## SEGUNDA LEI DE NEWTON PARA FORÇA GRAVITACIONAL, PESO E NORMAL

Um corpo de massa m em queda livre na Terra está submetido a uma aceleração de módulo g. Se desprezamos os efeitos do ar, a única força que age sobre o corpo é a força gravitacional $\vec{F}_G$. Podemos relacionar essa força à aceleração correspondente através da segunda lei de Newton, ($\vec{F} = m.\vec{a}$). Se colocamos o eixo y vertical ao longo da trajetória do corpo, com o sentido positivo para cima:

$$-F_G = m(-g)$$
$$F_G = m.g$$

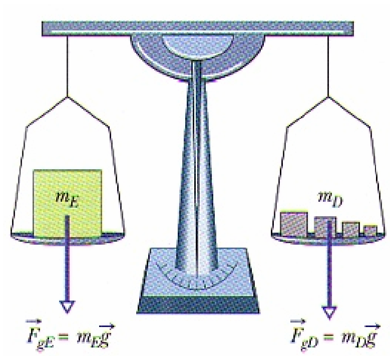



**FIG. 5-5** Uma balança de braços iguais. Quando a balança está equilibrada a força gravitacional $\vec{F}_{gE}$ a que está submetido o corpo que se deseja pesar (no prato da esquerda) e a força gravitacional total $\vec{F}_{gD}$ a que estão submetidas as massas de referência (no prato da direita) são iguais. Assim, a massa $m_E$ do corpo que está sendo pesado é igual à massa total $m_D$ das massas de referência.

O módulo da força gravitacional é igual a *m.g.*

Na forma vetorial, a força gravitacional toma a forma:

$$\vec{F}_G = -F_G\,\hat{j} = m(-g)\,\hat{j} = m\vec{g}$$

Esta mesma força gravitacional, com o mesmo módulo, atua sobre o corpo mesmo quando não está em queda livre, mas se encontra, por exemplo, em repouso ou movendo-se sobre uma mesa. Para que a força gravitacional desaparecesse, a Terra teria que desaparecer.

O peso de um corpo é igual ao módulo da força gravitacional que age sobre o corpo.

$$P = mg \qquad \text{(peso),}$$

A segunda lei de Newton será escrita como:

$$P - F_g = m(0) \qquad \text{ou} \qquad P = F_g$$

Para que o peso de um corpo seja medido corretamente é preciso que ele não possua aceleração vertical. Por exemplo: Se você se pesar no banheiro de casa ou a bordo de um trem em movimento o resultado será o mesmo. Caso, você repita a medição em um elevador acelerado, obterá uma leitura diferente por causa da aceleração. Um peso medido desta forma é chamado de peso aparente.

**IMPORTANTE:** **Peso e massa não são a mesma coisa.** O peso de uma bola de boliche de massa igual a 6 Kg é 58,8 N na Terra, mas 9,6 N na Lua. Já a massa da bola será a mesma tanto na Terra quanto na Lua, pois a massa é uma propriedade intrínseca). Enquanto a aceleração de queda livre na Lua é apenas 1,6 m/s$^2$, na Terra é de 9,8 m/s$^2$.

Já vimos que quando um corpo exerce uma força sobre a superfície, a superfície (ainda que aparentemente rígida) se deforma e empurra o corpo com uma força normal que é perpendicular à superfície.

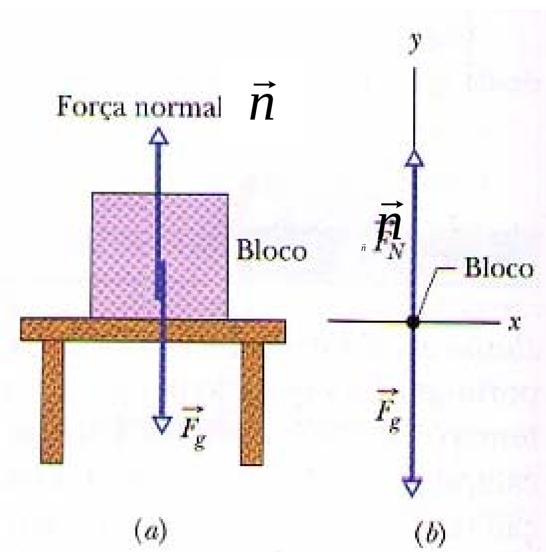



**FIG. 5-7** (*a*) Um bloco que repousa sobre uma mesa experimenta uma força normal $\vec{F}_N$ perpendicular à superfície da mesa. (*b*) Diagrama de corpo livre do bloco.

A figura ao lado 5-7a mostra um bloco de massa m que pressiona uma mesa para baixo, deformando-a por causa da força gravitacional a que o bloco está sujeito. A mesa empurra-o para cima com uma força normal $\vec{n}$. As forças gravitacional e normal são as únicas que atuam sobre o bloco, e ambas são verticais. Assim, a segunda lei de Newton assume a forma:

$$n - F_G = ma_y$$

$$n - mg = ma_y$$

O módulo da força normal é portanto:

$$n = mg + ma_y = m(g + a_y) \quad (5\text{-}13)$$

para qualquer aceleração vertical $a_y$ da mesa e do bloco (eles poderiam estar, por exemplo em um elevador acelerado). Se a mesa e o bloco não estão acelerados em relação ao solo, $a_y = 0$ e a equação acima (5-13) se torna:

$$n = mg$$

**TESTE 3** Na Fig. 5-7 o módulo da força normal $\vec{F}_N$ é maior, menor ou igual a $mg$ se o bloco e a mesa estão em um elevador que se move para cima (a) com velocidade constante; (b) com velocidade crescente?

(a) igual:

$$n - mg = ma_y = 0$$
$$n = mg$$

(b) maior:

A aceleração é para cima com $v$ crescente e, portanto, a força resultante é para cima.

$$n - mg = ma_y \quad \therefore n = ma_y + mg$$

**TESTE 4** O corpo suspenso da Fig. 5-9*c* pesa 75 N. A tensão $T$ é igual, maior do que ou menor que 75 N quando o corpo se move para cima (a) com velocidade constante, (b) com velocidade crescente e (c) com velocidade decrescente?

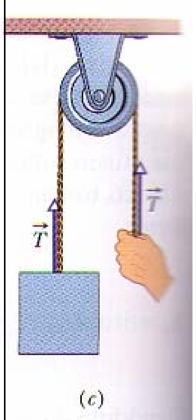


Fig. 5-9c

(a) velocidade constante, $a_y = 0$, então T = 75 N.

(b) maior do que 75N. Se v é crescente, Δv é positiva e a aceleração é positiva.

$$T - F_G = ma_y \quad \therefore \quad T = ma_y + mg \quad \therefore \quad T = (ma_y + 75)N$$

T será menor do que 75 N. Se v é decrescente, significa que Δv é negativa. Ou seja, existe uma força na direção contrária ao movimento, ou seja na direção $-\vec{j}$ .

$$T - F_G = -ma_y \quad \therefore \quad T = -ma_y + mg \quad \therefore \quad T = (75 - ma_y)N$$

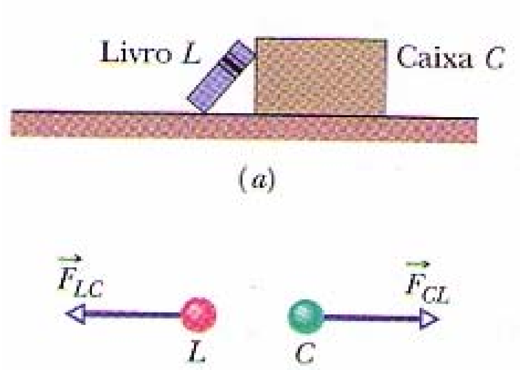
## TERCEIRA LEI DE NEWTON

**Quando dois corpos interagem, as forças que cada corpo exerce sobre o outro são sempre iguais em módulo e têm sentidos contrários.**

**Outras formas de dizer:**

**A toda ação há sempre uma reação oposta e de igual intensidade, ou, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e dirigidas a partes opostas...**

A figura ao lado mostra um livro L apoiado em uma caixa C. O livro e a caixa interagem: a caixa exerce uma força horizontal $\vec{F}_{LC}$ sobre o livro e o livro exerce uma força horizontal $\vec{F}_{CL}$ sobre a caixa.



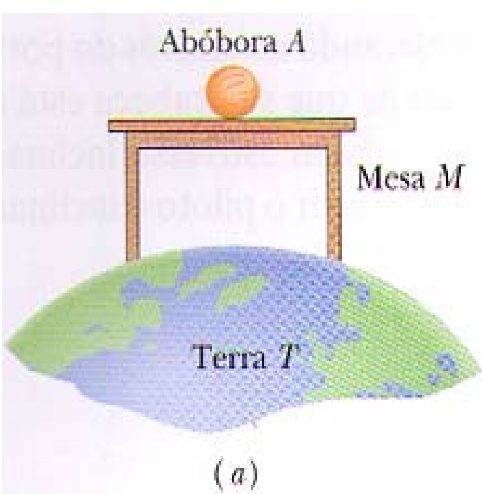

A relação escalar: $F_{LC} = F_{CL}$ (módulos iguais)

Vetorialmente: $\vec{F}_{LC} = -\vec{F}_{CL}$ (módulos iguais e sentidos opostos).

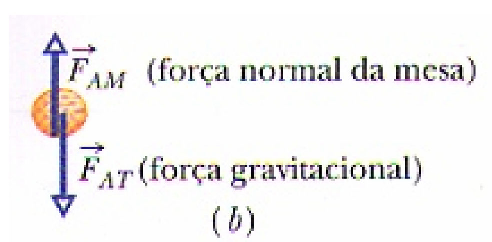
Podemos chamar as forças entre dois corpos que interagem de par de forças da terceira lei.

SEMPRE QUE DOIS CORPOS INTERAGEM EM QUALQUER SITUAÇÃO, UM PAR DE FORÇAS DA TERCEIRA LEI ESTÁ PRESENTE.

Vamos usar um exemplo com três corpos para aumentar o entendimento. Imagine uma abóbora sobre uma mesa que se encontra apoiada no chão (na Terra). A abóbora interage com a mesa enquanto a mesa interage com a Terra.



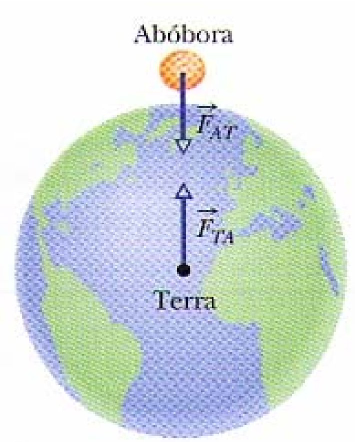

Inicialmente vamos nos concentrar nas forças que agem sobre a abóbora. $\vec{F}_{AM}$ é a força normal que a mesa exerce sobre a abóbora e a força $\vec{F}_{AT}$ é a força gravitacional que a Terra exerce sobre a abóbora.



Elas formam um par de forças da terceira lei?

Não, pois são forças que atuam sobre um mesmo corpo, a abóbora, e não sobre dois corpos que interagem.

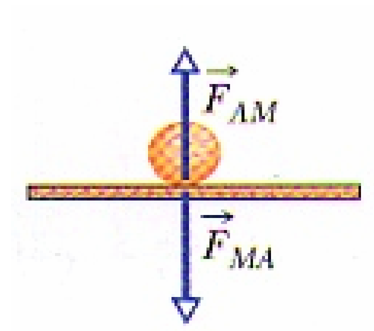
Para encontrar um par da terceira lei precisamos nos concentrar na interação entre a abóbora e outro corpo.



(c)

Assim, de acordo com a terceira lei:

$$\vec{F}_{AT} = -\vec{F}_{TA} \qquad \text{(interação abóbora-Terra).}$$



(d)

Na interação abóbora mesa, a força sobre a abóbora é $\vec{F}_{AM}$ e a força sobre a mesa é $\vec{F}_{MA}$. Essas forças formam um par da terceira lei e portanto:

$$\vec{F}_{AM} = -\vec{F}_{MA} \qquad \text{(interação abóbora-mesa).}$$

**TESTE 5** Suponha que a abóbora e a mesa da Fig. 5-12 estão em um elevador que começa a acelerar para cima. (a) Os módulos de $\vec{F}_{MA}$ e $\vec{F}_{AM}$ aumentam, diminuem ou permanecem os mesmos? (b) Essas duas forças continuam a ser iguais em módulo, com sentidos opostos? (c) Os módulos de $\vec{F}_{AT}$ e $\vec{F}_{TA}$ aumentam, diminuem ou permanecem os mesmos? (b) Essas duas forças continuam a ser iguais em módulo, com sentidos opostos?

(a) Os módulos $F_{MA}$ e $F_{AM}$ aumentam, já que $F_{AM}$ é a força normal que a mesa faz na abóbora. Neste caso:

$$n - mg = ma_y \quad \therefore \quad n = mg + ma_y$$

(b) Essas duas forças continuam a ser iguais em módulo, com sentidos opostos.

$$\vec{F}_{AM} = -\vec{F}_{MA} \qquad \text{(interação abóbora-mesa).}$$

(c) Os módulos de $F_{AT}$ e $F_{TA}$ permanecem os mesmos, pois $F_{AT}$ é a força que a Terra faz sobre a abóbora, ou seja, é a força gravitacional, que não depende da aceleração no eixo y.

(d) Sim. Essas duas forças continuam a ser iguais com sentidos opostos.

$$\vec{F}_{AT} = -\vec{F}_{TA} \qquad \text{(interação abóbora-Terra).}$$

## ***APLICANDO AS LEIS DE NEWTON***

Vamos fazer uma análise cuidadosa para um caso particular da figura abaixo.

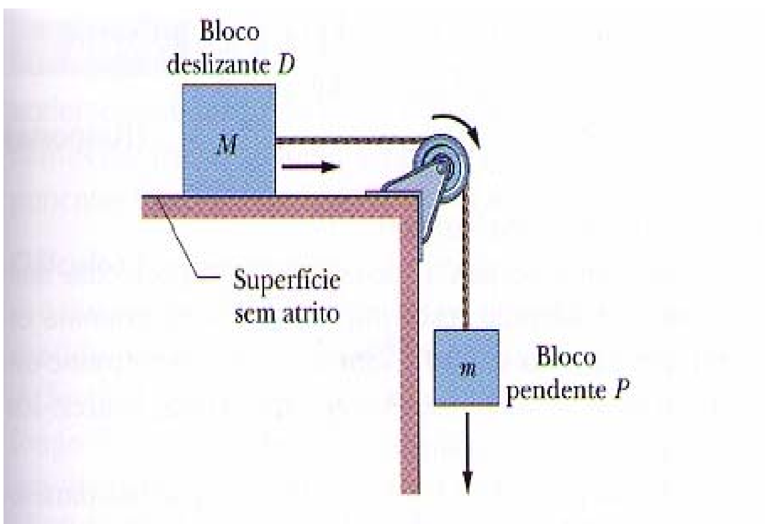



**FIG. 5-13** Um bloco *D* de massa *M* está conectado a um bloco *P* de massa *m* por uma corda que passa por uma polia.

A figura ao lado (5-13) mostra um bloco D de massa M = 3,3 kg. O bloco está livre para se mover ao longo de uma superfície horizontal sem atrito e está ligado, por uma corda que passa por uma polia sem atrito, a um segundo bloco P, de massa m = 2,1 kg. As massas da corda e da polia podem ser desprezadas em comparação com a massa dos blocos. Enquanto o bloco P desce, o bloco deslizante D acelera para a direita. Determine (a) a aceleração do bloco D, (b) a aceleração do bloco P e (c) a tensão na corda.

Foram dados dois corpos, mas também é preciso levar em conta a Terra. Se não fosse a Terra, os blocos não se moveriam. Cinco forças agem sobre os blocos:

1) A corda puxa o bloco D para a direita com uma força de módulo T.
2) A corda puxa o bloco P para cima com uma força cujo o módulo também é T. Esta força para cima evita que o bloco caia livremente.

3) A Terra puxa o bloco D para baixo com uma força gravitacional $\vec{F}_{GD}$ cujo o módulo é Mg.
4) A Terra puxa o bloco P para baixo com uma força gravitacional cujo módulo é mg.
5) A mesa empurra o bloco D para cima com uma força normal $\vec{n}$.

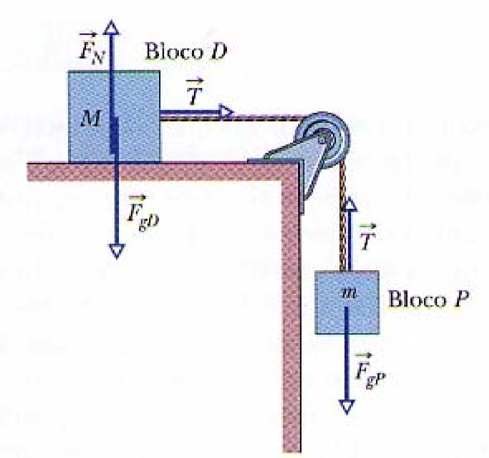
Existe outra coisa digna de nota. Como estamos supondo que a corda é inextensível, se o bloco P desce 1 mm em um certo intervalo de tempo, o bloco D se move 1 mm para a direita no mesmo intervalo. Isso significa que os blocos se movem em conjunto e suas acelerações têm o mesmo módulo a.

Se eu aplicar a segunda lei de Newton a esse problema, a que corpo devo aplicá-la?

Estamos lidando com o movimento de dois corpos, o bloco deslizante e o bloco pendente. Embora se trate de corpos extensos (não pontuais), podemos tratá-los como partículas porque todas as partes de cada bloco se movem exatamente da mesma forma. Devemos aplicar a segunda lei de Newton separadamente a cada bloco.

E a polia?

A polia não pode ser tratada como uma partícula porque diferentes partes da polia se movem de modo diferente. Quando discutimos as rotações examinaremos o caso das polias. Por agora, vamos supor que a polia tem massa desprezível comparada as massas dos dois blocos. Sua única função é mudar a orientação da corda.




Como vou aplicar a equação $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ ao bloco deslizante?

$\vec{F}_{res} = m\vec{a}$ é uma equação vetorial:

$$F_{res,x} = Ma_x \quad F_{res,y} = Ma_y \quad F_{res,z} = Ma_z \qquad (5\text{-}16)$$

onde $F_{res,x}$, $F_{res,y}$ e $F_{res,z}$ são as componentes da força resultante em relação aos três eixos. Como o bloco não possui aceleração vertical $F_{res,y} = Ma_y$ se torna

$$n - F_{GD} = 0 \quad \therefore \quad n = F_{GD}$$

Assim, na direção y, o módulo da força normal é igual é igual ao módulo da força gravitacional.

Nenhuma força atua na direção z, que é perpendicular ao plano do papel.

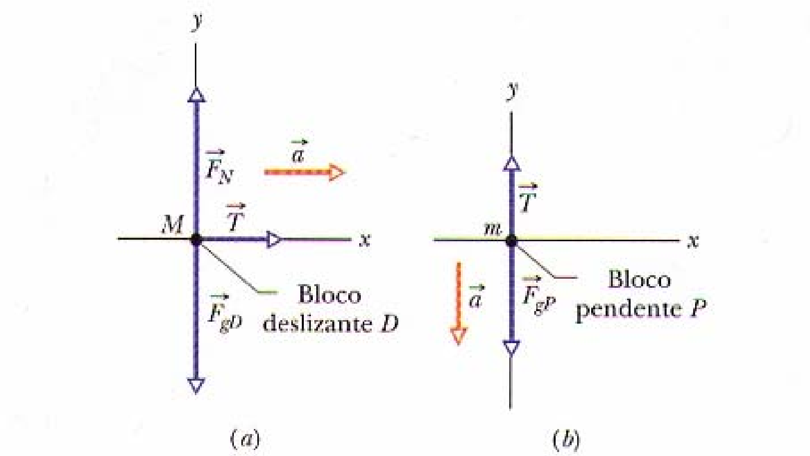



**FIG. 5-15** (*a*) Diagrama de corpo livre do bloco *D* da Fig. 5-13. (*b*) Diagrama de corpo livre do bloco *P* da Fig. 5-13.

Na direção x existe apenas uma componente de força, que é T e $F_{res,x}$ = ma se torna:

$$T = Ma. \qquad (5\text{-}17)$$

Como vou aplicar a equação $F_{res}$ = ma ao bloco P pendente?

Lembre-se que a aceleração, neste caso, está na direção do eixo y. Então vamos usar as componentes em y.

$$T - F_{gP} = ma_y.$$

Subtituindo $F_{gP}$ = m.g e $a_y$ = -a

($a_y$ é negativo pq o bloco P sofre uma aceleração no sentido negativo do eixo y).

O resultado é:

$$T - mg = -ma. \qquad (5\text{-}18)$$

Observe que as equações 5-17 e 5-18 formam um sistema de duas equações e duas incógnitas, T e a. Subtraindo essas equações, eliminamos T e teremos:

$$a = \frac{m}{M+m}g. \qquad (5\text{-}19)$$

Substituindo este resultado na 5-17, obtemos:

$$T = \frac{Mm}{M+m}g.$$

e

$$a = \frac{m}{M+m}g = \frac{2{,}1\ \text{kg}}{3{,}3\ \text{kg} + 2{,}1\ \text{kg}}(9{,}8\ \text{m/s}^2)$$
$$= 3{,}8\ \text{m/s}^2$$

## Exemplo 5-5

Na Fig. 5-16*a*, uma corda puxa para cima uma caixa de biscoitos ao longo de um plano inclinado sem atrito cujo ângulo é $\theta = 30°$. A massa da caixa é $m = 5{,}00$ kg, e o módulo da força exercida pela corda é $T = 25{,}0$ N. Qual é a componente $a$ da aceleração da caixa ao longo do plano inclinado?

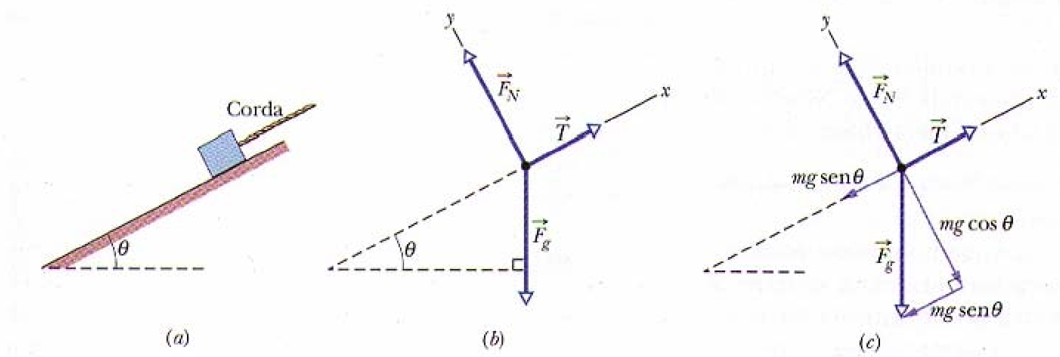



**FIG. 5-16** (*a*) Uma caixa sobe um plano inclinada, puxada por uma corda. (*b*) As três forças que agem sobre a caixa: a força da corda $\vec{T}$, a força gravitacional $\vec{F}_g$ e a força normal $\vec{F}_N$. (*c*) As componentes de $\vec{F}_g$ na direção do plano inclinado e na direção perpendicular.

Use $|g| = 9{,}8\ m/s^2$.

Bibliografia:


Randall, E. Knight - **Física: uma abordagem estratégica.**

Halliday, Resnick, Walker **– Fundamentos da Física.**