

# Física I (4302111)

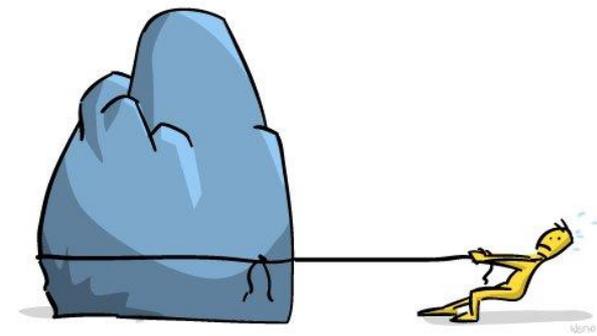
## Turma T2 - noturno

Profa. Luciana V. Rizzo

Força peso

Forças de contato

Unidade no SI:  $N = kg \cdot \frac{m}{s^2}$



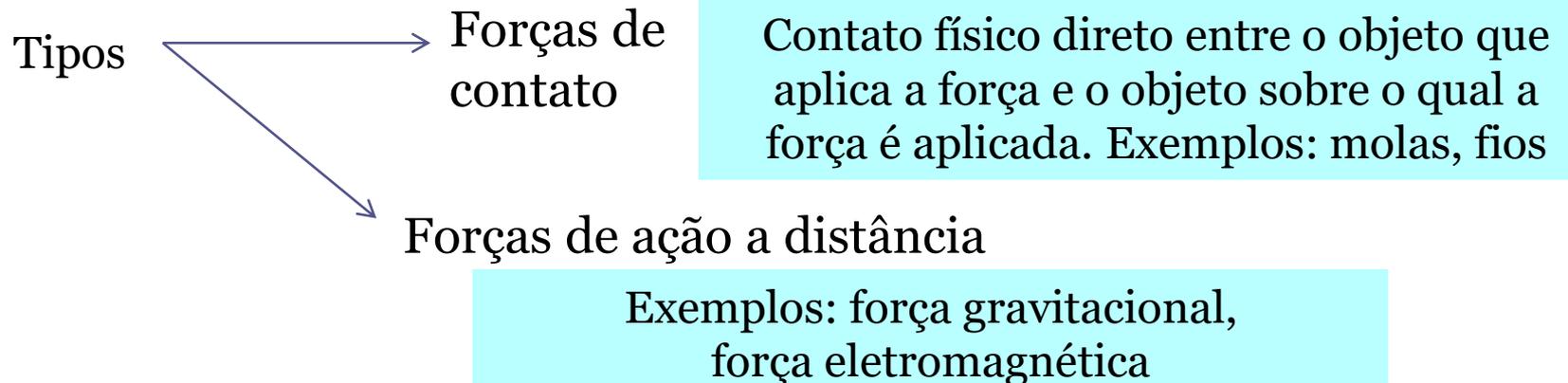
# Força

Força: ação de um agente externo sobre um corpo

Grandeza vetorial

A ação de uma força sobre um corpo:

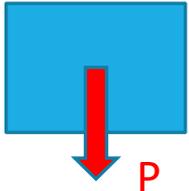
- Provoca variação na velocidade do corpo
- Acelera o corpo em relação a um referencial inercial



# Força gravitacional (ação a distância)

---

# Força peso ou Força gravitacional



$$\vec{F}_g = m\vec{g}$$

**Sempre aponta verticalmente para o centro da Terra.**

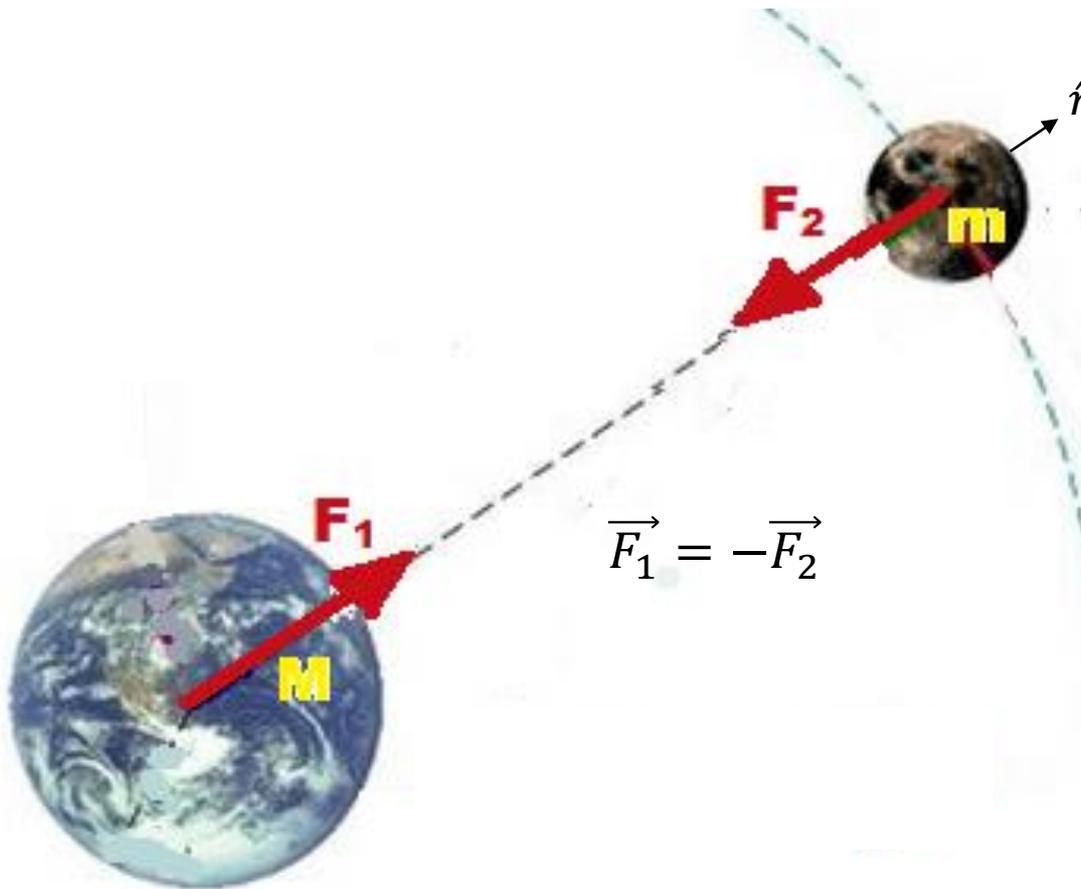
$$g \cong 9,81 \text{ m/s}^2 \quad (\text{próximo à superfície da Terra})$$

Observação:  $g$  varia com o inverso do quadrado da distância ao centro da Terra. Em geral, vamos considerar  $g$  constante na resolução de problemas

**O peso não é uma propriedade intrínseca de um corpo.  
Ele depende da gravidade local.**

# Lei da Gravitação Universal (1687)

---



$$\vec{F} = -G \frac{Mm}{r^2} \hat{r}$$

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

# Forças de contato

Sólidos

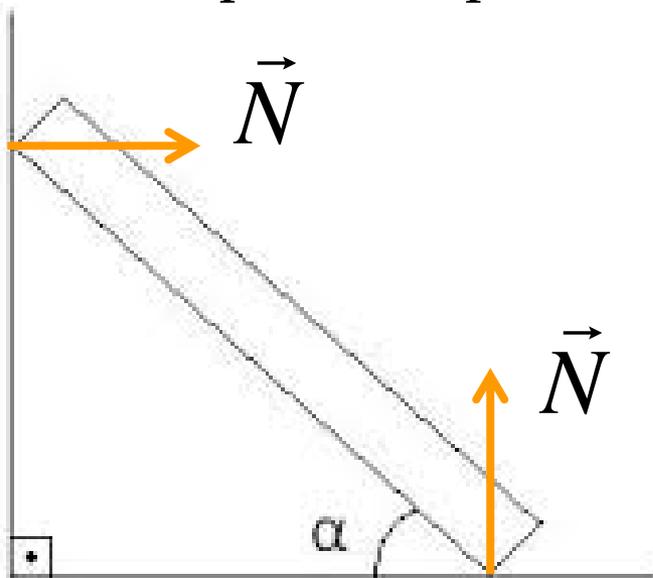
Molas

Fios

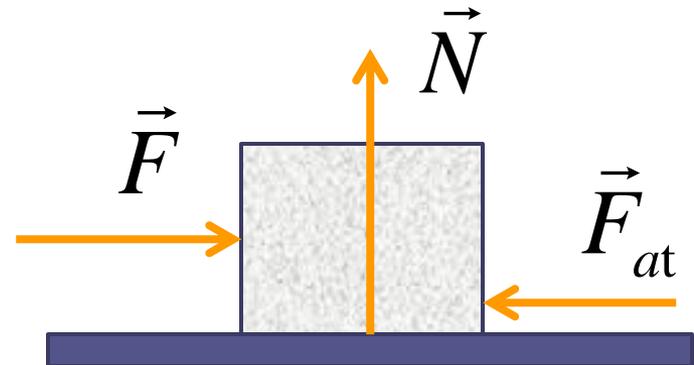
- Sólidos

- Força normal: perpendicular à superfície de contato
- Força de atrito: paralela à superfície de contato; oposição ao sentido do movimento

Exemplo: escada apoiada na parede

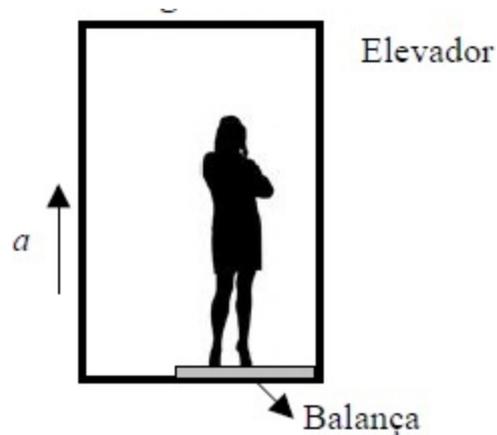


Exemplo: bloco empurrado por uma força horizontal.



# Exemplo: balança em um elevador acelerado

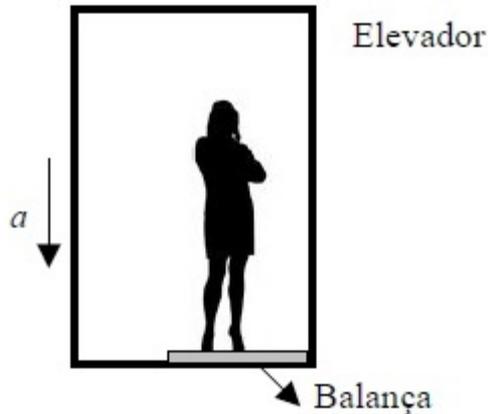
Leitura da balança: forma normal. Peso aparente.



Elevador acelerado para cima:

$$N = m(g + a)$$

(peso aparente maior do que o peso real)

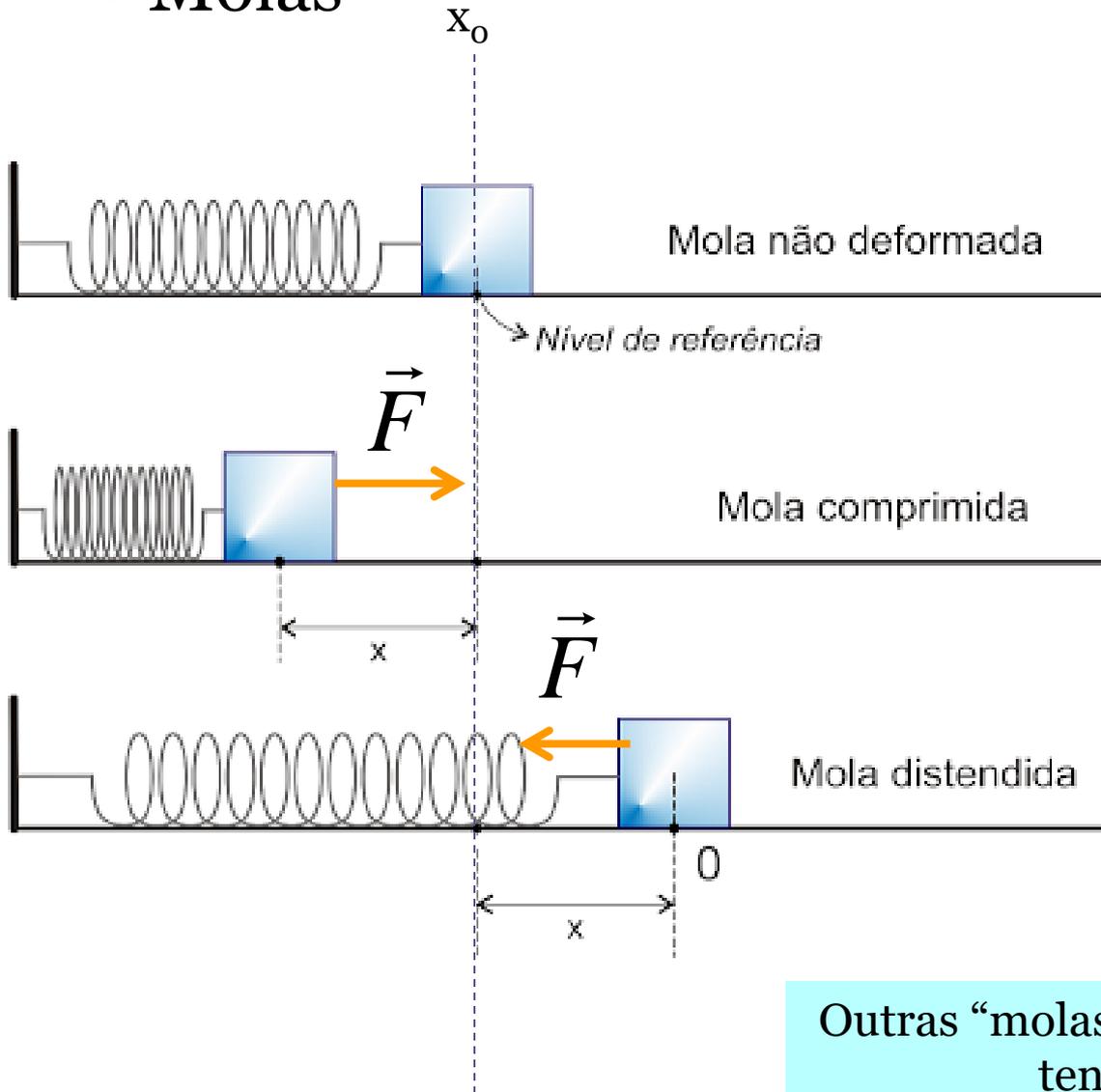


Elevador acelerado para baixo:

$$N = m(g - a)$$

(peso aparente menor do que o peso real)

- Molas

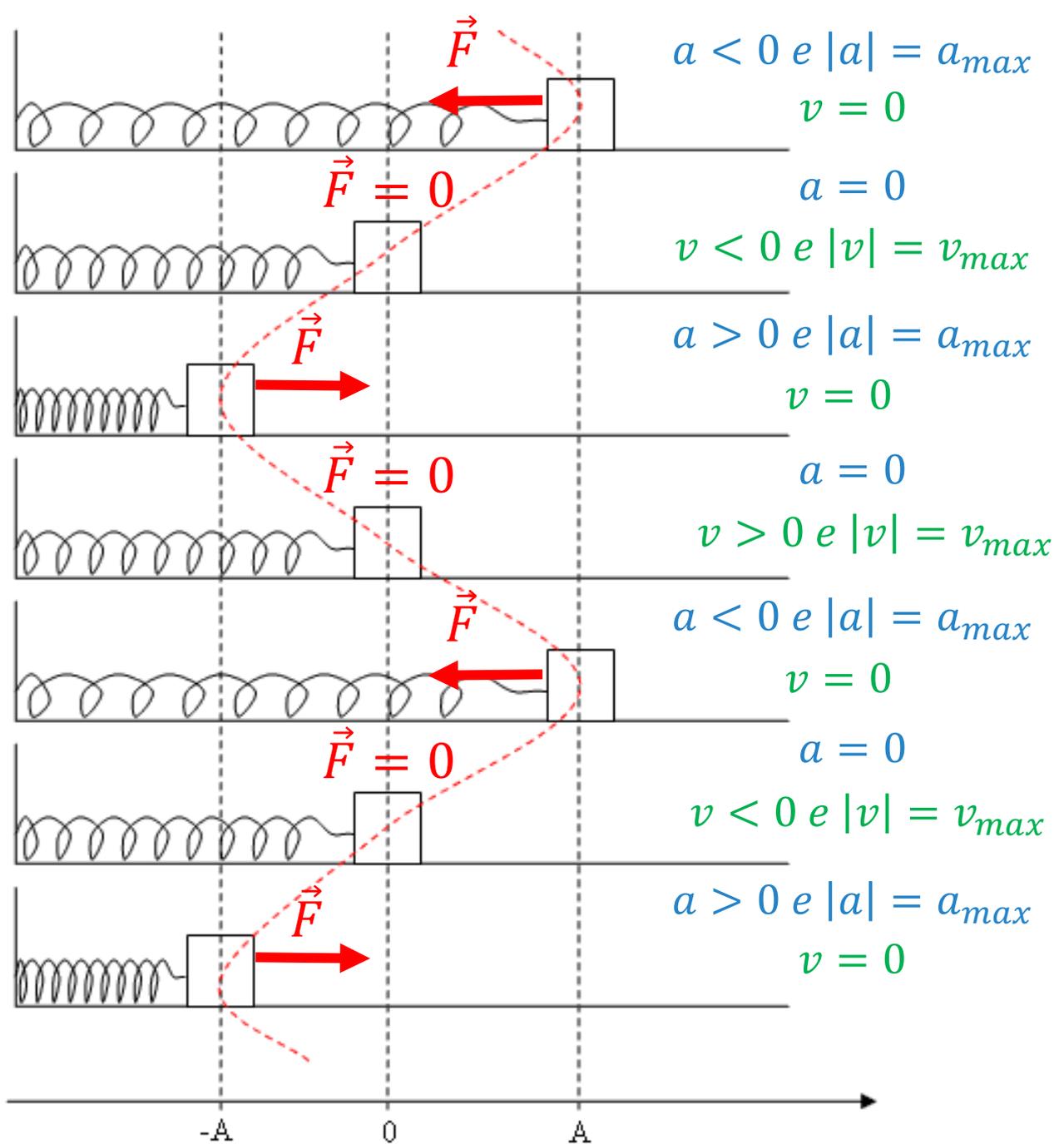


Lei de Hooke:

$$\vec{F} = -k\vec{x}$$

- Força restauradora: tende a restabelecer a posição de equilíbrio
- Válida para pequenos deslocamentos
- Movimento de oscilação

Outras “molas”: elásticos, ligações moleculares, tendões no corpo humano



# Exercício 1

$$\begin{aligned}x(t_A) &= 0; \\x(t_B) &= -0,2 \text{ m}; \\x(t_C) &= 0,2 \text{ m}\end{aligned}$$

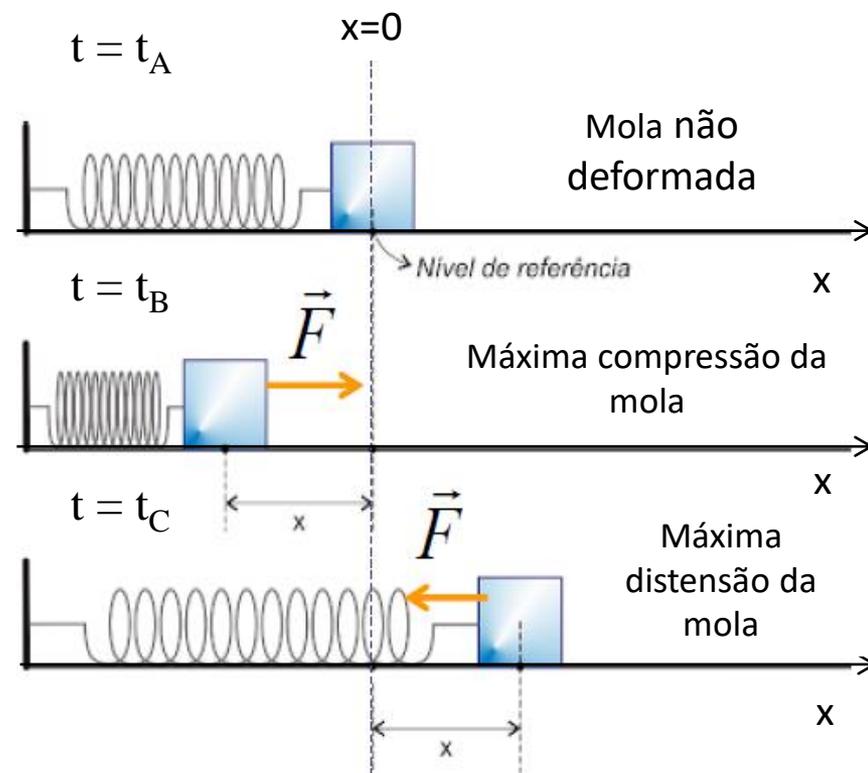
$$\begin{aligned}t_A: \vec{F}_R &= 0; \\t_B: \vec{F}_R &= 20\hat{i} \text{ (N)}; \\t_C: \vec{F}_R &= -20\hat{i} \text{ (N)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}a(t_A) &= 0; \\a(t_B) &= 10 \text{ m/s}^2; \\a(t_C) &= -10 \text{ m/s}^2\end{aligned}$$

Seja um corpo de massa  $m=2,0$  kg preso a uma mola de constante elástica  $K = 100$  N/m. O corpo é deslocado de  $0,2$  m da posição de equilíbrio do sistema, e passa a oscilar. A figura abaixo mostra a posição do corpo em três instantes. Despreze o atrito e considere o sistema de coordenadas da figura.

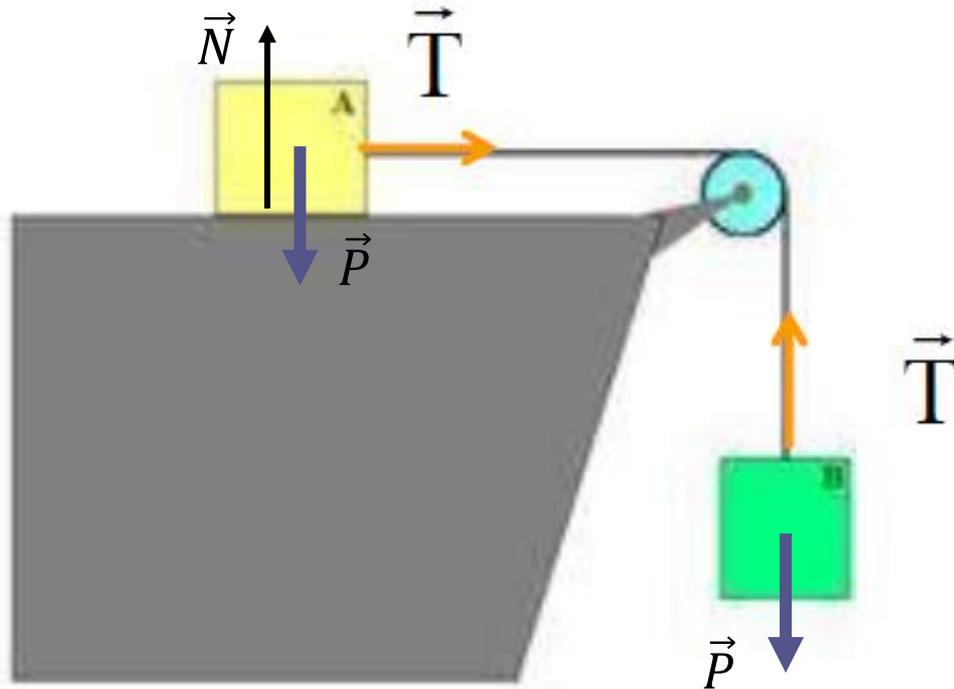
Nos três instantes representados, determine:

- A posição do corpo
- O vetor força resultante sobre o corpo
- A magnitude e o sinal da aceleração do corpo



# Fios - Força de tração (ou tensão)

Força que um segmento da corda exerce sobre um segmento vizinho ou sobre um objeto. **Se a corda for ideal** (inextensível e com massa desprezível) e a **roldana for ideal** (gira sem atrito e possui massa desprezível), a **tração é a mesma** na corda inteira, e os blocos estão **sujeitos à mesma aceleração**.

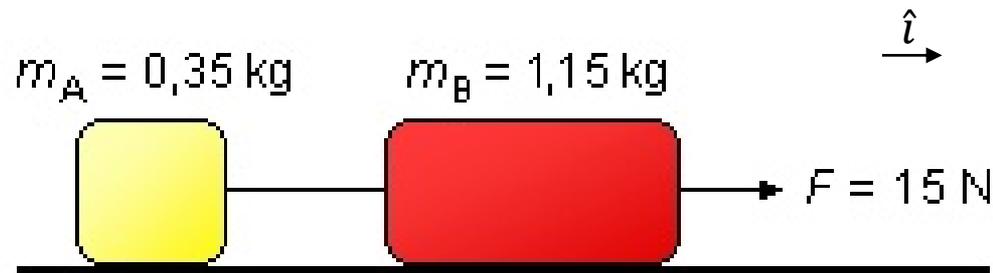


Um polia ideal atua apenas mudando a direção do fio, transmitindo a força  $T$  integralmente.

# Exercício

Dois blocos de massas  $m_A=0,35$  kg e  $m_B=1,15$  kg estão sobre uma superfície horizontal perfeitamente lisa (sem atrito). Os blocos estão ligados por uma corda ideal (sem massa e inextensível). Uma força horizontal de intensidade constante igual a 15 N é aplicada, puxando os dois blocos. A força de tensão que liga os blocos A e B tem módulo de 3,5 N.

- Determine o vetor força resultante sobre cada um dos blocos.
- Determine a aceleração de cada um dos blocos.



- $\vec{F}_{RA} = 3,5 \hat{i}$  (N) ;  $\vec{F}_{RB} = 11,5 \hat{i}$  (N)
- 10 m/s<sup>2</sup> para ambos os blocos

Obs: Os blocos formam um conjunto submetido a mesma força. Ambos têm a mesma aceleração (corda inextensível, comprimento constante). O sistema se comporta como se fosse um único bloco de massa  $m_A+m_B$ .

# Exemplo: máquina de Atwood

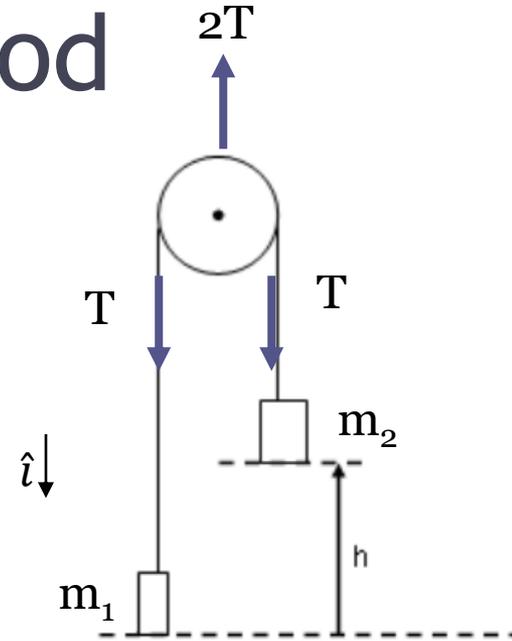
Dois blocos ligados por um fio ideal que passa por uma polia ideal.

Determinar o módulo da aceleração dos blocos e a força de tensão.

Vínculo: o comprimento do fio é constante (fio inextensível). Logo, a aceleração dos blocos é a mesma.

$$a = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} g$$

$$T = \frac{2m_1 m_2}{m_1 + m_2} g \quad (\text{força de vínculo})$$



# Exemplo: sistema com polia móvel

Considerando fios e polias ideais.

Vínculo entre os comprimentos  $L_A$  e  $L_B$ :

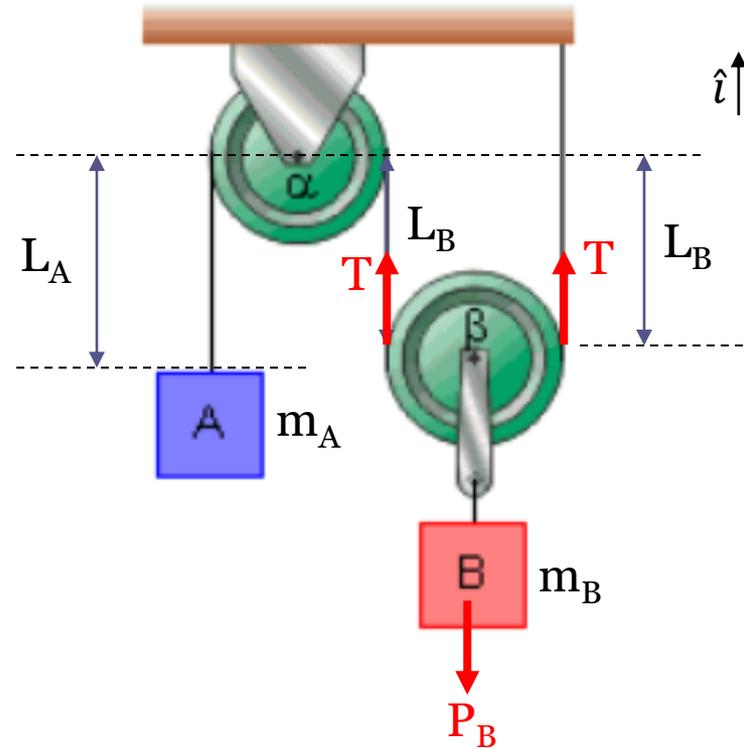
$$L_A + 2L_B = \text{constante}$$

$$\Delta L_A + 2\Delta L_B = 0 \quad \rightarrow \quad \Delta L_B = -\frac{1}{2}\Delta L_A$$

(se A subir  $\Delta L_A$ , então B vai descer metade disso)

Vínculo entre as acelerações de A e B:

$$a_B = -\frac{1}{2}a_A$$



Vantagem mecânica: para sustentar o peso B, basta aplicar uma força  $\frac{P_B}{2}$  na extremidade da corda (onde está o bloco A).

Equilíbrio do bloco B:

$$2T = P_B$$

# Exemplo: sistema com polia móvel

Determinar as acelerações dos blocos e a força de tensão no fio.

Equações de movimento:

$$m_A a_A = T - m_A g$$
$$m_B a_B = 2T - m_B g$$

Vínculo entre as acelerações de A e B:  $a_B = -\frac{1}{2}a_A$

Resolvendo o sistema para  $a_A$ ,  $a_B$  e  $T$ , obtemos:

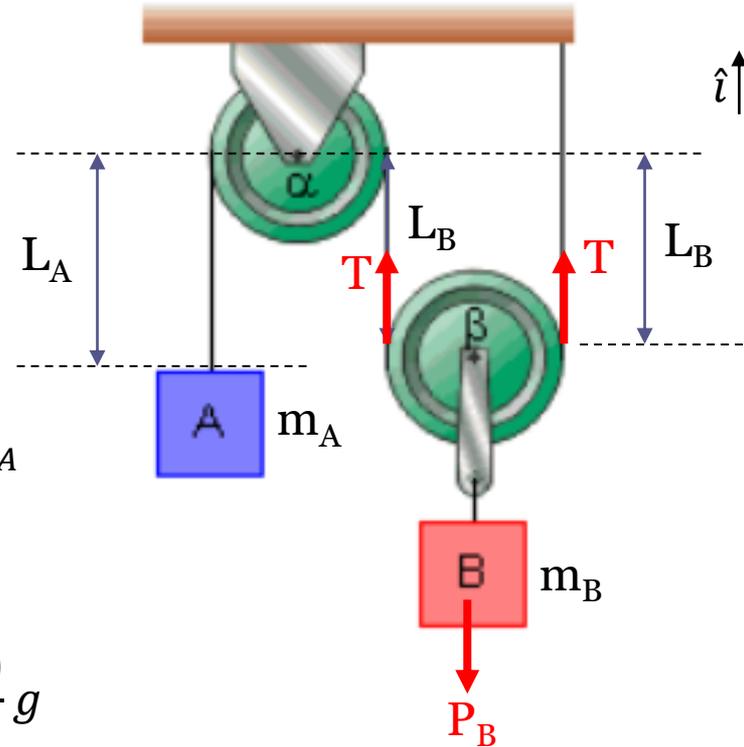
$$a_A = \frac{2(m_B - 2m_A)}{4m_A + m_B} g \quad ; \quad a_B = -\frac{(m_B - 2m_A)}{4m_A + m_B} g$$

$$T = \frac{3m_A m_B}{4m_A + m_B} g$$

O bloco A sobe ( $a_A > 0$ ) se  $m_B > 2m_A$ .

O bloco A desce ( $a_A < 0$ ) se  $m_B < 2m_A$ .

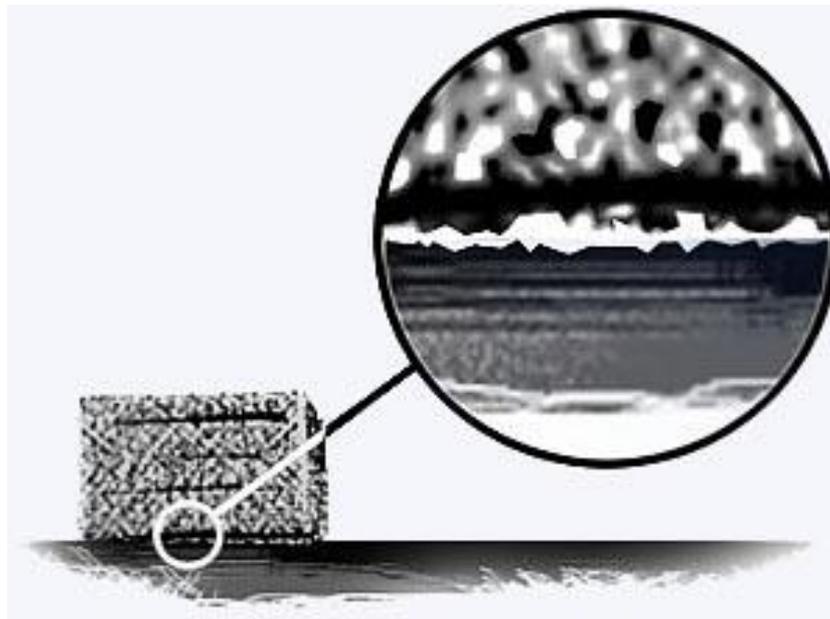
Ocorre equilíbrio ( $a_A = 0$ ) se  $m_A = \frac{m_B}{2}$ .



# Forças de atrito

- Atrito:

- Atração eletromagnética entre as moléculas de duas superfícies em contato
- É necessário para: caminhar; movimento de veículos
- Causa desgaste e dissipação de energia
- Proporcional à força normal



Aspereza  
microscópica  
 $\sim 0,1 \mu\text{m}$

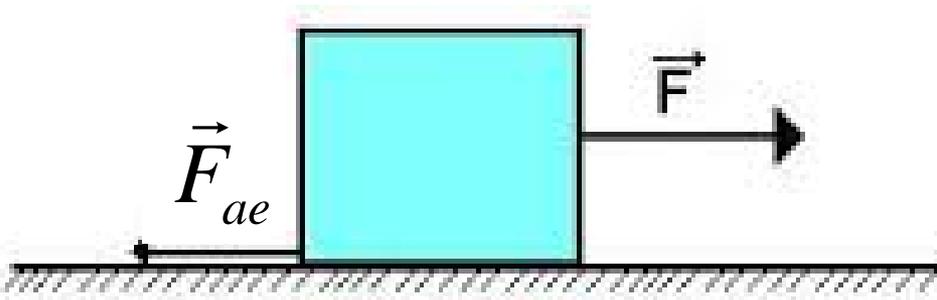
- Atrito estático: quando não há deslizamento entre as superfícies de contato

$$F_{ae} \leq \mu_e N$$

Força de atrito estático, com direção oposta à tendência de deslizamento

Coeficiente de atrito estático: depende dos materiais das superfícies e suas temperaturas

Força normal



Se  $F > F_{ae}$ , a caixa se move.

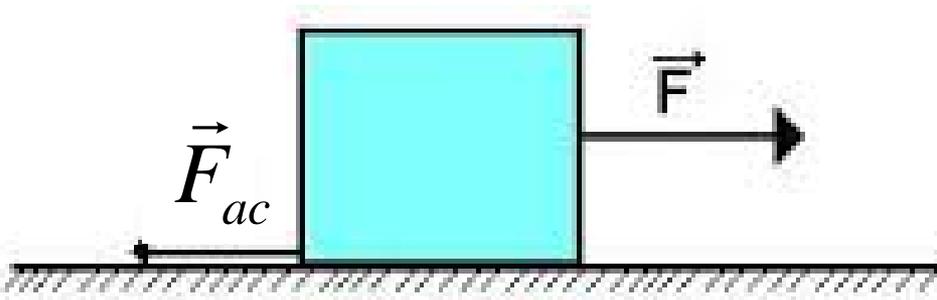
- Atrito Cinético (ou Dinâmico ou de Deslizamento)

$$F_{ac} = \mu_c N$$

Força de atrito cinético, com direção oposta à tendência de deslizamento

Coeficiente de atrito cinético: depende dos materiais das superfícies e suas temperaturas

Força normal



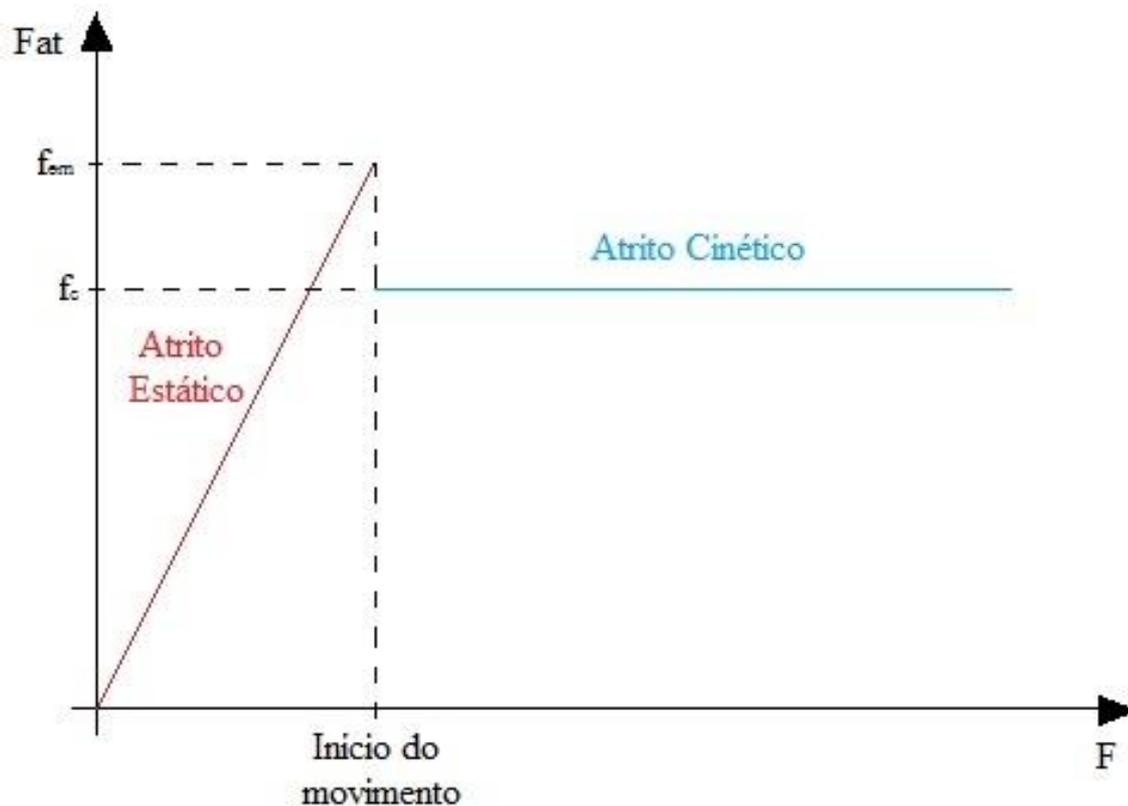
Se  $F > F_{ae}$ , a caixa se move, e o piso passa a exercer a força de atrito cinético  $F_{ac}$ , que se opõe ao movimento.

$$\mu_c < \mu_e$$

Coeficiente de atrito  
cinético

Coeficiente de atrito  
estático

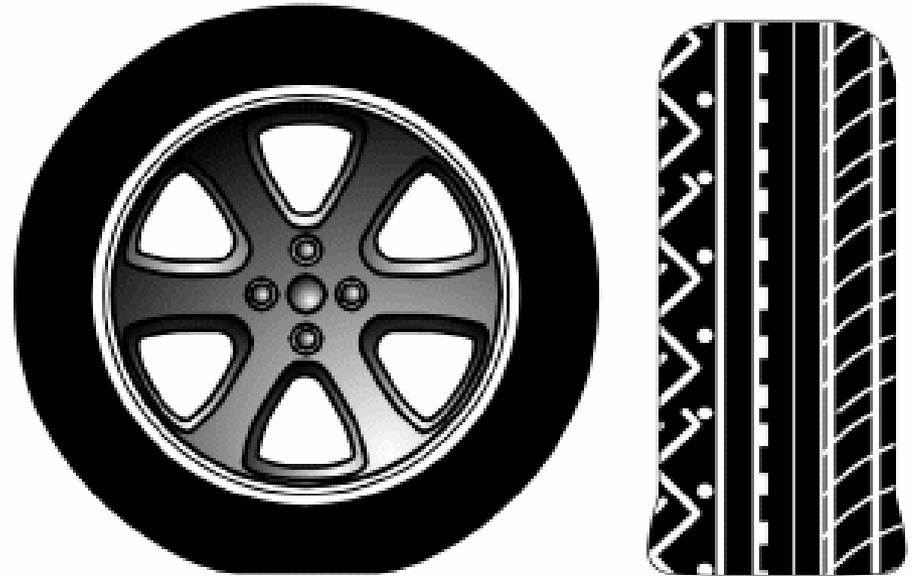
É preciso aplicar  
mais força para  
começar a mover o  
objeto do que para  
mantê-lo deslizando  
com velocidade  
constante.



- Atrito de rolamento: força que se opõe ao rolamento de um pneu, causada pela deformação do pneu em contato com o solo

$$F_{ar} = \mu_r N$$

$$\mu_r \sim 0,01 < \mu_c$$



# Aplicação: Plano inclinado

---

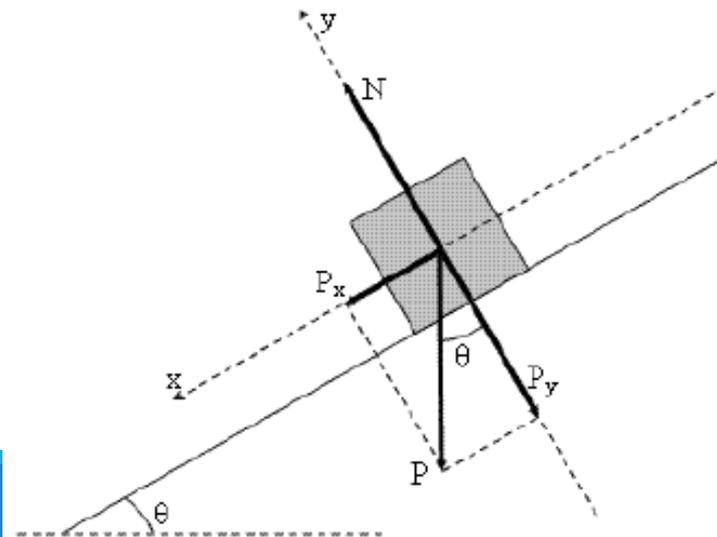
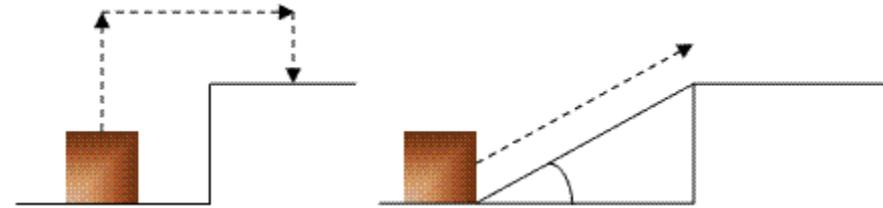
# Plano inclinado

É uma máquina mecânica simples

Menos força para subir: sustentar só a componente da força peso paralela ao plano ( $P_x$ )

Quanto menos inclinada a rampa, menor será  $P_x$

“Preço” de fazer menos força: empurrar ao longo de uma distância bem maior do que se o movimento fosse na vertical.



# Galileu (1564-1642)



Galileu não tinha cronômetros de precisão

Não dava para usar o pulso em um movimento de queda livre, pois o movimento é muito rápido

Em um plano inclinado, a aceleração de queda do corpo é reduzida para:  $a = g \cdot \sin \theta$

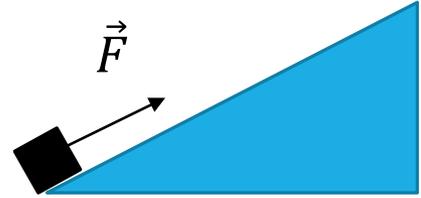
Plano inclinado com sinos: o corpo em queda fazia soar os sinos. A posição dos sinos foi ajustada de modo que os sinos fossem soados em intervalos de tempo idênticos.

- ▶ •As distâncias entre os sinos aumentam de forma quadrática, o que deu base à Lei da Queda dos Corpos.



# Exemplo

---



Plano inclinado com ângulo  $\theta$ . Bloco de massa  $m$  inicialmente na parte mais baixa da rampa, com velocidade nula. Coeficientes de atrito estático e cinético  $\mu_e$  e  $\mu_c$ . É aplicada uma força  $F$  paralela à rampa, conforme a figura.

- A) Qual é a mínima força  $F$  (em módulo) que deve ser aplicada para colocar o bloco em movimento?
- B) Se essa força for mantida após o início do movimento, qual é o vetor aceleração adquirido pelo bloco?

a)  $F = mg(\mu_e \cos \theta + \sin \theta)$

b)  $\vec{a} = g \cos \theta (\mu_c - \mu_e) \hat{i}$  (adotando  $\hat{i}$  paralelo à rampa e no sentido da descida)

# Exercício

---

Um corpo de massa 12 kg é abandonado sobre uma rampa (plano inclinado) que forma um ângulo de  $30^\circ$  com a horizontal. Despreze o atrito e considere  $g=10 \text{ m/s}^2$ .

a) Faça um diagrama das forças que atuam sobre o corpo, definindo um sistema de coordenadas. Determine as componentes das forças no sistema de coordenadas escolhido.

$$N \approx 104 \text{ N}$$

b) Qual é o módulo da força normal que atua sobre o corpo?

$$F_R = 60 \text{ N}$$

c) Qual é o módulo da força resultante sobre o corpo?

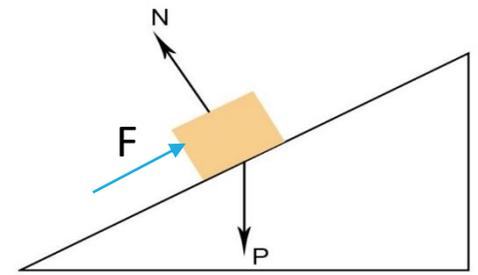
$$a = 5 \text{ m/s}^2$$

d) Qual é a aceleração que o corpo adquire?

$$v_f \approx 4,5 \text{ m/s}$$

e) Se a rampa tem 2 m de comprimento (diagonal), qual é a velocidade final do corpo, ao chegar no chão?

# Exercício



Um corpo de massa 10 kg é empurrado com uma força  $\vec{F}$  sobre uma rampa (plano inclinado) que forma um ângulo de  $15^\circ$  com a horizontal. A força  $\vec{F}$  tem módulo de 30 N. Despreze o atrito e considere  $g=10 \text{ m/s}^2$ .

- Qual é o módulo da força normal que atua sobre o corpo?
- Qual é o módulo da força resultante sobre o corpo?
- Determine o módulo, direção e sentido da aceleração que o corpo adquire.
- Considere o mesmo problema, mas agora com a atuação de uma força de atrito cinético de coeficiente  $\mu_c = 0,01$ . Qual é o módulo da aceleração adquirida pelo corpo nesse caso?

- $N \cong 97 \text{ N}$
- $F_R \cong 4,1 \text{ N}$
- $a \cong 0,41 \text{ m/s}^2$ , na direção paralela à rampa, no sentido de subida da rampa
- $a \cong 0,31 \text{ m/s}^2$

# Exercício

Um bloco está em repouso sobre um plano inclinado de um ângulo  $\theta$  variável. Quando o ângulo de inclinação atinge  $\theta_e = 30^\circ$ , verifica-se que o bloco desliza.

- Determine o coeficiente de atrito estático entre o bloco e o plano.
- Quando o bloco começa a deslizar, ele percorre 4,0 m abaixo em 4,0 s. Determine o coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano.

a) 0,58

b) 0,52