distância relativa entre eles não se modifica.



### Velocidades Relativas

- Móveis em sentidos opostos:

$$V_{rel} = |V_1| + |V_2|$$

- Móveis no mesmo sentido:

$$V_{rel} = |V_1| - |V_2|$$

Dois móveis se encontram quando, num determinado instante, eles estão em uma mesma posição. Assim, podemos resolver problemas que envolvem encontros de móveis ao se escrever a equação horária para cada um deles e igualar as equações.

Se o problema se apresentar com valores acessíveis, podemos resolver facilmente a partir de um raciocínio de como o sistema evolui. Além disso, também podemos utilizar a velocidade relativa. Mas, a ferramenta mais formal é a das equações horárias mesmo.

Veja o seguinte exemplo.

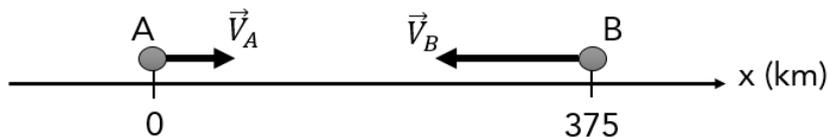
**(SEDUC – PA/2006 – CESPE)** Considere que dois automóveis separados a uma distância de 375 km inicialmente, deslocam-se um ao encontro do outro com velocidades constantes e iguais a 60 km/h e 90 km/h, respectivamente. Nessa situação, os automóveis se encontrarão após

- A) 1 h.
- B) 1 h e 30 min.
- C) 2 h.
- D) 2 h e 30 min.

#### Comentários:

Para analisar o momento do encontro, podemos estabelecer um sistema de referências e escrever as equações horárias das posições para os dois móveis.





Com este sistema de coordenadas, podemos escrever as equações horárias para os dois móveis.

Para o móvel A, que parte da origem e tem velocidade igual a 60 km/h para o lado crescente do sistema de referências, temos:

$$x_A(t) = x_{i_A} + V_A \cdot t$$

$$x_A(t) = 0 + (+60)t$$

$$x_A(t) = 60t$$

Para o móvel B, que parte da posição 375 km e tem velocidade igual a 90 km/h contrária ao sentido crescente do sistema de referências, temos:

$$x_B(t) = x_{i_B} + V_B \cdot t$$

$$x_B(t) = 375 + (-90)t$$

$$x_B(t) = 375 - 90t$$

Como dois móveis se encontram quando, num determinado instante, eles estão em uma mesma posição, podemos igualar as equações horárias e resolver a equação para o tempo.

$$x_A(t) = x_B(t)$$

$$60t = 375 - 90t$$

$$60t + 90t = 375$$

$$150t = 375$$

$$t = \frac{375}{150} = 2,5 \text{ h} = 2 \text{ h e } 30 \text{ min}$$

**Gabarito: D.**



## 6 – Movimento Retilíneo Uniformemente Variado - MRUV

O Movimento Retilíneo e Uniformemente Variado (MRUV) é caracterizado por uma trajetória em linha reta com velocidade que varia constantemente, sempre à mesma taxa. Esta “taxa” é a própria aceleração.

# Movimento Retilíneo Uniformemente Variado



**Velocidade se modifica de maneira uniforme, varia sempre na mesma taxa (Aceleração constante).**

**M.R.U.V. -> Velocidade variável.**

Ao se manter em um movimento com velocidade que varia constantemente, sempre à mesma taxa, a aceleração será, em cada caso, sempre a mesma, mas nunca zero. Se a aceleração for nula, teremos um MRU. Com a aceleração sempre constante e diferente de zero, podemos caracterizar o MRUV:

- MRUV** {
- Velocidade variável.
  - Aceleração constante, não nula.

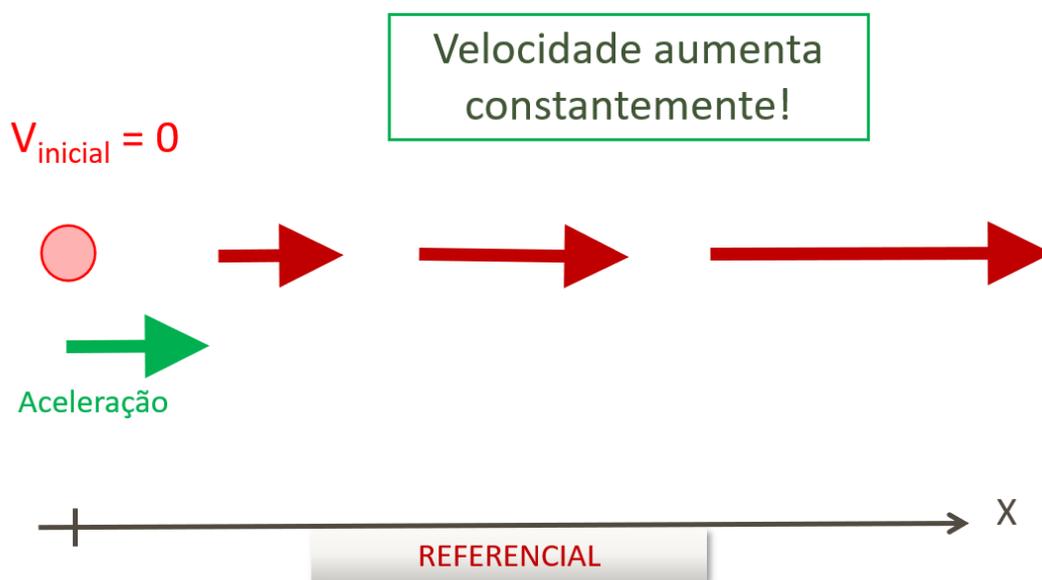
Qualquer móvel nessas condições cinemáticas poderá se apresentar em somente três casos.

## 6.1 – Casos de MRUV

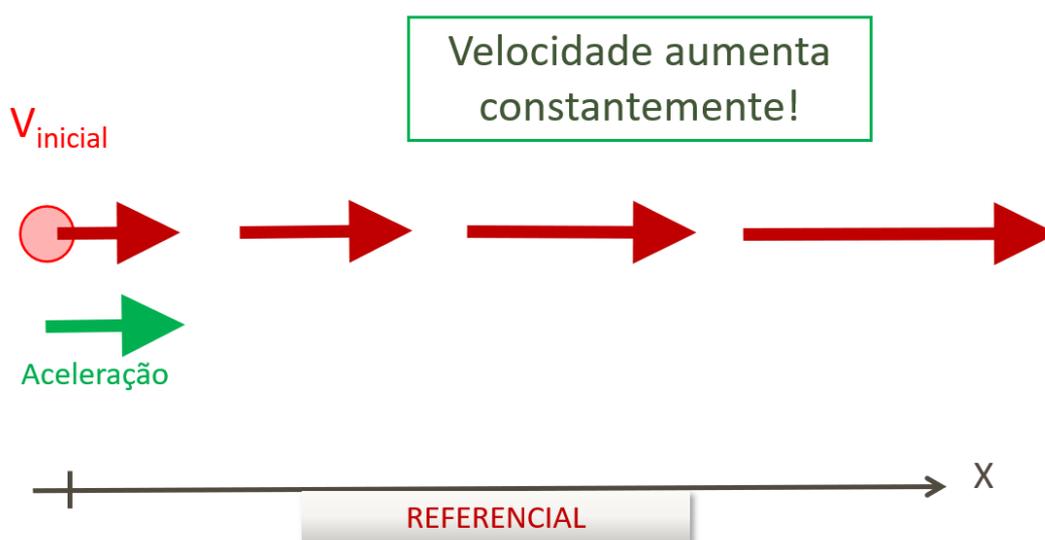
Um corpo se encontra em movimento retilíneo uniformemente variado, em relação a um referencial, quando sua velocidade variar linearmente, sob aceleração constante.

Esse corpo pode, se partir do repouso, somente aumentar sua velocidade constantemente, ou, se já estiver se movendo, pode somente aumentar sua velocidade constantemente ou, ainda, se sua velocidade inicial for oposta à aceleração, irá reduzir sua velocidade, tendendo a parar e inverter o sentido de seu movimento.

**Caso 1: corpo, partindo do repouso, aumenta sua velocidade constantemente.**



**Caso 2: corpo já se move inicialmente e aumenta sua velocidade constantemente.**

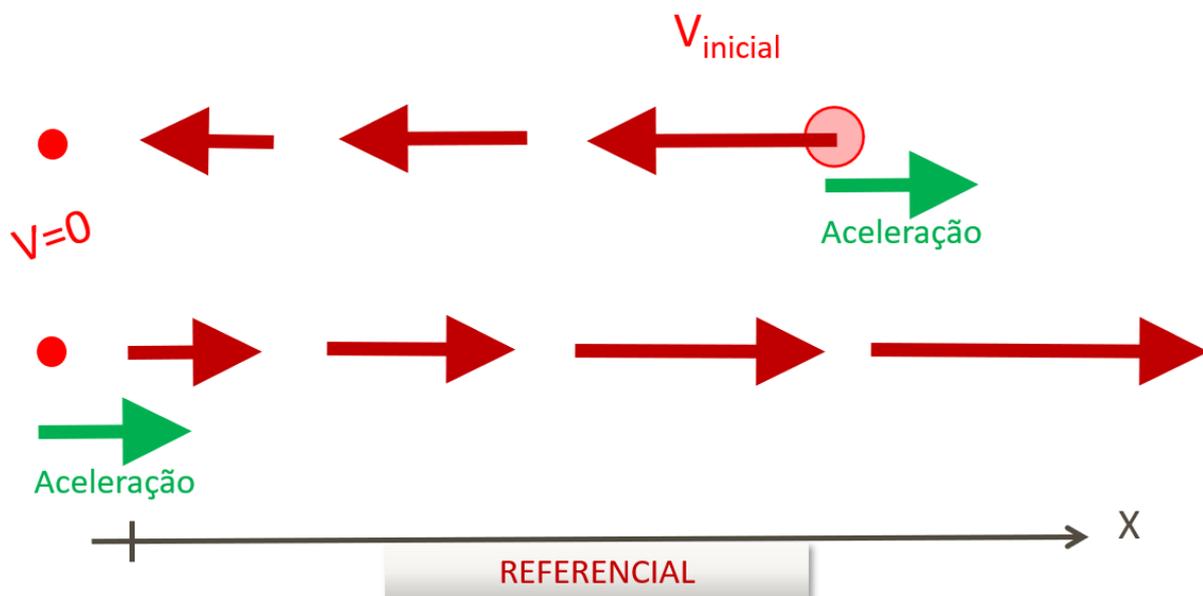


Vamos supor que a aceleração, em todos esses casos, é igual a  $a = +3 \text{ m/s}^2$  (o sinal positivo indica que a aceleração está a favor do referencial escolhido). Uma aceleração igual a  $+3 \text{ m/s}^2$  significa que, a cada segundo, a velocidade deve aumentar  $3 \text{ m/s}$  para o sentido positivo do eixo de referências.

Ao partir do repouso, como no caso 1 ( $V_i = 0 \text{ m/s}$ ), após  $1 \text{ s}$ , a velocidade variou  $3 \text{ m/s}$  a favor do referencial, assumindo o valor de  $V_1 = +3 \text{ m/s}$ . Após mais um segundo, a velocidade aumenta mais três valores, valendo  $V_2 = +6 \text{ m/s}$ . Da mesma forma, após  $3 \text{ s}$  de movimento, a velocidade já vale  $V_3 = +9 \text{ m/s}$ . E assim por diante.

No caso 2, vamos supor que a velocidade inicial vale  $V_i = +2 \text{ m/s}$ . Após  $1 \text{ s}$ , com a aceleração igual a  $a = +3 \text{ m/s}^2$ , como a velocidade aumenta constantemente  $3 \text{ m/s}$  a cada segundo, a velocidade vale  $V_1 = +5 \text{ m/s}$ . No instante igual a  $2 \text{ s}$ ,  $V_2 = +8 \text{ m/s}$ . Em  $t = 3 \text{ s}$ ,  $V_3 = +11 \text{ m/s}$ . E assim por diante.

### Caso 3: corpo já se move inicialmente, mas no sentido oposto à aceleração.



Nesse caso, vamos supor que a velocidade inicial vale  $9 \text{ m/s}$ , mas no sentido oposto do referencial adotado:  $V_i = -9 \text{ m/s}$ . Submetido à aceleração igual a  $a = +3 \text{ m/s}^2$ , esta velocidade inicial, agora, irá sofrer uma redução, pois a aceleração “manda” a velocidade aumentar para o lado positivo. Com a velocidade inicial apontando no sentido oposto, esta velocidade tende a diminuir até zera e, depois, começar a aumentar para o lado positivo (como no caso 1).

Após  $1 \text{ s}$  do início do movimento, a velocidade reduz  $3 \text{ m/s}$ , assumindo o valor de  $V_1 = -6 \text{ m/s}$ . No instante igual a  $2 \text{ s}$ ,  $V_2 = -3 \text{ m/s}$ . Neste caso, após  $3 \text{ s}$ , a velocidade zera ( $V_3 = 0 \text{ m/s}$ ). Este é o instante que o móvel para de se mover, instantaneamente. Com a aceleração ainda atuante, este repouso é instantâneo, somente indicando a inversão do sentido do movimento.

No instante igual a  $4 \text{ s}$ , a velocidade assume o valor de  $V_4 = +3 \text{ m/s}$ . Em  $t = 5 \text{ s}$ ,  $V_5 = +6 \text{ m/s}$ . Em  $t = 6 \text{ s}$ ,  $V_6 = +9 \text{ m/s}$ . Em  $t = 7 \text{ s}$ ,  $V_7 = +12 \text{ m/s}$ . E assim por diante.



Todos os exercícios de MRUV se encaixam em um desses três casos. Então, é muito importante que você tenha, sempre, esses três casos em mente na hora de interpretar um problema de cinemática.

## 6.2 – Gráficos e Equações para o MRUV

O MRUV é um movimento que se caracteriza por ter aceleração constante. Assim, os valores de velocidade variam constantemente à mesma taxa, à mesma razão aritmética, em cada intervalo fixo de tempo, em Progressão Aritmética - PA.

Uma PA se caracteriza por uma sequência de valores onde cada termo é igual ao seu antecessor somado com um valor fixo, chamado de razão. Por exemplo, a uma razão igual a +3, partindo de -9 (lembre-se do caso 3) a sequência fica:  $\{-9, -6, -3, 0, +3, +6, +9, +12, +15, +18 \dots\}$ . Esta sequência é uma PA de razão igual a +3 e com o primeiro termo igual a -9.

Como no MRUV os valores de velocidade seguem uma PA, onde a aceleração é a razão na qual esses valores aumentam em cada intervalo fixo de tempo, podemos utilizar a equação da média aritmética para a velocidade média no MRUV.

Assim, além da própria definição de Velocidade Média que vimos no capítulo anterior, temos a da média aritmética das velocidades:

$$V_{Média}^{MRUV} = \frac{d_{Total}}{t_{Total}}$$

$$V_{Média}^{MRUV} = \frac{V_i + V_f}{2}$$

Com estas relações, podemos escrever a primeira equação para os deslocamentos no MRUV.

### Equação 1: Deslocamento e Velocidade Média.

$$d_{MRUV} = \left( \frac{V_i + V_f}{2} \right) \cdot t$$

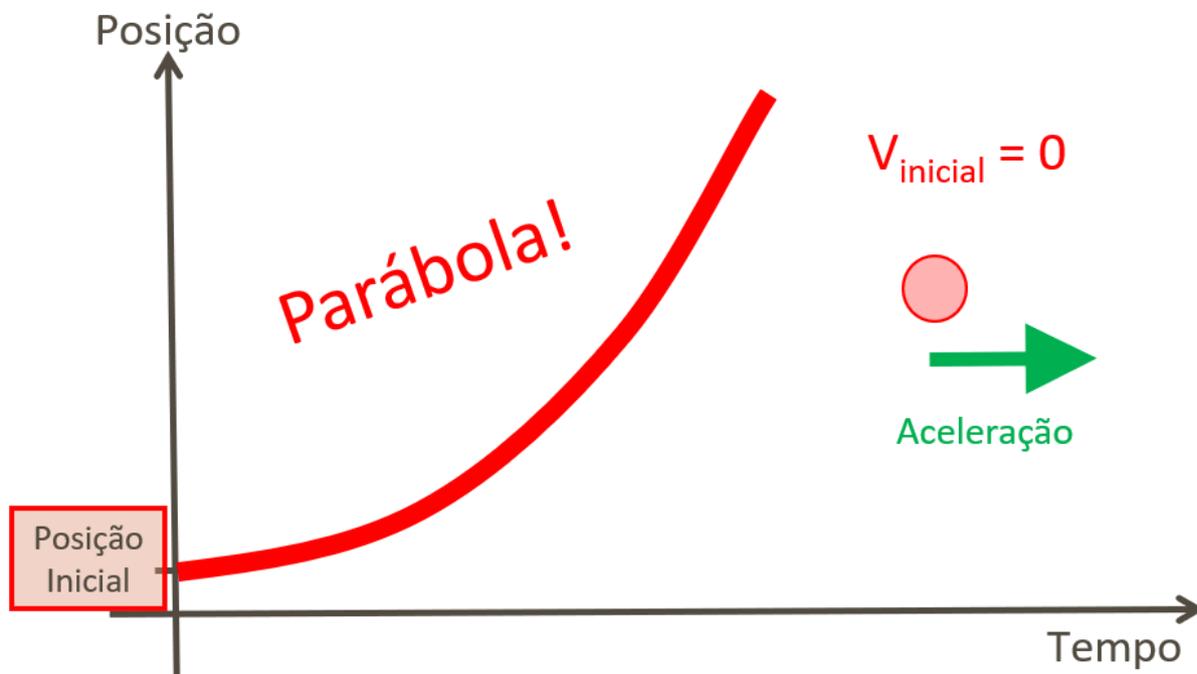
Como vimos, os gráficos utilizados para as análises cinemáticas são os de Posição X Tempo, Velocidade X Tempo e Aceleração X Tempo.

Para o caso de um móvel em repouso, com velocidade nula, e que assim permanece, ele mantém sua posição sempre a mesma com o passar do tempo. Se representarmos isso graficamente, teremos uma reta horizontal no gráfico Posição X Tempo.

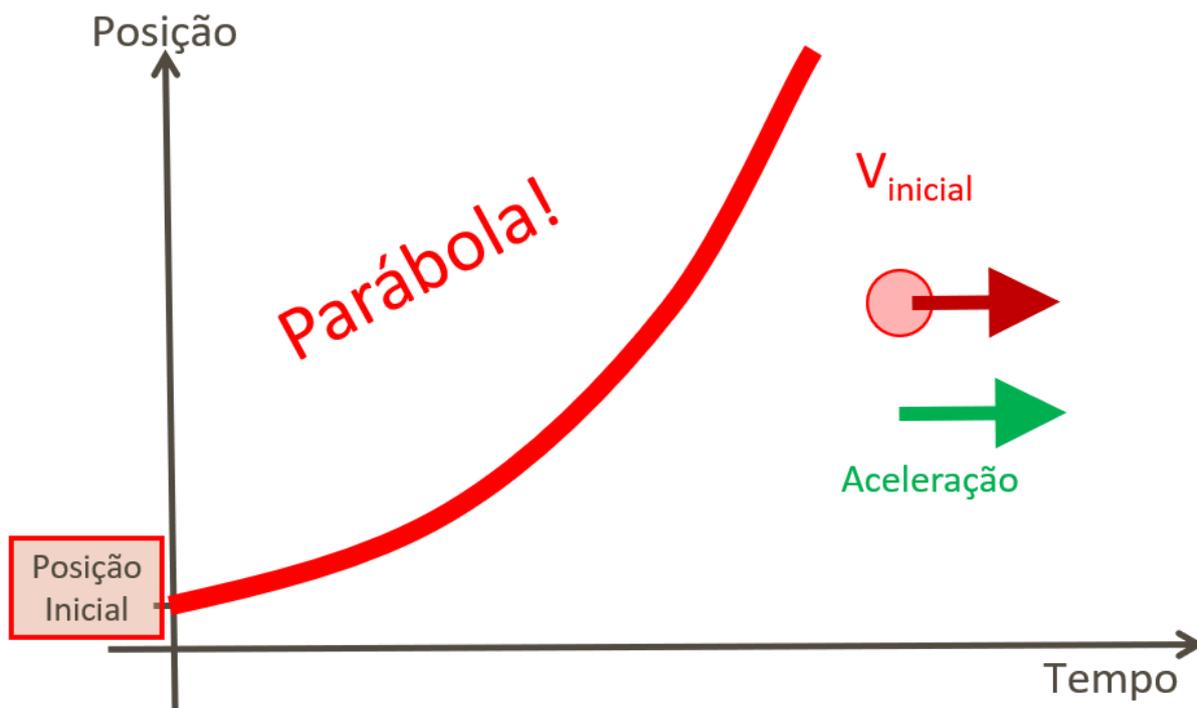


Para os três casos do MRUV os gráficos de Posição X Tempo ficarão parabólicos e os de Velocidade X Tempo ficarão retas, como vamos conferir na sequência.

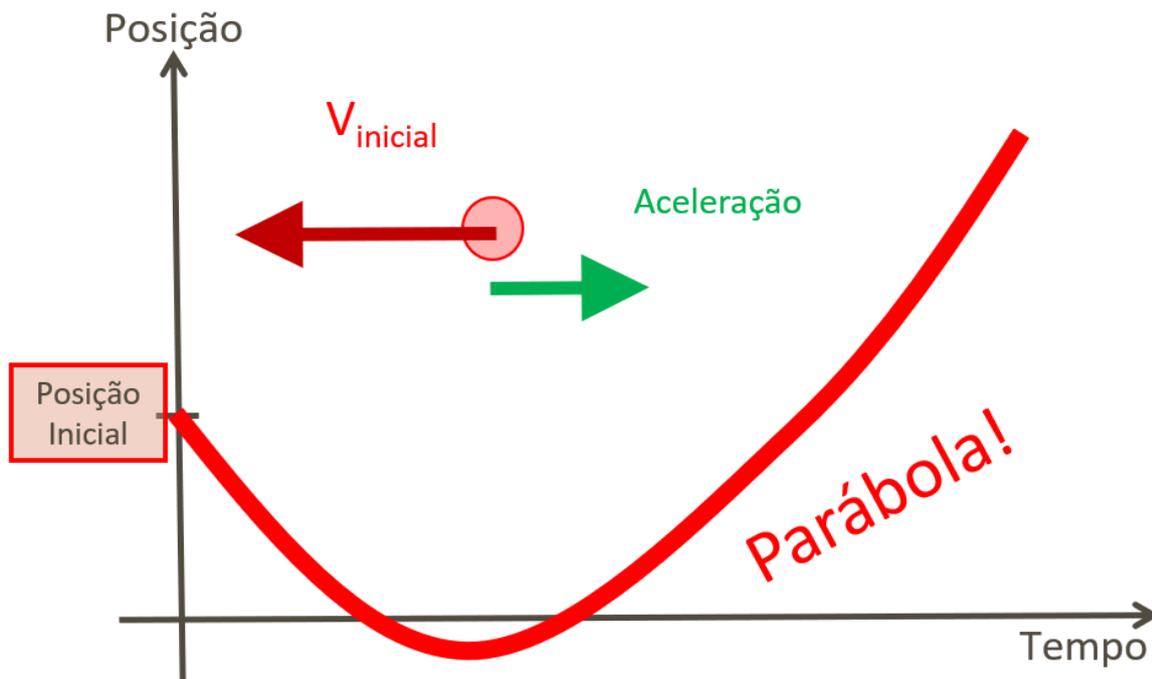
**Caso 1: corpo, partindo do repouso, aumenta sua velocidade constantemente.**



**Caso 2: corpo já se move inicialmente e aumenta sua velocidade constantemente.**



Caso 3: corpo já se move inicialmente, mas no sentido oposto à aceleração.

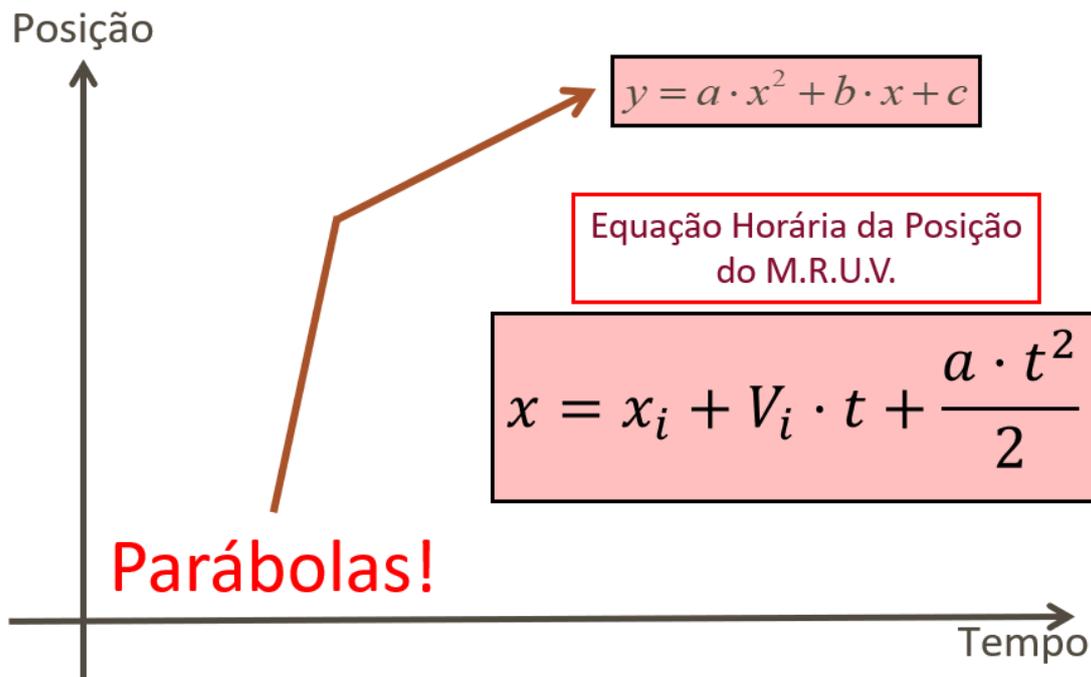


No MRUV, como todos os gráficos de Posição X Tempo são parábolas, então a função matemática adequada para descrever esse movimento é a de um polinômio de segundo grau, do tipo

$$y = a \cdot x^2 + b \cdot x + c,$$

onde  $y$  é a variável dependente e  $x$  a independente.

Assim, podemos escrever a **Equação Horária da Posição para o MRUV**, onde  $x$  é a posição do móvel no referencial definido pelo eixo X das posições,  $x_i$  é a posição inicial, no tempo igual a zero,  $V_i$  é a velocidade inicial do móvel,  $a$  é a aceleração e  $t$  é o instante de tempo.



Assim, para se fazer a cinemática de um corpo que se move em MRUV, precisamos de três informações: a posição inicial, a velocidade inicial e a aceleração. Ao conhecer a posição e a velocidade de início e a aceleração do móvel, podemos escrever a função matemática que descreve o movimento desse corpo, possibilitando prever, a cada instante, a respectiva posição do corpo.

Ao se escrever a Equação Horária do Movimento para um corpo, podemos dizer que fizemos a cinemática para o corpo. Por isso que Cinemática é a descrição matemática de movimentos. Com esta função pronta, podemos responder qualquer coisa sobre o movimento de um corpo, como por onde e quando ele irá passar ou chegar em algum lugar, por exemplo, além de poder dizer de onde veio, para onde vai, quanto tempo levou para chegar até aqui, etc.

Esta equação horária pode ser escrita de uma forma mais simplificada, pois o deslocamento é igual à variação das posições:  $d = \Delta x = x_{final} - x_{inicial}$ . Assim, temos a segunda equação pro MRUV, a equação horária para o deslocamento.

### Equação 2: Equação Horária para o Deslocamento.

$$d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$



Gráfico Velocidade X Tempo para o Caso 1: corpo, partindo do repouso, aumenta sua velocidade constantemente.

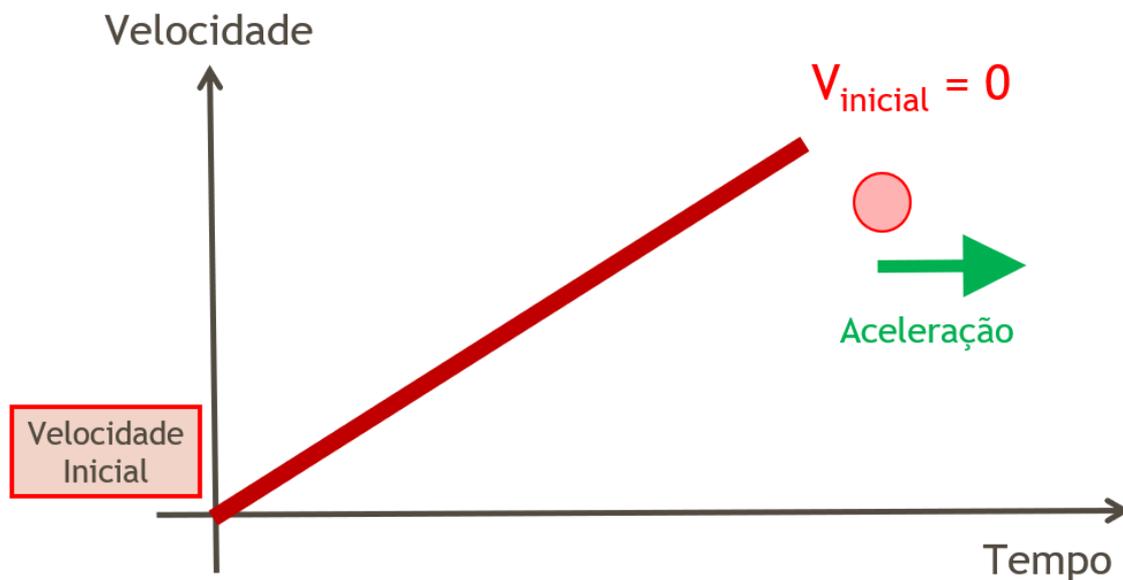


Gráfico Velocidade X Tempo para o caso 2: corpo já se move inicialmente e aumenta sua velocidade constantemente.

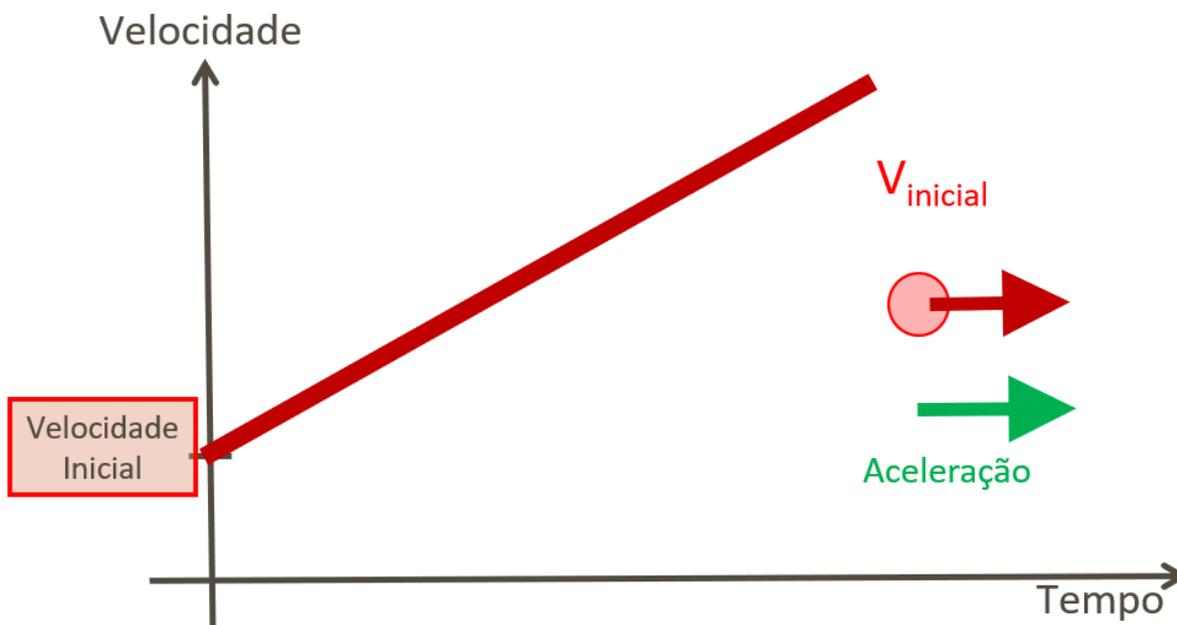
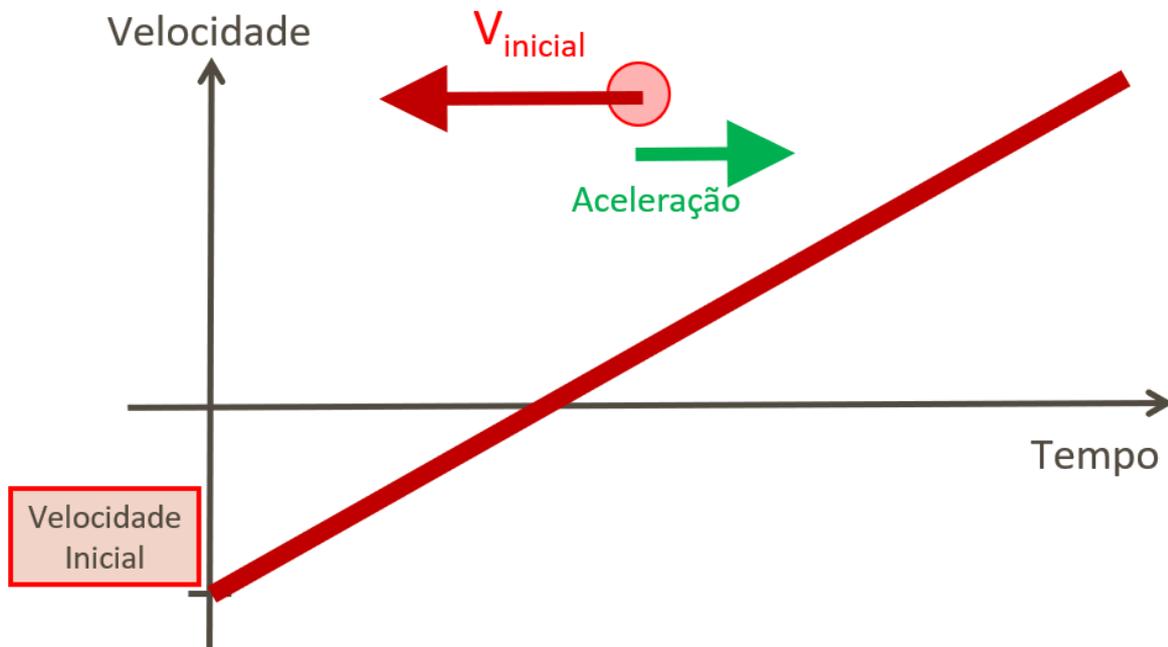
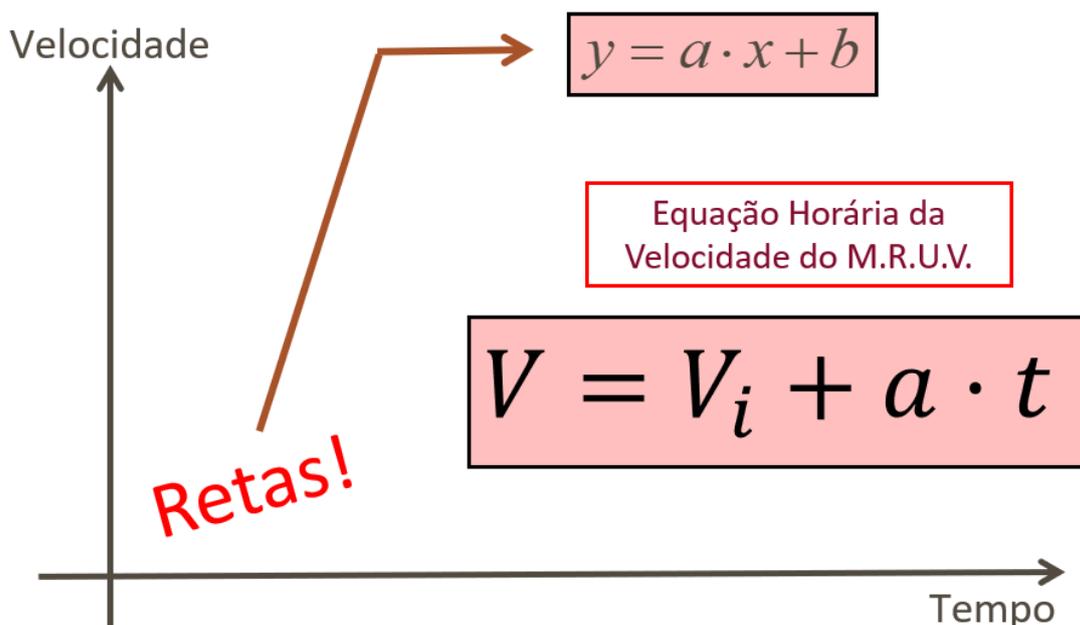


Gráfico Velocidade X Tempo para o Caso 3: corpo já se move inicialmente, mas no sentido oposto à aceleração.



Veja que, embora os gráficos dos casos apresentados tenham declividade (aceleração) positiva, os gráficos de Velocidade x Tempo podem se diferenciar pelo valor da velocidade inicial e pelas declividades das retas, que podem ser crescentes ou decrescentes.

Assim, podemos escrever a **Equação Horária da Velocidade para o MRUV**, onde  $V$  é a velocidade instantânea do móvel no referencial definido,  $V_i$  é a velocidade inicial, no tempo igual a zero,  $a$  é a aceleração do móvel, que é constante e diferente de zero, e  $t$  é o instante de tempo.



A equação horária da velocidade para o MRUV é a nossa terceira equação.

**Equação 3: Equação Horária da Velocidade.**

$$V_f = V_i + a \cdot t$$

A quarta e última equação é chamada de Equação de Torricelli. Ela pode ser obtida ao se isolar o t na equação 3 e substituir na equação 2.

$$t = \left( \frac{V_f - V_i}{a} \right)$$

$$d = V_i \cdot \left( \frac{V_f - V_i}{a} \right) + \frac{a \cdot \left( \frac{V_f - V_i}{a} \right)^2}{2}$$

$$d = \frac{V_i \cdot V_f - V_i^2}{a} + \frac{a \cdot (V_f^2 - 2 \cdot V_f \cdot V_i + V_i^2)}{2 \cdot a^2}$$

$$d = \frac{V_i \cdot V_f - V_i^2}{a} + \frac{(V_f^2 - 2 \cdot V_f \cdot V_i + V_i^2)}{2 \cdot a}$$

$$d = \frac{V_f^2 - V_i^2}{2 \cdot a}$$

$$2 \cdot a \cdot d = V_f^2 - V_i^2$$

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot d$$

O interessante desta equação é a de que ela não tem o tempo explícito, presente nas três equações anteriores.

**Equação 4: Equação de Torricelli.**

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot d$$



Com estas quatro equações, podemos resolver todo e qualquer problema de MRUV que aparecer em nossas provas!

Todos os problemas de MRUV podem envolver, no máximo, cinco grandezas: velocidade inicial, velocidade final, aceleração, deslocamento e tempo.

Se o problema envolver deslocamentos, velocidades iniciais, velocidades finais e tempos, mas não informar nem perguntar sobre as acelerações, então, podemos utilizar diretamente a equação 1. Se o problema envolver deslocamentos, velocidades iniciais, tempos e acelerações, mas não informar nem perguntar sobre as velocidades finais, podemos utilizar a equação 2. Se o problema envolver somente velocidades iniciais, finais, acelerações e tempos, sem mencionar os deslocamentos, então vamos direto para a equação 3. Da mesma forma, se o problema envolver todas as grandezas exceto os tempos, então usamos direto a equação 4, a de Torricelli.

Perceba que a velocidade inicial está presente em todas as equações! Logo, se o problema não informar a velocidade inicial, teremos que utilizar uma dessas quatro equações, calcular a velocidade inicial para, então, poder seguir com a solução da questão.



### Equações para o MRUV

$$\text{Eq. 1} \quad d_{MRUV} = \left( \frac{V_i + V_f}{2} \right) \cdot t \quad (\text{a})$$

$$\text{Eq. 2} \quad d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2} \quad (V_f)$$

$$\text{Eq. 3} \quad V_f = V_i + a \cdot t \quad (\text{d})$$

$$\text{Eq. 4} \quad V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot d \quad (\text{t})$$



Você já deve ter visto, no contexto da Cinemática, os termos “progressivo”, “retrógrado”, “acelerado” e “retardado”. Alguns autores utilizam esses termos para classificar movimentos e eventualmente aparecem em provas.

De forma resumida, é o seguinte:

- **Movimento Progressivo: velocidade positiva.** Móvel avançando para posições cada vez maiores no sistema de referência.

- **Movimento Progressivo e Acelerado: velocidade positiva e aceleração positiva.** Móvel aumentando sua velocidade para o sentido positivo.

- **Movimento Progressivo e Retardado: velocidade positiva e aceleração negativa.** Móvel reduzindo sua velocidade no sentido positivo, tendendo a parar.

- **Movimento Retrógrado: velocidade negativa.** Móvel avançando para posições cada vez menores no sistema de referência.

- **Movimento Retrógrado e Acelerado: velocidade negativa e aceleração negativa.** Móvel aumentando sua velocidade para o sentido negativo.

- **Movimento Retrógrado e Retardado: velocidade negativa e aceleração positiva.** Móvel reduzindo sua velocidade no sentido negativo, tendendo a parar.



## EXEMPLIFICANDO

Veja os seguintes exemplos.



(SEE – MG/2023- FGV) Um móvel é uniformemente retardado durante 5 s, percorrendo 75 m até parar. A distância por ele percorrida durante o último segundo de movimento foi de

- A) 1m.
- B) 2m.
- C) 3m.
- D) 5m.

**Comentários:**

Para determinar a distância percorrida no segundo final de movimento, precisamos descobrir a aceleração e velocidade do móvel no quarto segundo de movimento.

Calculando a velocidade média, temos:

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

$$v_m = \frac{75}{5}$$

$$v_m = 15 \text{ m/s}$$

Como a velocidade média é a média aritmética das velocidades inicial e final (cujo valor é zero), temos:

$$v_m = \frac{v_0 + v}{2}$$

$$15 = \frac{v_0 + 0}{2}$$

$$v_0 = 2 \cdot 15$$

$$v_0 = 30 \text{ m/s}$$

A aceleração do movimento pode ser obtida pela própria definição de aceleração:

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

$$a = \frac{0 - 30}{5 - 0}$$

$$a = \frac{-30}{5}$$

$$a = -6 \text{ m/s}^2$$

Com essas informações podemos calcular a velocidade do móvel ao final do quarto segundo de movimento:

$$v(t) = v_0 + at$$

$$v(t) = 30 - 6 \cdot t$$

$$v(4) = 30 - 6 \cdot 4$$

$$v(4) = 30 - 24$$



$$v(4) = 6 \text{ m/s}$$

Por fim, calculamos a distância percorrida pelo corpo, que será igual ao módulo do deslocamento, desde sua velocidade igual a 6 m/s até a parada total. Com a equação de Torricelli, temos:

$$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta S$$

$$0^2 = 6^2 + 2 \cdot (-6) \cdot \Delta S$$

$$0 = 36 - 12 \cdot \Delta S$$

$$12 \cdot \Delta S = 36$$

$$\Delta S = \frac{36}{12}$$

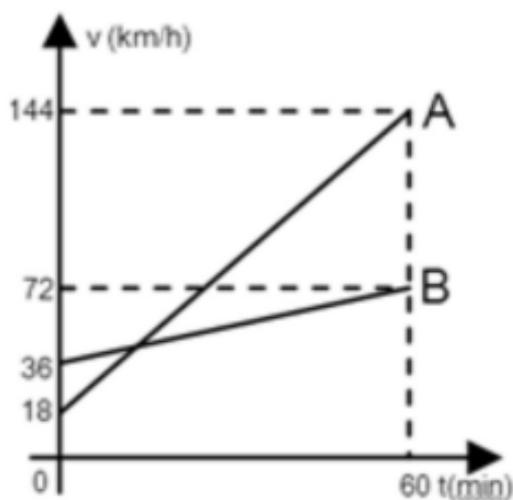
$$\Delta S = +3 \text{ m}$$

Gabarito: C.



## EXEMPLIFICANDO

(SEE – AC/2010- FUNCAB) Dois móveis (A e B) partiram do mesmo ponto e no mesmo instante, em uma pista horizontal. Suas velocidades escalares variaram com o tempo como mostra o gráfico da figura. Quantos minutos após a partida dos móveis, o móvel A alcançou o móvel B?



- A) 60
- B) 48
- C) 24
- D) 12
- E) 6



### Comentários:

Como os gráficos dos móveis A e B formam uma reta no plano Velocidade X Tempo, então ambos se movem em MRUV.

Assim as respectivas equações horárias ficam dadas pela seguinte relação:

$$x(t) = v_0 \cdot t + a \cdot \frac{t^2}{2}$$

Para encontrarmos o tempo em que o móvel A alcança o móvel B, igualamos suas equações horárias da posição:

$$x_A(t) = x_B(t)$$
$$v_{0A} \cdot t + a_A \cdot \frac{t^2}{2} = v_{0B} \cdot t + a_B \cdot \frac{t^2}{2}$$

Podemos calcular as acelerações dos móveis a partir dos gráficos, convertendo as unidades de medidas para o SI.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$
$$a = \frac{v - v_0}{t - t_0}$$
$$a_A = \frac{40 - 5}{3600} = \frac{35}{3600} \text{ m/s}^2$$

Para o móvel B, temos:

$$a_B = \frac{20 - 10}{3600}$$
$$a_B = \frac{10}{3600} \text{ m/s}^2$$

Substituindo os valores das respectivas velocidades iniciais,  $v_{0A} = 18 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  e  $v_{0B} = 36 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ , e das acelerações calculadas nas equações horárias da posição, temos:

$$5t + \left(\frac{35}{3600}\right) \frac{t^2}{2} = 10t + \left(\frac{10}{3600}\right) \frac{t^2}{2}$$
$$5t + \left(\frac{35}{7200}\right) t^2 = 10t + \left(\frac{10}{7200}\right) t^2$$
$$5t + \left(\frac{35}{7200}\right) t^2 - 10t - \left(\frac{10}{7200}\right) t^2 = 0$$
$$\left(\frac{25}{7200}\right) t^2 - 5t = 0$$
$$t \left[ t \left(\frac{25}{7200}\right) - 5 \right] = 0$$

As soluções para a equação acima são:



$$t = 0 \text{ s}$$

Ou

$$t \left( \frac{25}{7200} \right) - 5 = 0$$

$$t = 5 \left( \frac{7200}{25} \right)$$

$$t = 1440 \text{ s}$$

Portanto, o encontro dos móveis A e B leva 1440 s para acontecer.

Ao converter para minutos, dividindo por 60, temos:

$$t = \frac{1440}{60} = 24 \text{ min}$$

**Gabarito: C.**

### 6.3 – Movimento de Queda-Livre - MQL

O Movimento de Queda Livre é aquele que ocorre somente sob a ação da gravidade. Ou seja, para corpos próximos à superfície da Terra, é o movimento que eles teriam sem qualquer tipo de resistência, impedimento ou influência do ar ou qualquer outro possível agente.

A Queda Livre, aqui na Física, é diferente da queda livre dos paraquedistas! A queda livre dos paraquedistas não é livre dos efeitos do ar (ainda bem!). O ar fica cada vez mais relevante em uma queda quanto maior for o objeto e mais rápido ele se mover. Assim, para corpos pequenos, não muito leves, e em baixas velocidades, em alguns casos, os efeitos do ar podem ser desprezados.

## Movimento de Queda Livre



**M.Q.L. = M.R.U.V. -> Velocidade variável.**

A queda somente sob o efeito da gravidade é igual para todos os corpos, pois a aceleração de queda é a mesma para todos, fazendo com que variem suas velocidades a uma taxa chamada de Aceleração de Queda Livre. Próximo à superfície da Terra, a aceleração de queda livre é verticalmente para baixo e vale aproximadamente  $10 \text{ m/s}^2$ .

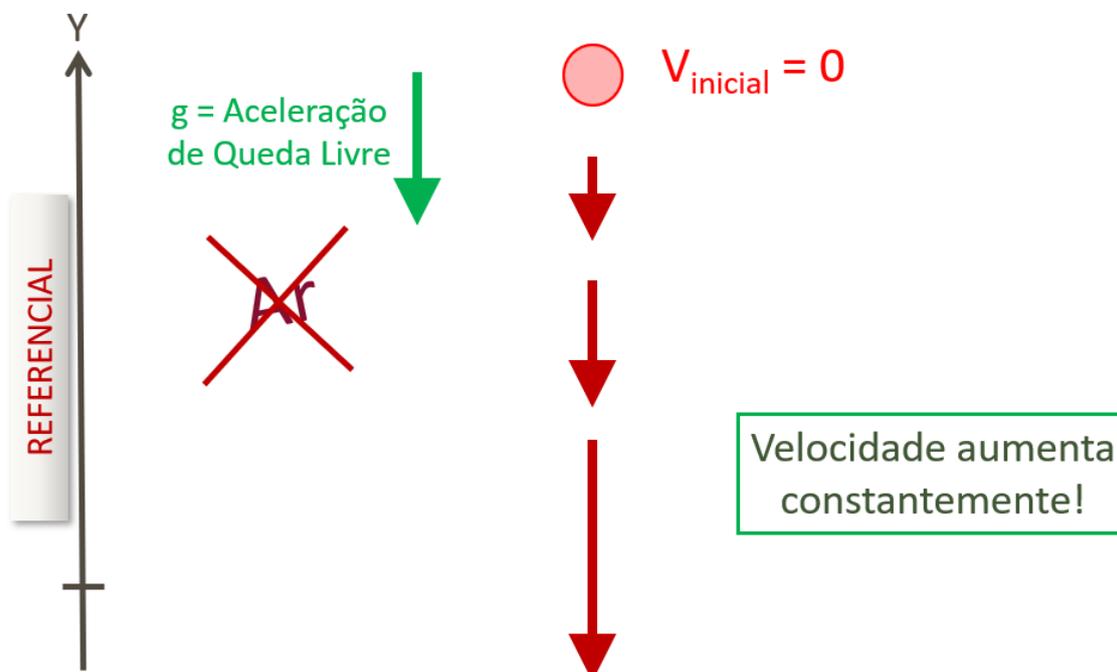
Assim, dois corpos, abandonados de uma mesma altura, próximos à superfície da Terra, submetidos à ação da gravidade, em um local onde os efeitos do ar podem ser desprezados, levam exatamente o mesmo tempo para atingir o solo, independentemente de suas massas, formatos ou tamanhos.

Com o ar, os objetos mais densos e mais aerodinâmicos conseguem atingir velocidades maiores durante suas quedas. Mas, sem o ar, estes fatores se tornam irrelevantes!



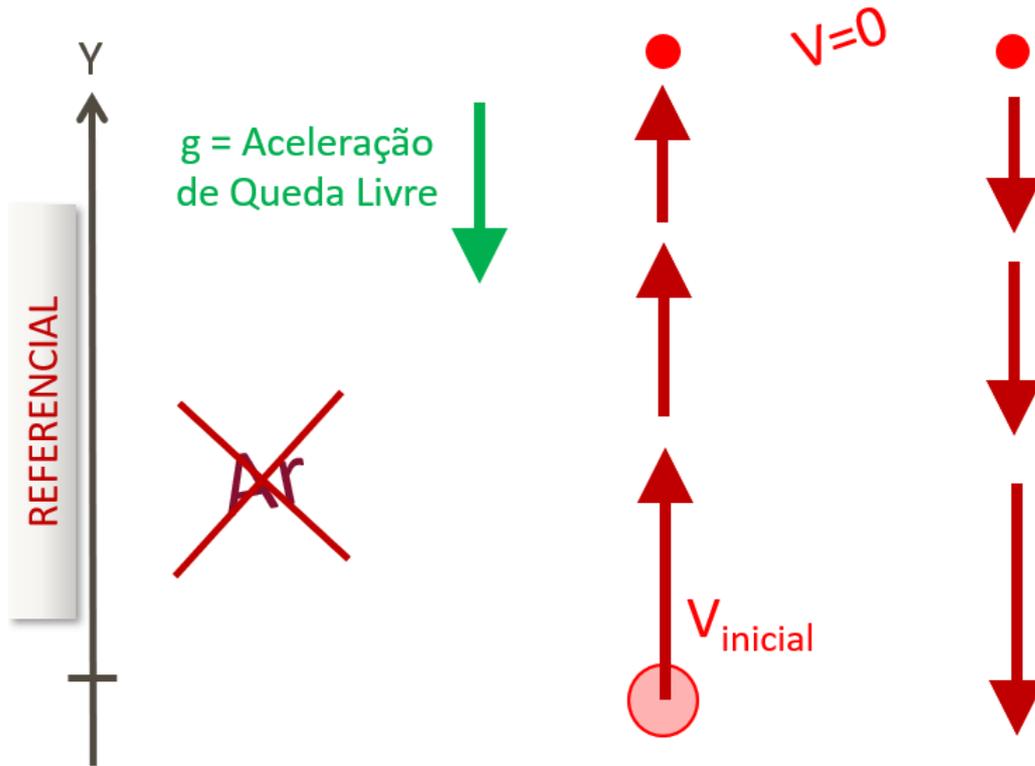
**Portanto, os casos que temos para movimentos verticais em queda livre são exatamente os mesmos que vimos para o MRUV. O Movimento de Queda Livre – MQL – é um exemplo de MRUV.**

Se um corpo é simplesmente abandonado com velocidade inicial zero, sua velocidade simplesmente aumenta constantemente para baixo. Veja o caso abaixo.



Se o corpo for lançado inicialmente para baixo, sua velocidade aumenta constantemente.

Se um corpo for, inicialmente, lançado verticalmente para cima, sua velocidade irá diminuir até parar e, a partir de então, aumentar para baixo.



Não há novas equações para resolver problemas de queda livre, pois o MQL é um exemplo de MRUV. Assim, todos os exercícios que envolvem lançamentos verticais e corpos em queda livre podem ser resolvidos com as mesmas equações que já vimos para o MRUV.

- MRUV  
MQL
- Velocidade variável.
  - Aceleração constante, não nula.

$$d_{MRUV} = \left( \frac{V_i + V_f}{2} \right) \cdot t$$

$$V_f = V_i + a \cdot t$$

$$d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

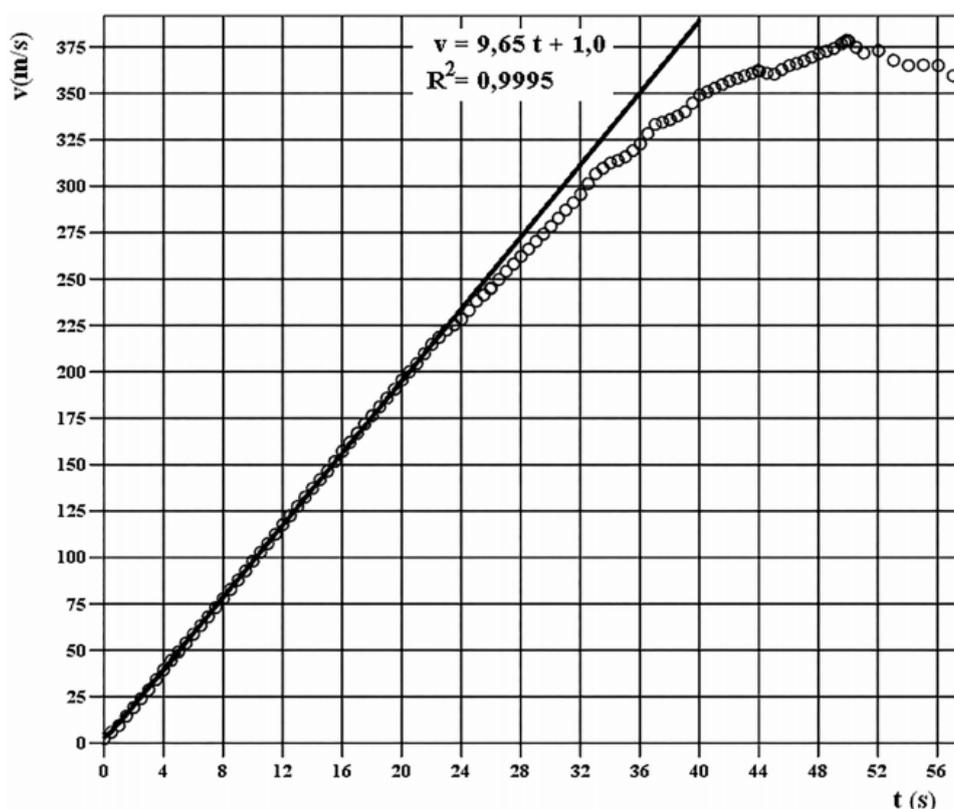
$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot d$$

CURIOSIDADE



### Salto a partir do Espaço

“No dia 14 de outubro de 2012, Felix Baumgartner saltou, jogando-se sobre o Novo México da altitude de 38,97 km, batendo o recorde em altitude estabelecido em 16 de agosto de 1960 por Joseph Kittinger de 31,30 km. Outro recorde foi batido por Felix Baumgartner (apelidado de Felix Fearless) durante a queda. Ele foi o primeiro paraquedista a se mover com velocidade supersônica apenas usando a gravidade como propulsora. Atingiu, após uma queda de 11,1 km (a 27,8 km de altitude) em 50 s, a fantástica velocidade supersônica de 1363 km/h (379 m/s). O terceiro recorde batido neste salto foi o de extensão total de queda. Ele desceu 37,60 km em 9,0 min. O término da descida aconteceu no Novo México a 1,37 km de altitude.”



“... Outro recorde foi batido: o de maior tempo ou maior deslocamento vertical em queda livre para um paraquedista. Durante cerca de 25 s o paraquedista se precipitou sofrendo



uma aceleração que, dentro dos limites de incerteza das medidas, coincide com a aceleração gravitacional na região do salto fornecida pela *International Gravity Formula*.’

Fonte: Revista Brasileira de Ensino de Física, Junho de 2015. A física no salto recorde de Felix Baumgartner. Fernando Lang da Silveira. Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

Veja que o gráfico Velocidade X Tempo com os dados iniciais do salto se encaixam quase que perfeitamente em uma reta, até cerca de 25s. Uma reta, neste gráfico, indica um MRUV!



## EXEMPLIFICANDO

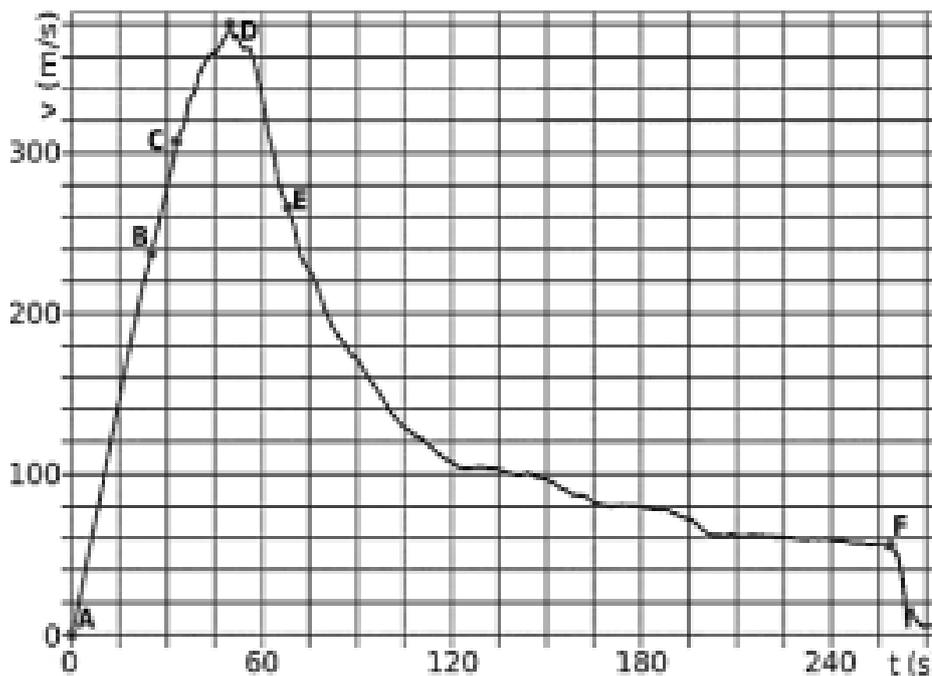
Se liga nesse exemplo aqui!

**(SEC – BA/2023- IBFC) O artigo “A física no salto recorde de Felix Baumgartner” de Fernando Lang da Silveira, publicado na Revista Brasileira de Ensino de Física em 2015, analisa o movimento durante toda a queda, como descreve em seu resumo.**

**“Em 14/10/2012 Felix Baumgartner fez seu salto recorde na atmosfera. A partir do vídeo que apresenta medidas de tempo, velocidade, altitude e aceleração durante todo o salto recorde são discutidos diversos aspectos da Mecânica envolvida no feito, bem como tópicos de física da atmosfera terrestre relevantes para a compreensão do movimento de descida desde a estratosfera. Além dos três recordes mundialmente reconhecidos - maior altitude inicial, maior extensão de queda e obtenção de velocidade supersônica por um paraquedista - demonstra-se quantitativamente que também ocorreu queda livre, com aceleração em acordo com o valor previsto teoricamente pela International Gravity Formula, durante mais de 20 s, por mais de 3 km, constituindo-se certamente em outro recorde. Apresenta-se também um modelo para a velocidade na etapa de descida sem paraquedas que é consistente com os dados do vídeo.”**

**O gráfico elaborado da variação da velocidade com o tempo representado abaixo permite analisar diversas características do movimento durante toda a queda.**





Considere as afirmativas a seguir:

- I. A altitude do salto foi de 72 km.
- II. No intervalo AB o movimento é de queda livre com aceleração de  $9,82 \text{ m/s}^2$ .
- III. Em diferentes momentos da queda a força resultante é pequena (quando comparada com outras forças que atuam durante o salto), como nos instantes próximos à 130 s, 170 s e em boa parte do trecho entre 200 e 240 s.

Estão corretas as afirmativas:

- A) I e II apenas
- B) I e III apenas
- C) II e III apenas
- D) I, II e III
- E) III apenas

**Comentários:**

I – INCORRETA.

Não temos informações precisas para julgar essa afirmação. Entretanto, podemos estimar a altitude do salto a partir da área entre a linha do gráfico e o eixo do tempo, se supormos a queda na vertical.

Cada retângulo representado no gráfico tem medidas de 20 m/s por 15 s. Assim, cada retângulo se equivale a 300 m. Ao contar o número de retângulos abaixo da linha do gráfico, encontraremos algo entre 100 e 200 retângulos, o que nos fornece um valor entre 3000 m e 6000 m.

No artigo original, a altitude inicial de queda é de 38,97 km.

De uma forma ou de outra, essa afirmativa é INCORRETA.



II – INCORRETA.

Para que um movimento seja de queda livre é necessário que a aceleração sobre o corpo seja constante durante a queda, além de que essa aceleração seja exclusivamente dada pela ação da gravidade.

Do ponto A até o ponto B indicados no gráfico temos praticamente uma reta.

Se assumirmos que nessa primeira etapa os efeitos do ar eram desprezíveis, então a aceleração de queda (aproximadamente) livre pode ser dada pela seguinte relação:

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

Como a velocidade no ponto B é aproximadamente 240 m/s e o instante de tempo aproximadamente 25 s, temos:

$$a = \frac{240}{25}$$
$$a = 9,6 \text{ m/s}^2$$

No artigo original, o valor calculado é entre 9,675 m/s<sup>2</sup> e 9,685 m/s<sup>2</sup>.

De uma forma ou de outra, essa afirmativa é INCORRETA.

III – CORRETA

A resultante das forças sobre o corpo que se move com velocidade constante é nula, conforme a Mecânica Newtoniana.

Como a resultante das forças é proporcional à aceleração adquirida por um corpo, então quanto menor a aceleração, menor tende a ser a resultante das forças.

No gráfico, podemos identificar intervalos com menores acelerações onde houver menor taxa de variação de velocidade, com a linha avançando no tempo com menor declividade.

Nos intervalos de tempo citados, a linha do gráfico tem menores inclinações quando comparados em outros intervalos como entre 0 s a 100 s, por exemplo.

**Gabarito: E.**



CURIOSIDADE

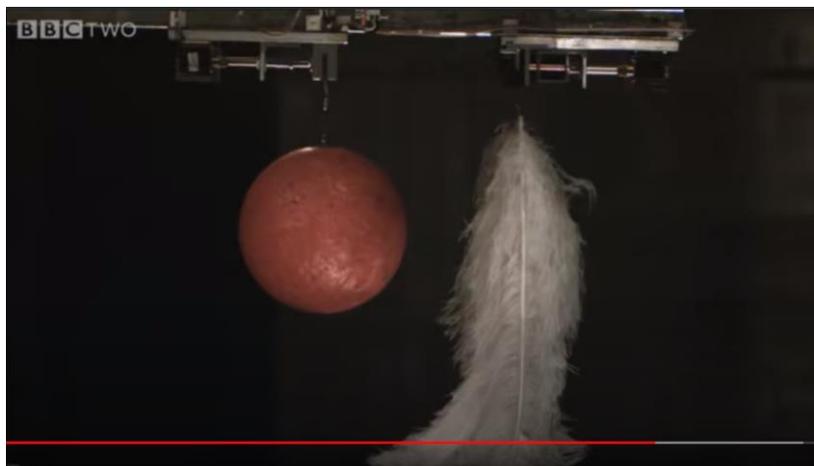


### Laboratório de Vácuo da NASA e o Experimento de Galileu

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration* - Administração Nacional da Aeronáutica e Espaço), tem um laboratório que é a maior câmara de vácuo do mundo. Em uma reportagem para a BBC World News, canal internacional de notícias, o físico e professor da universidade de Manchester, na Inglaterra, Brian Cox, fez uma visita a este laboratório e registrou uma demonstração de queda livre.

Uma bola de boliche e uma pena foram abandonados simultaneamente de uma mesma altura. Na primeira tentativa, havia ar dentro da câmara e a bola de boliche chegou à base do laboratório muito antes da pena.

Antes da segunda tentativa, a câmara foi fechada, isolada e evacuada, retirando-se quase todo o ar de dentro da cúpula. Nesta situação, a ação do ar sobre a bola e sobre a pena ficou praticamente desprezível. Assim, a bola e a pena foram abandonados e chegaram juntos na base do laboratório, caindo lado-a-lado, em queda livre!





Fonte: Brian Cox visits the world's biggest vacuum | Human Universe – BBC.

<https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>

CURIOSIDADE



### Queda da Pena e Martelo na Lua

“No final da última caminhada lunar da Apollo 15, o Comandante David Scott (foto acima) fez uma demonstração ao vivo para as câmeras de televisão. Ele estendeu um martelo geológico e uma pena e os largou ao mesmo tempo. Por estarem essencialmente no vácuo, não havia resistência do ar e a pena caía na mesma velocidade do martelo, como Galileu concluía centenas de anos antes - todos os objetos soltos juntos caem na mesma velocidade, independentemente da massa. O Controlador da Missão Joe Allen descreveu a demonstração no ‘Relatório Científico Preliminar da Apollo 15’:

Durante os minutos finais da terceira atividade extraveicular, um breve experimento de demonstração foi conduzido. Um objeto pesado (um martelo geológico de alumínio de 1,32 kg) e um objeto leve (uma pena de falcão de 0,03 kg) foram lançados simultaneamente da mesma altura (aproximadamente 1,6 m) e caíram à superfície. Dentro da precisão da liberação simultânea, os objetos foram observados passando pela mesma aceleração e atingindo a superfície lunar simultaneamente, o que era um resultado previsto por uma

teoria bem estabelecida, mas um resultado ainda assim tranquilizador considerando tanto o número de espectadores que testemunharam o experimento e o fato de que a jornada de volta para casa foi baseada criticamente na validade da teoria particular que estava sendo testada. Joe Allen, NASA SP-289, Apollo 15 Preliminary Science Report, Summary of Scientific Results, p. 2-11.”

Fonte: [https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo\\_15\\_feather\\_drop.html](https://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/lunar/apollo_15_feather_drop.html)



Fonte: Apollo 15 Proves Galileo Correct.

<https://www.youtube.com/watch?v=ZVfhztmK9zI>

Se liga nesse exemplo aqui!

(SEED – PR/2023- Consulplan) Um arqueiro deve atirar uma flecha verticalmente para cima e precisa fazer com que ela, ao descer, penetre uma placa de isopor até uma determinada profundidade. Para atingir a profundidade estabelecida é necessário que a flecha atinja a placa com uma velocidade de 20 m/s. Um dos arqueiros não tem muita força para puxar o arco, mas tem uma enorme precisão e resolve atirar a flecha do alto de um monte. Sabe-se que a maior velocidade que ele consegue fazer com que a flecha deixe o arco é de 12 m/s. Qual deverá ser a altura mínima do monte para que ele, atirando a flecha com o máximo de velocidade possível e desprezando qualquer tipo de forças dissipativas, consiga fazer a flecha penetrar a placa de isopor até a profundidade estabelecida? (Considere  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .)

- A) 8,0 m
- B) 12,8 m
- C) 17,4 m
- D) 27,2 m

**Comentários:**

Para resolver a questão precisamos estabelecer um referencial. Vou assumir um eixo vertical e para cima, de forma que os vetores que apontarem para cima serão positivos e os para baixo negativos.

Assim, a velocidade inicial da flecha é +12 m/s e sua velocidade final fica igual a -20 m/s. A aceleração da gravidade vale  $-10 \text{ m/s}^2$ .

Com a equação horária da velocidade podemos determinar o intervalo de tempo necessário para que a flecha atinja o alvo a 20 m/s para baixo sendo lançada verticalmente para cima a 12 m/s.

$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$-20 = 12 - 10 \cdot t$$

$$-20 - 12 = -10 t$$

$$t = \frac{-32}{-10}$$

$$t = 3,2 \text{ s}$$

Desconsiderando a altura do arqueiro, podemos calcular a altura do lançamento da flecha pelo deslocamento vertical obtido pela equação horária do deslocamento.

$$d = v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$d = (+12) \cdot 3,2 + \frac{(-10) \cdot (3,2)^2}{2}$$

$$d = +38,4 - 51,2$$

$$d = -12,8 \text{ m}$$

Este resultado indica que a flecha atinge o solo com uma velocidade de 20 m/s 12,8 m abaixo do ponto em que foi lançada verticalmente para cima.

Portanto, a altura mínima do monte deve ser justamente esses 12,8 m.

**Gabarito: B.**



## 7 – Mecânica Newtoniana

**Isaac Newton** viveu entre os anos de 1642 e 1727. Sua maior contribuição para a ciência foi a elaboração do trabalho chamado **Princípios Matemáticos da Filosofia Natural**. Nele estão contidas quatro importantes e mais conhecidas leis da Física: as três Leis de Newton e a Lei da Gravitação Universal. Os *Principia*, como é popularmente conhecido, teve sua primeira edição no ano de 1687 (final do século XVII).

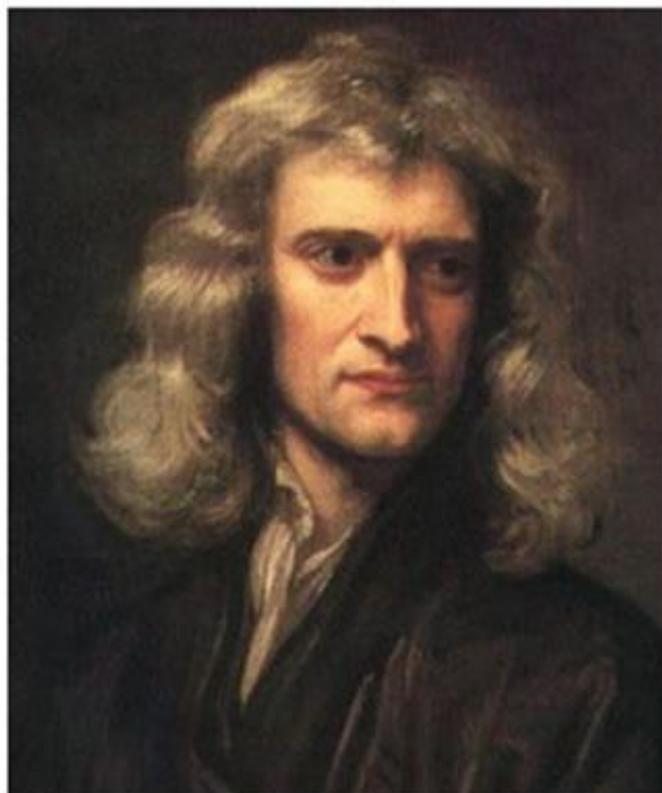


Figura: Isaac Newton.

### 7.1 – Primeira Lei de Newton

*“Todo o corpo permanece no seu estado de repouso, ou de movimento uniforme retilíneo, a não ser que seja compelido a mudar esse estado devido à ação de forças aplicadas.”*

*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

*(Princípios Matemáticos da Filosofia da Natureza)*

*Edição de 1726 dos Principia.*

Dentro da mecânica de Newton, **não existe diferença entre um corpo se mover em linha reta com velocidade constante ou estar e permanecer em repouso**. As configurações dinâmicas de um corpo que se move em MRU (Movimento Retilíneo Uniforme) e outro que está e permanece em repouso são idênticas.

Na natureza, **todos os corpos em repouso tendem a permanecer em repouso, assim como todos os corpos que se movem tendem a se mover uniformemente em linha reta**. Esta tendência "natural" se chama **INÉRCIA**. O conceito de Inércia foi desenvolvido por Galileu Galilei que, por coincidência, morreu no dia em que Newton nasceu.

Com o passar dos anos, a ciência foi se desenvolvendo, e as Leis de Newton passaram por um amadurecimento em suas interpretações. Ainda hoje existem trabalhos e artigos sobre a interpretação das Leis de Newton.

Uma das interpretações mais atuais da Primeira Lei de Newton é associada à definição de **REFERENCIAIS INERCIAIS**, a partir dos quais partículas isoladas (livres de forças) se movem em linha reta percorrendo distâncias iguais em tempos iguais. São referenciais **não acelerados**.

Referenciais Inerciais (ou Sistemas Inerciais de Referência) são pontos de vista físicos em que as Leis de Newton podem ser aplicadas em sua plenitude. Ou seja, a partir dos quais as Leis de Newton funcionam, prevendo, reproduzindo e descrevendo com sucesso os movimentos dos corpos a partir de suas interações com objetos vizinhos.

Em provas, as questões que exigem a aplicação das Leis de Newton geralmente apresentam em seus textos as expressões do tipo **“a partir de um observador inercial”** ou **“de um ponto de vista inercial”**. Isso nada mais é que o redator da questão pedir ao candidato que utilize e aplique seus conhecimentos sobre a Mecânica Newtoniana para resolver a questão, deixando explícita a validade das leis.

No trabalho original de Newton, temos que suas leis foram formuladas para o Espaço Absoluto, sob o qual as estrelas fixas não são aceleradas. Ou seja, todas as estrelas fixas não são aceleradas em relação ao Espaço Absoluto, que serve de referência inercial para as Leis de Newton.

Além disso, originalmente, Newton também citou em seu trabalho uma definição de Força Inata, que podemos também chamar de Força de Inércia, que é um poder associado a um corpo de perseverar em seu estado de repouso ou de se mover em linha reta de maneira uniforme.

Outra interpretação bem mais atual, que é a minha preferida, assume que o texto mais adequado para a primeira lei de Newton seja o seguinte:

*“Toda mudança no estado de movimento de um corpo se dá a partir da aplicação de uma força.”*

*Mistranslation of Newton’s First Law Discovered after Nearly 300 Years. A new interpretation of Isaac Newton’s writings clarifies what the father of classical mechanics meant in his first law of motion.*

*Artigo publicado em 5 de setembro de 2023.*

*Disponível em:*

*<https://www.scientificamerican.com/article/mistranslation-of-newtons-first-law-discovered-after-nearly-300-years1/>*



A escrita traduzida do trabalho original de Newton que aparece em tudo quanto é livro dá a impressão de que a primeira lei é um caso particular da segunda. Não há motivo lógico escrever uma lei que fosse um caso particular de outra. Isso tornaria a lei desnecessária.

No final das contas, a correta interpretação para a primeira lei de Newton ainda não está consentida no meio acadêmico, fazendo surgir novas correntes interpretativas. A ideia de a primeira lei de Newton tratar da existência de uma força que causa mudanças de movimentos nos corpos me parece ser bastante coerente, definindo força como uma ação capaz de variar o movimento de um corpo. Daí, a segunda lei nos dá a equação para os cálculos e a terceira lei nos ajuda a identificar as forças a partir das interações do corpo com sua vizinhança.

O próprio conceito de referencial inercial é bem mais recente, não podendo ser atribuído a Newton. Dizer que originalmente a primeira lei de Newton já falava de referenciais inerciais é um anacronismo grave. Mesmo assim, é normal que teorias científicas sejam aprimoradas e sofram mudanças de entendimentos.

Em Referenciais não Inerciais, a teoria de Newton não é válida, pela própria definição de Referencial Inercial. Em alguns casos, pode-se reduzir um problema não inercial a um inercial pela introdução de forças inerciais (ou fictícias), justamente para suprir a falta de um referencial absoluto (que Newton acreditava que existia).

Sobre as provas, indico tentar entender a corrente de pensamento pelo enunciado informativo, que deverá contextualizar e apresentar o entendimento corrente acerca desta primeira lei.

CURIOSIDADE



### Referenciais Não Inerciais

As leis de Newton podem ser adaptadas para que também funcionem em sistemas de referência acelerados - não inerciais. Ao resolver um problema de Dinâmica a partir de um sistema não inercial, forças que não respeitam a Terceira Lei de Newton (par ação e reação) acabam aparecendo. Essas forças são chamadas de Forças Inerciais ou Forças Fictícias. São exemplos de Forças Inerciais a **Força Centrífuga** e a **Força Coriolis**, que aparecem em sistemas acelerados em rotação.

A introdução de forças fictícias ou inerciais possibilita a resolução de diversos problemas de Mecânica com a equação da 2ª Lei, mesmo desrespeitando a 3ª Lei.





E pra você, colega, qual a sua opinião sobre a 1ª Lei de Newton?

Se você quiser, manda uma mensagem pra mim pelo Fórum de Dúvidas ou pelas minhas redes sociais me contando! Curto demais essa troca de ideias!

## 7.2 – Segunda Lei de Newton

*“A variação de movimento é proporcional à força motriz aplicada e se dá na direção da reta segundo a qual a força está aplicada.”*

*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

*(Princípios Matemáticos da Filosofia da Natureza)*

*Edição de 1726 dos Principia.*

Newton propõe com essa lei a relação de uma **FORÇA** com a **VARIAÇÃO DO MOVIMENTO** de um corpo. Além disso, essa variação só ocorre na direção da força aplicada, ou seja, para onde a força está empurrando ou puxando. Se um corpo está sendo empurrado para a direita, por exemplo, essa força causa somente uma variação do movimento desse corpo para a direita.

Originalmente, Newton apresenta mais de um conceito de força em seu trabalho. Além da Força Inata, ou Força de Inércia, utilizada como referência para a primeira lei, temos também a Força Impressa, que é a responsável pela variação do movimento de um corpo, conforme esta segunda lei. Mais atualmente, acabamos por chamar essa força Impressa simplesmente de força.

A partir dos conceitos científicos e definições atuais, a Segunda Lei de Newton pode ser reescrita como:

**“A Resultante das Forças sobre uma partícula é igual à variação temporal da sua Quantidade de Movimento Linear.”**

Quantidade de Movimento Linear “ $p$ ” é definida como o produto da massa “ $m$ ” e da velocidade “ $v$ ” de um corpo.

$$p = m \cdot v$$



$p$ : Quantidade de Movimento Linear (kg.m/s).  $m$ : Massa (kg).  $v$ : Velocidade (m/s).

Ao escrever este enunciado matematicamente, tem-se:

$$F_{res} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$F_{res}$ : Resultante das Forças (N).  $t$ : Tempo (s).  $a$ : Aceleração (m/s<sup>2</sup>).

**A Resultante das Forças é a soma vetorial de todas as forças sobre um corpo.**

Para corpos com massa constante, a variação temporal da Quantidade de Movimento Linear pode ser escrita como o produto da Massa pela Aceleração, conforme a operação abaixo.

$$F_{res} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{\Delta(m \cdot v)}{\Delta t} = \frac{m \cdot \Delta v}{\Delta t} = m \cdot a$$

Diagrama explicativo da equação acima:

- Um arco azul aponta do termo  $m$  no numerador da terceira fração para o texto "Massa Constante".
- Um círculo azul envolve o termo  $\frac{\Delta v}{\Delta t}$  na terceira fração, com uma seta azul apontando para o texto "Aceleração".

Portanto, essa lei nos traz, basicamente, a equação matemática que relaciona o resultado de todas as forças sobre um corpo com sua massa e aceleração.

$$F_{res} = m \cdot a$$

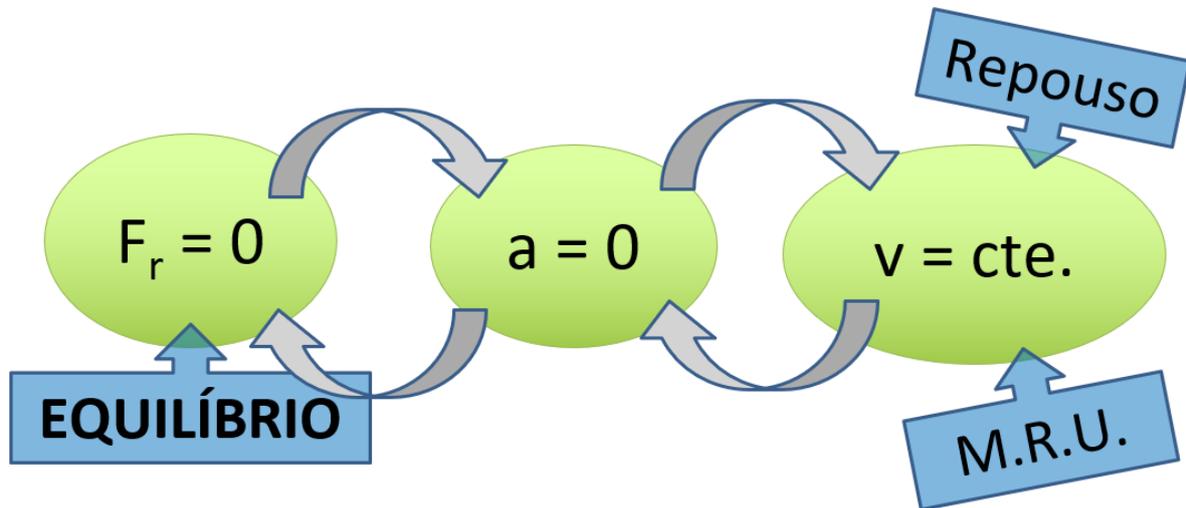
A partir dessa equação, pode-se deduzir **dois casos possíveis**:

**Caso 1:** se a **resultante das forças sobre um corpo é nula**, ou seja, se todas as forças aplicadas sobre um corpo se equilibram e se anulam, o lado esquerdo da equação fica igual a zero. Assim, para que o lado direito também seja zero e respeite a igualdade, obrigatoriamente a **aceleração deve ser também nula**.



A aceleração de um corpo ser nula, conforme visto em nossa aula de Cinemática, implica no fato de a velocidade não sofrer variação, ou seja, a **velocidade do corpo será constante**.

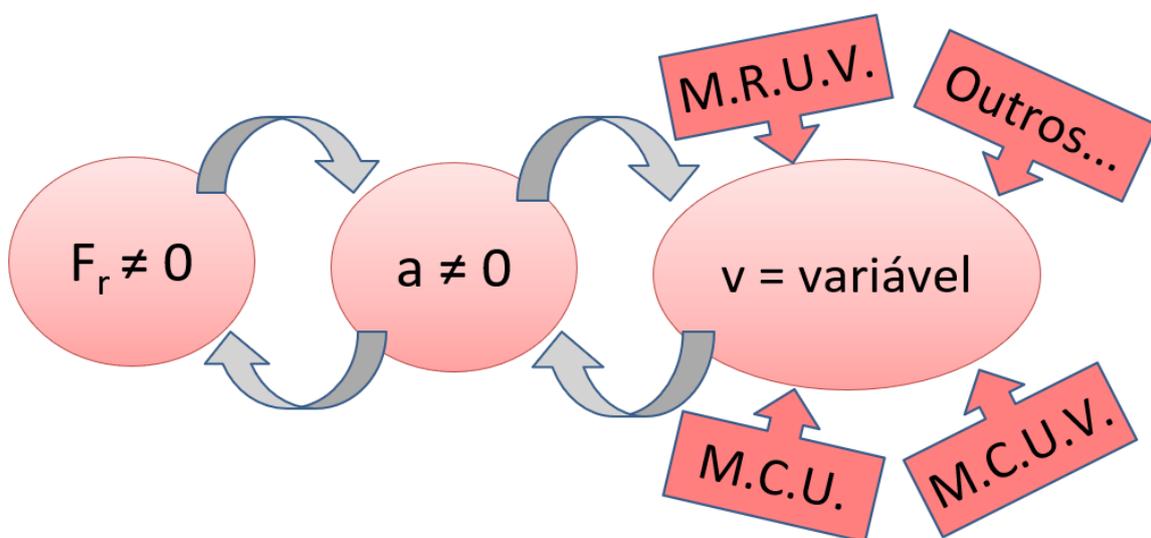
Portanto, restará para o corpo se mover em **Movimento Retilíneo Uniforme (MRU)** ou, se estiver em **repouso** (velocidade igual a zero), assim permanecer.



**Caso 2:** se a **resultante das forças sobre um corpo NÃO for nula**, ou seja, se as forças aplicadas sobre um corpo NÃO se equilibram, o lado esquerdo da equação fica diferente de zero. Assim, para que o lado direito seja diferente de zero e respeite a igualdade, obrigatoriamente a **aceleração NÃO será nula**.

A aceleração de um corpo NÃO ser nula, conforme visto em nossa aula de Cinemática, implica no fato de a velocidade **SOFRER** variação, ou seja, a **velocidade do corpo SERÁ variável**.

Portanto, o corpo poderá se mover em **Movimento Retilíneo Uniformemente Variável (MRUV)**, em **Movimento Circular Uniforme (MCU)**, ou ainda ter **outros movimentos** mais complexos.



## 7.3 – Terceira Lei de Newton

*“A toda a ação sempre se opõe uma reação igual; ou, as ações mútuas de dois corpos são sempre iguais e dirigidas às partes contrárias.”*

*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*

*(Princípios Matemáticos da Filosofia da Natureza)*

*Edição de 1726 dos Principia.*

A Primeira Lei de Newton nos traz o entendimento da validade de aplicação da Dinâmica Newtoniana ou da própria definição de força como a responsável por causar variações no movimento de um corpo. Já a Segunda Lei de Newton nos oferece uma equação matemática para a solução de problemas. Entretanto, esta não especifica quais forças podem entrar no lado esquerdo da equação (o lado direito tem massa e aceleração).

A Terceira Lei de Newton propõe uma explicação de como que ocorrem as interações entre corpos na natureza.

A partir dos conceitos científicos e definições atuais, a Terceira Lei de Newton pode ser reescrita como:

**“FORÇA** é uma interação que surge aos **pares**, onde toda força de ação é correspondida por uma força de reação, **instantaneamente, de mesma intensidade, na mesma direção**, mas no sentido contrário.”

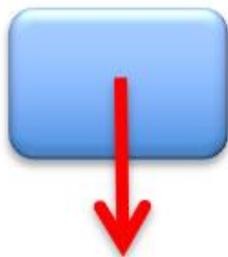
## 7.4 – Força Peso e a Lei da Gravitação Universal de Newton

**A Força Peso é a força de atração gravitacional aplicada sobre um corpo, puxando-o verticalmente para baixo (para o centro do planeta).**

Sempre que um objeto estiver próximo a um planeta ou qualquer outro corpo de grande massa, esta força será relevante ao problema.

Ela é dada a partir de uma lei na Física que é a Lei de Newton da Gravitação Universal, que também foi publicada no trabalho de Newton junto com as três leis da Mecânica que acabamos de ver. Essa seria, então a 4ª Lei de Newton! Hehehe





Força Peso  
aplicada no corpo.

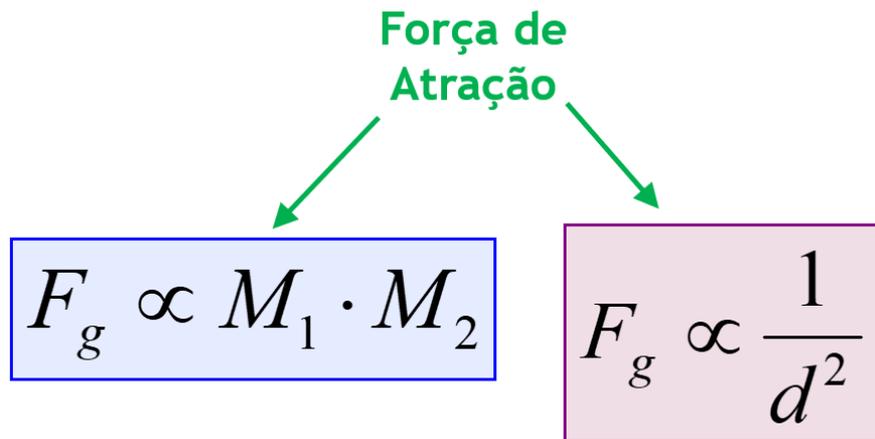


Reação da Força Peso  
aplicada no planeta.

Existe uma lei na Física que diz como calcular esta força: **A Lei de Newton da Gravitação Universal**, que tem o seguinte enunciado:

### Lei de Newton da Gravitação Universal

“Todo corpo atrai qualquer outro com **Força** que é diretamente proporcional ao produto de suas **massas** e inversamente proporcional ao **quadrado** da **distância** entre seus centros.”



Como a intensidade da força de atração gravitacional entre dois corpos é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa, então podemos escrever a seguinte relação:

$$F_g = \frac{G \cdot M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

Na equação completa, temos uma constante de proporcionalidade **G** para completar a igualdade com as massas e a distância. Esta constante se chama **Constante da Gravitação Universal**, que tem seu valor já determinado experimentalmente. Não há a necessidade de memorizar este valor, pois, se necessário for, ele será fornecido no enunciado da questão.

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Ao se fazer uma análise dimensional da equação fornecida pela Lei de Newton, temos que a unidade da Constante da Gravitação Universal só pode ser a apresentada acima! Veja só:

$$F_{Grav} = \frac{G \cdot M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

$$[F_{Grav}] = \frac{[G] \cdot [M_1] \cdot [M_2]}{[d]^2}$$

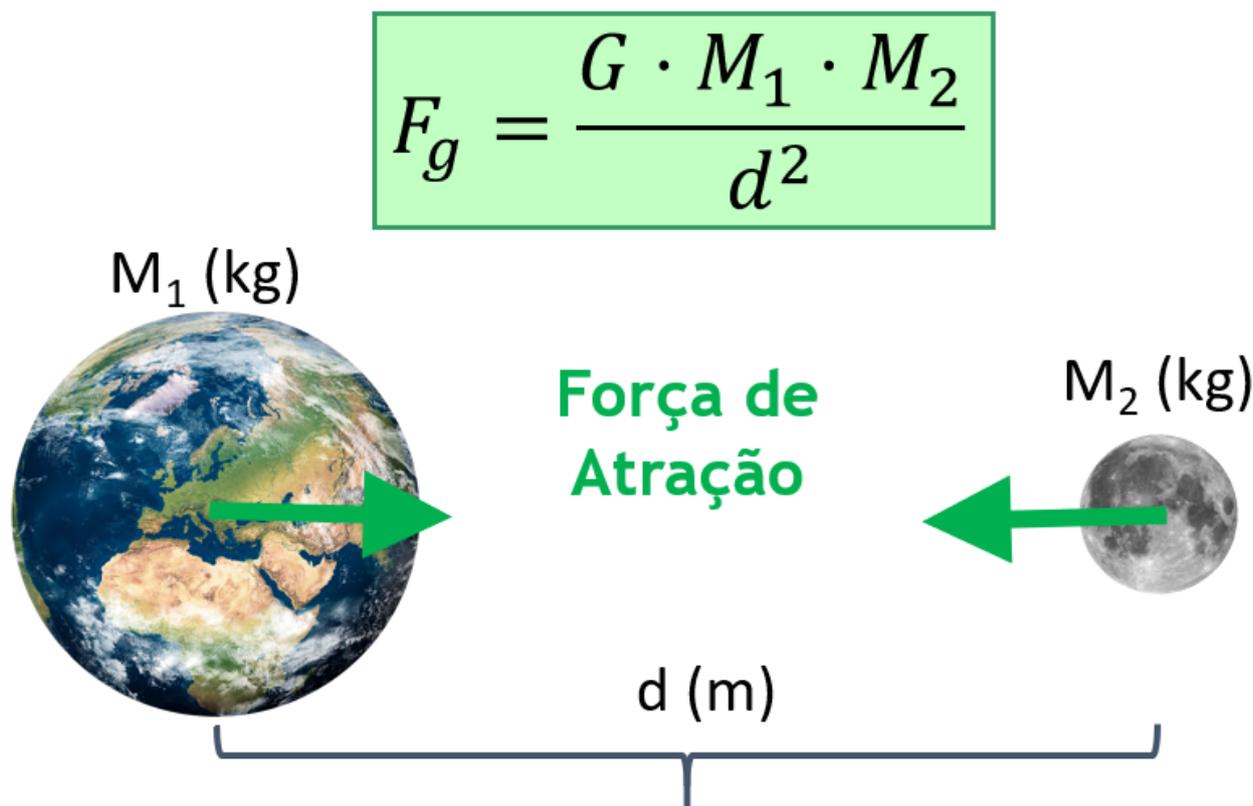
$$N = \frac{[G] \cdot \text{kg} \cdot \text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$N \cdot \text{m}^2 = [G] \cdot \text{kg}^2$$



$$\frac{N \cdot m^2}{kg^2} = [G]$$

Isaac Newton conseguiu formular sua lei para a gravitação com o intuito de dar uma explicação dinâmica para as Leis de Kepler, que eram leis empíricas, cinemáticas, baseadas em dados experimentais. Com esta proposta, Newton conseguiu universalizar, ou seja, ampliar a aplicação das Leis de Kepler para qualquer par de corpos, em qualquer região do espaço e em qualquer tempo, como entre a Terra e a Lua, por exemplo.



A partir desta lei, podemos escrever a equação a seguir:

**Força Peso**

$$P = m \cdot g$$

$P$ : Força Peso (N).  $m$ : Massa (kg).  $g$ : Intensidade do Campo Gravitacional Local ou Aceleração da Gravidade Local ( $m/s^2$ ).

## 7.5 – Força Normal

A Força Normal é a força entre duas superfícies visualmente encostadas que se empurram mutuamente.

Sempre que um objeto estiver apoiado numa superfície, ele sofrerá a ação de uma força que o afasta perpendicularmente dela.

Não existe qualquer lei na Física que ofereça uma equação pronta para o cálculo da força Normal entre superfícies. Essa é uma das forças que pode entrar do lado esquerdo na equação da Segunda Lei de Newton, o que possibilitará a sua determinação. Ou seja, a Força Normal irá assumir um valor tal que dependerá da configuração de todas as forças relevantes aplicadas sobre o corpo em questão.



Se liga nesse exemplo aqui:



**(SEDUC – GO/2022- IADES)**

**De acordo com a mecânica de Newton, prevista na obra Princípios Matemáticos de Filosofia Natural, assinale a alternativa correta.**

- A) A intensidade da força gravitacional que uma pedra faz em todo o planeta Terra é menor que a intensidade da força gravitacional que o planeta Terra faz na pedra.
- B) As estrelas não interagem gravitacionalmente com os corpos no planeta Terra.
- C) Há uma divisão entre força inata de um corpo e forças impressas sobre um corpo.
- D) A força Normal em um corpo é a reação à força/peso nesse corpo.
- E) A causa do efeito da Lua orbitar a Terra é diferente da causa do efeito de uma pedra cair na Terra.

**Comentários**

Isaac Newton foi o autor do trabalho chamado Princípios Matemáticos da Filosofia Natural. Nele estão contidas quatro importantes leis da Física: as três leis de Newton e a Lei da Gravitação Universal. Os *Principia*, como é popularmente conhecido, teve sua primeira edição no ano de 1687.

Nele, Newton apresentou uma definição de força bem mais ampla da que temos hoje.

Em uma das definições, ele citou uma força chamada de Força Inata, que podemos também chamar de Força de Inércia, que é um poder associado a um corpo de perseverar em seu estado de repouso ou de se mover em linha reta de maneira uniforme.

Além dessa Força Inata, ou Força de Inércia, utilizada como referência para a primeira lei, temos também a definição de Força Impressa, que é a responsável pela variação do movimento de um corpo, conforme a segunda lei. Mais atualmente, acabamos por chamar essa força Impressa simplesmente de força.

Conforme a terceira lei, a intensidade da força gravitacional que uma pedra faz em todo o planeta Terra é de igual intensidade que a força gravitacional que o planeta Terra faz na pedra.

A força gravitacional tem alcance infinito, de forma que as estrelas, além de interagirem entre si, também interagem gravitacionalmente com os corpos no planeta Terra.

A Força Normal é a força entre duas superfícies visualmente encostadas que se empurram mutuamente. Essa força jamais será reação da força Peso. Além de serem forças de diferentes naturezas (a força Normal é eletromagnética e a força Peso é gravitacional), a reação da força Normal exercida sobre um corpo apoiado sobre uma superfície é a força que o corpo faz sobre a superfície.

A órbita da Lua ao redor da Terra, bem como seus efeitos, são consequências da interação gravitacional. A queda dos corpos também é consequência da gravidade.

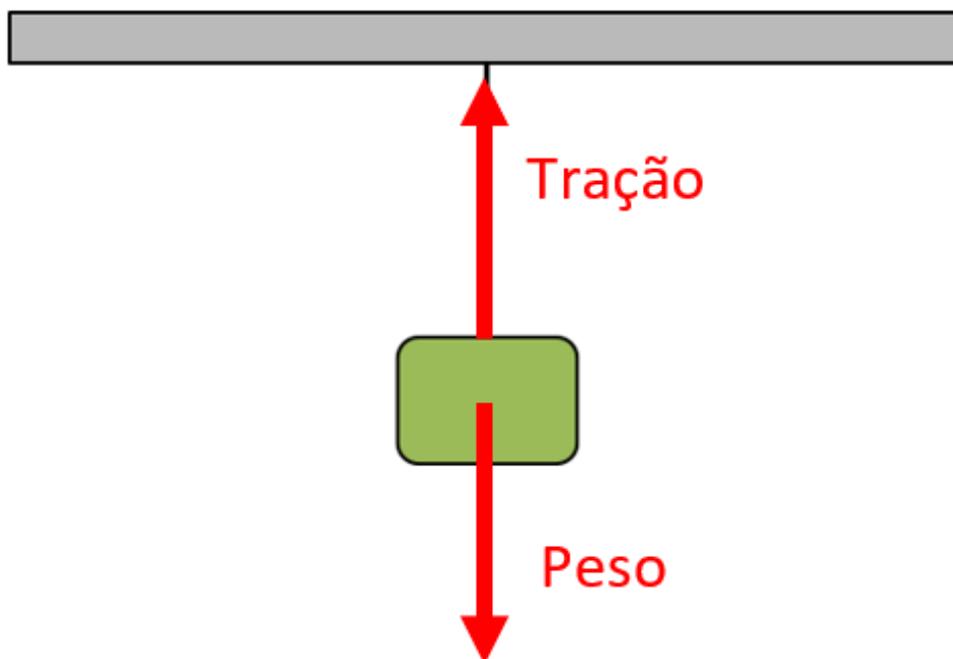
**Gabarito: C.**

## 7.6 – Força de Tração

A Força de Tração é a força aplicada por cabos, fios, cordas, correntes, etc., que puxa um corpo.

Sempre que uma corda esticada (ou semelhante) estiver presa a um corpo, ela irá puxá-lo, tracionando-o na mesma direção e sentido da sua linha.





Assim como a Força Normal, não existe qualquer lei na Física que ofereça uma equação pronta para o cálculo dessa força. Ela também pode entrar do lado esquerdo na equação da Segunda Lei de Newton, o que possibilitará a sua determinação. Ou seja, a Força de Tração irá assumir um valor tal que dependerá da configuração de todas as forças relevantes aplicadas sobre o corpo em questão.

## 7.7 – Força de Atrito

A Força de Atrito é a força que se opõe ao deslizamento entre duas superfícies encostadas.

Sempre que um corpo apoiado numa superfície se mover ou tentar se mover em relação a ela, surgirá uma força que irá se opor a esse movimento relativo entre a superfície do corpo e a superfície de apoio.

Existe um grupo de leis na Física que diz como calcular a Força de Atrito nas situações estáticas e dinâmicas: as Leis de Coulomb para o Atrito. A partir dessas leis, podemos escrever a equação a seguir:

$$F_{at} = \mu \cdot N$$

$F_{at}$ : Força de Atrito (N).  $\mu$ : Coeficiente de Atrito (N/N = adimensional).  $N$ : Força Normal (N).

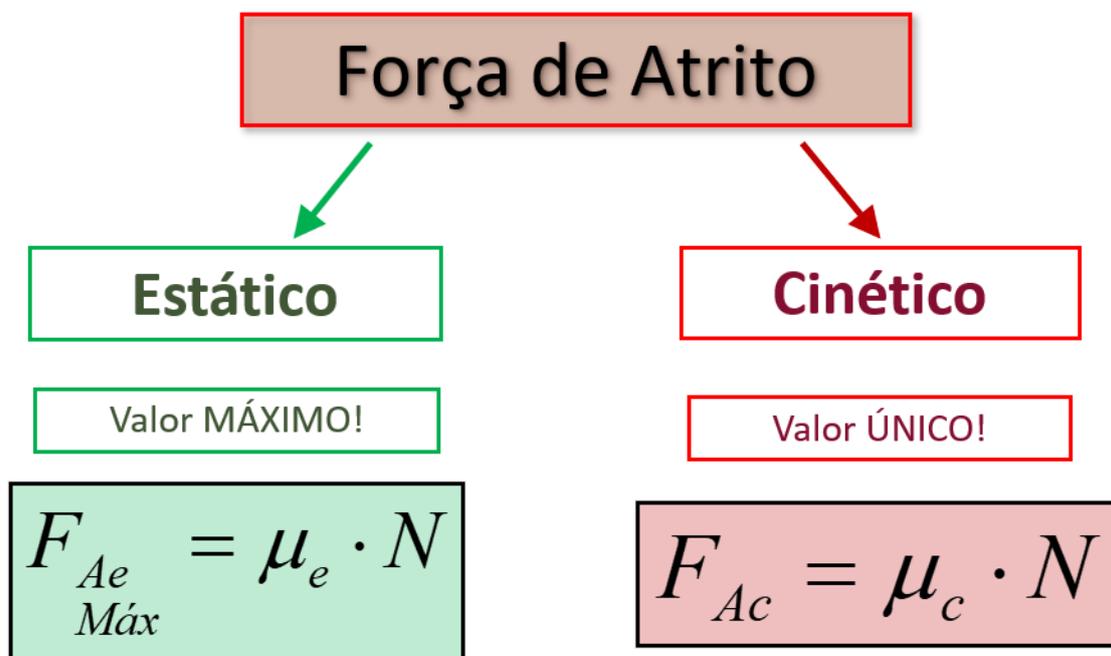
Observe que a Força de Atrito é diretamente proporcional à força Normal entre as superfícies. Ou seja, quanto maior a força que une as superfícies, maior pode ser o atrito entre elas, tornando maior a oposição ao deslizamento.

A Força de Atrito é, certamente, a força mais difícil que temos para estudar e entender, pois, além do fato de ela ter dois regimes de atuação, ela pode assumir diferentes valores que dependerão de toda a situação mecânica do corpo, que deve ser analisada a partir de todas as forças relevantes sobre ele.

Chamamos de Atrito Estático o regime quando duas superfícies estão visualmente encostadas e tendem a (ou “tentam”) deslizar, não ocorrendo movimento relativo entre elas. Nesse caso, a Força de Atrito pode assumir qualquer valor até um valor máximo, definido pela Força de Atrito Estático Máximo, igual ao produto do Coeficiente de Atrito Estático e a Força Normal entre as superfícies.

Na situação de atrito estático máximo, temos a iminência do deslizamento. Ou seja, as superfícies estão em uma configuração de quase deslizamento!

Chamamos de Atrito Cinético ou de Atrito Dinâmico o regime quando duas superfícies estão visualmente encostadas e deslizam entre si. Nesta situação, a Força de Atrito Cinético (ou Dinâmico) se opõe ao deslizamento com uma intensidade que tem valor único igual ao produto do Coeficiente de Atrito Cinético (ou Dinâmico) e a Força Normal entre as superfícies.



O Coeficiente de Atrito Estático é um pouco maior que o Coeficiente de Atrito Cinético em praticamente todas as combinações de superfícies. Assim, o maior valor para uma força de atrito está na iminência do deslizamento, logo antes de deslizar! Ao deslizar, a força que se opõe ao deslizamento estabiliza e assume um valor um pouco menor que o valor máximo do atrito estático.

Estes coeficientes são definidos experimentalmente para cada par de superfícies, geralmente assumindo valores entre zero e um. Por exemplo, os coeficientes de atrito estático entre a borracha de pneus de automóveis e asfalto seco e limpo estão entre 0,8 e 1,2, enquanto que os coeficientes de atrito cinético estão entre 0,6 e 0,8. Se o asfalto estiver sujo, com óleo ou molhado, os coeficientes de atrito podem se reduzir drasticamente.



CURIOSIDADE



### Força de Atrito e Área de Contato

A área da Ciência que estuda o fenômeno do atrito é denominada de TRIBOLOGIA.

Leonardo da Vinci (1452-1519) estudou experimentalmente a Força de Atrito e constatou que ela não dependia da área de contato. Charles Augustin Coulomb (1736 – 1806), além de confirmar os resultados de da Vinci, formalizou e atualizou suas relações.

Esta área de contato é, na verdade, uma área aparente. Em nível microscópico, a área de contato efetiva é muito menor que a área aparente, pois duas superfícies encostadas “se tocam” apenas em alguns pontos. A intensidade da força de atrito é proporcional a este número de pontos microscópicos de contato, que, por sua vez, é proporcional à força que aperta uma superfície na outra.

Assim, mantida a área aparente constante, a área efetiva aumenta com o aumento da força de compressão entre as superfícies.

Logo, se a força normal entre as superfícies for a mesma, modificar a área aparente de contato não modifica a área efetiva, fazendo com que a força de atrito seja a mesma.

Podemos analisar a seguinte situação para entender melhor a diferença entre estes dois regimes de atrito.

Se um corpo está em repouso apoiado sobre uma superfície plana e horizontal, temos que as forças sobre ele serão a Peso, verticalmente para baixo, e a Normal, verticalmente para cima. Como não há qualquer tendência de deslizamento, pois o corpo está simplesmente apoiado sobre a superfície, não há força de atrito.

Agora, se uma força horizontal  $F$  igual a 1 N for aplicada sobre o corpo, surgirá uma força de atrito se opondo ao deslizamento. Se o corpo ainda não se move, então temos que a intensidade da força de atrito deve ser, também, igual a 1 N, apontando no sentido oposto à  $F$ . Assim, o corpo se mantém em repouso, sob equilíbrio dessas quatro forças sobre ele.

Se a força  $F$  aumentar para 2 N, a força de atrito acompanha este aumento, mantendo o corpo em repouso. Mas até quanto a força de atrito consegue aumentar e manter o corpo sem deslizar?



Com o corpo não desliza sobre a superfície, essa força está dentro do regime de atrito estático. O valor da força de atrito estático pode assumir qualquer valor até um valor máximo. Esse valor máximo pode ser calculado pelo produto do Coeficiente de Atrito Estático e a Força Normal.

$$F_{Ae}^{Máx} = \mu_e \cdot N$$

Vamos supor que o corpo tenha massa igual a 3 kg e está em um local onde a aceleração da gravidade local vale  $g = 10 \text{ m/s}^2$ . Assim, a força Peso fica igual a  $P = m \cdot g = 3 \cdot 10 = 30 \text{ N}$ . Como a força Normal é a única que equilibra o Peso, então ela também tem módulo igual a 30 N. Ao assumirmos um Coeficiente de Atrito Estático igual 0,1, a Força de Atrito Estático Máximo vale:

$$F_{Ae}^{Máx} = 0,1 \cdot 30 = 3,0 \text{ N}$$

Então, mantida esta condição de força Normal, as superfícies conseguem “aguentar” uma força de 3,0 N antes de deslizarem. Ou seja, a Força de Atrito Estático pode assumir qualquer valor até 3,0 N conforme a configuração das outras forças.

Então, se esta força F aumentar e assumir qualquer valor menor que 3 N, a força de Atrito consegue se igualar e impedir que o corpo deslize. Se a força F for igual a 3 N, o corpo ainda fica equilibrado, mas na iminência do deslizamento!

Agora, se em qualquer instante, a força de atrito precisar ser maior que a Força de Atrito Estático Máximo, o corpo deslizará.

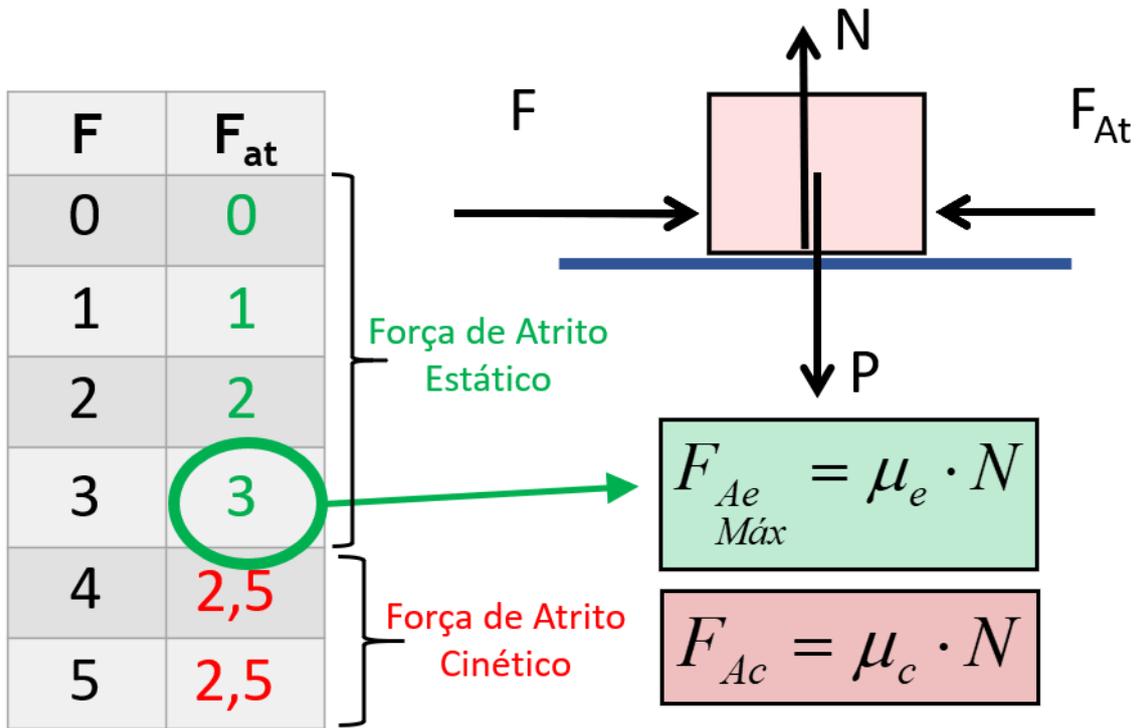
Ao deslizar, o atrito entra no regime Cinético ou Dinâmico. Nessa condição, a força de atrito assume um valor único dado pelo produto do Coeficiente de Atrito Cinético pela força Normal.

$$F_{Ac} = \mu_c \cdot N$$

Ao assumirmos um Coeficiente de Atrito Cinético igual 0,08, a Força de Atrito Cinético vale:

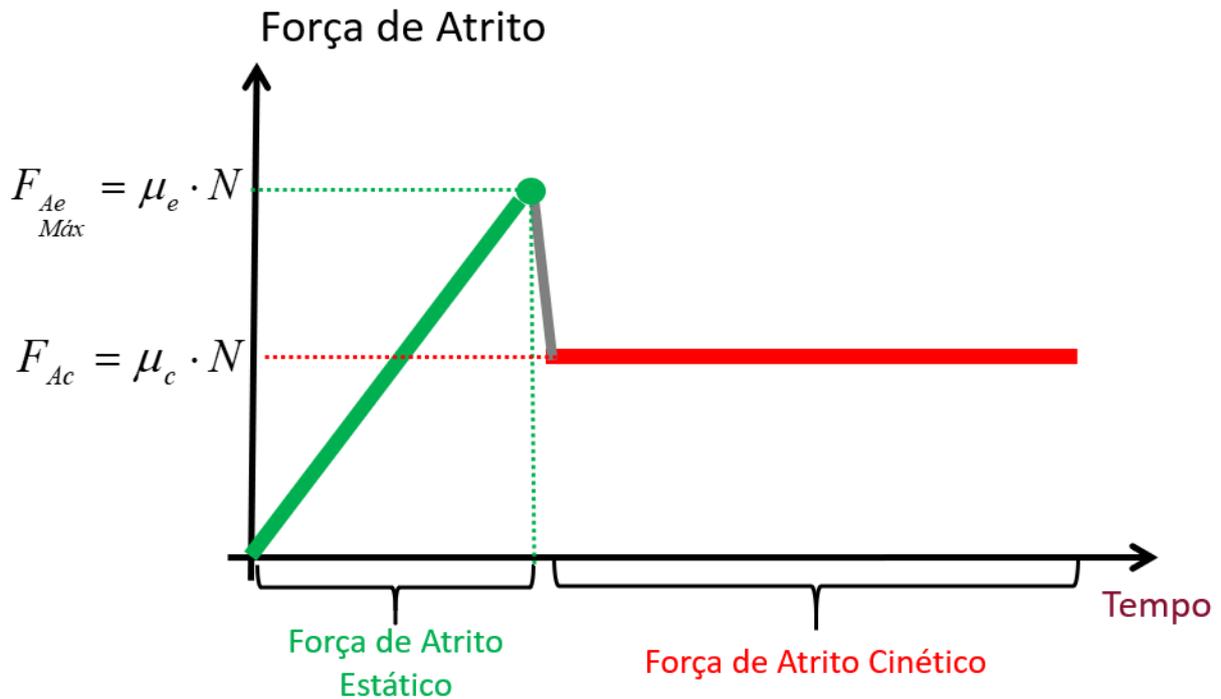
$$F_{Ac} = 0,08 \cdot 30 \cong 2,5 \text{ N}$$





Se a força  $F$ , partindo de zero, for aumentando com o tempo, a força de atrito irá assumir valores que vão aumentando junto com a força até um valor máximo e, após começar o deslizamento, a força de atrito assume um valor único, que não depende mais dos valores de  $F$ .

Essa evolução de valores e troca de regime, se representarmos graficamente, podemos escrever o seguinte:



CURIOSIDADE



### Freios com Sistema ABS

Um sistema de freios sem um sistema ABS (*Antilock Braking System* – Sistema de Antibloqueio de Frenagem) possibilita o travamento das rodas, fazendo com que a frenagem ocorra no regime de atrito cinético. Como a força de atrito cinético tem um valor menor que o valor do atrito estático máximo, as distâncias de frenagem acabam sendo um pouco maiores, além de não possibilitar o controle do veículo durante a frenagem.

O sistema ABS atua de forma a evitar o travamento das rodas, fazendo com que a frenagem ocorra no regime de atrito estático e com valores maiores que a do regime cinético, sendo capaz de reduzir até 30% das distâncias de frenagem, além de possibilitar o controle do veículo pelo condutor enquanto ele freia.

Se liga nesse exemplo aqui!

(SEDUC – CE/2018- FUNECE)

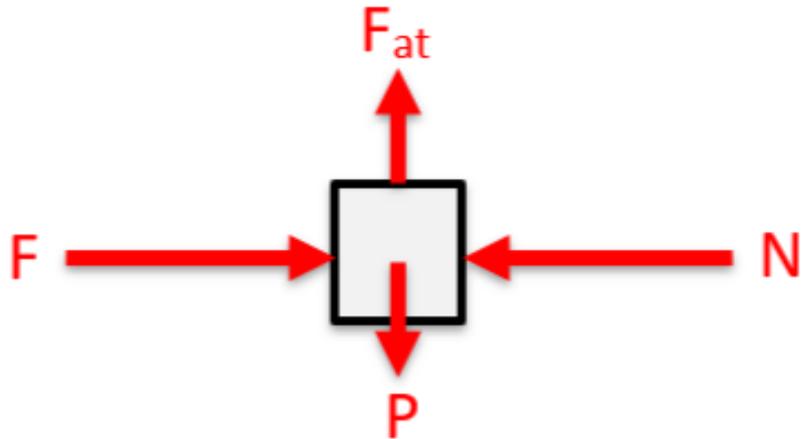
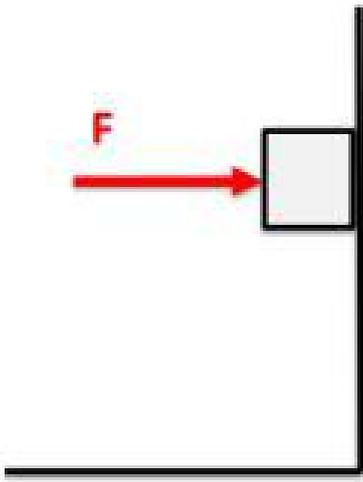
Uma força horizontal de 50 N empurra um bloco de 2,0 kg contra uma parede vertical. O coeficiente de atrito estático entre a parede e o bloco é 0,8, e o coeficiente de atrito cinético é 0,4. Considere que  $g = 10 \text{ m/s}^2$  e que o bloco está inicialmente em repouso. A força resultante que atua no bloco é

- A) 20 N.
- B) 30 N.
- C) 50 N.
- D) 0 N.

**Comentários:**

Ao se fazer um desenho esquemático da situação e um diagrama de forças sobre o bloco, temos:





Sobre o bloco estão sendo exercidas quatro forças relevantes:

- a força  $F$ , horizontalmente para a direita, exercida pelo agente;
- a força Peso, verticalmente para baixo, exercida pela Terra, devido à interação gravitacional;
- a força Normal, horizontalmente para a esquerda, exercida pela parede, devido à interação eletromagnética;
- e a força de Atrito, verticalmente para cima, exercida pela parede, devido à interação eletromagnética.

Note que, se o bloco é empurrado em direção a parede há, além da força  $F$  de 50 N, uma força normal  $N$  que a parede aplica sobre o bloco, que deve valer também 50 N, visto que o bloco não acelera em relação à parede.

Conforme a Mecânica Newtoniana, como as forças se equilibram horizontalmente, então o corpo não acelera nessa direção, configurando um equilíbrio de forças.

O módulo da força de atrito estático máxima entre o bloco e a parede pode ser calculada a partir do produto do coeficiente de atrito estático e da força normal:

$$f_{\text{máx}}^{ae} = \mu_e \cdot N$$

$$f_{\text{máx}}^{ae} = 0,8 \cdot 50$$

$$f_{\text{máx}}^{ae} = 40 \text{ N}$$

Esse valor indica que as superfícies do bloco e da parede não deslizam entre si se a força que tentar fazer isso for de até 40 N.

A força que puxa o corpo verticalmente para baixo é a força Peso, que pode ser calculada a partir do produto da massa pela intensidade do campo gravitacional local:

$$P = m \cdot g$$

$$P = 2,0 \cdot 10$$

$$P = 20 \text{ N}$$

Observe que a Força de Atrito sobre o bloco nas condições apresentadas vale 20 N para cima, que é menor que a Força de Atrito Estático Máxima, pois ela assume o valor suficiente para equilibrar, verticalmente, a Força Peso.

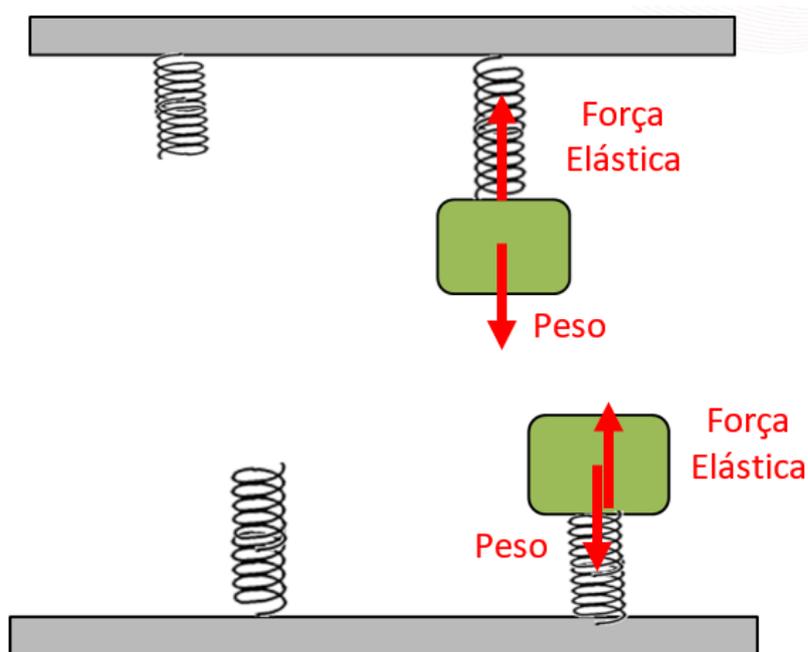
Assim, como o bloco também está em equilíbrio na vertical, a resultante das forças sobre ele é nula.

**Gabarito: D.**

## 7.8 – Força Elástica

A Força Elástica é a força aplicada por molas ou elásticos quando deformados.

Sempre que um corpo estiver preso a uma mola deformada (fora da sua posição de relaxamento), estará sujeito à ação de uma força que o tenta puxar ou empurrar no sentido oposto ao da deformação sofrida pela mola. Se ela estiver comprimida (apertada), a resposta será a de tentar voltar à posição de relaxamento, empurrando o corpo. Se a mola for esticada além de sua posição de relaxamento, a resposta será a de puxar o corpo.



Existe uma lei na Física que diz como calcular a Força Elástica para materiais elásticos lineares, que respondem com uma força diretamente proporcional à medida da deformação elástica: A Lei de Hooke.

A partir desta lei, podemos escrever a equação a seguir:

$$F_{el} = k \cdot x$$

$F_{el}$ : Força Elástica (N).  $k$ : Constante de Elasticidade (N/m).  $x$ : Medida da Deformação Elástica (m).

## 7.9 – Força de Empuxo

A Força de Empuxo é a força aplicada por fluidos (líquidos ou gases) sobre corpos submersos.

Sempre que um corpo estiver parcialmente ou totalmente submerso num líquido ou gás, estará sujeito a uma força, chamada de Empuxo, que tenta expulsá-lo de dentro do fluido, verticalmente para cima.

Existe uma lei na Física que diz como calcular a Força de Empuxo: A Lei de Arquimedes.

A partir dessa lei, podemos escrever a equação a seguir:

$$E = \rho_{fluido} \cdot V_{submerso} \cdot g$$

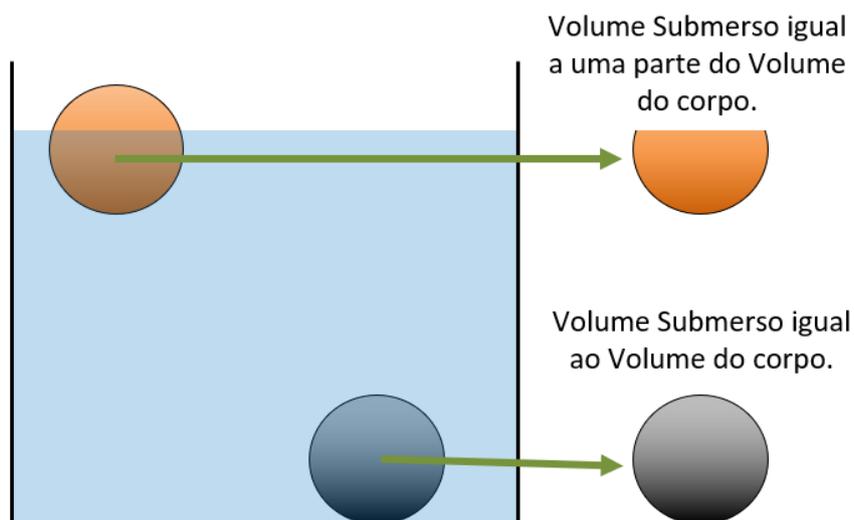
$E$ : Força de Empuxo (N).

$\rho$ : Massa Específica do Fluido ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$V$ : Volume Submerso ( $\text{m}^3$ ).

$g$ : Aceleração da Gravidade Local ( $\text{m}/\text{s}^2$ ).

O volume submerso é a porção do corpo que ocupa espaço onde poderia ter fluido. Essa força de empuxo surge justamente pela tentativa de o fluido ocupar esse espaço submerso. Veremos essa força mais detalhadamente na aula de Estática de Fluidos.



## QUESTÕES COMENTADAS



1. (SEE - AC/2013 - FUNCAB) Na equação  $x = C_1 t^2$ , a distância ( $x$ ) e o tempo ( $t$ ) estão descritos em unidades do Sistema Internacional (SI). Sendo assim, pode-se afirmar que a unidade de  $C_1$  é:

- a)  $kg \cdot m \cdot s$
- b)  $m \cdot s^{-1}$
- c)  $m \cdot s^{-2}$
- d)  $m \cdot s^2$
- e)  $m^2 \cdot s^{-2}$

**Comentários:**

Analisando a equação dada, utilizando somente as unidades para representá-la, temos:

$$x = C_1 t^2$$

$$C_1 = \frac{x}{t^2}$$

$$[C_1] = \frac{[x]}{[t]^2}$$

$$[C_1] = \frac{m}{s^2}$$

Logo, a grandeza  $C_1$ , cuja unidade é dada por  $m/s^2$  corresponde à aceleração. Assim, a resposta à questão é apresentada na alternativa C.

Outra maneira de se chegar à resposta dessa questão seria o de conferir a constante  $C_1$  na equação horária da posição para um movimento uniformemente acelerado:

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Veja que, se os termos  $x_0$  e  $v_0$  são nulos, a constante  $C_1$  acaba por corresponder à metade da aceleração ( $a/2$ ).

**Gabarito: C**



**2. (SEDUC - CE/2018 - FUNECE) No que diz respeito à dimensão, na lei dos gases ideais,  $PV=nRT$ , o termo  $n$**

- a) tem dimensão de massa.
- b) tem dimensão de temperatura.
- c) tem dimensão de volume.
- d) é adimensional.

**Comentários:**

Na equação dos gases ideais,  $PV = nRT$ , o termo  $n$ , representa o número de mol, que expressa um equivalente a uma quantidade de matéria microscópica, tais como uma quantidade de átomos, ou de moléculas, por exemplo.

Um mol equivale a  $6,02 \times 10^{23}$  unidades.

Portanto, trata-se de uma grandeza adimensional.

Massa é indicada em quilograma kg.

Temperatura é indicada em kelvin K.

Volume é dado em metro cúbico  $m^3$ .

**Gabarito: D.**

**3. (SEE - PB/2017 - IBADE) São grandezas vetoriais:**

- a) trabalho e velocidade.
- b) campo elétrico e velocidade.
- c) volume e aceleração.
- d) área e volume.
- e) área e campo elétrico.

**Comentários:**

Toda grandeza física que tem um valor e aponta para algum lugar é classificada como grandeza vetorial.

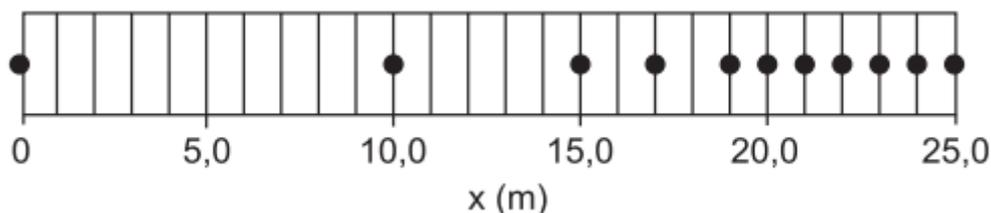
São exemplos de grandezas vetoriais: força, velocidade, deslocamento, campo elétrico, aceleração, quantidade de movimento linear, impulso e indução magnética.

Em alguns contextos muito especiais, área pode ser escrita vetorialmente. Mas, no geral, área, volume, massa, trabalho, energia, tempo e pressão são exemplos de grandezas escalares.

**Gabarito: B.**



4. (SEEC - RN/2011 - CEGRANRIO) A figura representa a fotografia estroboscópica, tirada à taxa de 5 fotos por segundo, de uma esfera com velocidade inicial de 10,0 m/s.



O módulo da aceleração média da esfera, em  $m/s^2$ , no trecho não uniforme do movimento é

- a) 1,00
- b) 1,25
- c) 5,00
- d) 6,25
- e) 10,00

**Comentários:**

Utilizando a informação presente no enunciado de que as fotografias são tiradas à uma taxa de 5 fotos por segundo, podemos concluir que o intervalo de tempo entre duas fotos consecutivas corresponde a 0,2 segundo.

Note que entre as posições  $x = 0 m$  e  $x = 19 m$ , o corpo percorre distâncias diferentes no mesmo intervalo de tempo, ou seja, sua velocidade é variável.

Por outro lado, entre as posições  $x = 20 m$  e  $x = 25 m$ , o corpo percorre distâncias iguais em intervalos de tempo iguais, apresentando velocidade constante.

Utilizando quaisquer pontos a partir da posição  $x = 19 m$ , podemos calcular a velocidade final.

Utilizando as posições  $x = 19 m$  e  $x = 20 m$ , cujo intervalo de tempo é 0,2 s, temos:

$$v_f = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
$$v_f = \frac{20 - 19}{0,2}$$
$$v_f = -5 m/s$$

Sabendo-se que a velocidade inicial do corpo é de 10 m/s e sua velocidade final, na posição  $x = 19 m$ , é de 5 m/s, podemos calcular o módulo da aceleração média da esfera.

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

Note que entre as posições  $x = 0 m$  e  $x = 19 m$  temos um intervalo de tempo de 0,8 s (0,2 s entre duas fotografias). Portanto, o módulo da aceleração no trecho vale:

$$a = \frac{5 - 10}{0,8}$$



$$a = -6,25 \text{ m/s}^2$$

$$|a| = 6,25 \text{ m/s}^2$$

**Gabarito: D.**

5. (SEDF/2013 - IBFC) Um automóvel está em movimento uniforme ao longo de uma rodovia. O motorista marcou em uma planilha o momento e a distância que ele se encontrava na rodovia (tabela a seguir). Com base nestes dados a velocidade escalar do movimento vale:

Distância (km)	20	26	32	38	44
Tempo (minutos)	0	10	20	30	40

- a) 10 m/s.
- b) 6 m/s.
- c) 60 m/s.
- d) 18 m/s.

**Comentários:**

Como o movimento do automóvel é constante, podemos utilizar quaisquer dois conjuntos de valores para calcular sua velocidade com a seguinte equação:

$$v = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{S - S_0}{t - t_0}$$

Com as posições 20 km e 26 km, seus respectivos tempos e alterando as unidades de medida para as do SI, a velocidade, em m/s, fica:

$$v = \frac{26000 - 20000}{10 \cdot 60 - 0}$$
$$v = \frac{6000}{600}$$
$$v = 10 \text{ m/s}$$

**Gabarito: A.**

6. (SEDUC – MT/2021 – Selecon) Uma pessoa realizou uma viagem de 600 km, dividindo-a em duas etapas. Nos primeiros 200 km, a velocidade média foi de 50 km/h. O restante do percurso foi realizado em 5 horas. A velocidade média da viagem foi de aproximadamente:

- a) 50 km/h
- b) 67 km/h
- c) 87 km/h
- d) 95 km/h



**Comentários:**

A velocidade média é dada por:

$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$
$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x_{\text{etapa 1}} + \Delta x_{\text{etapa 2}}}{\Delta t_{\text{etapa 1}} + \Delta t_{\text{etapa 2}}}$$

Na etapa 1, temos que  $\Delta x = 200$  km e a velocidade é de 50 km/h. O intervalo de tempo dessa etapa fica:

$$v_{\text{etapa 1}} = \frac{\Delta x_{\text{etapa 1}}}{\Delta t_{\text{etapa 1}}}$$
$$50 = \frac{200}{\Delta t_{\text{etapa 1}}}$$
$$\Delta t_{\text{etapa 1}} = \frac{200}{50}$$
$$\Delta t_{\text{etapa 1}} = 4 \text{ h}$$

Na etapa 2, temos que  $\Delta x = 600 - 200 = 400$  km e o intervalo de tempo é de 5h. Então, substituindo os valores encontrados na equação da velocidade média, temos o seguinte resultado:

$$v_{\text{média}} = \frac{200 + 400}{4 + 5}$$
$$v_{\text{média}} = \frac{600}{9}$$
$$v_{\text{média}} \cong 67 \text{ km/h}$$

**Gabarito: B.**

7. (SEED – PR/2023 - Consulplan) Um atleta treinando para a corrida de 400 metros divide seu percurso em dois trechos, um de 100 metros e outro de 300 metros. Ele percorre os primeiros 100 metros do trajeto com uma velocidade média de 5 m/s e o restante do percurso com uma velocidade média de 10 m/s. Se o atleta modificar seu treino, percorrendo o segundo trecho do percurso com uma velocidade de 8 m/s, a velocidade que ele deve percorrer os primeiros 100 metros, de modo a manter a mesma velocidade média total deverá ser de:

- a) 5 m/s
- b) 7 m/s
- c) 8 m/s
- d) 9 m/s

**Comentários:**

Primeiro, temos que calcular a velocidade média do atleta nos dois trechos.

Para isso vamos encontrar o intervalo de tempo  $\Delta t$  para ambos os trechos:



Trecho 1:  $\Delta x = 100$  m e  $v = 5$ :

Utilizando a equação da velocidade:

$$v_1 = \frac{\Delta x_1}{\Delta t_1}$$
$$5 = \frac{100}{\Delta t_1}$$
$$\Delta t_1 = \frac{100}{5}$$
$$\Delta t_1 = 20 \text{ s}$$

Trecho 2:  $\Delta x = 300$  m e  $v = 10$  m/s.

De maneira semelhante, para o trecho 2, temos:

$$v_2 = \frac{\Delta x_2}{\Delta t_2}$$
$$10 = \frac{300}{\Delta t_2}$$
$$\Delta t_2 = \frac{300}{10}$$
$$\Delta t_2 = 30 \text{ s}$$

Podemos calcular a velocidade média dos dois trechos utilizando a seguinte equação:

$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x_{\text{trecho1}} + \Delta x_{\text{trecho2}}}{\Delta t_{\text{trecho1}} + \Delta t_{\text{trecho2}}}$$
$$v_{\text{média}} = \frac{100 + 300}{20 + 30}$$
$$v_{\text{média}} = \frac{400}{50}$$
$$v_{\text{média}} = 8 \text{ m/s}$$

Portanto, a velocidade média do atleta nos trechos 1 e 2 é de 8 m/s.

O próximo passo será o de calcular a velocidade do atleta no trecho 1 para que a velocidade média continue a ser 8 m/s, percorrendo o trecho 2 com velocidade de 8 m/s.

O novo  $\Delta t$  para o trecho 2 fica:

Trecho 2:  $\Delta x = 300$  m e  $v = 8$  m/s.

$$v_{\text{trecho 2}} = \frac{\Delta x_{\text{trecho 2}}}{\Delta t_{\text{trecho 2}}}$$
$$8 = \frac{300}{\Delta t_{\text{trecho 2}}}$$
$$\Delta t_{\text{trecho 2}} = \frac{300}{8}$$



$$\Delta t_{\text{trecho } 2} = 37,5 \text{ s}$$

O intervalo de tempo  $\Delta t$  para o trecho 1 fica:

$$v_{\text{média}} = \frac{\Delta x_{\text{trecho } 1} + \Delta x_{\text{trecho } 2}}{\Delta t_{\text{trecho } 1} + \Delta t_{\text{trecho } 2}}$$

Como a velocidade média deve continuar sendo 8 m/s, então:

$$8 = \frac{100 + 300}{\Delta t_{\text{trecho } 1} + 37,5}$$

$$8(\Delta t_{\text{trecho } 1} + 37,5) = 400$$

$$8 \cdot \Delta t_{\text{trecho } 1} + 300 = 400$$

$$8 \cdot \Delta t_{\text{trecho } 1} = 100$$

$$\Delta t_{\text{trecho } 1} = \frac{100}{8}$$

$$\Delta t_{\text{trecho } 1} = 12,5 \text{ s}$$

Por fim, utilizaremos o valor encontrado para o intervalo de tempo do trecho 1, e a distância percorrida, que é de 100 m:

$$v_{\text{trecho } 1} = \frac{\Delta x_{\text{trecho } 1}}{\Delta t_{\text{trecho } 1}}$$

$$v_{\text{trecho } 1} = \frac{100}{12,5}$$

$$v_{\text{trecho } 1} = 8 \text{ m/s}$$

**Gabarito: C**

8. (SEDUC – RS/2023- AOCP) Um móvel está em movimento segundo o MRUV (Movimento Retilíneo Uniformemente Variado), cujo espaço  $s$ , medido na trajetória (em metros) a partir de uma origem, varia em função do tempo conforme a função a seguir:

$$s = 20 - 5t + \frac{t^2}{2}$$

Assinale a alternativa que apresenta a função da velocidade escalar em relação ao tempo.

a)  $v = 20 + 2t$ .

b)  $v = -5 + t$ .

c)  $v = -5 + 2t$ .

d)  $v = 20 - 5t$ .

e)  $v = 15 + 2t$ .

**Comentários:**

A equação horária da posição de um corpo em MRUV é dada por:



$$S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$s = 20 - 5t + \frac{t^2}{2}$$

Note que, comparando com a equação fornecida, podemos concluir que  $S_0 = 20 \text{ m}$ ,  $v_0 = -5 \text{ m/s}$ ,  $a = 1 \text{ m/s}^2$ .

Como a equação horária da velocidade de um corpo é dada por:

$$v = v_0 + at$$

Então, substituindo os valores reconhecidos, temos:

$$v = -5 + t$$

**Gabarito: B.**

9. (SEED – PR/2023- Consulplan) Um policial está parado no acostamento de uma de uma rodovia plana e reta quando vê passar por ele um veículo com velocidade constante de 144 km/h. Como o veículo está trafegando com uma velocidade muito acima da permitida para a via, o policial imediatamente resolve utilizar seu carro para perseguir o motorista infrator. Considere que o primeiro veículo mantém a velocidade em todo o trajeto e que o policial o persegue mantendo uma aceleração constante de 5 m/s<sup>2</sup>. No momento em que o policial consegue atingir a velocidade do carro que está perseguindo, a distância que separa o policial do veículo perseguido é de quantos metros?

- a) 160 m
- b) 190 m
- c) 320 m
- d) 480 m

**Comentários:**

Primeiro devemos determinar quanto tempo leva para o policial, partindo do repouso, atingir 144 km/s = 40 m/s.

$$v = v_0 + at$$

$$40 = 0 + 5t$$

$$t = \frac{40}{5}$$

$$t = 8 \text{ s}$$

Agora, calculamos o deslocamento tanto do policial quanto do veículo infrator neste intervalo de tempo.

Note que o veículo infrator se move com velocidade constante.

$$d = v \cdot t$$

$$\Delta S = 40 \cdot 8$$



$$\Delta S = 320 \text{ m}$$

Já o policial acelera durante o movimento.

$$d = v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

$$\Delta S = 0 \cdot 8 + \frac{5 \cdot 8^2}{2}$$

$$\Delta S = \frac{5 \cdot 64}{2}$$

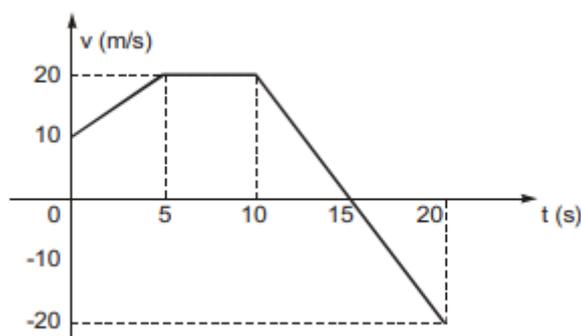
$$\Delta S = 160 \text{ m}$$

A distância entre o policial e o veículo infrator corresponde à diferença entre as distâncias percorridas por ambos.

$$d = 320 - 160 = 160 \text{ m}$$

**Gabarito: A.**

10. (SEDUC – MA/2005 - FCC) A Velocidade escalar de um móvel, que percorre uma trajetória retilínea, varia com o tempo de acordo com o gráfico abaixo.



**Analisando o gráfico, é correto concluir que**

- a) a aceleração escalar média, no intervalo de 0 a 10 s, é de 2,0 m/s.
- b) a velocidade escalar média, no intervalo de 0 a 15 s, é de 15 m/s.
- c) o movimento é progressivo apenas no intervalo de 0 a 5,0 s.
- d) o movimento é retardado apenas no intervalo de 15 s a 20 s.
- e) o movimento é acelerado apenas no intervalo de 0 a 5,0 s.

**Comentários:**

Vamos ter que avaliar alternativa por alternativa.

A) INCORRETA.

A aceleração escalar média é dada pela seguinte equação:



$$a_m = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

Para o intervalo de 0 a 10 s, temos que a velocidade inicial é 10 m/s e a final 20 m/s. O tempo inicial é 0 s e o final 10s. Substituindo esses valores na equação, temos:

$$a_m = \frac{20 - 10}{10 - 0}$$

Portanto, a aceleração média fica:

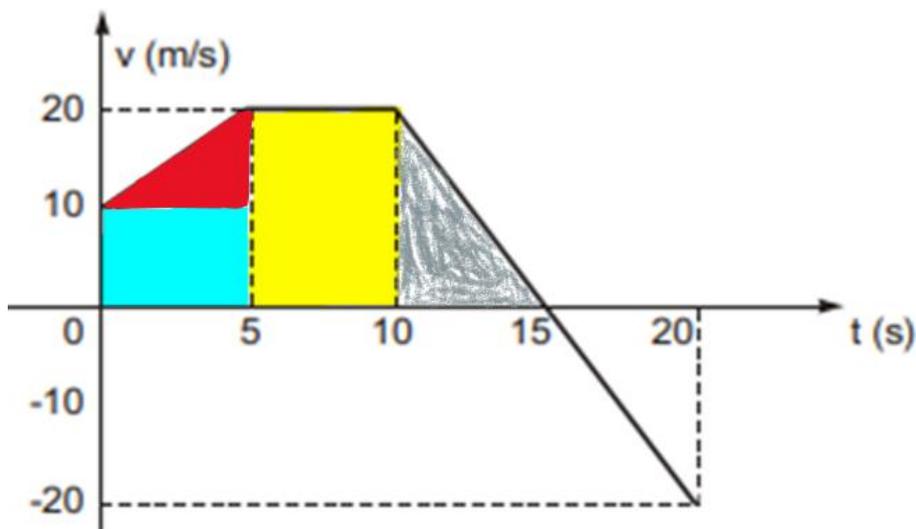
$$a_m = 1 \text{ m/s}^2$$

B) CORRETA.

A velocidade escalar média é dada pela equação:

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

Para encontrar o deslocamento  $\Delta S$ , calculamos a área do gráfico nos instantes 0 a 15 s.



Podemos separar a área do gráfico em figuras geométricas conhecidas para facilitar o cálculo da área.

A área do triângulo retângulo vermelho fica:

$$A_{\text{vermelha}} = \frac{b \cdot h}{2}$$

$$A_{\text{vermelha}} = \frac{5 \cdot 10}{2}$$

$$A_{\text{vermelha}} = 25 \text{ m}$$

A área em azul claro, é um retângulo:

$$A_{\text{azul}} = b \cdot h$$

$$A_{\text{azul}} = 5 \cdot 10$$

$$A_{\text{azul}} = 50 \text{ m}$$



Em amarelo, temos novamente um retângulo:

$$A_{\text{amarelo}} = b \cdot h$$
$$A_{\text{amarelo}} = 5 \cdot 20$$
$$A_{\text{amarelo}} = 100 \text{ m}$$

Por último, a área em cinza é um triângulo retângulo:

$$A_{\text{cinza}} = \frac{b \cdot h}{2}$$
$$A_{\text{cinza}} = \frac{5 \cdot 20}{2}$$
$$A_{\text{cinza}} = 50 \text{ m}$$

O deslocamento total até o instante de 15s fica igual à soma das áreas calculadas.

$$\Delta S = A_{\text{vermelha}} + A_{\text{azul}} + A_{\text{amarelo}} + A_{\text{cinza}}$$
$$\Delta S = 25 + 50 + 100 + 50$$
$$\Delta S = 225 \text{ m}$$

Assim, no intervalo de tempo 0 a 15 s ( $\Delta t = 15 \text{ s}$ ), a velocidade média fica:

$$v_m = \frac{225}{15}$$
$$v_m = 15 \text{ m/s}$$

C) INCORRETA.

Um movimento é classificado como progressivo quando sua posição aumenta ao longo do tempo. Dessa forma, o movimento é progressivo em qualquer intervalo para o qual a velocidade do corpo é positiva. Assim, o movimento é progressivo para o intervalo entre  $t = 0 \text{ s}$  e  $t = 15 \text{ s}$ .

D) INCORRETA.

Um movimento é classificado como retardado quando o módulo de sua velocidade reduz ao longo do tempo. Dessa forma, o movimento somente é retardado entre 10 s e 15 s. Note que no intervalo de 15 s a 20 s o módulo da velocidade aumenta (a velocidade se torna cada vez mais negativa). Por esse motivo ele é classificado como acelerado.

E) INCORRETA.

Um movimento é classificado como acelerado quando o módulo de sua velocidade aumenta ao longo do tempo. Note que o módulo da velocidade aumenta não só para intervalos de tempo entre 0 s e 5 s, mas também no intervalo de 15 s a 20 s.

**Gabarito: B**



11. (SEE – AC/2023 - IBFC) No desenho animado “Papa-léguas e Coiote” o Coiote busca de todas as formas capturar o papa-léguas com as mais variadas artimanhas.



Considere o caso da cena acima em que o papa léguas passa pelo coiote a uma velocidade de aproximadamente 10 m/s e que o coiote consegue acionar o foguete, inicialmente parado, apenas 10 segundos após a passagem do papa léguas, sendo propulsionado com uma aceleração de 10 m/s<sup>2</sup> por 4 segundos e depois desacelerado continuamente a uma aceleração constante de 2 m/s<sup>2</sup>. Diante do exposto, assinale a alternativa correta.

- a) O coiote não alcança o papa-léguas e a distância entre eles só aumenta desde o momento que o coiote começou a se movimentar.
- b) O coiote não alcança o papa-léguas, mas chega a ficar mais próximo dele do que a distância que estava quando iniciou o movimento.
- c) Ele alcança o papa-léguas durante a propulsão do foguete.
- d) Ele alcança o papa-léguas após a propulsão do foguete, apesar de estar desacelerando.

**Comentários:**

O papa léguas corre por 10 s a velocidade de 10 m/s enquanto o coiote está parado. Então, o deslocamento do papa léguas ( $\Delta S_p$ ) fica:

$$\Delta S_p = v_p \cdot \Delta t$$

$$\Delta S_p = 10 \cdot 10$$

$$\Delta S_p = 100 \text{ m}$$

Note que neste mesmo intervalo de tempo o coiote fica parado, tendo deslocamento  $\Delta S_c$  nulo.

Podemos obter o deslocamento percorrido nos primeiros 4 s que o coiote entra em movimento acelerado, saindo do repouso, com a equação do deslocamento para o MRUV:

$$\Delta S_c = v_0 \cdot t + a \cdot \frac{t^2}{2}$$

$$\Delta S_c = 0 + 10 \cdot \frac{4^2}{2}$$

$$\Delta S_c = 80 \text{ m}$$

Assim, nos 14 s iniciais de movimento, o papa léguas terá um deslocamento de:



$$\Delta S_p = S_0 + v_p \cdot \Delta t$$

$$\Delta S_p = 100 + 10 \cdot 4$$

$$\Delta S_p = 140 \text{ m}$$

A velocidade do coite, ao final dos 4 s de aceleração será de:

$$v = v_0 + a \cdot t$$

$$v = 0 + 10 \cdot 4$$

$$v = 40 \text{ m/s}$$

Para saber se o coite alcança o papa léguas, igualamos as equações horárias das posições:

$$\Delta S_c = \Delta S_p$$

$$S_{0c} + v_p t - \frac{at^2}{2} = S_{0p} + v_p t$$

Note que a velocidade inicial corresponde à velocidade atingida ao final do período de 4 s de aceleração. Ao reduzir a velocidade, vamos assumir uma velocidade com sinal negativo. As posições iniciais do coite e do papa léguas são seus deslocamentos calculados anteriormente.

$$80 + 40t - \frac{2t^2}{2} = 140 + 10 \cdot t$$

$$-t^2 + 40t - 10t + 80 - 140 = 0$$

$$-t^2 + 30t - 60 = 0$$

$$t^2 - 30t + 60 = 0$$

Resolvendo por Bháskara:

$$t = \frac{-(-30) \pm \sqrt{(-30)^2 - 4 \cdot 1 \cdot 60}}{2 \cdot 1}$$

$$t = \frac{30 \pm \sqrt{900 - 240}}{2}$$

$$t = \frac{30 \pm \sqrt{660}}{2}$$

$$t \cong \frac{30 \pm 25,7}{2}$$

$$t \cong \begin{cases} \frac{30 + 25,7}{2} \cong 27,8 \text{ s} \\ \frac{30 - 25,7}{2} \cong 2,2 \text{ s} \end{cases}$$

Como a velocidade inicial do coite no momento em que termina a propulsão do foguete e ele se move com aceleração igual a -2 m/s<sup>2</sup> é igual a 40 m/s, então o coite somente se move por um intervalo de tempo de 20 s até a parada total.

Assim, o valor de t que devemos considerar é apenas 2,2 s.



Ou seja, o coioete vai conseguir alcançar o papa léguas quando estiver reduzindo sua velocidade, após a propulsão do foguete.

**Gabarito: D.**

12. (SEE – AC/2013- FUNCAB) Uma montadora de automóveis anunciou em sua propaganda que um determinado modelo de carro é capaz de atingir 100 km/h em apenas 5 segundos, a partir do repouso. Nesse caso, pode-se dizer que a aceleração média do carro anunciado é de, aproximadamente:

- a) 8,4 m/s<sup>2</sup>
- b) 4,5 m/s<sup>2</sup>
- c) 5,5 km/h<sup>2</sup>
- d) 6,6 m/s<sup>2</sup>
- e) 5,5 m/s<sup>2</sup>

**Comentários:**

A aceleração média é definida como:

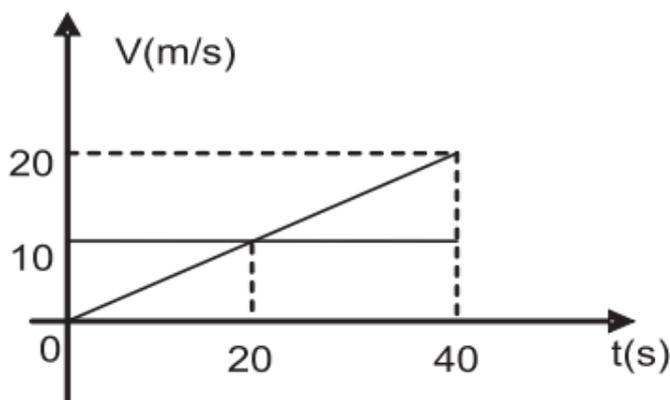
$$a = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

Convertendo a velocidade para unidade do SI, 100 km/h = 27,7 m/s, e substituindo na equação, obtemos:

$$a = \frac{27,7 - 0}{5}$$
$$a = 5,5 \text{ m/s}^2$$

**Gabarito: E.**

13. (SEDUC – RO/2010- FUNCAB) Dois móveis (A e B) partiram do mesmo alinhamento, sobre uma pista retilínea e horizontal, com trajetórias paralelas. Suas velocidades escalares variaram com o tempo como mostra o gráfico da figura. A distância do ponto no qual os móveis estiveram novamente emparelhados ao ponto de partida foi de:



- a) 20 m
- b) 40 m
- c) 200 m
- d) 400 m
- e) 800 m

**Comentários:**

Para que dois corpos em movimento, partindo do mesmo ponto inicial, voltem a se encontrar é necessário que ambos tenham o mesmo deslocamento.

O deslocamento de um corpo pode ser dado pelo cálculo da área sob a curva do gráfico de velocidade pelo tempo.

Note que as áreas serão iguais aos 40 segundos, visto a simetria apresentada no gráfico.

Chamando o corpo que mantém velocidade constante de corpo A e, de B o corpo em movimento acelerado, temos:

$$\begin{aligned}\Delta S_A &= \Delta S_B \\ \text{Área}_A &= \text{Área}_B \\ 10 \times 40 &= \frac{20 \times 40}{2}\end{aligned}$$

Assim, a distância entre o ponto de partida e o ponto onde novamente os corpos se encontram é dado pela equação horária da posição de qualquer um dos corpos:

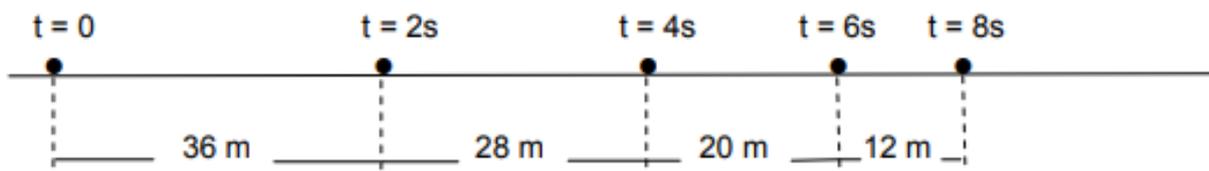
$$S_A = S_{0A} + v_A t$$

Considerando a posição inicial como a origem do referencial, temos:

$$\begin{aligned}S_A &= 0 + 10 \cdot 40 \\ S_A &= 400 \text{ m}\end{aligned}$$

**Gabarito: D.**

14. (SEDUC – RJ/2007) Observa-se durante 8 s o movimento uniformemente variado de uma partícula ao longo de sua trajetória retilínea, registrando-se sua posição a cada 2 s, como mostra o esquema abaixo.



O módulo da velocidade escalar da partícula em t = 4 s é:

- a) 14 m/s
- b) 12 m/s



- c) 10 m/s
- d) 7 m/s
- e) 5 m/s

**Comentários:**

Com os dados da figura, podemos determinar sua velocidade inicial e aceleração por meio da resolução de um sistema montado a partir de suas equações horárias de posição em dois instantes distintos.

$$S = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Atribuindo a origem do referencial no ponto onde  $t = 0$  s, para os primeiros 2 segundos de movimento, temos:

$$36 = 0 + v_0 2 + \frac{a 2^2}{2}$$

$$36 = 2v_0 + 2a$$

Já, para os primeiros 4 segundos de movimento temos:

$$36 + 28 = 0 + v_0 4 + \frac{a 4^2}{2}$$

$$64 = 4v_0 + 8a$$

Resolvendo o sistema:

$$\begin{cases} 36 = 2v_0 + 2a \\ 64 = 4v_0 + 8a \times (-0,5) \end{cases}$$

$$\begin{cases} 36 = 2v_0 + 2a \\ -32 = -2v_0 - 4a \end{cases}$$

$$4 = -2a$$

$$a = \frac{4}{-2}$$

$$a = -2 \text{ m/s}^2$$

A velocidade inicial do movimento fica:

$$36 = 2v_0 + 2(-2)$$

$$36 = 2v_0 - 4$$

$$36 + 4 = 2v_0$$

$$v_0 = \frac{40}{2}$$

$$v_0 = +20 \text{ m/s}$$

Com essas informações, podemos calcular a velocidade da partícula aos 4 segundos de movimento por meio da equação horária da velocidade.

$$v = v_0 + at$$



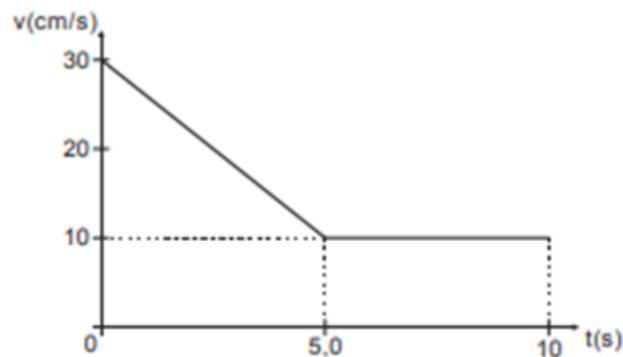
$$v = 20 - 2 \cdot 4$$

$$v = 20 - 8$$

$$v = 12 \text{ m/s}$$

**Gabarito: B.**

15. (SEDU – ES/2016- FCC) Considere abaixo o gráfico  $v$  versus  $t$  em certo deslocamento retilíneo  $\Delta s$ .



O deslocamento tem módulo, em metros, de

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

**Comentários:**

O deslocamento pode ser obtido pelo cálculo da área sob a curva do gráfico de velocidade pelo tempo.

A área total pode ser dividida em duas: a área do triângulo para as velocidades entre 10 e 30 cm/s, até 5 s, e a área do retângulo abaixo, com velocidade igual a 10 cm/s, durante os 10 s.

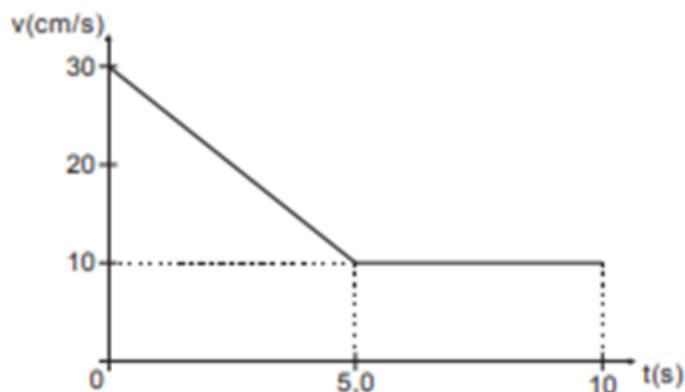
$$\begin{aligned}\Delta S &= \text{Área}_{total} \\ \Delta S &= A_1 + A_2 \\ \Delta S &= \frac{(30 - 10) \cdot 5}{2} + 10 \cdot 10 \\ \Delta S &= 50 + 100 \\ \Delta S &= 150 \text{ cm}\end{aligned}$$

Como a resposta é pedida em metros, 150 cm corresponde a 1,5 m.

**Gabarito: C.**



16. (SEDU – ES/2016- FCC) Considere abaixo o gráfico  $v$  versus  $t$  em certo deslocamento retilíneo  $\Delta s$ .



A aceleração média do movimento é, em  $\text{cm/s}^2$ ,

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

**Comentários:**

A aceleração média é calculada pela razão da variação da velocidade ao longo do intervalo de tempo considerado.

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

Considerando a aceleração média para os 10 segundos de movimento, temos:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\Delta V}{\Delta t} \\ a &= \frac{V_f - V_i}{t_f - t_i} \\ a &= \frac{10 - 30}{10 - 0} \\ a &= \frac{-20}{10} \\ a &= -2 \text{ cm/s}^2 \end{aligned}$$

**Gabarito: A.**



17. (SEE – PB/2011- FAPERP) Desprezando-se a resistência do ar, um corpo em queda livre percorre uma distância  $d_1$  num intervalo de tempo de 3 s. Para este mesmo corpo percorrer, em queda livre, uma distância 36 vezes que  $d_1$ , o intervalo de tempo gasto será de:

- a) 36 s.
- b) 18 s.
- c) 12 s.
- d) 6 s.

**Comentários:**

O movimento de queda livre, somente sob a ação da gravidade, é um exemplo de movimento retilíneo uniformemente variado, pois ocorre com aceleração constante e não nula.

Assim, o deslocamento de m corpo em queda livre pode ser dado pela seguinte equação:

$$d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Como a velocidade inicial é igual a zero e a aceleração é constante e igual a  $g$ , o deslocamento acaba sendo proporcional ao quadrado do intervalo de tempo de queda

$$d_{queda} = \frac{g \cdot t^2}{2}$$

Assim, para um deslocamento 36 vezes maior, alterando unicamente o intervalo de tempo de queda, devemos permitir que o corpo caia por um intervalo de tempo 6 vezes maior.

Como o intervalo de tempo inicial era de 3 s, o novo intervalo de tempo será de:

$$\Delta t = 6 \cdot 3 = 18 \text{ s}$$

**Gabarito: B.**

18. (SEDUC – MA/2005- FCC) Uma pedra é abandonada a partir do repouso e cai livremente, num local onde a aceleração gravitacional tem intensidade  $10 \text{ m/s}^2$ . Durante o terceiro segundo de queda, a pedra percorre, em metros,

- a) 60
- b) 45
- c) 35
- d) 30
- e) 25

**Comentários:**

Para resolver a questão, primeiro calculamos a velocidade da pedra aos 3 segundos de queda.

Esse valor corresponderá à velocidade inicial do intervalo solicitado.

$$v(t) = v_0 + a t$$



$$v(3) = 0 + 10 \cdot 3$$

$$v(3) = 30 \text{ m/s}$$

Assim, durante o terceiro segundo ( $3 \text{ s} \leq t \leq 4 \text{ s}$ ), a distância percorrida será igual ao deslocamento, que pode ser obtido a partir da equação horária da posição para o MRUV.

$$d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

Ao se assumir um referencial positivo verticalmente para baixo, temos:

$$d = 30 \cdot (4 - 3) + \frac{10 \cdot (4 - 3)^2}{2}$$

$$d = 30 + 5$$

$$d = 35 \text{ m}$$

**Gabarito: C.**

**19. (SEED – AP/2012- Universa) Um homem lança uma bola verticalmente para baixo, do topo de um prédio de grande altura. A força aplicada pelo homem sobre a bola para efetuar o lançamento é constante e igual a 10,0 N e dura 1,00 s. A resistência do ar é desprezada. Considerando a massa da bola igual a 500 g, a aceleração da bola imediatamente após deixar a mão do homem é igual a**

- a) 10 m/s<sup>2</sup>.
- b) 12 m/s<sup>2</sup>.
- c) 15 m/s<sup>2</sup>.
- d) 20 m/s<sup>2</sup>.
- e) 30 m/s<sup>2</sup>.

**Comentários:**

Após deixar a mão do homem, a única força exercida sobre a bola é a força gravitacional, já que a força de resistência do ar foi desprezada.

Assim, somente sob a ação da gravidade, a bola terá um movimento de queda livre, na vertical, aumentando sua velocidade uniformemente a uma taxa igual à aceleração gravitacional, de aproximadamente 10 m/s<sup>2</sup>.

**Gabarito: A.**

**20. (SEDUC – RO/2016- IBADE) Do topo de um edifício deixa-se cair uma pedra que leva 4 s para atingir o solo. Considerando que a aceleração da gravidade no local é de 10 m/s<sup>2</sup>, pode-se dizer que a velocidade com que a pedra atinge o solo e a altura do edifício são, respectivamente, em m/s e metros:**

- a) 40 e 80.
- b) 50 e 90.
- c) 40 e 70.



d) 50 e 80.

e) 30 e 90.

**Comentários:**

Considerando que o deixar cair descrito na questão corresponde a uma velocidade inicial nula para a pedra, podemos calcular a velocidade com que ela atinge o solo com a equação horária da velocidade para o MRUV, considerando um movimento de queda livre.

Vamos assumir um sistema de referências vertical e crescente para baixo.

$$\boxed{V_f = V_i + a \cdot t}$$

$$V_f = 0 + 10 \cdot 4$$

$$V_f = 40 \text{ m/s}$$

A altura da queda pode ser calculada a partir do deslocamento da pedra.

$$\boxed{d = \left( \frac{V_i + V_f}{2} \right) \cdot t}$$

$$d = \left( \frac{40 + 0}{2} \right) \cdot 4$$

$$d = +80 \text{ m}$$

Com esse resultado, a altura do prédio vale 80 m.

**Gabarito: A.**

**21. (SEED – PR/2023- Consulplan) O tecido acrobático é uma arte circense que exige muita força e flexibilidade, em que o artista realiza várias manobras aéreas enrolado em um tecido. Em uma de suas apresentações um talentoso artista subiu se enrolando no tecido até uma altura de 10 metros em relação ao solo e se jogou, caindo com uma aceleração de  $8 \text{ m/s}^2$ , devido a uma resistência gerada pelo tecido, até que se segura a poucos metros do solo, parando instantaneamente. Dada a aceleração da gravidade igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ , qual a razão entre o tempo de queda do artista, enrolado no lençol e o tempo de queda dele caso tivesse caindo em queda livre?**

a) 0,35

b)  $\sqrt{4,9}/2$

c)  $\sqrt{4,9}/4$

d)  $\sqrt{9,8}/2$

**Comentários:**

Para responder à questão basta resolvermos a equação da posição do corpo para ambas as acelerações considerando a velocidade inicial e sua altura final iguais a zero.

$$\boxed{d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}}$$



Vou assumir um sistema de referência vertical e crescente para baixo.

Para a aceleração de  $8 \text{ m/s}^2$  obtida com o auxílio do tecido, temos:

$$10 = 0 \cdot t + \frac{8 \cdot t^2}{2}$$

$$10 = 4 t^2$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{10}{4}} \text{ s}$$

Para a aceleração da gravidade igual a  $9,8 \text{ m/s}^2$ , temos:

$$10 = 0 \cdot t + \frac{9,8 \cdot t^2}{2}$$

$$10 = 4,9 t^2$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{10}{4,9}} \text{ s}$$

A razão entre os dois tempos fica:

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{t_{\text{enrolado no lençol}}}{t_{\text{queda-livre}}} = \frac{\sqrt{\frac{10}{4}}}{\sqrt{\frac{10}{4,9}}}$$

$$\frac{t_{\text{enrolado no lençol}}}{t_{\text{queda-livre}}} = \sqrt{\frac{10}{4}} \sqrt{\frac{4,9}{10}}$$

$$\frac{t_{\text{enrolado no lençol}}}{t_{\text{queda-livre}}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 4,9}{4 \cdot 10}}$$

$$\frac{t_{\text{enrolado no lençol}}}{t_{\text{queda-livre}}} = \sqrt{\frac{4,9}{4}}$$

$$\frac{t_{\text{enrolado no lençol}}}{t_{\text{queda-livre}}} = \frac{\sqrt{4,9}}{2}$$

**Gabarito: B.**

22. (SEC – BA/2023 - IBFC) Do trabalho “Galileu contra a inércia circular” de Júlio C. R. de Vasconcelos é retirado o seguinte trecho:

“[...] deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas externas de



aceleração ou retardamento; [...] (EN, 8, p. 243; Galileu Galilei, *Duas novas ciências*; Trad. de L. Mariconda & P. R. Mariconda. São Paulo: Nova Stella, 1988., p. 213).

(...)

A título de conclusão, propõe-se que este é o enunciado que melhor caracteriza a \_\_\_\_\_ de Galileu; (...) sua decidida e firme escolha é pela afirmação da preservação do grau de velocidade, seja qual for o movimento que estiver sendo considerado.” Fonte: Vasconcelos (*Scientiae Studia* v.3, n.3, p. 395, 2005).

Assinale, entre as alternativas abaixo, aquela que corretamente preencha a lacuna da citação e apresenta um parágrafo compatível com as obras galileiana e newtoniana.

a) Conservação do momento angular, “Temos Galileu argumentando que a velocidade tomada de maneira generalizada pelo termo ‘grau de velocidade’ sugere que o movimento circular uniforme podia ser aplicado ao movimento planetário, como Newton conseguiu por meio do cálculo nos Principia”

b) Composição do movimento; “Temos, portanto, a formulação de que o movimento pode ser decomposto nas diferentes direções, sendo as componentes denominadas por Galileu como ‘grau de velocidade’, e que Newton nos Principia optou por representar como as componentes do vetor velocidade e sobre elas realizar a integração das equações de movimento”

c) Conservação da Energia; “Galileu, ao defender a velocidade como um conceito geral com o termo ‘grau de velocidade,’ está se referindo a todo movimento e está antecipando o que posteriormente seria descoberto como o ‘teorema da energia cinética’ por Leibniz e que Newton não abordou nos Principia”

d) Lei da Inércia; “Assim, não está aqui nesta obra de Galileu um rascunho acabado da física newtoniana, pois faltaria o princípio de inércia retilíneo. Mas, não deixam de ter alguma razão aqueles que atribuem a Galileu uma honrosa contribuição com o desenvolvimento do princípio de inércia”

e) Lei da gravidade; “Galileu enuncia, assim, o princípio de inércia retilíneo como conservação do ‘grau de velocidade’, portanto, ele pode estender seu argumento para a necessidade de uma Lei para a gravidade que rompe com essa conservação, devido à verificação experimental da queda acelerada, assim como observou Newton nos Principia”

#### **Comentários:**

Dentro da mecânica de Newton, não existe diferença entre um corpo se mover em linha reta com velocidade constante ou estar e permanecer em repouso. As configurações dinâmicas de um corpo que se move em MRU (Movimento Retilíneo Uniforme) e outro que está e permanece em repouso são idênticas.

Na natureza, todos os corpos em repouso tendem a permanecer em repouso, assim como todos os corpos que se movem tendem a se mover uniformemente em linha reta. Esta tendência "natural" se chama INÉRCIA. O conceito de Inércia foi desenvolvido por Galileu Galilei que, por coincidência, morreu no dia em que Newton nasceu.

O texto levanta a concepção de Galileu para a lei da Inércia, uma vez que Galileu defende que um corpo preserva seu grau de velocidade a menos que sejam exercidas forças sobre ele, o que o leva a uma aceleração ou retardamento.

**Gabarito: D.**



23. (SEDUC – RO/2016 - IBADE) Uma folha de 0,2 g de massa cai de uma árvore com velocidade constante. A força resultante sobre essa folha, sabendo que ela está sujeita à força de resistência do ar é então em newtons, adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ :

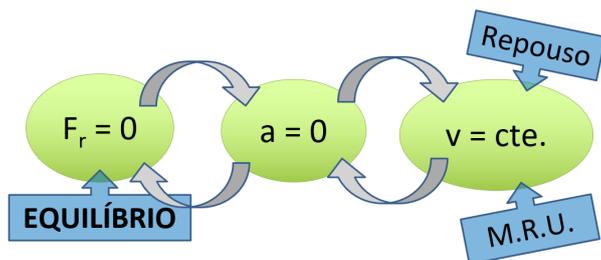
- a) 1.
- b) 2.
- c) 0.
- d) 4.
- e) 3.

**Comentários:**

Se a resultante das forças sobre um corpo é nula, ou seja, se todas as forças aplicadas sobre um corpo se equilibram e se anulam, o lado esquerdo da equação fica igual a zero. Assim, para que o lado direito também seja zero e respeite a igualdade, obrigatoriamente a aceleração deve ser também nula.

A aceleração de um corpo ser nula, conforme visto em nossa aula de Cinemática, implica no fato de a velocidade não sofrer variação, ou seja, a velocidade do corpo será constante.

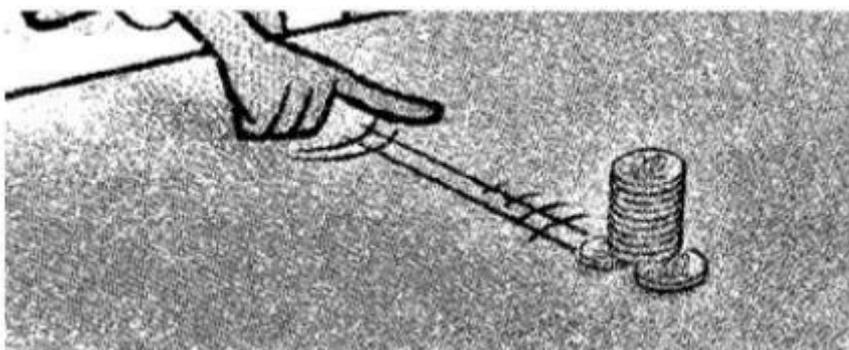
Portanto, restará para o corpo se mover em Movimento Retilíneo Uniforme (MRU) ou, se estiver em repouso (velocidade igual a zero), assim permanecer.



**Gabarito: C.**

24. (SEDUC – RS/2023 - AOCP) Pedro, professor de Física, com o intuito de utilizar uma metodologia diferente, após terminar seu conteúdo na 1ª série do Ensino Médio, solicitou que os estudantes fizessem o experimento a seguir no laboratório de Física, utilizando 11 moedas iguais e uma de espessura menor:

1. faça uma pilha cilíndrica com as onze moedas iguais, colocando umas sobre as outras;
2. impulsione com o dedo a moeda de espessura menor.



Após os estudantes terem feito diversos testes com velocidades distintas impulsionando a moeda de espessura menor, eles explicaram ao professor que o fenômeno ocorre nas seguintes condições: se a velocidade da moeda for suficientemente grande, ela tirará do lugar a moeda de baixo sem desequilibrar o resto da pilha de moedas. A grande velocidade é necessária porque o efeito da força de atrito, entre a primeira e a segunda moeda na pilha, depende do impulso dessa força. Assim, se empurrarmos a moeda rapidamente, o impulso será pequeno, causando uma perturbação mínima no resto das moedas da pilha. A moeda de espessura menor é necessária para que não haja choque com a segunda moeda da pilha. Desse modo, assinale a alternativa que apresenta corretamente o princípio físico que explica esse fenômeno.

- a) Princípio fundamental da dinâmica.
- b) Princípio da ação e reação.
- c) Princípio de Arquimedes.
- d) Princípio da inércia, pois a pilha tende a permanecer em repouso.
- e) Os princípios da fundamental da dinâmica em conjunto com o princípio da ação e reação.

**Comentários:**

Ao tocar a base da pilha de moedas, a moeda bate e substitui a moeda de baixo. A pilha acima rapidamente tem seu equilíbrio reestabelecido.

Se o atrito entre a moeda de baixo que se move for desprezível, então podemos assumir que as moedas da pilha não se movem devido à inércia.

**Gabarito: D.**

25. (SEED – PR/2023- Consulplan) Determinado professor pediu a três de suas alunas para que descrevessem exemplos onde a terceira lei de Newton pudesse ser aplicada. Cada uma delas refletiu por um instante e respondeu ao professor da seguinte forma:

- Lívia: quando estamos nadando devemos empurrar a água no sentido oposto ao que queremos ir, pois, ao empurrar a água, ela nos empurrará de volta, mas no sentido contrário.
- Alice: quando eu estou sentada em uma cadeira, a Terra faz uma força para me puxar para baixo enquanto a cadeira faz uma força, de mesma intensidade, para cima, para me manter em equilíbrio.
- Manuela: ao chutar uma bola com muita força podemos machucar o pé, pois do mesmo jeito que o nosso pé faz uma força na bola, a bola faz uma força com a mesma intensidade no nosso pé.

Dentre as afirmações das alunas, estão corretas

- a) Lívia e Alice, apenas.
- b) Lívia, Alice e Emanuela.
- c) Lívia e Emanuela, apenas.
- d) Alice e Emanuela, apenas.

**Comentários:**

A Terceira Lei de Newton propõe uma explicação de como que ocorrem as interações entre corpos na natureza.



A partir dos conceitos científicos e definições atuais, a Terceira Lei de Newton pode ser reescrita como:

“FORÇA é uma interação que surge aos pares, onde toda força de ação é correspondida por uma força de reação, instantaneamente, de mesma intensidade, na mesma direção, mas no sentido contrário.”

- Lívia: CORRETA.

Empurrar a água e ser empurrado de volta ao mesmo tempo está no contexto da 3ª Lei de Newton, pois a interação da pessoa com a água forma um par ação-reação.

- Alice: ERRADA.

As forças Peso e Normal não formam um par ação-reação.

A reação à força Peso é a força que a pessoa aplica sobre o planeta, puxando-o em sua direção.

A força aplicada pela cadeira sobre seu corpo é uma força de reação normal à superfície. A força que a Alice aplica sobre a cadeira tem como reação a força que a cadeira aplica sobre ela.

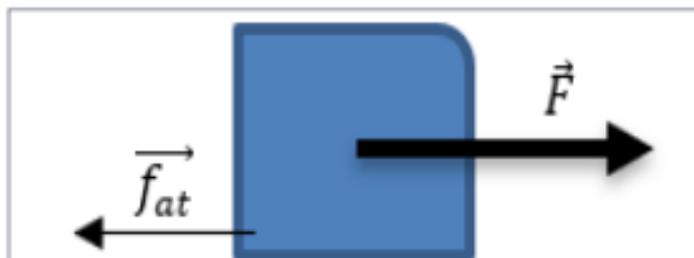
A força de reação normal e a força peso sobre o corpo de Aline não são forças de mesma natureza, sendo a primeira de origem eletromagnética e a segunda de origem gravitacional.

- Manuela: CORRETA.

Ao chutar a bola, quando o pé entra em contato com a bola, existe uma força de interação entre eles. O pé empurra a bola ao mesmo tempo em que a bola empurra o pé. Essa interação ocorre com iguais intensidades, tanto na bola quanto no pé, formando um par ação-reação, conforme a 3ª Lei de Newton.

**Gabarito: C.**

**26. (SEDUC – RS/2023 - AOCP) O bloco da figura a seguir tem massa de 2.000 g e é arrastado em linha reta, sobre uma superfície que possui um atrito considerável, por uma força horizontal  $\vec{F} = 8 \text{ N}$ . Sobre esse bloco atua uma força de atrito de 2 N.**



**Assinale a alternativa que apresenta corretamente o valor da aceleração do bloco.**

- a)  $1 \text{ m/s}^2$ .
- b)  $2 \text{ m/s}^2$ .
- c)  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ .
- d)  $1,5 \text{ m/s}^2$ .
- e)  $3 \text{ m/s}^2$ .

### Comentários:

Ao aplicarmos a Segunda Lei de Newton na direção paralela ao plano, na horizontal, assumindo um sistema de referência crescente para a direita, a aceleração do bloco pode, então, ser obtida:

$$\boxed{F_{res} = m a}$$

$$F - f_{at} = m a$$

Como a força  $F = 8 \text{ N}$ ,  $f_{at} = 2 \text{ N}$  e a massa  $m = 2000 \text{ g} = 2 \text{ kg}$ , a aceleração fica:

$$8 - 2 = 2 a$$

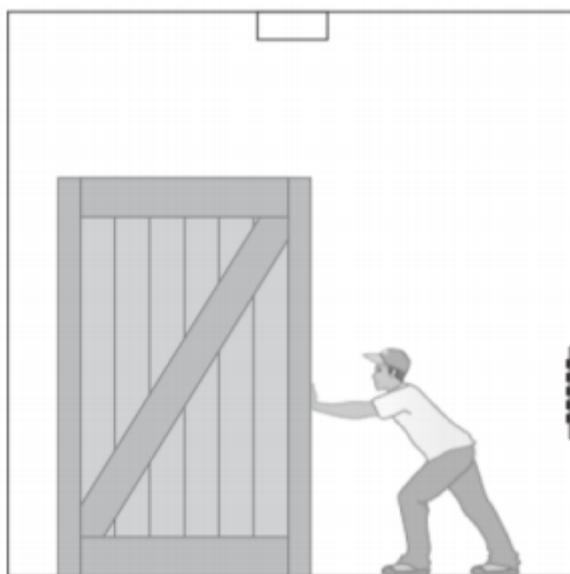
$$6 = 2 a$$

$$a = \frac{6}{2}$$

$$a = 3 \text{ m/s}^2$$

**Gabarito: E.**

27. (SEE – PE/2016 - FGV) Um elevador de carga está se movendo verticalmente. Sobre seu piso horizontal encontram-se um caixote muito pesado e um operário, ambos em repouso em relação ao elevador, como ilustra a figura a seguir.



Em um dado instante, o operário percebe que a força horizontal que ele precisou exercer sobre o caixote para fazê-lo começar a deslizar sobre o piso é menor (em módulo) do que a força horizontal que ele precisou exercer sobre o caixote para fazê-lo começar a deslizar quando o elevador estava em repouso.

A esse respeito, assinale V para a afirmativa verdadeira e F para a falsa.

( ) Nesse instante, a aceleração vertical do elevador tem o sentido para baixo.

( ) Não é possível afirmar se, nesse instante, o elevador está subindo ou descendo.

( ) O coeficiente de atrito estático entre o caixote e o piso horizontal do elevador não depende de o elevador estar se movendo verticalmente, acelerado ou retardado.

As afirmativas são, respectivamente,

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

#### Comentários:

A força que o operário precisa fazer para fazer o caixote iniciar o movimento é um pouco maior do que a força de atrito estático máximo. O módulo dessa força é dado pela seguinte relação:

$$F_{\text{Máx}}^{Ae} = \mu_e \cdot N$$

Note que, sobre uma superfície horizontal e em repouso, a força normal é igual, em módulo, ao peso do caixote, que é dado pelo produto  $m \cdot g$ .

Assim, podemos escrever:

$$F_{\text{Máx}}^{Ae} = \mu_e \cdot m \cdot g$$

(V) Nesse instante, a aceleração vertical do elevador tem o sentido para baixo.

Quando o elevador se move acelerado verticalmente, o módulo da força normal do piso do elevador sobre o caixote deixa de ser igual ao módulo do peso do caixote.

Ao aplicarmos a segunda lei de Newton para o elevador acelerado para baixo, com um sistema de referência crescente para cima, temos:

$$N - P = m \cdot (-a)$$

$$N = P - m a$$

$$N = m g - m a$$

$$N = m (g - a)$$

Veja que, quanto maior for a aceleração do elevador para baixo, menor será o módulo da força normal, que zera quando a aceleração for igual à da gravidade local.

(V) Não é possível afirmar se, nesse instante, o elevador está subindo ou descendo.

Este resultado para a força Normal será o mesmo, esteja o elevador subindo e reduzindo sua velocidade ou descendo e aumentando sua velocidade, pois em ambos os casos a aceleração é verticalmente para baixo.

(V) O coeficiente de atrito estático entre o caixote e o piso horizontal do elevador não depende de o elevador estar se movendo verticalmente, acelerado ou retardado.

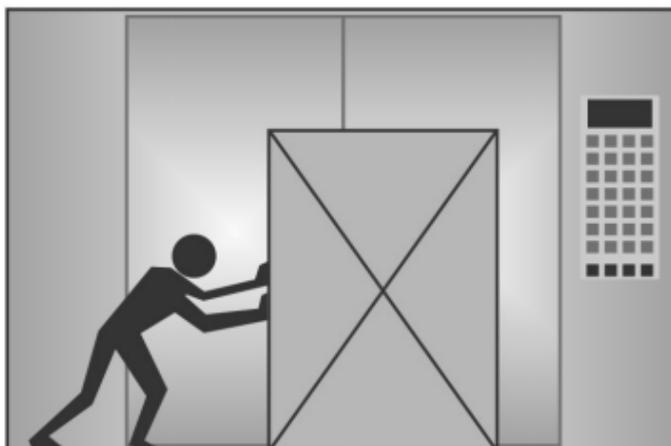
O valor do coeficiente de atrito estático entre duas superfícies depende da natureza dessas superfícies, de forma que a razão da  $F_{\text{Máx}}^{Ae}$  pela força Normal  $N$ , será sempre um mesmo valor, pois essas duas são



diretamente proporcionais entre si, de forma que uma redução ou aumento na força Normal se reflete numa mesma redução ou aumento proporcional na Força de Atrito Estático Máxima.

**Gabarito: D.**

28. (SEE – SP/2013- FGV) Um operário empurra um caixote tentando fazê-lo deslizar sobre o piso horizontal de um elevador de carga, como mostra a figura.



Ele percebe que, estando o elevador se movendo verticalmente, foi mais fácil fazê-lo deslizar do que com o elevador em repouso. Para que isso ocorra, com relação ao possível movimento do elevador, é correto afirmar que ele está

- I. descendo com velocidade constante.
- II. subindo em movimento retardado.
- III. descendo em movimento acelerado.

**Assinale:**

- a) se somente as afirmativas II e III estiverem corretas.
- b) se somente a afirmativa II estiver correta.
- c) se somente as afirmativas I e III estiverem corretas.
- d) se somente a afirmativa III estiver correta.
- e) se somente as afirmativas I e II estiverem corretas.

**Comentários:**

I – ERRADA.

A força que o operário precisa fazer para fazer o caixote iniciar o movimento é um pouco maior do que a força de atrito estático máximo. O módulo dessa força é dado pela seguinte relação:

$$F_{Ae\text{ Máx}} = \mu_e \cdot N$$

Note que, sobre uma superfície horizontal e em repouso, a força normal é igual, em módulo, ao peso do caixote, que é dado pelo produto  $m \cdot g$ .

Assim, podemos escrever:

$$F_{\text{Máx}}^{\text{Ae}} = \mu_e \cdot m \cdot g$$

Sempre que o elevador se mover com velocidade constante, independentemente da direção e o sentido, seja subindo, descendo ou se movendo lateralmente, a força Normal terá a mesma configuração que quando o elevador estivesse parado e assim permanecesse.

II e III– CORRETAS.

Quando o elevador se move acelerado verticalmente, o módulo da força normal do piso do elevador sobre o caixote deixa de ser igual ao módulo do peso do caixote.

Ao aplicarmos a segunda lei de Newton para o elevador acelerado para baixo, com um sistema de referência crescente para cima, temos:

$$N - P = m \cdot (-a)$$

$$N = P - m a$$

$$N = m g - m a$$

$$N = m (g - a)$$

Veja que, quanto maior for a aceleração do elevador para baixo, menor será o módulo da força normal, que zera quando a aceleração for igual à da gravidade local.

Este resultado para a força Normal será o mesmo, esteja o elevador subindo e reduzindo sua velocidade ou descendo e aumentando sua velocidade, pois em ambos os casos a aceleração é verticalmente para baixo.

**Gabarito: A.**

**29. (SEE – SP/2013- FGV) Os carros modernos são dotados de freios ABS (popularmente chamados freios inteligentes) nas quatro rodas. Com relação à eficiência obtida com esse avanço tecnológico durante a frenagem, assinale V para a afirmativa verdadeira e F para a afirmativa falsa.**

Permitem que a distância percorrida durante a frenagem seja sempre a mesma, seja qual for a velocidade do carro no instante em que são aplicados os freios.

Fazem com que o tempo de duração da frenagem seja o mesmo independente do número de pessoas dentro do carro.

Fazem com que, durante a frenagem, as forças que atuam sobre as rodas sejam dosadas eletronicamente, de modo que elas continuem a rolar sem deslizar sobre a estrada, aumentando a eficiência, pois o valor máximo do módulo da força de atrito estático é maior do que o módulo da força de atrito de deslizamento.

As afirmativas são, respectivamente,

a) F, F e V.

b) V, V e F.



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

**Comentários:**

(F) Permitem que a distância percorrida durante a frenagem seja sempre a mesma, seja qual for a velocidade do carro no instante em que são aplicados os freios.

As acelerações de frenagem são proporcionais às forças de atrito na hora da frenagem.

$$\boxed{F_{res} = m \cdot a}$$

$$F_{at} = m \cdot a_{frenagem}$$

As acelerações de frenagem são inversamente proporcionais às distâncias percorridas. Assim, quanto maior a força de atrito na frenagem, maior é a aceleração e menor será a distância de parada para o veículo.

(V) Fazem com que o tempo de duração da frenagem seja o mesmo independentemente do número de pessoas dentro do carro.

Aumentar o número de pessoas num veículo, imaginando que isso somente cause um aumento da massa, sem modificar qualquer outro parâmetro de frenagem, não fará diferença nos tempos nem nas distâncias de frenagem.

Se imaginarmos a situação em que a frenagem se dá no valor máximo de atrito, podemos escrever o seguinte:

$$F_{at} = m \cdot a_{frenagem}$$

$$F_{Ae} = m \cdot a_{frenagem}$$

*máx*

$$\mu \cdot N = m \cdot a_{frenagem}$$

Para o caso de pista plana, horizontal e a única força que equilibra o peso total do veículo seja a força normal, então temos que a aceleração de frenagem do veículo será igual ao produto do coeficiente de atrito pela aceleração gravitacional do local.

$$\mu \cdot m \cdot g = m \cdot a_{frenagem}$$

$$\mu \cdot g = a_{frenagem}$$

A aceleração de frenagem será a mesma, independentemente da massa total do veículo!

Portanto, os tempos e distâncias de frenagem serão os mesmos, independentemente da quantidade de pessoas.

(V) Fazem com que, durante a frenagem, as forças que atuam sobre as rodas sejam dosadas eletronicamente, de modo que elas continuem a rolar sem deslizar sobre a estrada, aumentando a eficiência, pois o valor máximo do módulo da força de atrito estático é maior do que o módulo da força de atrito de deslizamento.

Um sistema de freios sem um sistema ABS (*Antilock Braking System* – Sistema de Antibloqueio de Frenagem) possibilita o travamento das rodas, fazendo com que a frenagem ocorra no regime de atrito cinético. Como a força de atrito cinético tem um valor menor que o valor do atrito estático máximo, as distâncias de frenagem acabam sendo um pouco maiores, além de não possibilitar o controle do veículo durante a frenagem.



O sistema ABS atua de forma a evitar o travamento das rodas, fazendo com que a frenagem ocorra no regime de atrito estático e com valores maiores que a do regime cinético, sendo capaz de reduzir até 30% das distâncias de frenagem, além de possibilitar o controle do veículo pelo condutor enquanto ele freia.

**Gabarito: D.**



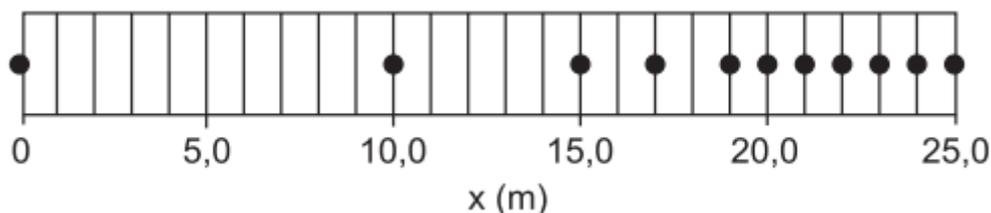
## LISTA DE QUESTÕES



- 1. (SEE - AC/2013 - FUNCAB) Na equação  $x = C_1 t^2$ , a distância (x) e o tempo (t) estão descritos em unidades do Sistema Internacional (SI). Sendo assim, pode-se afirmar que a unidade de  $C_1$  é:**
  - a)  $kg \cdot m \cdot s$
  - b)  $m \cdot s^{-1}$
  - c)  $m \cdot s^{-2}$
  - d)  $m \cdot s^2$
  - e)  $m^2 \cdot s^{-2}$
  
- 2. (SEDUC - CE/2018 - FUNECE) No que diz respeito à dimensão, na lei dos gases ideais,  $PV=nRT$ , o termo n**
  - a) tem dimensão de massa.
  - b) tem dimensão de temperatura.
  - c) tem dimensão de volume.
  - d) é adimensional.
  
- 3. (SEE - PB/2017 - IBADE) São grandezas vetoriais:**
  - a) trabalho e velocidade.
  - b) campo elétrico e velocidade.
  - c) volume e aceleração.
  - d) área e volume.
  - e) área e campo elétrico.



4. (SEEC - RN/2011 - CEGRANRIO) A figura representa a fotografia estroboscópica, tirada à taxa de 5 fotos por segundo, de uma esfera com velocidade inicial de 10,0 m/s.



O módulo da aceleração média da esfera, em  $\text{m/s}^2$ , no trecho não uniforme do movimento é

- a) 1,00
- b) 1,25
- c) 5,00
- d) 6,25
- e) 10,00

5. (SEDF/2013 - IBFC) Um automóvel está em movimento uniforme ao longo de uma rodovia. O motorista marcou em uma planilha o momento e a distância que ele se encontrava na rodovia (tabela a seguir). Com base nestes dados a velocidade escalar do movimento vale:

Distância (km)	20	26	32	38	44
Tempo (minutos)	0	10	20	30	40

- a) 10 m/s.
- b) 6 m/s.
- c) 60 m/s.
- d) 18 m/s.

6. (SEDUC – MT/2021 – Selecon) Uma pessoa realizou uma viagem de 600 km, dividindo-a em duas etapas. Nos primeiros 200 km, a velocidade média foi de 50 km/h. O restante do percurso foi realizado em 5 horas. A velocidade média da viagem foi de aproximadamente:

- a) 50 km/h
- b) 67 km/h
- c) 87 km/h
- d) 95 km/h



7. (SEED – PR/2023 - Consulplan) Um atleta treinando para a corrida de 400 metros divide seu percurso em dois trechos, um de 100 metros e outro de 300 metros. Ele percorre os primeiros 100 metros do trajeto com uma velocidade média de 5 m/s e o restante do percurso com uma velocidade média de 10 m/s. Se o atleta modificar seu treino, percorrendo o segundo trecho do percurso com uma velocidade de 8 m/s, a velocidade que ele deve percorrer os primeiros 100 metros, de modo a manter a mesma velocidade média total deverá ser de:

- a) 5 m/s
- b) 7 m/s
- c) 8 m/s
- d) 9 m/s

8. (SEDUC – RS/2023- AOCP) Um móvel está em movimento segundo o MRUV (Movimento Retilíneo Uniformemente Variado), cujo espaço  $s$ , medido na trajetória (em metros) a partir de uma origem, varia em função do tempo conforme a função a seguir:

$$s = 20 - 5t + \frac{t^2}{2}$$

Assinale a alternativa que apresenta a função da velocidade escalar em relação ao tempo.

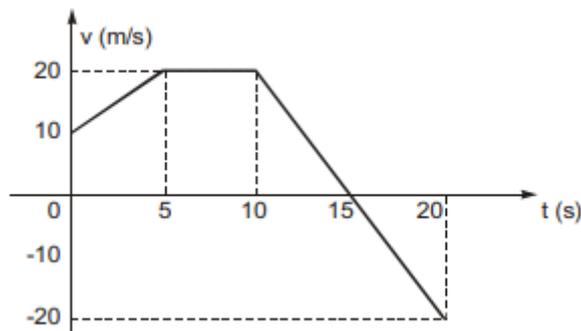
- a)  $v = 20 + 2t$ .
- b)  $v = -5 + t$ .
- c)  $v = -5 + 2t$ .
- d)  $v = 20 - 5t$ .
- e)  $v = 15 + 2t$ .

9. (SEED – PR/2023- Consulplan) Um policial está parado no acostamento de uma de uma rodovia plana e reta quando vê passar por ele um veículo com velocidade constante de 144 km/h. Como o veículo está trafegando com uma velocidade muito acima da permitida para a via, o policial imediatamente resolve utilizar seu carro para perseguir o motorista infrator. Considere que o primeiro veículo mantém a velocidade em todo o trajeto e que o policial o persegue mantendo uma aceleração constante de 5 m/s<sup>2</sup>. No momento em que o policial consegue atingir a velocidade do carro que está perseguindo, a distância que separa o policial do veículo perseguido é de quantos metros?

- a) 160 m
- b) 190 m
- c) 320 m
- d) 480 m



10. (SEDUC – MA/2005 - FCC) A Velocidade escalar de um móvel, que percorre uma trajetória retilínea, varia com o tempo de acordo com o gráfico abaixo.



Analizando o gráfico, é correto concluir que

- a) a aceleração escalar média, no intervalo de 0 a 10 s, é de 2,0 m/s.
- b) a velocidade escalar média, no intervalo de 0 a 15 s, é de 15 m/s.
- c) o movimento é progressivo apenas no intervalo de 0 a 5,0 s.
- d) o movimento é retardado apenas no intervalo de 15 s a 20 s.
- e) o movimento é acelerado apenas no intervalo de 0 a 5,0 s.

11. (SEE – AC/2023 - IBFC) No desenho animado “Papa-léguas e Coiote” o Coiote busca de todas as formas capturar o papa-léguas com as mais variadas artimanhas.



Considere o caso da cena acima em que o papa léguas passa pelo coiote a uma velocidade de aproximadamente 10 m/s e que o coiote consegue acionar o foguete, inicialmente parado, apenas 10 segundos após a passagem do papa léguas, sendo propulsionado com uma aceleração de 10 m/s<sup>2</sup> por 4 segundos e depois desacelerado continuamente a uma aceleração constante de 2 m/s<sup>2</sup>. Diante do exposto, assinale a alternativa correta.

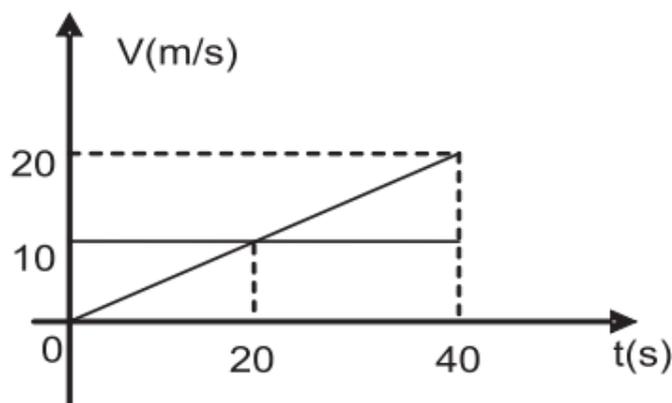
- a) O coiote não alcança o papa-léguas e a distância entre eles só aumenta desde o momento que o coiote começou a se movimentar.
- b) O coiote não alcança o papa-léguas, mas chega a ficar mais próximo dele do que a distância que estava quando iniciou o movimento.

- c) Ele alcança o papa-léguas durante a propulsão do foguete.
- d) Ele alcança o papa-léguas após a propulsão do foguete, apesar de estar desacelerando.

12. (SEE – AC/2013- FUNCAB) Uma montadora de automóveis anunciou em sua propaganda que um determinado modelo de carro é capaz de atingir 100 km/h em apenas 5 segundos, a partir do repouso. Nesse caso, pode-se dizer que a aceleração média do carro anunciado é de, aproximadamente:

- a) 8,4 m/s<sup>2</sup>
- b) 4,5 m/s<sup>2</sup>
- c) 5,5 km/h<sup>2</sup>
- d) 6,6 m/s<sup>2</sup>
- e) 5,5 m/s<sup>2</sup>

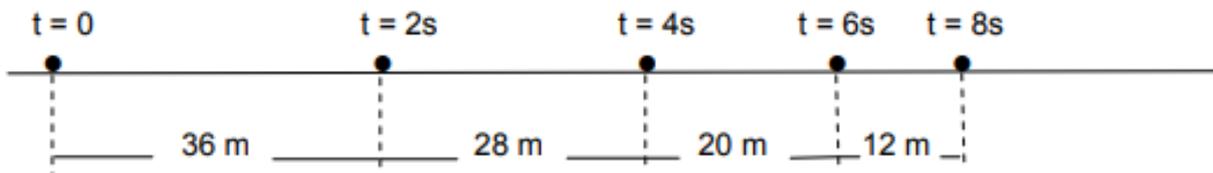
13. (SEDUC – RO/2010- FUNCAB) Dois móveis (A e B) partiram do mesmo alinhamento, sobre uma pista retilínea e horizontal, com trajetórias paralelas. Suas velocidades escalares variaram com o tempo como mostra o gráfico da figura. A distância do ponto no qual os móveis estiveram novamente emparelhados ao ponto de partida foi de:



- a) 20 m
- b) 40 m
- c) 200 m
- d) 400 m
- e) 800 m



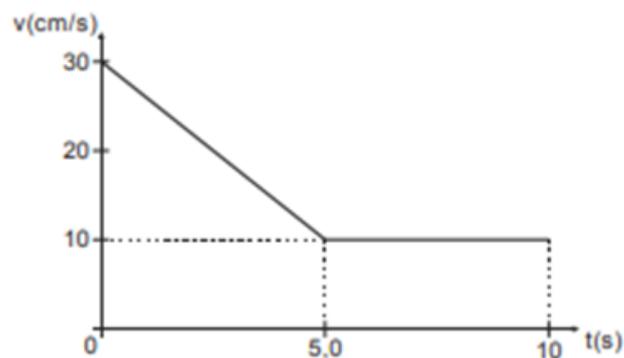
14. (SEDUC – RJ/2007) Observa-se durante 8 s o movimento uniformemente variado de uma partícula ao longo de sua trajetória retilínea, registrando-se sua posição a cada 2 s, como mostra o esquema abaixo.



O módulo da velocidade escalar da partícula em  $t = 4$  s é:

- a) 14 m/s
- b) 12 m/s
- c) 10 m/s
- d) 7 m/s
- e) 5 m/s

15. (SEDU – ES/2016- FCC) Considere abaixo o gráfico  $v$  versus  $t$  em certo deslocamento retilíneo  $\Delta s$ .

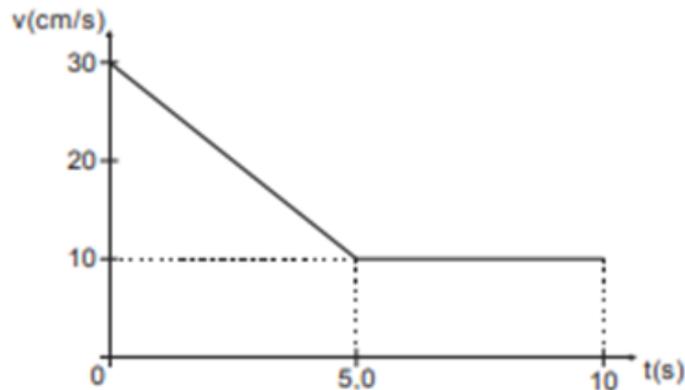


O deslocamento tem módulo, em metros, de

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



16. (SEDU – ES/2016- FCC) Considere abaixo o gráfico  $v$  versus  $t$  em certo deslocamento retilíneo  $\Delta s$ .



A aceleração média do movimento é, em  $\text{cm/s}^2$ ,

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

17. (SEE – PB/2011- FAPERP) Desprezando-se a resistência do ar, um corpo em queda livre percorre uma distância  $d_1$  num intervalo de tempo de 3 s. Para este mesmo corpo percorrer, em queda livre, uma distância 36 vezes que  $d_1$ , o intervalo de tempo gasto será de:

- a) 36 s.
- b) 18 s.
- c) 12 s.
- d) 6 s.

18. (SEDUC – MA/2005- FCC) Uma pedra é abandonada a partir do repouso e cai livremente, num local onde a aceleração gravitacional tem intensidade  $10 \text{ m/s}^2$ . Durante o terceiro segundo de queda, a pedra percorre, em metros,

- a) 60
- b) 45
- c) 35
- d) 30
- e) 25



19. (SEED – AP/2012- Universa) Um homem lança uma bola verticalmente para baixo, do topo de um prédio de grande altura. A força aplicada pelo homem sobre a bola para efetuar o lançamento é constante e igual a 10,0 N e dura 1,00 s. A resistência do ar é desprezada. Considerando a massa da bola igual a 500 g, a aceleração da bola imediatamente após deixar a mão do homem é igual a

- a) 10 m/s<sup>2</sup>.
- b) 12 m/s<sup>2</sup>.
- c) 15 m/s<sup>2</sup>.
- d) 20 m/s<sup>2</sup>.
- e) 30 m/s<sup>2</sup>.

20. (SEDUC – RO/2016- IBADE) Do topo de um edifício deixa-se cair uma pedra que leva 4 s para atingir o solo. Considerando que a aceleração da gravidade no local é de 10 m/s<sup>2</sup>, pode-se dizer que a velocidade com que a pedra atinge o solo e a altura do edifício são, respectivamente, em m/s e metros:

- a) 40 e 80.
- b) 50 e 90.
- c) 40 e 70.
- d) 50 e 80.
- e) 30 e 90.

21. (SEED – PR/2023- Consulplan) O tecido acrobático é uma arte circense que exige muita força e flexibilidade, em que o artista realiza várias manobras aéreas enrolado em um tecido. Em uma de suas apresentações um talentoso artista subiu se enrolando no tecido até uma altura de 10 metros em relação ao solo e se jogou, caindo com uma aceleração de 8 m/s<sup>2</sup>, devido a uma resistência gerada pelo tecido, até que se segura a poucos metros do solo, parando instantaneamente. Dada a aceleração da gravidade igual a 9,8 m/s<sup>2</sup>, qual a razão entre o tempo de queda do artista, enrolado no lençol e o tempo de queda dele caso tivesse caindo em queda livre?

- a) 0,35
- b)  $\sqrt{4,9}/2$
- c)  $\sqrt{4,9}/4$
- d)  $\sqrt{9,8}/2$

22. (SEC – BA/2023 - IBFC) Do trabalho “Galileu contra a inércia circular” de Júlio C. R. de Vasconcelos é retirado o seguinte trecho:

“[...] deve-se observar que um grau de velocidade qualquer, uma vez comunicado a um móvel, imprime-se nele de forma indelével por sua própria natureza, desde que não intervenham causas externas de



aceleração ou retardamento; [...] (EN, 8, p. 243; Galileu Galilei, Duas novas ciências; Trad. de L. Mariconda & P. R. Mariconda. São Paulo: Nova Stella, 1988., p. 213).

(...)

A título de conclusão, propõe-se que este é o enunciado que melhor caracteriza a \_\_\_\_\_ de Galileu; (...) sua decidida e firme escolha é pela afirmação da preservação do grau de velocidade, seja qual for o movimento que estiver sendo considerado.” Fonte: Vasconcelos (Scientiae Studia v.3, n.3, p. 395, 2005).

Assinale, entre as alternativas abaixo, aquela que corretamente preencha a lacuna da citação e apresenta um parágrafo compatível com as obras galileiana e newtoniana.

- a) Conservação do momento angular, “Temos Galileu argumentando que a velocidade tomada de maneira generalizada pelo termo ‘grau de velocidade’ sugere que o movimento circular uniforme podia ser aplicado ao movimento planetário, como Newton conseguiu por meio do cálculo nos Principia”
- b) Composição do movimento; “Temos, portanto, a formulação de que o movimento pode ser decomposto nas diferentes direções, sendo as componentes denominadas por Galileu como ‘grau de velocidade’, e que Newton nos Principia optou por representar como as componentes do vetor velocidade e sobre elas realizar a integração das equações de movimento”
- c) Conservação da Energia; “Galileu, ao defender a velocidade como um conceito geral com o termo ‘grau de velocidade,’ está se referindo a todo movimento e está antecipando o que posteriormente seria descoberto como o ‘teorema da energia cinética’ por Leibniz e que Newton não abordou nos Principia”
- d) Lei da Inércia; “Assim, não está aqui nesta obra de Galileu um rascunho acabado da física newtoniana, pois faltaria o princípio de inércia retilíneo. Mas, não deixam de ter alguma razão aqueles que atribuem a Galileu uma honrosa contribuição com o desenvolvimento do princípio de inércia”
- e) Lei da gravidade; “Galileu enuncia, assim, o princípio de inércia retilíneo como conservação do ‘grau de velocidade’, portanto, ele pode estender seu argumento para a necessidade de uma Lei para a gravidade que rompe com essa conservação, devido à verificação experimental da queda acelerada, assim como observou Newton nos Principia”

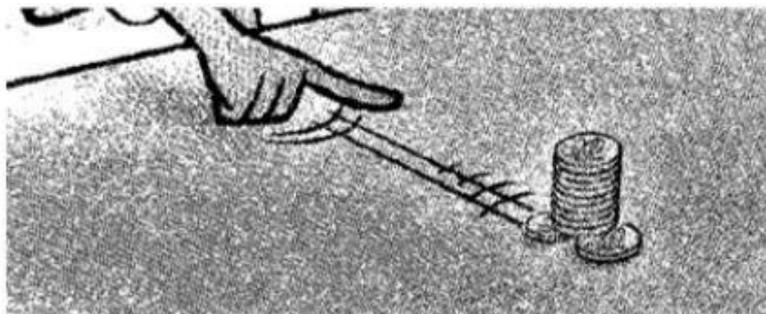
**23. (SEDUC – RO/2016 - IBADE) Uma folha de 0,2 g de massa cai de uma árvore com velocidade constante. A força resultante sobre essa folha, sabendo que ela está sujeita à força de resistência do ar é então em newtons, adote  $g = 10 \text{ m/s}^2$ :**

- a) 1.
- b) 2.
- c) 0.
- d) 4.
- e) 3.

**24. (SEDUC – RS/2023 - AOCP) Pedro, professor de Física, com o intuito de utilizar uma metodologia diferente, após terminar seu conteúdo na 1ª série do Ensino Médio, solicitou que os estudantes fizessem o experimento a seguir no laboratório de Física, utilizando 11 moedas iguais e uma de espessura menor:**



1. faça uma pilha cilíndrica com as onze moedas iguais, colocando umas sobre as outras;
2. impulse com o dedo a moeda de espessura menor.



Após os estudantes terem feito diversos testes com velocidades distintas impulsionando a moeda de espessura menor, eles explicaram ao professor que o fenômeno ocorre nas seguintes condições: se a velocidade da moeda for suficientemente grande, ela tirará do lugar a moeda de baixo sem desequilibrar o resto da pilha de moedas. A grande velocidade é necessária porque o efeito da força de atrito, entre a primeira e a segunda moeda na pilha, depende do impulso dessa força. Assim, se empurrarmos a moeda rapidamente, o impulso será pequeno, causando uma perturbação mínima no resto das moedas da pilha. A moeda de espessura menor é necessária para que não haja choque com a segunda moeda da pilha. Desse modo, assinale a alternativa que apresenta corretamente o princípio físico que explica esse fenômeno.

- a) Princípio fundamental da dinâmica.
- b) Princípio da ação e reação.
- c) Princípio de Arquimedes.
- d) Princípio da inércia, pois a pilha tende a permanecer em repouso.
- e) Os princípios da fundamental da dinâmica em conjunto com o princípio da ação e reação.

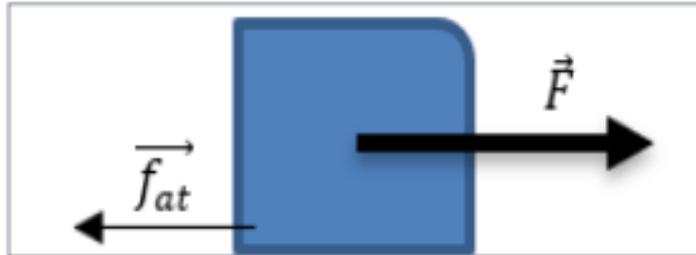
25. (SEED – PR/2023- Consulplan) Determinado professor pediu a três de suas alunas para que descrevessem exemplos onde a terceira lei de Newton pudesse ser aplicada. Cada uma delas refletiu por um instante e respondeu ao professor da seguinte forma:

- Lívia: quando estamos nadando devemos empurrar a água no sentido oposto ao que queremos ir, pois, ao empurrar a água, ela nos empurrará de volta, mas no sentido contrário.
- Alice: quando eu estou sentada em uma cadeira, a Terra faz uma força para me puxar para baixo enquanto a cadeira faz uma força, de mesma intensidade, para cima, para me manter em equilíbrio.
- Manuela: ao chutar uma bola com muita força podemos machucar o pé, pois do mesmo jeito que o nosso pé faz uma força na bola, a bola faz uma força com a mesma intensidade no nosso pé.

Dentre as afirmações das alunas, estão corretas

- a) Lívia e Alice, apenas.
- b) Lívia, Alice e Emanuela.
- c) Lívia e Emanuela, apenas.
- d) Alice e Emanuela, apenas.

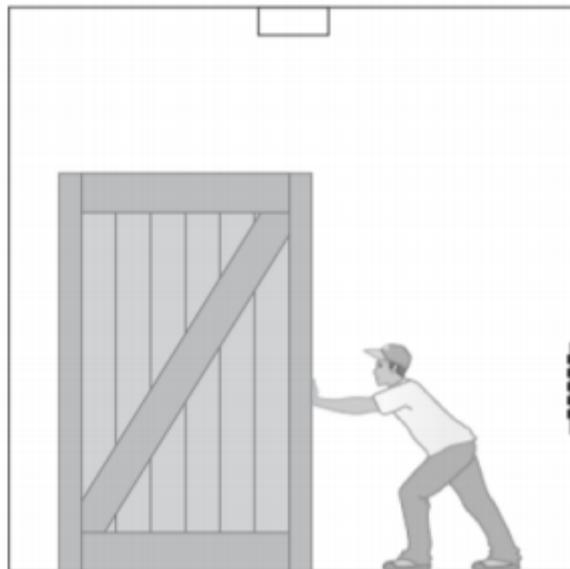
26. (SEDUC – RS/2023 - AOCP) O bloco da figura a seguir tem massa de 2.000 g e é arrastado em linha reta, sobre uma superfície que possui um atrito considerável, por uma força horizontal  $\vec{F} = 8 \text{ N}$ . Sobre esse bloco atua uma força de atrito de 2 N.



Assinale a alternativa que apresenta corretamente o valor da aceleração do bloco.

- a)  $1 \text{ m/s}^2$ .
- b)  $2 \text{ m/s}^2$ .
- c)  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}^2$ .
- d)  $1,5 \text{ m/s}^2$ .
- e)  $3 \text{ m/s}^2$ .

27. (SEE – PE/2016 - FGV) Um elevador de carga está se movendo verticalmente. Sobre seu piso horizontal encontram-se um caixote muito pesado e um operário, ambos em repouso em relação ao elevador, como ilustra a figura a seguir.



Em um dado instante, o operário percebe que a força horizontal que ele precisou exercer sobre o caixote para fazê-lo começar a deslizar sobre o piso é menor (em módulo) do que a força horizontal que ele precisou exercer sobre o caixote para fazê-lo começar a deslizar quando o elevador estava em repouso.

A esse respeito, assinale V para a afirmativa verdadeira e F para a falsa.

( ) Nesse instante, a aceleração vertical do elevador tem o sentido para baixo.

( ) Não é possível afirmar se, nesse instante, o elevador está subindo ou descendo.

( ) O coeficiente de atrito estático entre o caixote e o piso horizontal do elevador não depende de o elevador estar se movendo verticalmente, acelerado ou retardado.

As afirmativas são, respectivamente,

a) V, F e F.

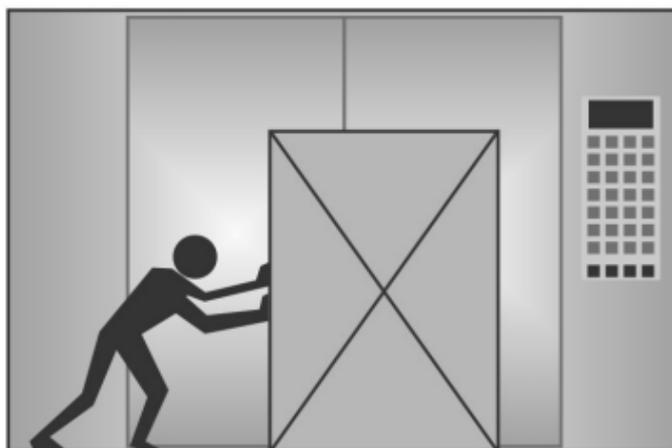
b) F, V e F.

c) V, F e V.

d) V, V e V.

e) F, F e V.

28. (SEE – SP/2013- FGV) Um operário empurra um caixote tentando fazê-lo deslizar sobre o piso horizontal de um elevador de carga, como mostra a figura.



Ele percebe que, estando o elevador se movendo verticalmente, foi mais fácil fazê-lo deslizar do que com o elevador em repouso. Para que isso ocorra, com relação ao possível movimento do elevador, é correto afirmar que ele está

I. descendo com velocidade constante.

II. subindo em movimento retardado.

III. descendo em movimento acelerado.

Assinale:

a) se somente as afirmativas II e III estiverem corretas.

b) se somente a afirmativa II estiver correta.

c) se somente as afirmativas I e III estiverem corretas.

- d) se somente a afirmativa III estiver correta.  
e) se somente as afirmativas I e II estiverem corretas.

**29. (SEE – SP/2013- FGV) Os carros modernos são dotados de freios ABS (popularmente chamados freios inteligentes) nas quatro rodas. Com relação à eficiência obtida com esse avanço tecnológico durante a frenagem, assinale V para a afirmativa verdadeira e F para a afirmativa falsa.**

( ) Permitem que a distância percorrida durante a frenagem seja sempre a mesma, seja qual for a velocidade do carro no instante em que são aplicados os freios.

( ) Fazem com que o tempo de duração da frenagem seja o mesmo independente do número de pessoas dentro do carro.

( ) Fazem com que, durante a frenagem, as forças que atuam sobre as rodas sejam dosadas eletronicamente, de modo que elas continuem a rolar sem deslizar sobre a estrada, aumentando a eficiência, pois o valor máximo do módulo da força de atrito estático é maior do que o módulo da força de atrito de deslizamento.

As afirmativas são, respectivamente,

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



## GABARITO



## GABARITO

01-C	11-D	21-B
02-D	12-E	22-D
03-B	13-D	23-C
04-D	14-B	24-D
05-A	15-C	25-C
06-B	16-A	26-E
07-C	17-B	27-D
08-B	18-C	28-A
09-A	19-A	29-D
10-B	20-A	



## RESUMO



Distância

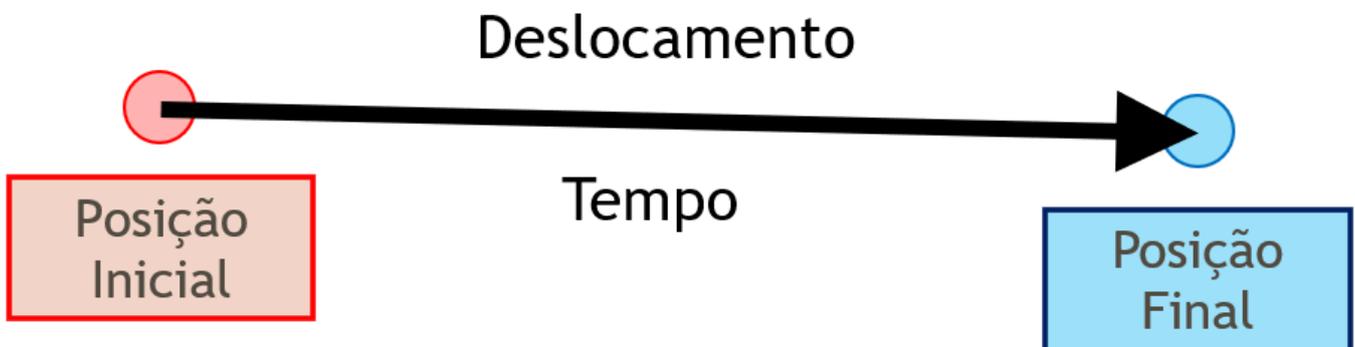
Trajetoória

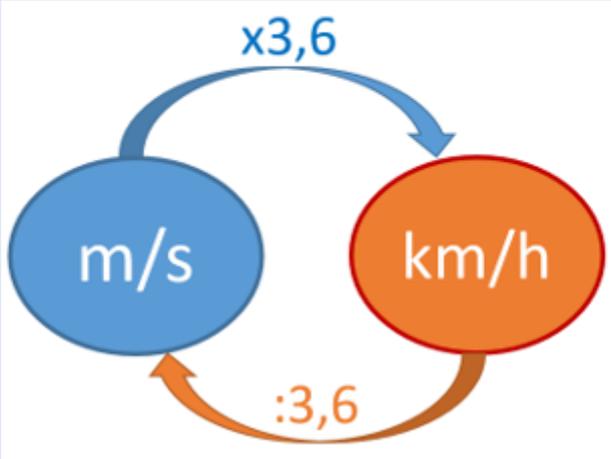
A Velocidade Média é definida como a razão (divisão) entre o Deslocamento e o Tempo.

$$Velocidade_{m\acute{e}dia} = \frac{Deslocamento}{Tempo}$$

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

$$V_m = \frac{d}{t}$$



m/s	Fator Multiplicador da Velocidade	km/h
1		3,6
5		18
10		36
15		54
20		72
25		90
30		108



## ESCLARECENDO!

Muito cuidado com o termo "Velocidade Escalar"!

Velocidade é uma grandeza vetorial. Assim, não é adequado se utilizar o termo "escalar" para velocidade, bem como o termo "velocidade vetorial", que é completamente redundante.

Assim, temos que interpretar o enunciado e o comando da questão.

Se o enunciado estiver pedindo a "Velocidade Escalar Média", devemos calcular a Rapidez Média do percurso. Se for pedido a Velocidade Média, devemos utilizar a razão entre o Deslocamento e o Tempo.

$$Velocidade_{m\u00e9dia} = \frac{Deslocamento}{Tempo}$$

$$Rapidez_{m\u00e9dia} = \frac{Dist\u00e2ncia}{Tempo}$$



A Aceleração Média é definida como a razão (divisão) da variação da velocidade pela variação do tempo.

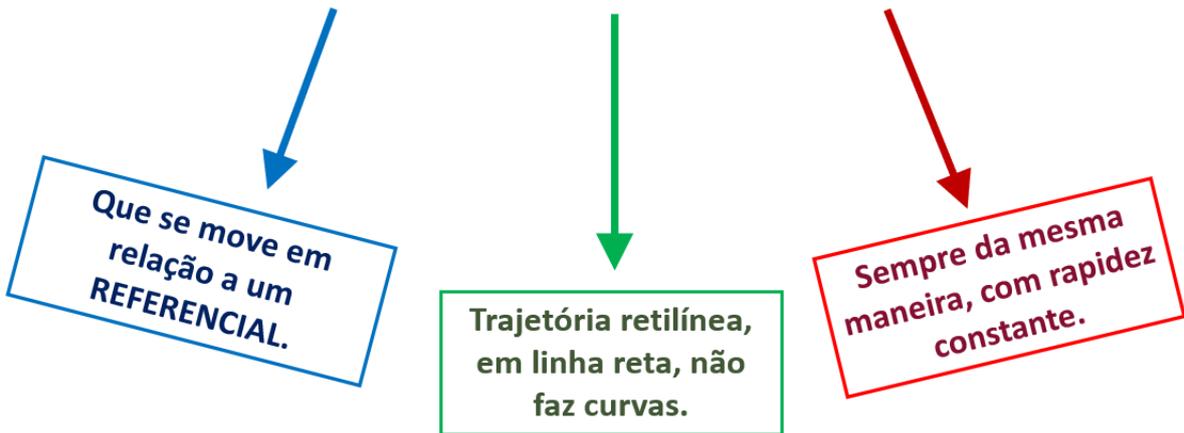
$$Aceleração_{m\acute{e}dia} = \frac{\text{Variação da Velocidade}}{\text{Variação do Tempo}}$$

Aceleração

$$a = \frac{\Delta \text{velocidade}}{\Delta \text{tempo}}$$

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

## Movimento Retilíneo Uniforme



**M.R.U. -> Velocidade constante.**

- MRU** {
- Velocidade constante.
  - Aceleração nula.



$$d = V \cdot t$$



# Movimento Retilíneo Uniformemente Variado



Velocidade se modifica de maneira uniforme, varia sempre na mesma taxa (Aceleração constante).

M.R.U.V. -> Velocidade variável.

- MRUV
- Velocidade variável.
  - Aceleração constante, não nula.

Equações para o MRUV

Eq. 1  $d_{MRUV} = \left( \frac{V_i + V_f}{2} \right) \cdot t$  (a)

Eq. 2  $d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$  ( $V_f$ )

Eq. 3  $V_f = V_i + a \cdot t$  (d)

Eq. 4  $V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot d$  (t)

## Movimento de Queda Livre

Que se move em relação a um REFERENCIAL.

Sob a ação da gravidade.

Livre de qualquer tipo de resistência ou impedimento.

M.Q.L. = M.R.U.V. -> Velocidade variável.

- MRUV  
MQL
- Velocidade variável.
  - Aceleração constante, não nula.

$$d_{MRUV} = \left( \frac{V_i + V_f}{2} \right) \cdot t$$

$$V_f = V_i + a \cdot t$$

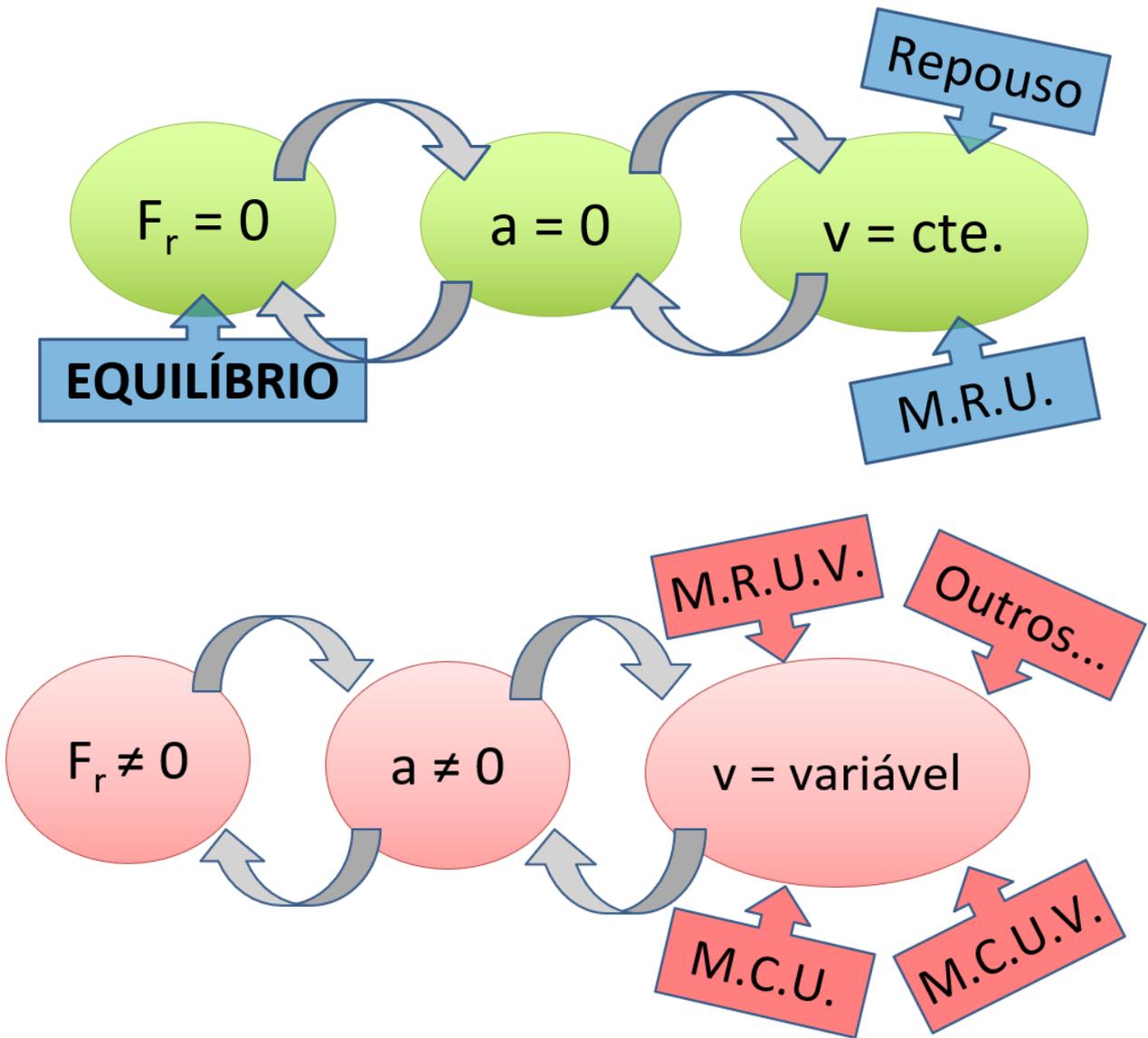
$$d = V_i \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$V_f^2 = V_i^2 + 2 \cdot a \cdot d$$



### Mecânica Newtoniana

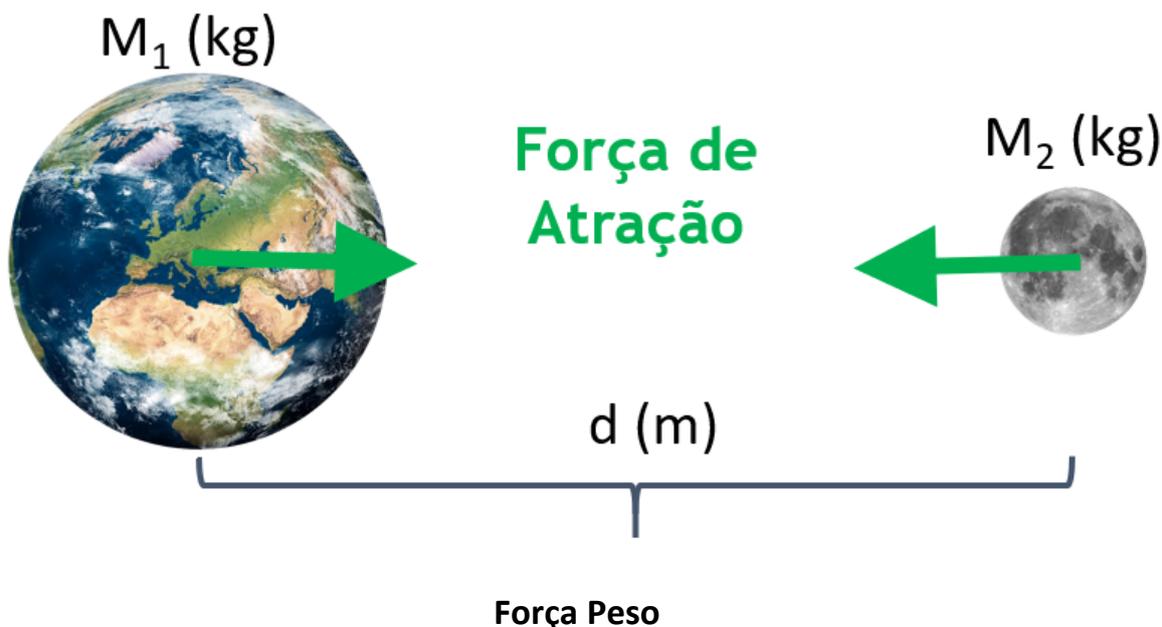
$$F_{res} = m \cdot a$$



## Lei de Newton da Gravitação Universal

“Todo corpo atrai qualquer outro com **Força** que é diretamente proporcional ao produto de suas **massas** e inversamente proporcional ao **quadrado** da **distância** entre seus centros.”

$$F_g = \frac{G \cdot M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

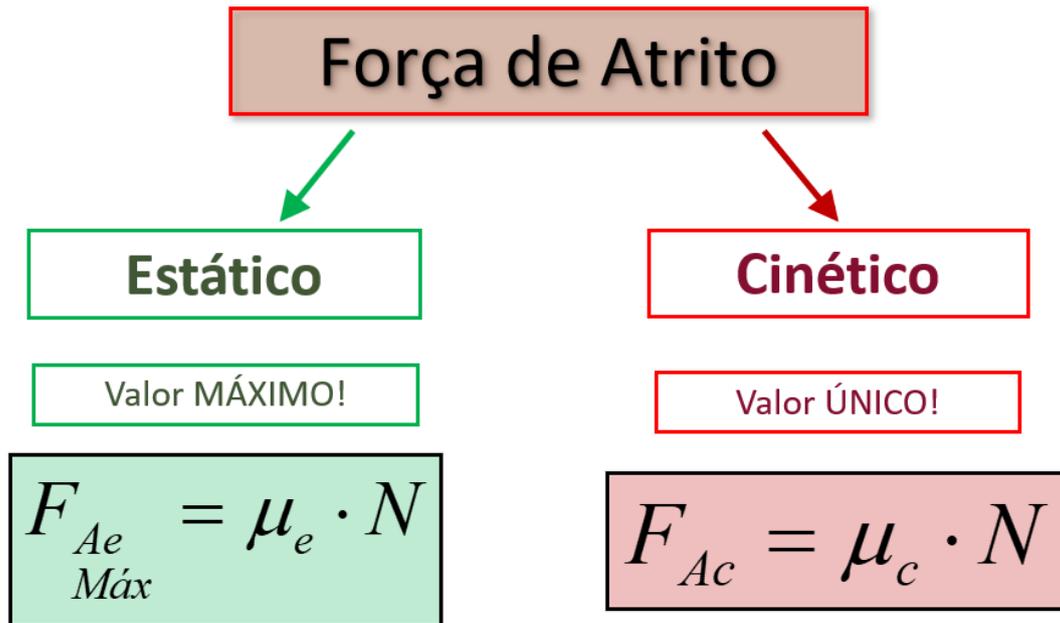


$$P = m \cdot g$$

$P$ : Força Peso (N).

$m$ : Massa (kg).

$g$ : Intensidade do Campo Gravitacional Local ou Aceleração da Gravidade Local ( $m/s^2$ ).



**Força Elástica**

$$F_{el} = k \cdot x$$

$F_{el}$ : Força Elástica (N).

$k$ : Constante de Elasticidade (N/m).

$x$ : Medida da Deformação Elástica (m).

**Força de Empuxo**

$$E = \rho_{fluido} \cdot V_{submerso} \cdot g$$

$E$ : Força de Empuxo (N).

$\rho$ : Massa Específica do Fluido (kg/m<sup>3</sup>).

$V$ : Volume Submerso (m<sup>3</sup>).

$g$ : Aceleração da Gravidade Local (m/s<sup>2</sup>).



# ESSA LEI TODO MUNDO CONHECE: PIRATARIA É CRIME.

Mas é sempre bom revisar o porquê e como você pode ser prejudicado com essa prática.



1

Professor investe seu tempo para elaborar os cursos e o site os coloca à venda.



2

Pirata divulga ilicitamente (grupos de rateio), utilizando-se do anonimato, nomes falsos ou laranjas (geralmente o pirata se anuncia como formador de "grupos solidários" de rateio que não visam lucro).



3

Pirata cria alunos fake praticando falsidade ideológica, comprando cursos do site em nome de pessoas aleatórias (usando nome, CPF, endereço e telefone de terceiros sem autorização).



4

Pirata compra, muitas vezes, clonando cartões de crédito (por vezes o sistema anti-fraude não consegue identificar o golpe a tempo).



5

Pirata fere os Termos de Uso, adultera as aulas e retira a identificação dos arquivos PDF (justamente porque a atividade é ilegal e ele não quer que seus fakes sejam identificados).



6

Pirata revende as aulas protegidas por direitos autorais, praticando concorrência desleal e em flagrante desrespeito à Lei de Direitos Autorais (Lei 9.610/98).



7

Concurseiro(a) desinformado participa de rateio, achando que nada disso está acontecendo e esperando se tornar servidor público para exigir o cumprimento das leis.



8

O professor que elaborou o curso não ganha nada, o site não recebe nada, e a pessoa que praticou todos os ilícitos anteriores (pirata) fica com o lucro.



Deixando de lado esse mar de sujeira, aproveitamos para agradecer a todos que adquirem os cursos honestamente e permitem que o site continue existindo.