Estratégia
Militares

Estratégia
Militares

As leis de Newton

Vínculos geométricos e referenciais não-inerciais

Prof. Toni Burgatto

1.1. Massa de um corpo

O quilograma padrão é um bloco pequeno composto de platina (90%) e irídio (10%) mantido no Instituto Internacional de Pesos e Medidas, em Sévres, próximo a Paris.

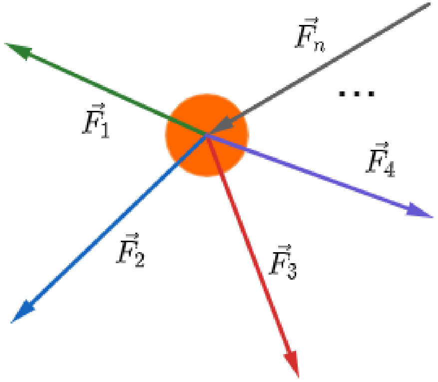
Na física muitas vezes aparece o submúltiplo grama (símbolo g) e o múltiplo tonelada (símbolo t), na qual estão relacionados da seguinte forma:

$$\begin{cases} 1\ g = \dfrac{1}{1000} kg = 10^{-3} kg \\ 1t = 1000\ kg = 10^{3} kg \end{cases}$$

No SI a unidade de massa é o quilograma (kg).

1.2. Conceito de força e de força resultante

As forças podem ser **de contato**, como por exemplo quando empurramos um carro, ou **de ação a distância**, também chamada de **forças de campo**, como por exemplo a força com que uma carga elétrica exerce em outra a uma determinada distância.



$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \vec{F}_4 + \cdots + \vec{F}_n$$

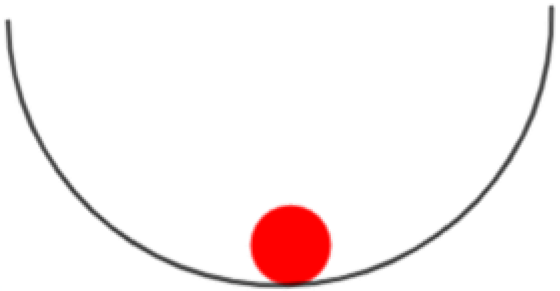
1.3. Equilíbrio de um ponto material

Um ponto material está em **equilíbrio em relação a um dado referencial**, quando a **resultante** das forças que agem nele é **nula**.

1.3.1. Equilíbrio estático

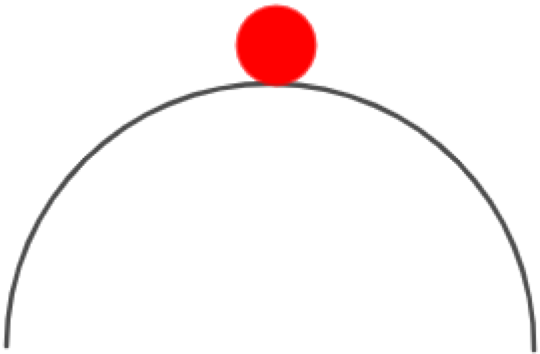
Um ponto material está em equilíbrio estático em relação a um dado referencial quando se apresenta em repouso. Assim, se um corpo em equilíbrio estático apresenta velocidade constante e igual a zero, ou seja, $\vec{v} = constante = \vec{0}$.

a) equilíbrio estável: a tendência do ponto material é voltar à posição inicial. Por exemplo, uma bola solta dentro de uma cuba esférica:

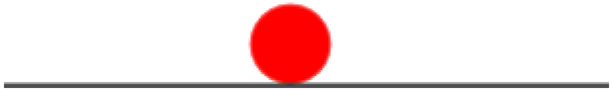


1.3. Equilíbrio de um ponto material

b) equilíbrio instável: a tendência do ponto material é afastar-se ainda mais da posição inicial. Por exemplo, uma bola solta do lado de fora de uma cuba esférica:



c) equilíbrio indiferente: o ponto material permanece em equilíbrio na próxima posição. Por exemplo, uma bola solta em uma superfície reta horizontal:



1.3. Equilíbrio de um ponto material

Um ponto material está em **equilíbrio em relação a um dado referencial**, quando a **resultante** das forças que agem nele é **nula**.

1.3.1. Equilíbrio dinâmico

Um ponto material está em equilíbrio dinâmico em relação a um dado referencial inercial quando ele está em um movimento retilíneo e uniforme (MRU).

Nesse caso, temos que a velocidade é constante e diferente de zero ($\vec{v} = constante \neq \vec{0}$).

1.4. Conceito de Inércia

Inicialmente, dizemos que **inércia** é a resistência que os corpos oferecem às mudanças da velocidade vetorial ($\vec{v}$: trata-se de um vetor, por isso, temos sempre que analisar módulo, direção e sentido).

1.5. A 1ª lei de Newton – O princípio da Inércia

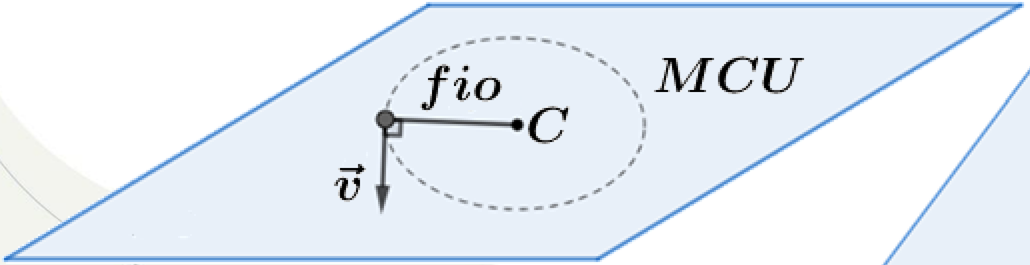
Se a resultante das forças em uma partícula é nula, então ele permanece em repouso ou em MRU, pelo princípio da inércia.

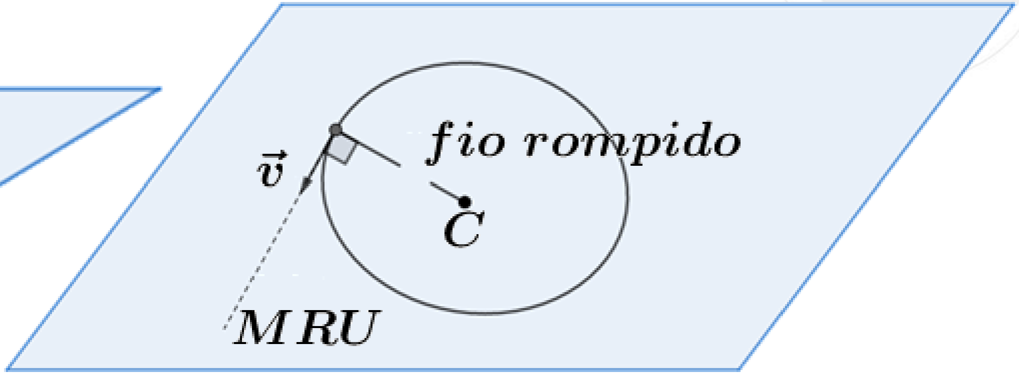
Uma partícula livre da ação da resultante das forças externas é incapaz de alterar sua própria velocidade vetorial.

1.5. A 1ª lei de Newton – O princípio da Inércia

Se a resultante das forças em uma partícula é nula, então ele permanece em repouso ou em MRU, pelo princípio da inércia.

Uma partícula livre da ação da resultante das forças externas é incapaz de alterar sua própria velocidade vetorial.





A segunda lei de Newton

Prof. Toni Burgatto

1.6. 2ª lei de Newton – O princípio fundamental da Dinâmica

De uma forma geral, a segunda lei diz que se a resultante das forças que atua em um corpo for diferente de zero, então a partícula adquire uma aceleração proporcional a essa força resultante.

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

No SI, a unidade de força é o *newton* (N). Ela é definida a partir da segunda lei:

Um newton é a intensidade de força aplicada a um ponto material de massa 1,0 kg que produz uma aceleração de módulo igual a 1m/s².

1.6. 2ª lei de Newton – O princípio fundamental da Dinâmica

Estratégia Militares

Pela segunda lei, temos que:

$$\boxed{\begin{array}{c} F_R = m \cdot a \\ \Rightarrow F_R = (1\,kg) \cdot (1m/s^2) \;= 1N \end{array}}$$

Ou seja:

$$\boxed{1N = 1kg \cdot m/s^2}$$

1.7. A força peso $\overrightarrow{P}$

Por agora, apenas diremos que a **força peso** de um corpo é a **força de atração gravitacional** que a Terra exerce sobre ele.

Pela definição, a força gravitacional comunica uma aceleração denominada aceleração da gravidade ($\vec{g}$) que denota o vetor que representa o campo gravitacional. Este vetor $\vec{g}$ é orientado de modo igual ao peso, ou seja, é radial e orientado para o centro da Terra.

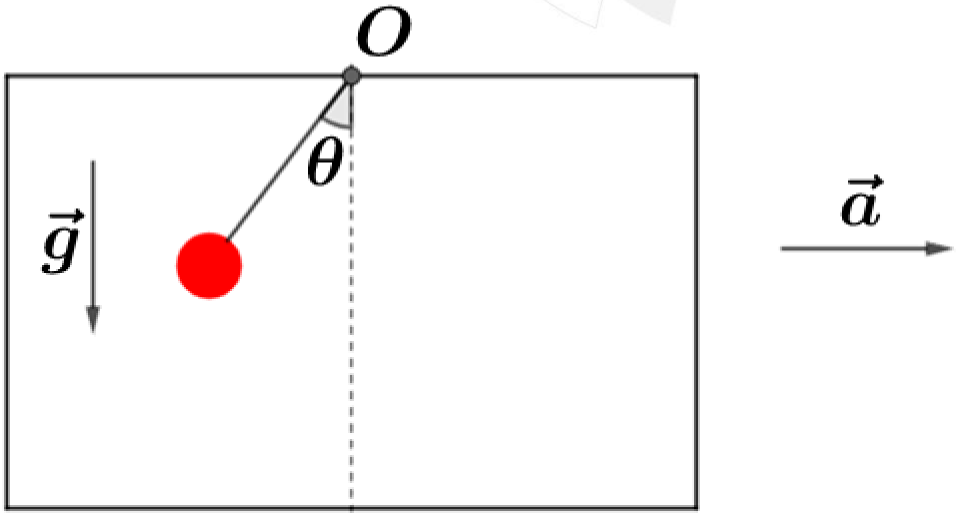
Por intermédio de experimentos, pode-se verificar que, ao nível do mar e num local de latitude de 45°, $|\vec{g}|$ (normal) é:

$$|\vec{g}_N| = g_N = 9{,}80665\ m/s^2$$

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

Exemplo 1:

Um vagão de trem está se locomovendo para a direita em um movimento retilíneo e um pêndulo de massa m é preso ao teto do vagão, formando um ângulo θ com a vertical.

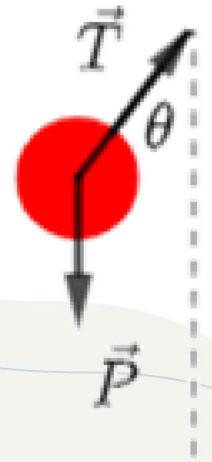


Supondo conhecidos θ, a gravidade local g e a massa m do pêndulo, determine o módulo da aceleração do trem.

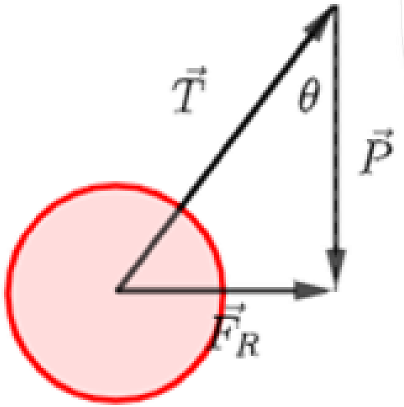
Exemplo 1:

Comentários:

Se isolarmos a esfera pendular e representarmos o diagrama de forças que agem na esfera, para um dado referencial inercial (aquele que vale o princípio da inércia) por:



Fazendo a soma vetorial, temos:



Exemplo 1:

Fechado o triângulo das forças, podemos escrever uma relação entre o módulo da força peso e o módulo da força resultante:

$$tg\theta = \frac{F_R}{P}$$

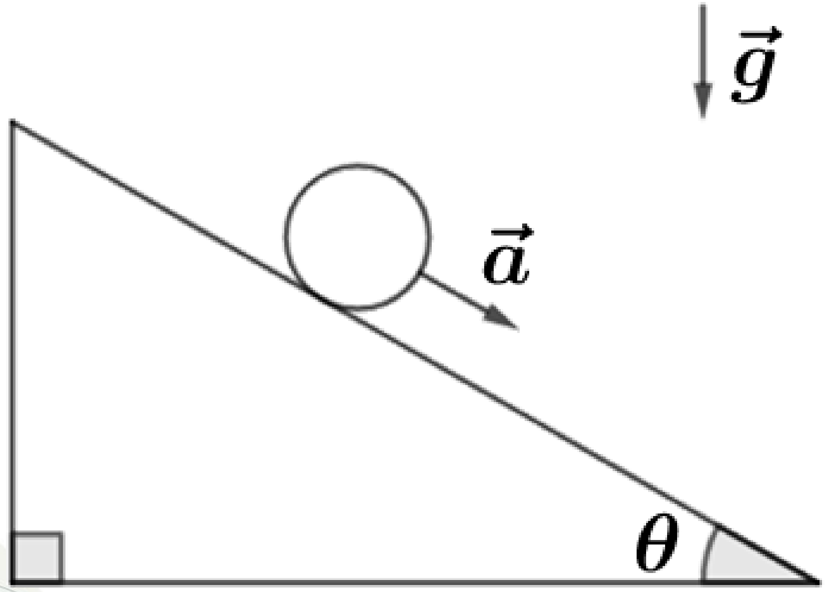
$$tg\theta = \frac{m \cdot a}{m \cdot g}$$

$$\therefore \boxed{a = g \cdot tg\theta}$$

Note que a aceleração do veículo não depende da massa do pêndulo. Como a gravidade é suposta constante no local e conhecida, a aceleração é função apenas do ângulo de inclinação da esfera com a linha vertical.

Exemplo 2:

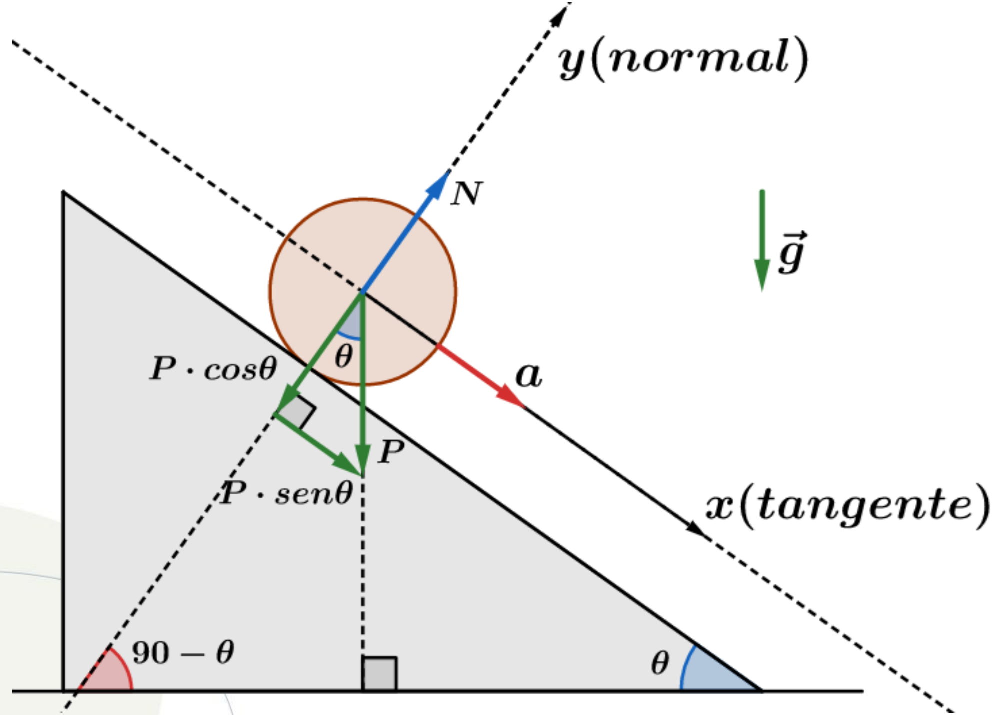
Uma partícula de massa m é solta em um plano inclinado fixo, onde desce em movimento acelerado. O ângulo de inclinação do plano com a horizontal vale θ. Desprezando os atritos e a resistência do ar, determine o módulo da aceleração na direção do movimento.



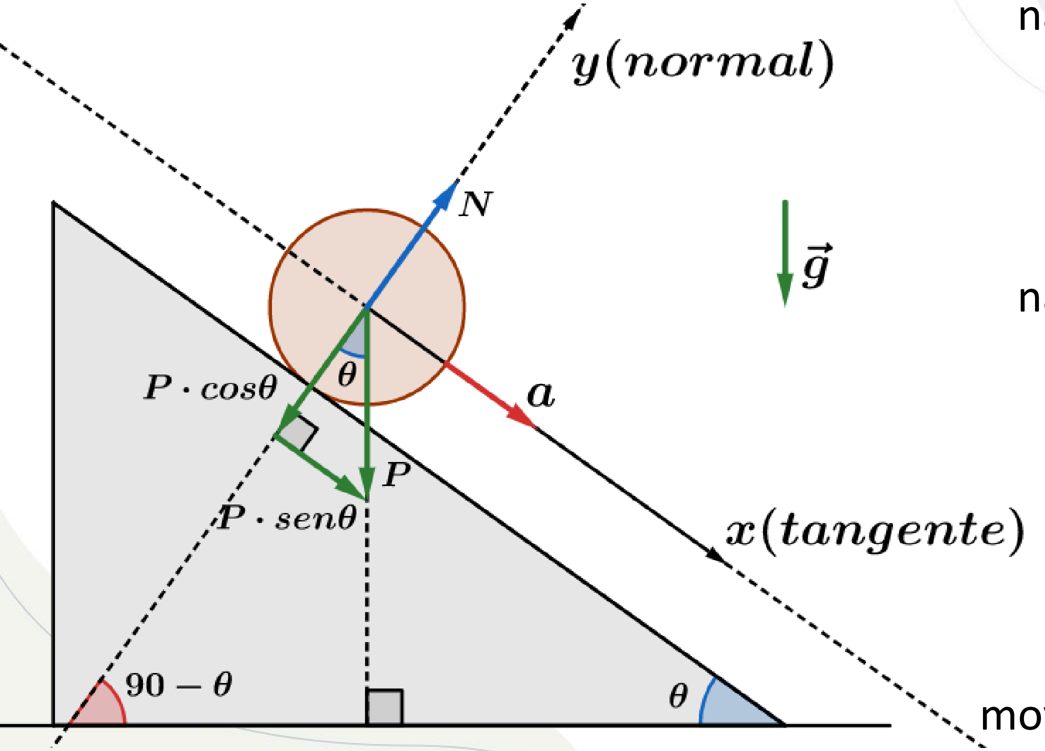
Exemplo 2:

Comentários:

Vamos considerar os eixos do sistema na direção do movimento da partícula e na direção normal. A partir disso, vamos decompor nossas forças e aplicar a 2ª lei em cada componente:



Exemplo 2:



na direção y, temos que:

$$Pcos\theta - N = m.a_y$$

$$\boxed{N = Pcos\theta}$$

na direção x, temos que:

$$F_R = Psen\theta$$

$$m \cdot a = m \cdot gsen\theta$$

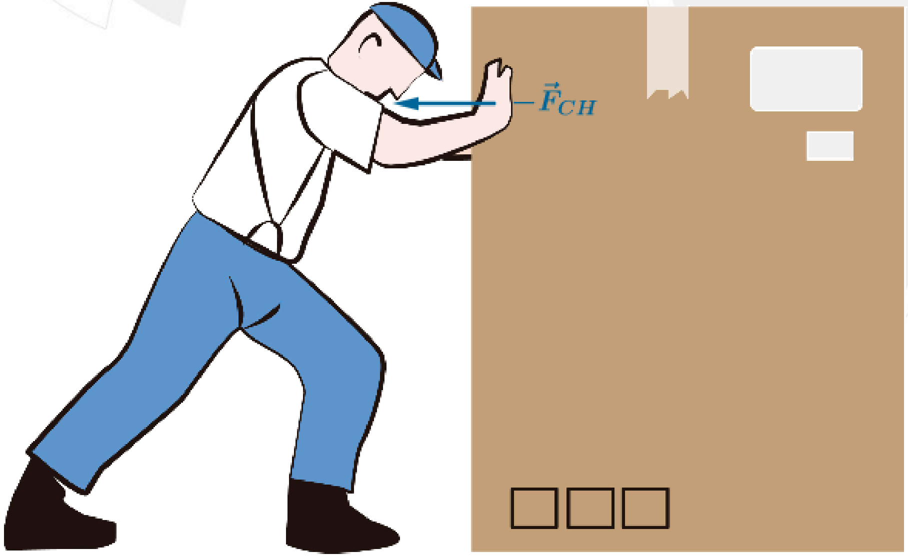
$$\boxed{a = g \cdot sen\theta}$$

Notamos que a aceleração na direção do movimento independe da massa do corpo.

3ª Lei e suas consequências

Prof. Toni Burgatto

1.8. 3ª lei de Newton – O princípio da ação e da reação



$$\boxed{\vec{F}_{HC} = -\vec{F}_{CH}}$$

1.8. 3ª lei de Newton – O princípio da ação e da reação

Estratégia Militares

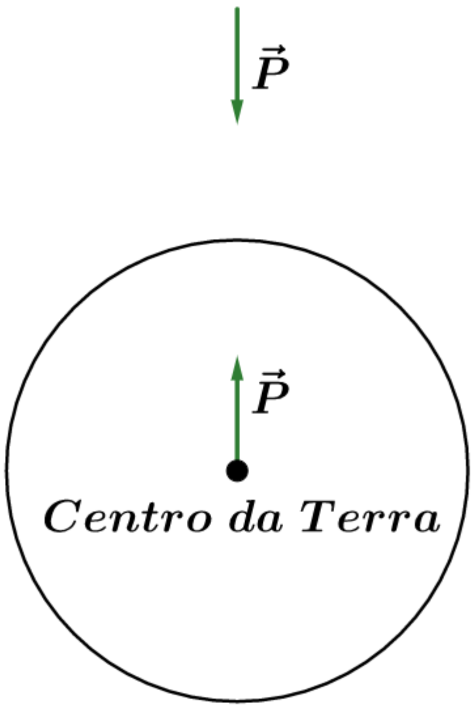
Note que as forças de ação e de reação estão em corpos diferentes. O homem aplica uma força ao caixote, essa forma está no caixote. Da mesma forma, o caixote aplica uma força no homem e essa força está no homem.

*Para toda força de **ação** existe uma força de **reação** correspondente, de modo que essas forças possuem **o mesmo módulo**, **a mesma direção** e **os sentidos contrários**, estando aplicadas em **corpos diferentes**.*

Para Newton a reação era instantânea, mas hoje sabemos que a informação viaja à velocidade da luz, como exemplo, se o sol “sumir” momentaneamente, demoraria o tempo que a luz leva para percorrer a distância Sol-Terra para a Terra sair pela tangente, mostrando que não seria instantaneamente como pensava Newton.

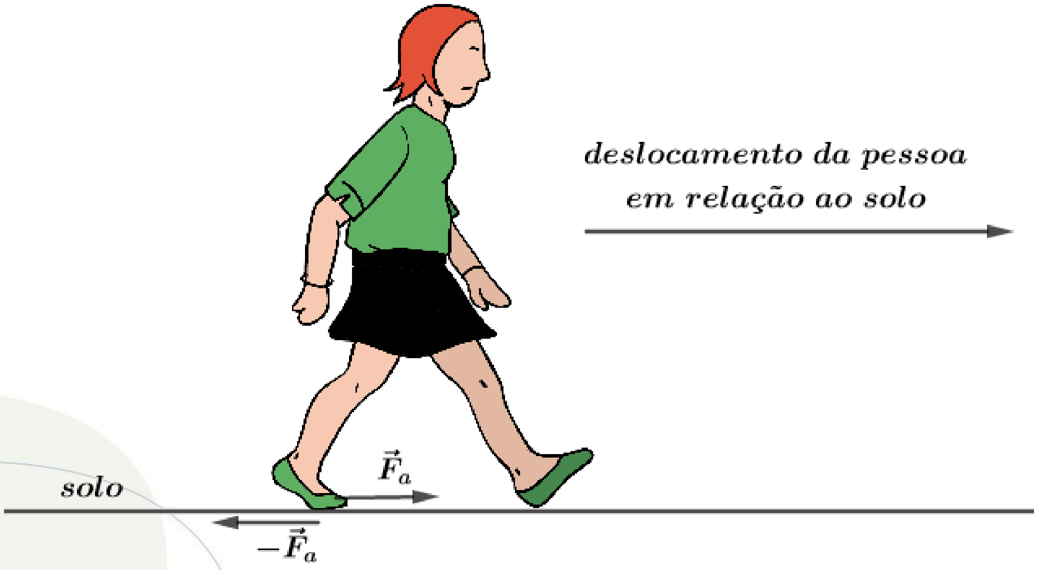
1.8. 3ª lei de Newton – O princípio da ação e da reação

1) **Força peso**: se nas proximidades da Terra um corpo sofre uma força de atração $\vec{P}$, pela terceira lei dizemos que a Terra também é atraída pelo corpo.



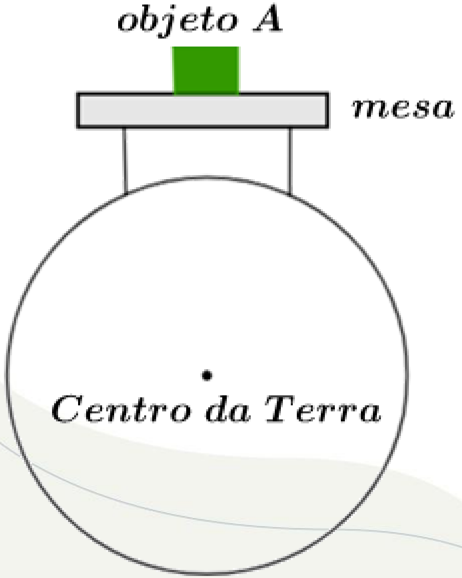
1.8. 3ª lei de Newton – O princípio da ação e da reação

1) **Movimento de um pedestre**: quando um pedestre caminha para frente, ele está empurrando o chão para trás (ação) por intermédio do atrito. Pela 3ª lei, o chão empurra o pedestre para frente (reação), resultando no movimento da pessoa**.**



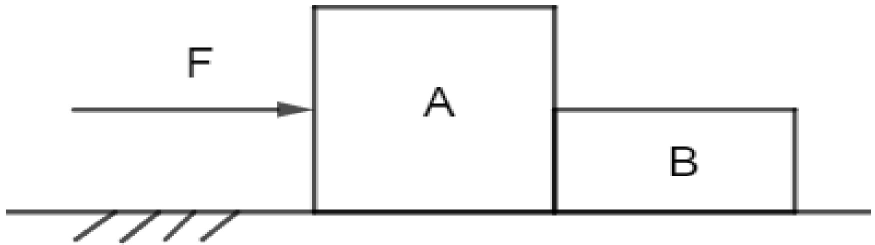
1.8. 3ª lei de Newton – O princípio da ação e da reação

1) **Objeto sobre uma mesa:** quando colocamos um objeto sobre uma mesa, podemos decompor a força que age em cada corpo da seguinte forma:



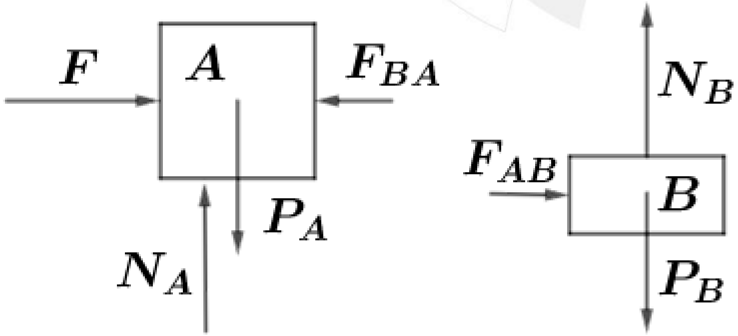
Exemplo 3:

Dois blocos possuem massa $2m$ e m e é aplicada uma força F, conforme figura abaixo. Determine o módulo da força de contato entre os blocos. Despreze os atritos.

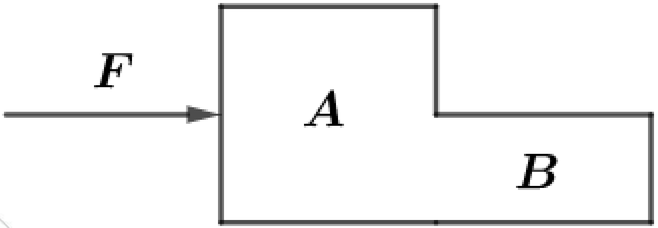


Exemplo 3:

Diagrama de forças para cada um dos blocos:



Dado que o conjunto bloco A + bloco B andam juntos, podemos determinar a aceleração do sistema, para força $\vec{F}$ aplicada:



Exemplo 3:

$$F = (m_A + m_B) \cdot a$$

$$F = (2m + m) \cdot a$$

$$\boxed{a = \frac{F}{3m}}$$

Conhecendo a aceleração, podemos aplicar a 2ª na direção do movimento para cada bloco:

Bloco A:

$$F - F_{BA} = m_A \cdot a$$

$$F - F_{BA} = 2m \cdot \frac{F}{3m}$$

$$\boxed{F_{BA} = \frac{F}{3}}$$

Exemplo 3:

Bloco B:

$$F_{AB} = m_B \cdot a$$

$$F_{AB} = m \cdot \frac{F}{3m}$$

$$\boxed{F_{AB} = \frac{F}{3}}$$

Note que o módulo da força que A aplica em B ($\vec{F}_{AB}$) é igual ao módulo da força que B aplica em A ($\vec{F}_{BA}$). Resultado esperado, pois, eles constituem um par ação e reação, conforme a 3ª lei.

Forças em fios

Prof. Toni Burgatto

1.9. Forças em fios

Vamos desconsiderar o atrito entre os blocos e a superfície. Dizemos que o bloco 1 tem massa m_1, bloco 2 tem massa m_2 e o fio massa tem m_{fio}. Nesse conjunto blocos e fio, aplicamos uma força $\vec{F}$ constante para a direita.

Dessa forma, pela segunda lei de Newton para o sistema como um todo, podemos escrever que:

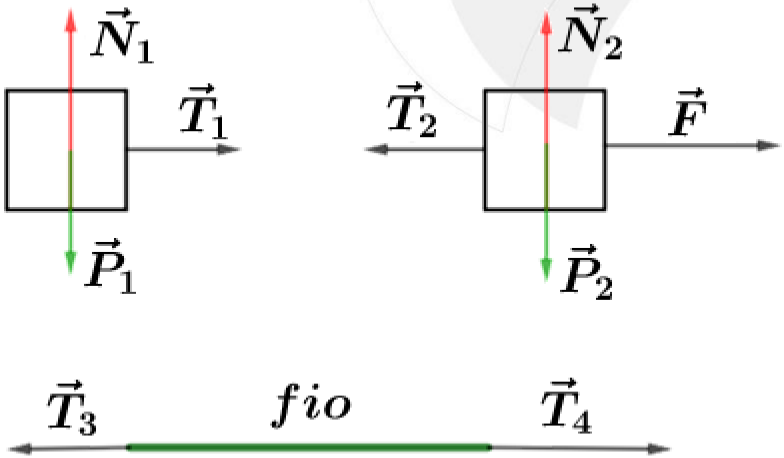
$$\boxed{F = (m_1 + m_2 + m_{fio}) \cdot a}$$

A partir dessa equação podemos determinar o valor da aceleração do conjunto.

Porém, podemos analisar as forças que atuam em cada um dos blocos, pelo seguinte diagrama de forças:

1.9. Forças em fios

Estratégia Militares



Na direção vertical não existe movimento, então temos que, em módulo:

$$\boxed{N_1 = P_1 \; e \; N_2 = P_2}$$

1.9. Forças em fios

Na direção horizontal, podemos escrever a 2ª lei de Newton para cada bloco:

- Bloco 1: o bloco tem a mesma aceleração que o sistema.

$$T_1 = F_{r1}$$

$$T_1 = m_1 \cdot a \quad \text{(I)}$$

- Bloco 2: o bloco também tem a mesma aceleração que o sistema.

$$F - T_2 = m_2 \cdot a \quad \text{(II)}$$

- Para o fio: a aceleração é a mesma que o sistema também.

$$T_4 - T_3 = m_{fio} \cdot a \quad \text{(III)}$$

Por Ação e Reação, podemos afirmar que $\vec{T}_1 = -\vec{T}_3$ e $\vec{T}_4 = -\vec{T}_2$.

Dizemos que um fio é ideal quando sua massa é desprezível, isto é, $m_{fio} \cong 0$.

1.9. Forças em fios

Dessa forma, temos que:

$$T_4 - T_3 \cong 0 \cdot a$$

$$T_4 \cong T_3$$

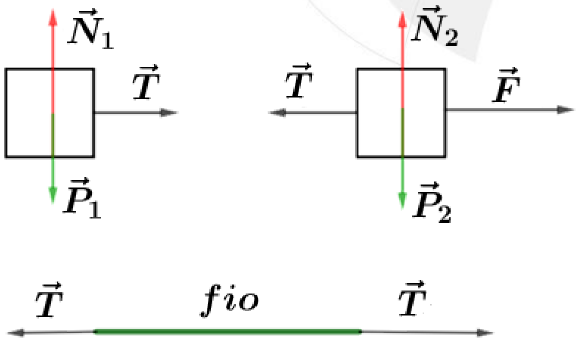
Mas, como $\vec{T}_1 = -\vec{T}_3$ e $\vec{T}_4 = -\vec{T}_2$, concluímos que, em módulo:

$$\boxed{T_1 = T_2 = T}$$

Portanto, quando estamos trabalhando com um fio ideal a tração ao longo do fio é a mesma.

1.9. Forças em fios

Podemos reescrever nosso diagrama de forças da seguinte forma:



Dessa forma, podemos determinar o módulo da tração T no fio em função da força aplicada:

$$T_1 = m_1 \cdot a$$

$$T = m_1 \cdot \frac{F}{m_1 + m_2}$$

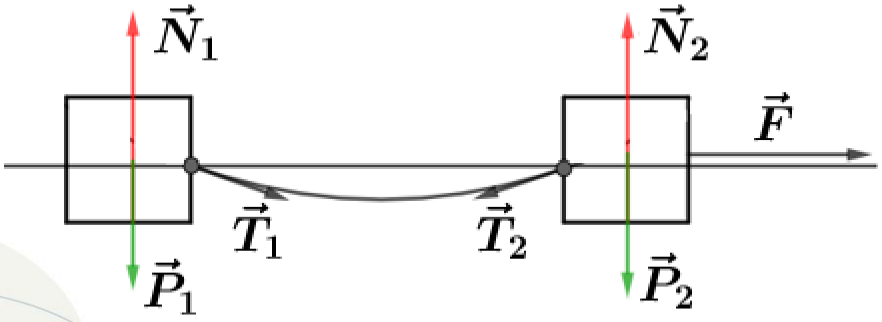
$$\boxed{T = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot F}$$

1.9. Forças em fios

Nota:

Em muitos livros, autores utilizam a palavra tensão como sinônimo de tração. Não faremos isso aqui, pois a palavra tensão tem outra definição para nós no estudo das deformações.

Observação: Caso a massa do fio não for desprezível, não podemos considerar o fio na horizontal como propomos no início. O fio deve ter uma certa curvatura:



Exemplo 4:

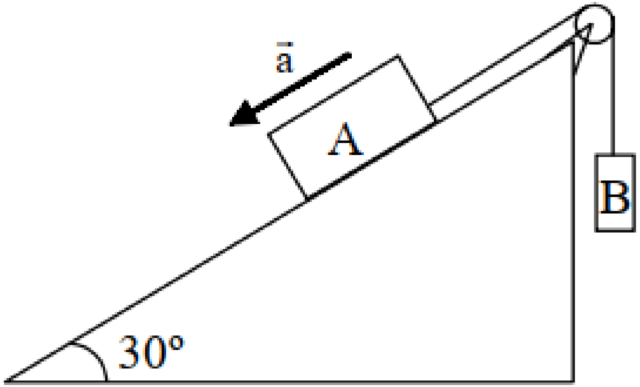
(EEAR) Na figura a seguir o bloco A, de massa igual a $6\,kg$, está apoiado sobre um plano inclinado sem atrito. Este plano inclinado forma com a horizontal um ângulo de 30°. Desconsiderando os atritos, admitindo que as massas do fio e da polia sejam desprezíveis e que o fio seja inextensível, qual deve ser o valor da massa, em kg, do bloco B para que o bloco A desça o plano inclinado com uma aceleração constante de $2\,m/s^2$.
Dado: aceleração da gravidade local $= 10\,m/s^2$.

a) 0,5

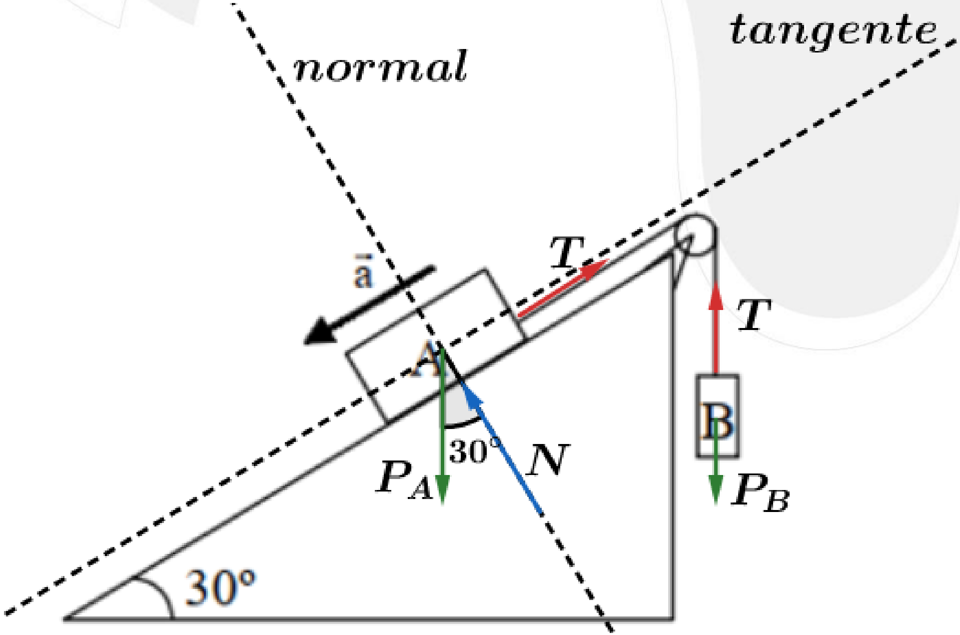
b) 1,5

c) 2,0

d) 3,0

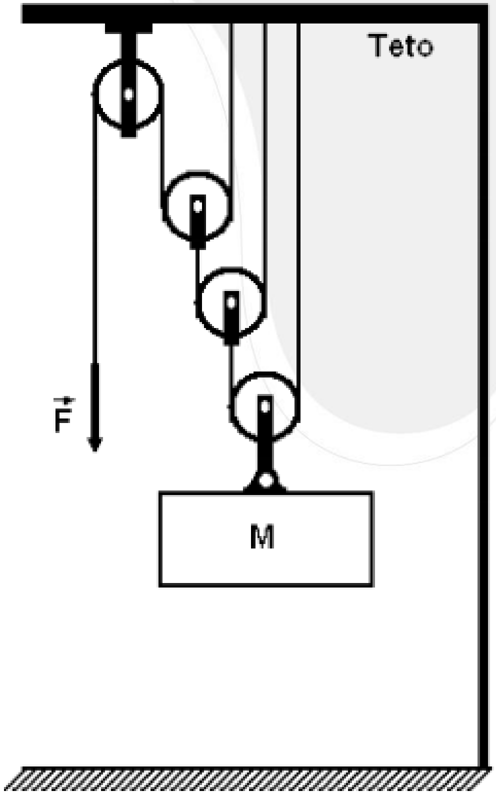


Exemplo 4:



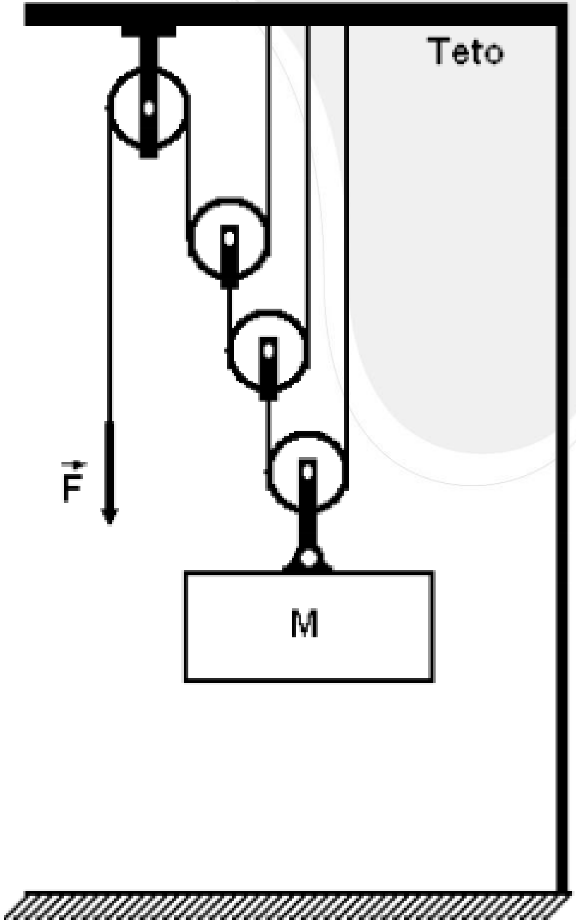
Exemplo 05:

(EsPCEx) Um trabalhador utiliza um sistema de roldanas conectadas por cordas para elevar uma caixa de massa $M = 60\,kg$. Aplicando uma força $\vec{F}$ sobre a ponta livre da corda conforme representado no desenho abaixo, ele mantém a caixa suspensa e em equilíbrio. Sabendo que as cordas e as roldanas são ideais e considerando a aceleração da gravidade igual a $10\,m/s^2$, o módulo da força $\vec{F}$ vale



a) $10\,N$
b) $50\,N$
c) $75\,N$
d) $100\,N$
e) $150\,N$

Exemplo 05:



Vínculos geométricos

Prof. Toni Burgatto

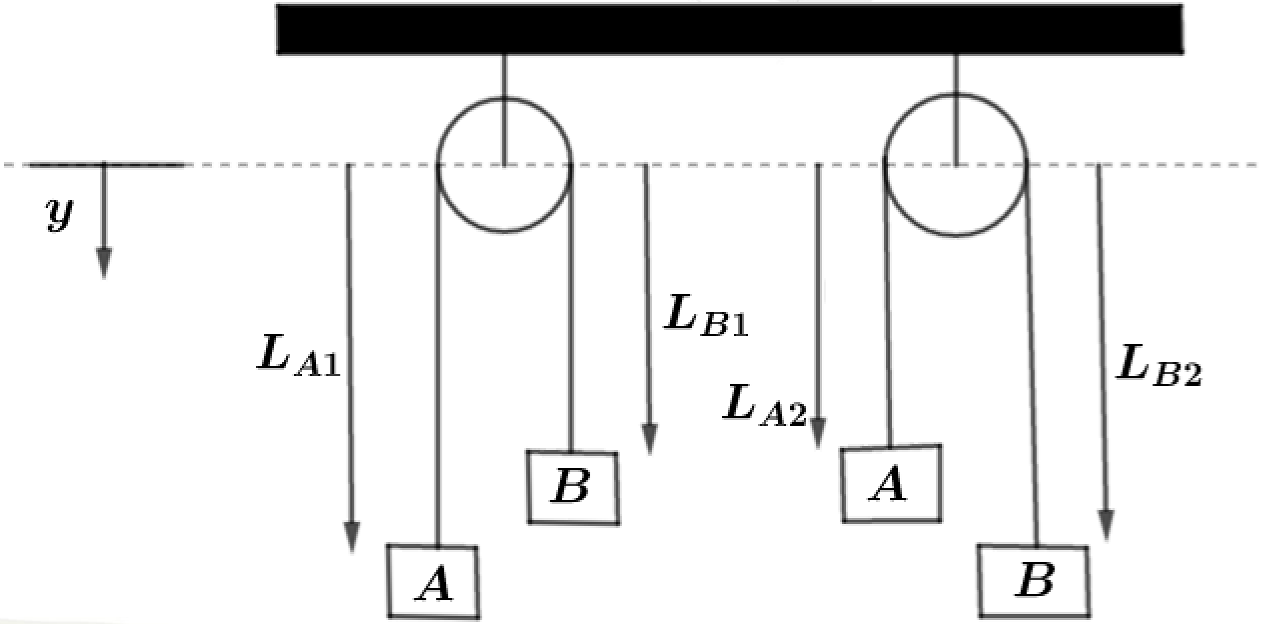
1.10 Vínculos geométricos

Chamamos de vínculo geométrico toda restrição física imposta pelo sistema dinâmico estudado. Pode-se criar um vínculo geométrico usando fios, corpo extenso e molas.

Devido às restrições físicas, a cinemática dos corpos fica interligada pelo vínculo estabelecido na ligação entre os corpos.

1.10 Vínculos geométricos

1.10.1. Polias fixas com fios inextensíveis



$$L_{fio} = L_{A1} + L_{B1} + \pi R = L_{A2} + L_{B2} + \pi R$$

$$(L_{A2} - L_{A1}) + (L_{B2} - L_{B1}) = 0$$

1.10 Vínculos geométricos

1.10.1. Polias fixas com fios inextensíveis

1.10 Vínculos geométricos

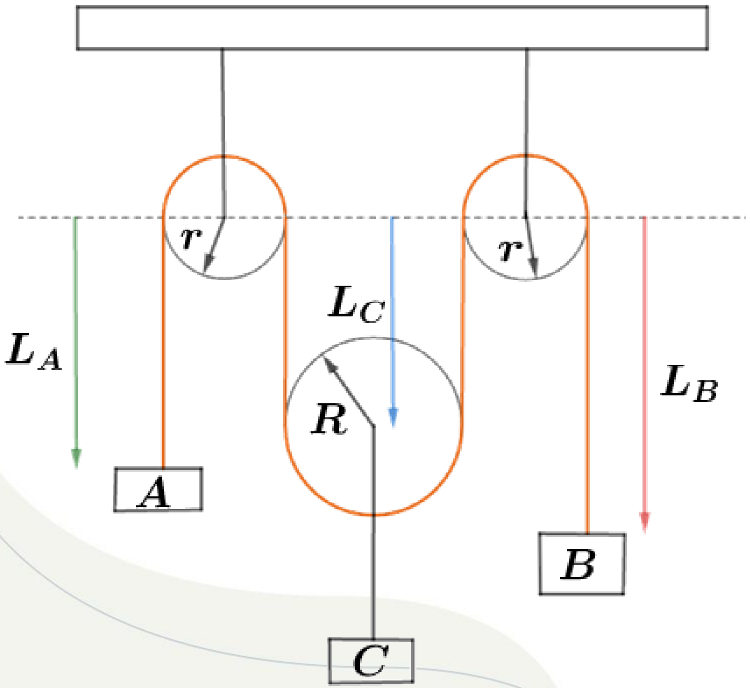
1.10.1. Polias fixas com fios inextensíveis

Isto é apenas um processo matemático. A partir de agora, vamos apenas escrever a equação que rege os deslocamentos dos corpos e, consequentemente, saberemos a relação entre as acelerações.

$$L_A + L_B = 0$$
$$\downarrow$$
$$v_A + v_B = 0$$
$$\downarrow$$
$$a_A + a_B = 0$$

1.10 Vínculos geométricos

1.10.2. Polias móveis com fios inextensíveis



O comprimento do fio é dado por:

$$L_{fio} = L_A + \pi \cdot r + L_C + \pi \cdot R + L_C + \pi \cdot r + L_B$$

$$\boxed{L_{fio} = L_A + 2L_C + L_B + 2\pi \cdot r + \pi \cdot R}$$

Para as velocidades teremos a seguinte lei de formação:

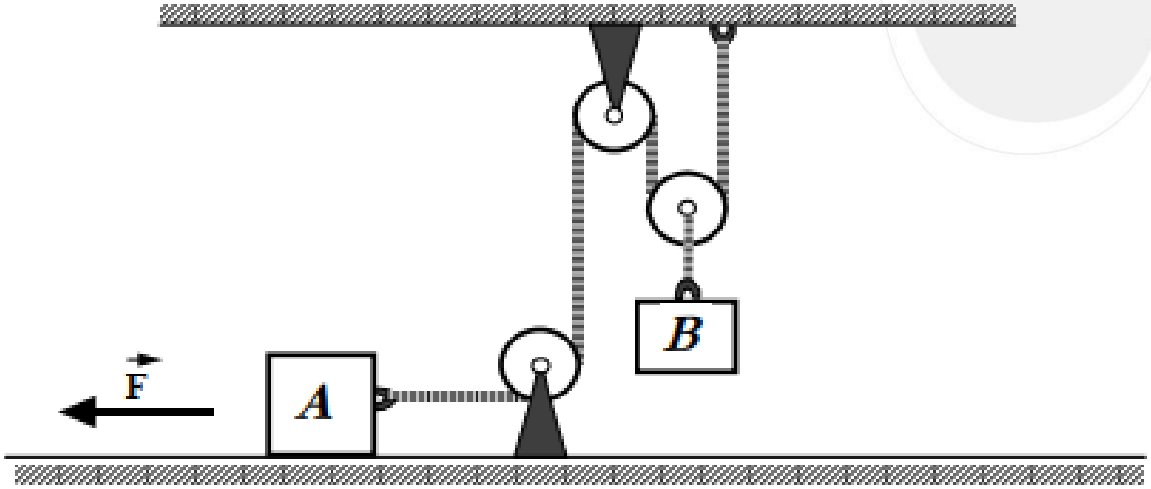
$$\boxed{v_A + 2v_C + v_B = 0}$$

Novamente, para as acelerações, temos que:

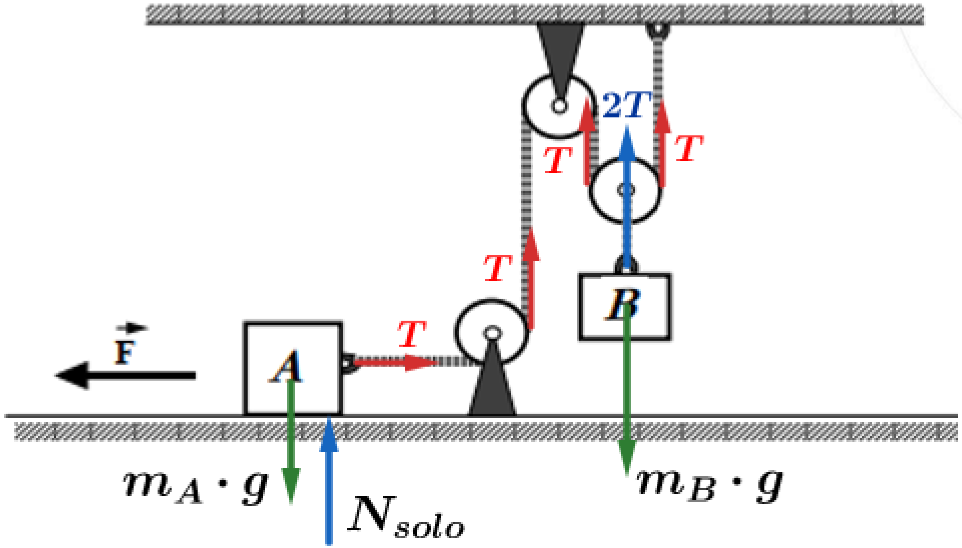
$$\boxed{a_A + 2a_C + a_B = 0}$$

Exemplo 07:

(EsPCEx) No sistema apresentado na figura abaixo, o fio e as polias são ideais, todos os atritos são desprezíveis e o módulo da força $\vec{F}$ que atua sobre o bloco A vale $550\,N$. Considerando a aceleração da gravidade igual a $10\,m/s^2$ e sabendo que as massas de A e de B valem $20\,kg$ e $15\,kg$, respectivamente, a aceleração do bloco B, em m/s^2, é igual a



Exemplo 07:



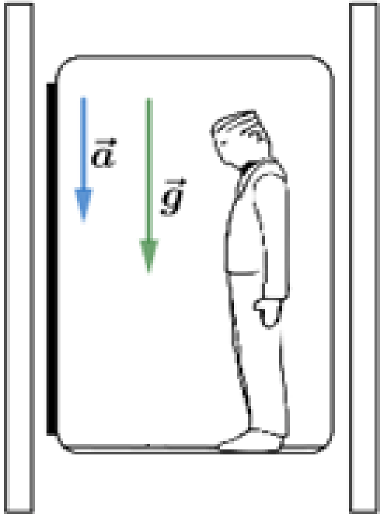
Referenciais inerciais

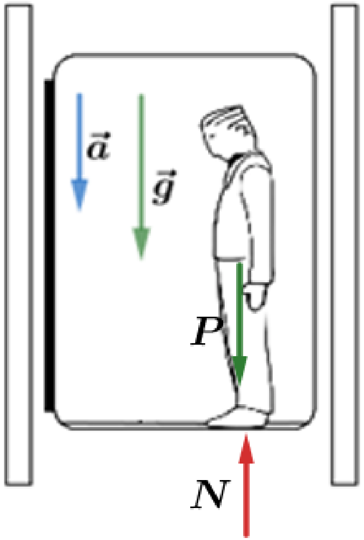
Prof. Toni Burgatto

1.11. Referenciais inerciais

De acordo com o Princípio da Inércia, se não há força resultante atuando sobre uma partícula, esta deve ter **velocidade vetorial constante**.

1.12. Elevadores

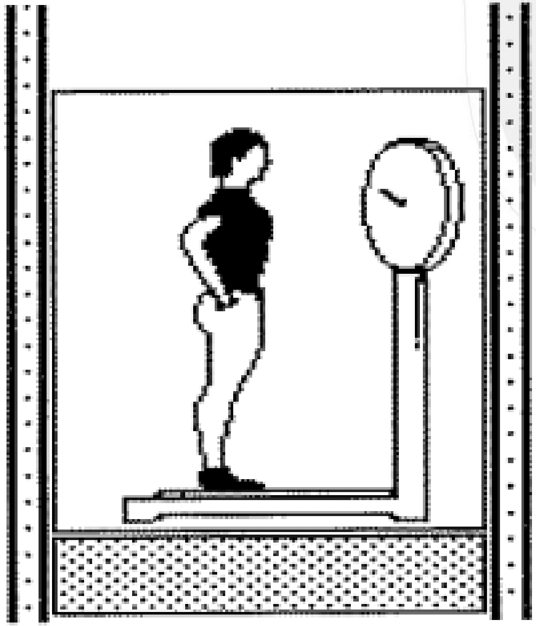




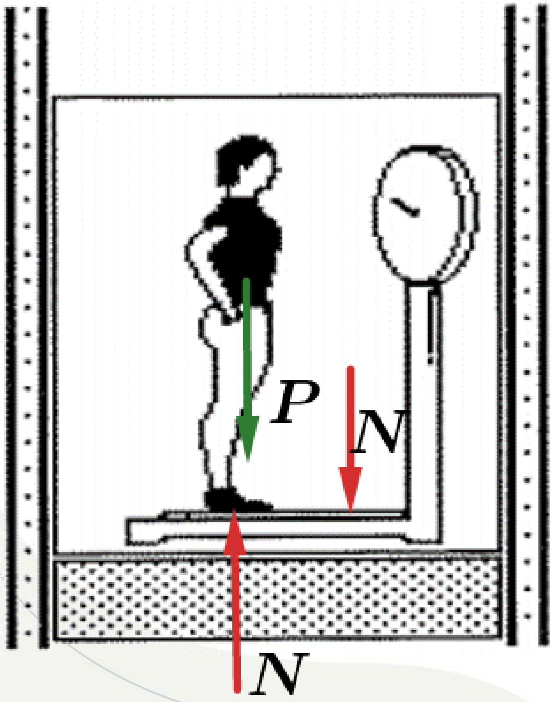
Exemplo 08:

(CN – 2004) Uma balança foi colocada dentro de um elevador, conforme mostra a figura acima. Se o elevador executa um movimento de descida com aceleração constante, então a balança registra um peso

a) maior que o marcado fora do elevador.
b) menor que o marcado fora do elevador.
c) igual ao marcado fora do elevador.
d) igual ao dobro do registrado fora do elevador.
e) igual a zero pois não será possível medi-lo.



Exemplo 08:



Obrigado!

@proftoniburgatto

@estrategiamilitares

Estratégia
Militares