



**Instituto de Matemática, Estatística e Física**

# **ESTUDO DIRIGIDO**

## **P1 - 2º BIMESTRE**

*Prof<sup>a</sup>. Dra. Talissa Rodrigues*



## FORÇA DE ATRITO – APLICAÇÕES LEIS DE NEWTON II

**A Força de atrito é dissipativa, paralela à superfície e aponta sempre para o sentido de oposição à tendência do movimento.**

**Atrito estático: responsável por equilibrar a força aplicada, mantendo o objeto imóvel.**

**Dividido em:**

**Atrito cinético: responsável pela oposição ao movimento quando o objeto começa a se mover.**

*A intensidade do atrito cinético é menor que o atrito estático. Isso explica porque a força que moveu o objeto precisa ser reduzida para ele continuar com velocidade constante.*

## PROPRIEDADES DA FORÇA DE ATRITO

Se um corpo não se move, a força de atrito estático ( $F_e$  ou  $F_s$ ) e a componente de  $F$  paralela à superfície se equilibram.

$F_{e \text{ máx}} = F$ , mas o sentido é oposto.  
 $F_{e \text{ máx}} < F$ , o corpo começa a deslizar.

$F_e (F_s)$  possui um valor máximo dado por:

$$F_{e \text{ máx}} = \mu_s F_N$$

Coeficiente de  
atraito estático.

Quando o corpo começa a deslizar sobre uma superfície, o módulo da força de atrito reduz rapidamente para um valor  $F_c$  ( $F_k$ ).

$$F_c = \mu_c F_N$$

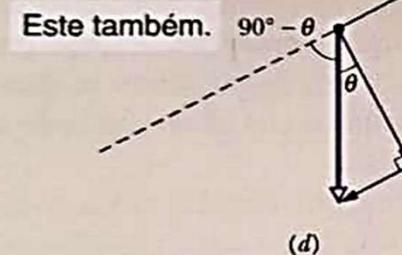
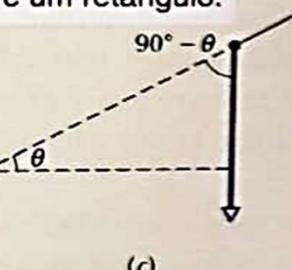
Coeficiente de  
atraito cinético.

\*Os Coeficientes de atrito dependem das propriedades do corpo e da superfície.

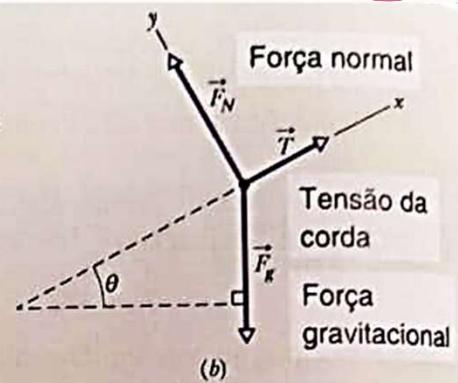
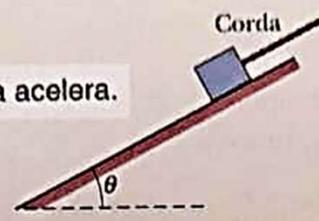


**Figura 5-15** (a) Uma caixa sobe um plano inclinado, puxada por uma corda. (b) As três forças que agem sobre a caixa: a força da corda  $\vec{T}$ , a força gravitacional  $\vec{F}_g$  e a força normal  $\vec{F}_N$ . (c)-(i) As componentes de  $\vec{F}_g$  na direção do plano inclinado e na direção perpendicular.

Este triângulo é um retângulo.



A caixa acelera.



Componente perpendicular de  $\vec{F}_g$

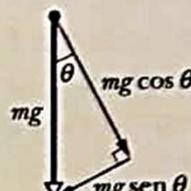
Componente paralela de  $\vec{F}_g$

Hipotenusa

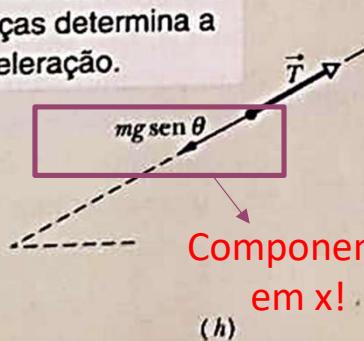
Cateto adjacente (use  $\cos \theta$ )

Cateto oposto (use  $\sin \theta$ )

Corpo em um plano inclinado:

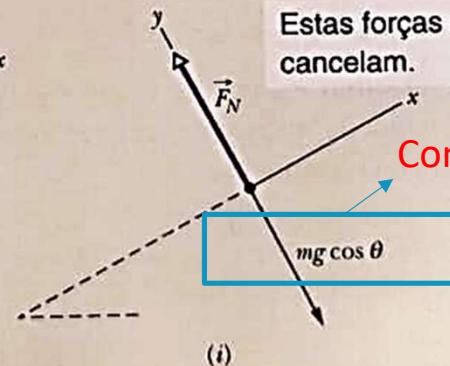


A resultante dessas forças determina a aceleração.



Estas forças se cancelam.

Componente em y!



## ENERGIA E TRABALHO

### ENERGIA

A ENERGIA PODE MUDAR DE FORMA, SER TRANSFERIDA DE UM OBJETO PARA O OUTRO, MAS A QUANTIDADE TOTAL SEMPRE PERMANECE CONSTANTE.

A energia é conservada!  
Se pergunte: onde estava e para onde foi!

## ENERGIA CINÉTICA

*Está associada ao estado de movimento dos corpos.*

- *Quanto mais depressa um objeto se move, maior será a sua energia cinética.*
- *Quando um objeto está em repouso, sua energia cinética é nula.*

$$K = \frac{1}{2} mv^2$$

*No SI: J (joule)*

*1 J = 1 kg.m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>*

## TRABALHO

$$W = \vec{F} \cdot \vec{d}$$

O trabalho ( $W$ ) é a energia transferida para um objeto (ou de um objeto) através de uma força que age sobre este objeto.

No SI: J (joule)

Quando a energia é transferida para o objeto, o trabalho é positivo!

Quando a energia é transferida do objeto, o trabalho é negativo!

A componente da força perpendicular ao deslocamento de um objeto não realiza trabalho.

O trabalho pode ser positivo ou negativo e para determiná-lo consideramos a componente da força paralela ao deslocamento:

- Força possui a componente vetorial no mesmo sentido do deslocamento (+W).
- Força possui a componente vetorial no sentido oposto ao deslocamento (-W).
- Força não possui uma componente vetorial na direção do deslocamento (W nulo).

## TRABALHO REALIZADO PELA FORÇA GRAVITACIONAL

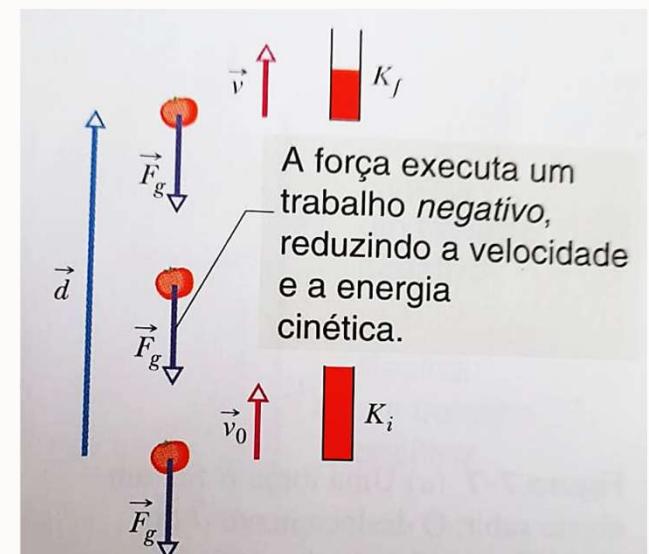
$$W_g = mg d \cos\phi$$

*Na subida  $F_g$  tem sentido contrário ao deslocamento.*

$$W_g = mg d \cos 180^\circ = mg d(-1)$$

$$W_g = -mg d$$

*O sinal negativo indica que a  $F_g$  remove uma energia “ $mgd$ ” da energia cinética.*



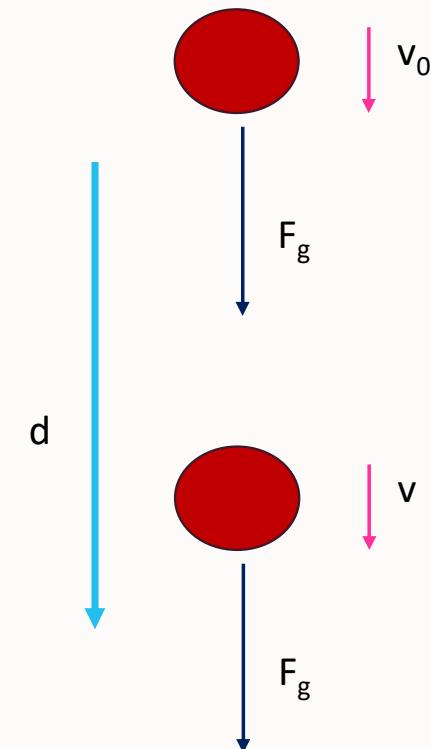
**Figura 7-6** Por causa da força gravitacional  $\vec{F}_g$ , a velocidade de um tomate de massa  $m$  arremessado para cima diminui de  $\vec{v}_0$  para  $\vec{v}$  durante um deslocamento  $\vec{d}$ . Um medidor de energia cinética indica a variação resultante da energia cinética do tomate, de  $K_i (= \frac{1}{2}mv_0^2)$  para  $K_f (= \frac{1}{2}mv^2)$ .

*Na descida  $F_g$  tem o mesmo sentido do deslocamento.*

$$W_g = mg d \cos 0^\circ = mg d(1)$$

$$W_g = mg d$$

*O sinal positivo indica que a  $F_g$  transfere uma energia “ $mgd$ ” para a energia cinética.*



## FORÇA ELÁSTICA

*Força restauradora.*

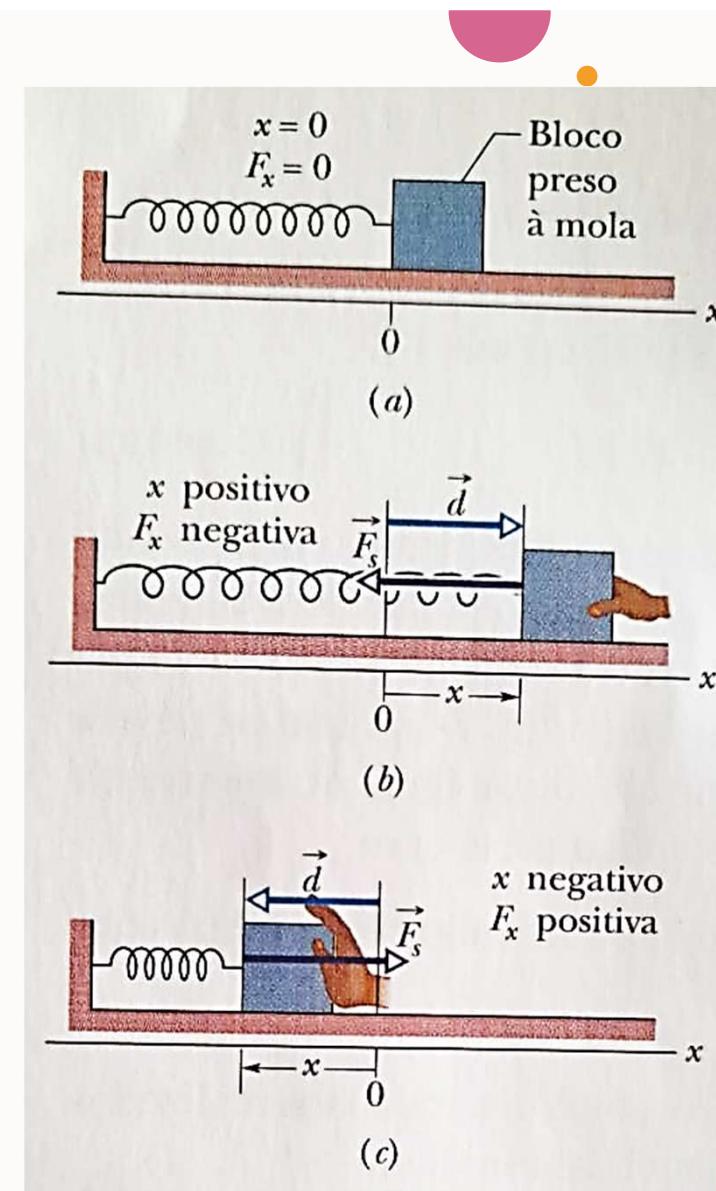
Lei de Hooke:

$$F_s = -kx$$

$k$  (no SI N/m) : constante elástica (ou constante de força); medida de rigidez da mola:

O sinal negativo indica que o sentido da força elástica é sempre oposto ao deslocamento da extremidade livre da mola.

Quanto maior o valor do  $k$ , mais rígida será a mola e maior a força necessária para um determinado deslocamento.



## FORÇAS CONSERVATIVAS X DISSIPATIVAS

A força gravitacional e a força elástica são conservativas.

A força de atrito cinético e a força de arrasto (por exemplo) são forças dissipativas (não conservativas).



*A transferência de energia cinética (nesses casos) ocorre na forma de energia térmica, sendo esta irreversível.*

Uma força é conservativa quando o trabalho que realiza sobre uma partícula se anula ao longo de um percurso fechado.

Também podemos dizer que uma força é conservativa se o trabalho que realiza sobre uma partícula que se move entre dois pontos não depende da trajetória seguida pela partícula.

## ENERGIA POTENCIAL:

**Qualquer energia que pode ser associada à configuração (arranjo) de um sistema de objetos que exercem forças uns sobre os outros.**

ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL



ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA



## CÁLCULO DA ENERGIA POTENCIAL

ENERGIA POTENCIAL GRAVITACIONAL



$$\Delta U = mg\Delta y$$

$$U(y) = mgy$$

ENERGIA POTENCIAL ELÁSTICA



$$U(x) = \frac{1}{2} kx^2$$

## ENERGIA MECÂNICA

Representa a soma da Energia Potencial U do Sistema com a Energia Cinética K dos objetos que compõe esse Sistema.

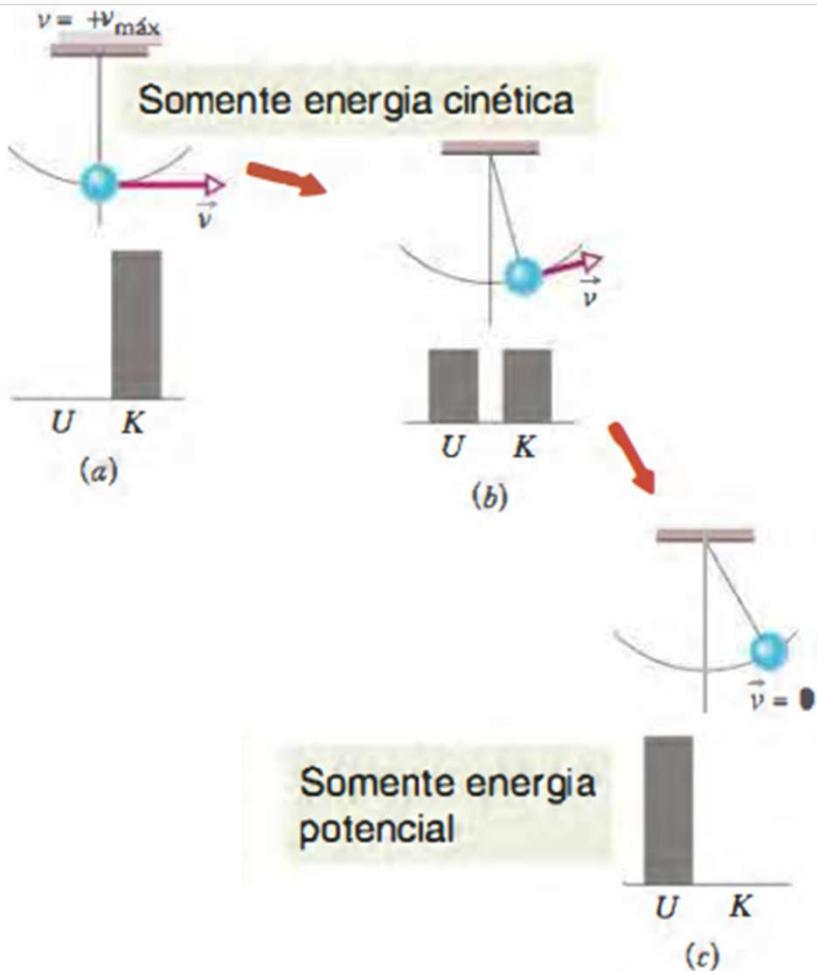
$$E_{MEC} = U + K$$

*Quando uma força conservativa realiza trabalho sobre um objeto dentro de um sistema, ela é responsável por transferir energia entre a energia cinética do objeto e a energia potencial do Sistema.*

*Ou seja: uma dessas energias aumenta na mesma quantidade que a outra diminua.*

$$K_2 + U_2 = K_1 + U_1$$

**PRINCÍPIO DE CONSERVAÇÃO  
DA ENERGIA MECÂNICA.**



*Sistema isolado (forças conservativas causam variações de energia): energia cinética e a energia potencial podem variar, mas a soma entre elas (energia mecânica) se conserva.*

*Se conhecermos a energia potencial do pêndulo no ponto mais alto da trajetória, pelo princípio de conservação de energia, sabemos a energia cinética no ponto mais baixo.*

## TRABALHO REALIZADO POR UMA FORÇA EXTERNA

O trabalho é a energia transferida para um sistema ou de um sistema através de forças externas.

Transfere para  
dentro do Sistema



+  $W$



O trabalho total dessas forças é igual à  
energia transferida para o Sistema.

Transfere para fora  
do Sistema (retira)!



$$- W$$



*Quando mais de uma força age sobre um Sistema, o trabalho total dessas forças é igual à energia transferida ou retirada do Sistema.*

*Em sistemas mais complexos podem existir mais tipos de energias que podem ser alteradas.*

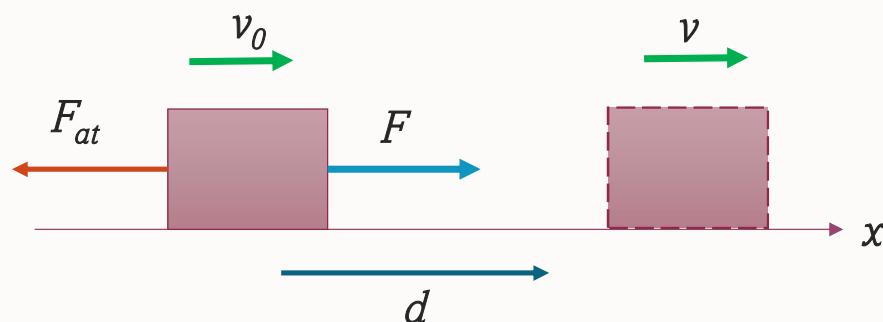
### *SEM ATRITO:*

*Levantar uma bola para um arremesso  
(Sistema bola-Terra)*

$$W = \Delta E_{MEC}$$

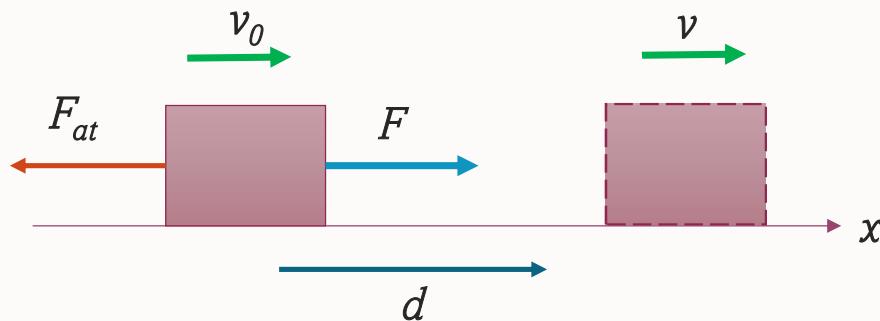
*(trabalho realizado sobre um Sistema sem atrito –  
Forças conservativas)*

### *COM ATRITO:*



*Nessa situação, a força aplicada fornece energia.  
A força de atrito (força dissipativa) transfere  
parte dessa energia para a energia térmica.*

*COM ATRITO:*



*O trabalho realizado pela força aplicada modifica a energia mecânica e a energia térmica.*

*A energia total  $E$  representa a soma da energia mecânica com a energia térmica e qualquer outro tipo de energia interna do sistema.*

*A energia total  $E$  de um Sistema pode mudar apenas através da transferência de energia para dentro deste ou para fora.*

*A Lei da Conservação da energia estabelece que:*

$$W = \Delta E = \Delta E_{\text{MEC}} + \Delta E_T + \Delta E_{\text{INT}}$$

*Qualquer outro tipo de energia interna do sistema!*



*SISTEMA  
ISOLADO*

*A energia total  $E$  de um Sistema isolado não pode variar!*

$$\Delta E_{\text{MEC}} + \Delta E_T + \Delta E_{\text{INT}} = 0$$



*FORÇAS  
EXTERNAS E  
TRANSFERÊNCIAS  
INTERNAS.*

*Uma força externa pode mudar a energia cinética ou energia potencial de um objeto sem realizar trabalho sobre o objeto. Ou seja, sem transferir energia para o objeto.*

*\*Nesse caso, a força se limita a transferir energia de uma forma para a outra no interior do objeto.*

$$\Delta K = F d \cos \phi$$

$$\Delta U + \Delta K = F d \cos \phi$$

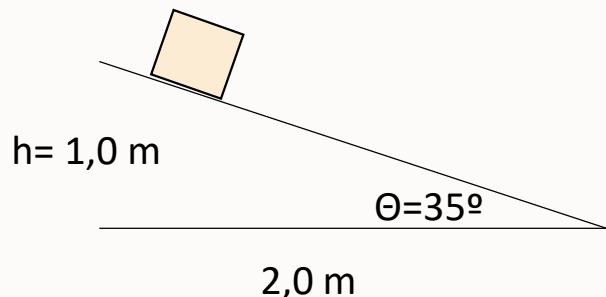
*\*Se a situação envolver mudança de altura:*

## *EXERCÍCIOS*

- **EX1** Depois de deslizar com velocidade 0,60 m/s, sobre uma superfície horizontal, sem atrito, um bloco de massa 40g colide com uma mola de constante elástica  $k=20 \text{ N/m}$  e começa a comprimi-la. No instante em que a massa para momentaneamente por causa da força exercida pela mola, de que distância  $d$  a mola foi comprimida?

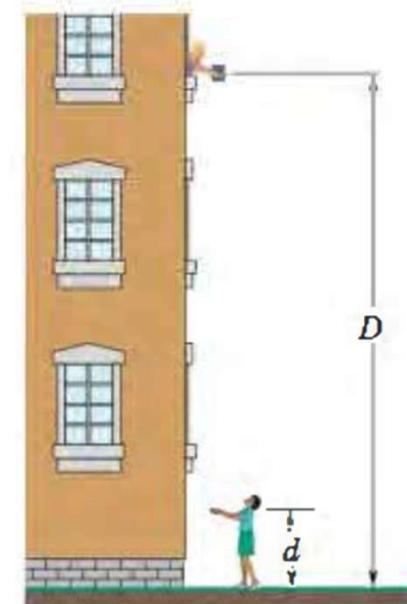
## *EXERCÍCIOS*

- **EX2** Considere que o bloco de massa 5,0kg agora está sobre um plano inclinado, conforme a figura. Despreze o atrito e calcule a aceleração com que o bloco atinge o solo.



## EXERCÍCIOS

- 1** Qual é a constante elástica de uma mola que armazena 25 J de energia potencial ao ser comprimida 7,5 cm?
  
- 3** Você deixa cair um livro de 2,00 kg para uma amiga que está na calçada, a uma distância  $D = 10,0\text{m}$  abaixo de você. Se as mãos estendidas da sua amiga estão a uma distância  $d = 1,5\text{ m}$  acima do solo (Fig. 8- 28), (a) qual é o trabalho  $W_x$  realizado sobre o livro pela força gravitacional até o livro cair nas mãos da sua amiga? (b) Qual é a variação  $\Delta U$  da energia potencial gravitacional do sistema livro-Terra durante a queda? Se a energia potencial gravitacional  $U$  do sistema é considerada nula no nível do solo, qual é o valor de  $U$  (c) quando você deixa cair o livro e (d) quando o livro chega às mãos da sua amiga? Suponha agora que o valor de  $U$  seja 100 J ao nível do solo e calcule novamente (e)  $W_x$ , (f)  $\Delta U$ , (g)  $U$  no ponto onde você deixou cair o livro e (h)  $U$  no ponto em que o livro chegou às mãos da sua amiga.



## *EXERCÍCIOS*

- 13 Uma bola de gude de 5,0 g é lançada verticalmente para cima usando uma espingarda de mola. A mola deve ser comprimida de exatamente 8,0 cm para que a bola alcance um alvo colocado 20 m acima da posição da bola de gude na mola comprimida. (a) Qual é a variação  $\Delta U_k$  da energia potencial gravitacional do sistema bola de gude - Terra durante a subida de 20m? (b) Qual é a variação  $\delta U$ , da energia potencial elástica da mola durante o lançamento da bola de gude?(c) Qual é a constante elástica da mola?

# Obrigada!

**Que a Física esteja com vocês!**

Contato: [talissa.trodrigues@gmail.com](mailto:talissa.trodrigues@gmail.com)

