

## Trabalho e Potência

Trabalho e Potência.....	1
Trabalho de força constante .....	2
1.  Conceito de trabalho .....	2
2.  Trabalho do peso ao subir uma escada comparado ao dos pesos do halterofilista .....	2
3.  (RHK 11.P.2) Trabalhos do peso e da tração ao baixar um corpo por uma corda .....	2
4.  (RHK 11.E.1). Trabalhos das várias forças ao empurrar uma caixa sobre o chão .....	2
5.  (RHK 11.E.2) Trabalho da força a partir da cinemática em uma dimensão, formal .....	2
6.  (Probl. Resolvido – 11.2 RHK) Trabalho da força que puxa um trenó a partir da cinemática .....	2
7.  (RHK 11.E.4) Trabalho da força que empurra um bloco sobre o chão a partir da cinemática .....	3
Potência.....	3
8.  (HRK 10.Q.10) Relação entre potência e velocidade no movimento de levantar uma caixa .....	3
9.  Potência desenvolvida por uma pessoa que sobe a escada .....	3
10.  Como subir uma escada longa .....	3
11.  Potência na evaporação de água pelas árvores .....	3
12.  Potência ao guinchar um bloco pesado.....	3
13.  Interpretação da potência – relação entre os valores instantâneo e médio .....	3
Trabalho de força variável .....	4
14.  Trabalho de uma força proporcional ao cubo da elongação .....	4
15.  Trabalho da força de uma mola comum, com parametrização adimensional .....	4
16.  (RHK11.E.22) Trabalho de força variável e conhecida com a posição, formal.....	4
17.  (RHK11.E.24) Quantificar o efeito do potencial parabólico com a elongação.....	4
18.  Trabalho da força de gravitação, quando ela varia - formal.....	4
19.  (RHK11.P.12) Trabalho da força inversamente proporcional à distância.....	5
20.  (Problema resolvido RHK sec. 11.5) Trabalho das forças no movimento de um pêndulo .....	5
Teorema do Trabalho-Energia .....	5
21.  Demonstração da relação entre trabalho e energia cinética.....	5
22.  Conceito de trabalho e sua relação com a energia cinética .....	5
23.  Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, numérico e formal.....	5
24.  (RHK11.E.30) Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, formal .....	6
25.  Conversão de energia potencial gravitacional em cinética – numérico.....	6
26.  Conversão trabalho em energia cinética – força dada por meio de um gráfico.....	6
27.  (Merrian e Kraige, Ex. 3.110 re-escrito) Absorvedores de impacto no para-choque.....	6
28.  Importância dos detalhes na determinação da energia para encher um tanque de água.....	6

## Trabalho de força constante

### 1. Conceito de trabalho

Um elevador é suspenso pelos cabos mantendo velocidade constante. O trabalho total realizado sobre o elevador é positivo, negativo ou nulo? Explique.

### 2. Trabalho do peso ao subir uma escada comparado ao dos pesos do halterofilista

Um halterofilista ergue, com velocidade praticamente nula, uma massa de 100 kg a 2,0 m de altura, enquanto uma pessoa de 100 kg sobe, a velocidade constante, quatro lances de escada, que perfazem 12 m de altura.

Calcule, nos respectivos percursos descritos no enunciado, o trabalho da componente vertical da força:

- do halterofilista.
- da pessoa que sobe a escada.
- Explique a necessidade da hipótese *velocidade praticamente nula* do enunciado para os cálculos dos itens anteriores e comente sobre o realismo dessa hipótese *em relação aos resultados obtidos*.

### 3. (RHK 11.P.2) Trabalhos do peso e da tração ao baixar um corpo por uma corda

Uma corda é usada para baixar um bloco de massa  $M$  verticalmente por uma distância  $d$ , com uma aceleração de  $g/4$ , constante e para baixo.

Determine, no percurso descrito no enunciado, o trabalho realizado pela força

- da corda no bloco.
- da gravidade.

### 4. (RHK 11.E.1). Trabalhos das várias forças ao empurrar uma caixa sobre o chão

Um trabalhador empurra por 3,3 m um engradado de 52 kg sobre um assoalho horizontal com uma força de 190 N e inclinada em  $22^\circ$  para baixo da horizontal.

Determine, no percurso descrito no enunciado, o trabalho realizado pela força que atua sobre o engradado devida

- ao trabalhador.
- à gravidade.
- à reação normal do assoalho.

### 5. (RHK 11.E.2) Trabalho da força a partir da cinemática em uma dimensão, formal

Um objeto com 106 kg é inicialmente posto em movimento em linha reta e horizontal com velocidade igual a 51 m/s e depois parado com desaceleração uniforme.

Determine a força necessária, a distância que o objeto percorre e o trabalho realizado pela força aplicada no objeto desde o início de sua atuação até parar, quando o módulo da aceleração desse objeto vale

- 1,97 m/s<sup>2</sup>
- 4,8 m/s<sup>2</sup>

### 6. (Probl. Resolvido – 11.2 RHK) Trabalho da força que puxa um trenó a partir da cinemática

Um garoto puxa um trenó de 5 kg por 10 m ao longo de uma superfície horizontal com velocidade constante. O coeficiente de atrito cinético entre o trenó e a neve é  $\mu_c = 0,2$  e o ângulo formado pela corda e a horizontal é  $\theta = 45^\circ$ .

**Determine** o trabalho da força do garoto sobre o trenó nesse deslocamento.

## 7. (RHK 11.E.4) Trabalho da força que empurra um bloco sobre o chão a partir da cinemática

Um trabalhador empurrou um bloco de 27 kg por uma distância de 9,5 m ao longo de um assoalho horizontal, com velocidade constante, aplicando-lhe uma força inclinada em  $32^\circ$  para baixo da horizontal. O coeficiente de atrito cinético é 0,20.

**Determine** o trabalho da força do homem no trajeto mencionado.

## Potência

## 8. (HRK 10.Q.10) Relação entre potência e velocidade no movimento de levantar uma caixa

A potência necessária para elevar uma caixa até uma plataforma depende da velocidade com que ela é levantada?

## 9. Potência desenvolvida por uma pessoa que sobe a escada

Uma mulher de 57 kg sobe um lance de escadas, elevando-se de 4,5 m em 3,5 s.

**Determine** a potência média que ela desenvolve. (Obs.: estes dados são irrealistas, verifique!)

## 10. Como subir uma escada longa

Como ainda não estamos livres dos apagões, é bom saber como subir escadas longas. Considere que um ser humano consegue desenvolver no máximo 100 W de energia mecânica com as pernas por um tempo longo.

**Determine** a velocidade adequada para subir uma escada com muitos degraus na condição do enunciado.

Dê a velocidade em degraus/segundo.

Use valores razoáveis para a massa da pessoa e as alturas de um degrau e um andar.

A escada para subir ao 10º andar de um edifício é longa - exige subir muitos degraus.

## 11. Potência na evaporação de água pelas árvores

Alega-se que até 900 kg de água podem ser evaporados diariamente pelas grandes árvores. A evaporação ocorre nas folhas e, para chegar lá, a água tem que ser elevada desde as raízes da árvore. Adote que a evaporação ocorra durante 12 horas e considere uma árvore em que a água seja elevada a 9,0 m acima do solo, em média.

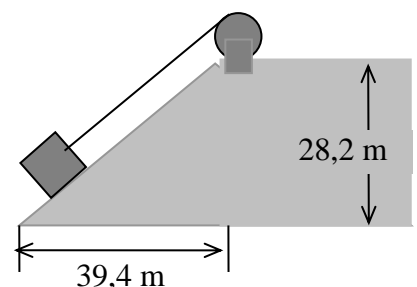
Determine, para essa quantidade de água:

- quanta energia deve ser fornecida para elevá-la.
- a potência média das forças da árvore que bombeiam a água.

## 12. Potência ao guinchar um bloco pesado

Um guincho arrasta um bloco de granito com 1380 kg a uma velocidade constante e igual a 1,34 m/s sobre um plano inclinado (veja figura ao lado). O coeficiente de atrito cinético entre o bloco e o plano inclinado é 0,41.

**Determine** a potência fornecida pelo guincho.



## 13. Interpretação da potência – relação entre os valores instantâneo e médio

Considere um gráfico da potência instantânea  $P$  contra o tempo  $t$ , com o eixo vertical da potência começando em  $P = 0$  s. Qual o significado físico da área da curva de  $P$  contra  $t$  entre duas linhas verticais em  $t_1$  e  $t_2$ ? Como você poderia achar a potência média nesse gráfico? Faça um gráfico  $P$  contra  $t$  consistindo de duas seções de linhas retas e para o qual a potência máxima seja igual ao dobro da potência média.

## Trabalho de força variável

### 14. Trabalho de uma força proporcional ao cubo da elongação

Uma mola “rígida” tem uma lei de força dada por  $F = -kx^3$ . O trabalho necessário para distender a mola desde a sua posição relaxada  $x = 0$  até o comprimento distendido  $x = \ell$  é  $W_0$ .

**Determine** o trabalho mínimo necessário para estender a mola desde o comprimento distendido  $\ell$  até o comprimento  $3\ell/2$ ; dê sua resposta em função de  $W_0$ .

### 15. Trabalho da força de uma mola comum, com parametrização adimensional

A força aplicada em um objeto tem módulo  $F = F_0 \left( \frac{x}{x_0} - 1 \right)$ , sentido e direção constantes ao longo do eixo  $x$ ,

com  $F_0$  e  $x_0$  constantes positivas.

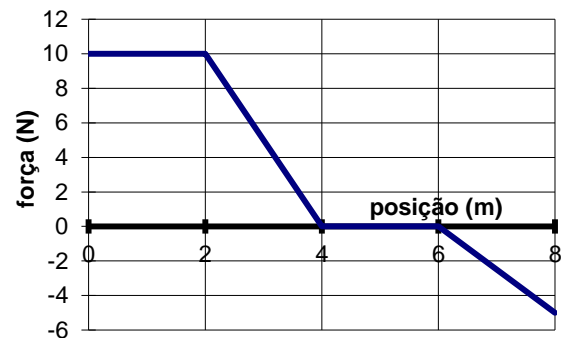
**Determine** o trabalho realizado ao mover o objeto desde  $x = 0$  até  $x = 3x_0$

### 16. (RHK11.E.22) Trabalho de força variável e conhecida com a posição, formal

Um bloco de 5,0 kg se move em linha reta sobre uma superfície horizontal sem atrito sob influência de uma força que varia com a posição, como mostra o gráfico ao lado.

Determine:

- o trabalho realizado por essa força quando o bloco se move desde a origem até a posição  $x = 8,0$  m.
- se o resultado do item anterior depende da velocidade inicial do bloco, quando ela é positiva.
- se o problema tem sentido quando a velocidade inicial é negativa.



### 17. (RHK11.E.24) Quantificar o efeito do potencial parabólico com a elongação

Uma mola tem constante elástica igual a 15,0 N/cm.

Determine o valor mínimo do trabalho de uma força externa que alongue a mola em 7,60 mm a partir:

- de sua posição distendida.
- da posição em que já está alongada 7,60 mm.

### 18. Trabalho da força de gravitação, quando ela varia - formal

A força gravitacional que uma massa puntiforme  $M$ , localizada em  $r = 0$ , aplica em outra massa  $m$ , também puntiforme e localizada em  $r$  (a coordenada  $r$  é definida positiva), é dada por  $F = -(GMm/r^2)\hat{i}$ , onde  $G$  é uma constante positiva. A massa  $M$  está fixada em  $r = 0$ .

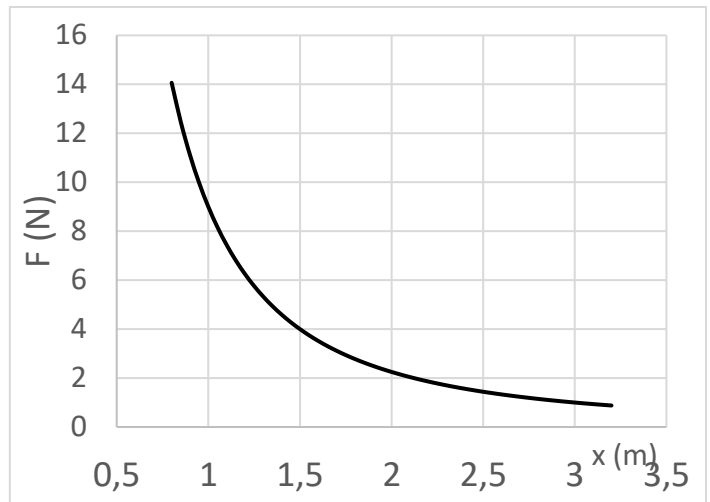
- Esboce o gráfico de  $F$  em função de  $r$ .
- Calcule o trabalho realizado pela força  $F$ , quando  $m$  é deslocada da posição inicial  $r_i$  para a posição  $r_f$ .
- Determine se o trabalho de  $F$  foi positivo ou negativo quando, no deslocamento,  $m$  se afastou de  $M$ .
- Determine se o trabalho de  $F$  foi positivo ou negativo quando, no movimento,  $m$  se aproximou de  $M$ .

## 19. (RHK11.P.12) Trabalho da força inversamente proporcional à distância

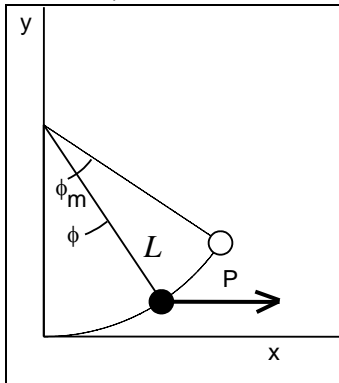
O gráfico ao lado representa a força  $F = A/x^2$ , com  $A = 9 \text{ Nm}^2$ . Uma partícula se desloca desde  $x = 1 \text{ m}$  até  $x = 3 \text{ m}$ .

Estime o trabalho realizado por essa força nesse deslocamento, calculando a integral:

- numericamente, a partir de valores lidos do gráfico.
- analiticamente.



## 20. (Problema resolvido RHK sec. 11.5) Trabalho das forças no movimento de um pêndulo



Um pequeno objeto de massa  $m$  é suspenso por um fio de comprimento  $L$ , conforme figura ao lado. O objeto é puxado para o lado, a partir da posição em que o fio está na vertical, por uma força  $P$  sempre horizontal até que, finalmente, o fio forma um ângulo  $\phi_m$  com a vertical. O deslocamento é efetuado tão lentamente que se pode supor que o sistema esteja em equilíbrio durante o processo.

**Determine** o trabalho realizado nesse deslocamento por cada uma das forças que atuam no objeto.

## Teorema do Trabalho-Energia

## 21. Demonstração da relação entre trabalho e energia cinética

Demonstre o Teorema do Trabalho-Energia cinética.

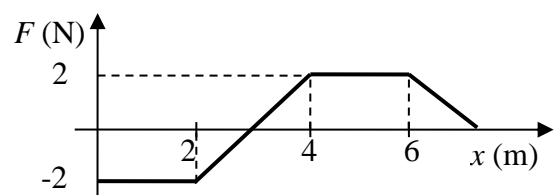
## 22. Conceito de trabalho e sua relação com a energia cinética

Pode o trabalho total realizado sobre um objeto durante um deslocamento ser negativo? Explique. Caso o trabalho total seja negativo, pode seu módulo ser maior que a energia cinética inicial do objeto? Explique.

## 23. Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, numérico e formal

Uma partícula de massa  $m = 2 \text{ kg}$  desloca-se ao longo de uma reta. Entre  $x = 0$  e  $x = 7 \text{ m}$ , ela está sujeita a uma força  $F(x)$ , cuja intensidade está representada no gráfico.

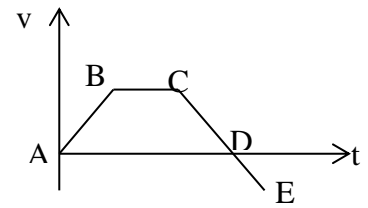
- Calcule a velocidade da partícula depois de percorrer 2, 3, 4, 6 e 7 m, sabendo que sua velocidade em  $x = 0 \text{ m}$  é de 3 m/s.
- Se no ponto  $x = 0 \text{ m}$  sua velocidade fosse 2 m/s, ela poderia chegar até o ponto  $x = 7 \text{ m}$ ? Justifique.



24. (RHK11.E.30) *Partícula sob ação de força conhecida em função da posição, formal*

Uma única força atua em uma partícula em movimento retilíneo. Um gráfico da velocidade da partícula como função do tempo é mostrado na figura ao lado.

**Determine** o sinal (positivo ou negativo) do trabalho realizado pela força sobre a partícula em cada um dos intervalos AB, BC, CD e DE.

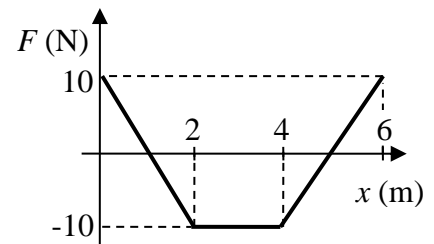
25. *Conversão de energia potencial gravitacional em cinética – numérico*

De que altura um automóvel de 1270 kg teria que cair para ganhar a energia cinética equivalente à que ele teria ao viajar a 88,5 km/h? A resposta depende do peso do carro?

26. *Conversão trabalho em energia cinética – força dada por meio de um gráfico*

Um corpo de massa  $m = 2$  kg se desloca ao longo de uma reta (eixo  $x$ ), sob a ação de uma única força, cuja componente  $x$  tem a intensidade mostrada no gráfico.

- Se o corpo for lançado da origem com uma velocidade  $v_x = 5$  m/s, com que velocidade atingirá o ponto  $x = 5$  m?
- Se o corpo for abandonado em  $x = 2$  m, qual será a sua velocidade após percorrer 2 m? Em que sentido será o movimento?

27. (Merriam e Kraige, Ex. 3.110 re-escrito) *Absorvedores de impacto no para-choque*

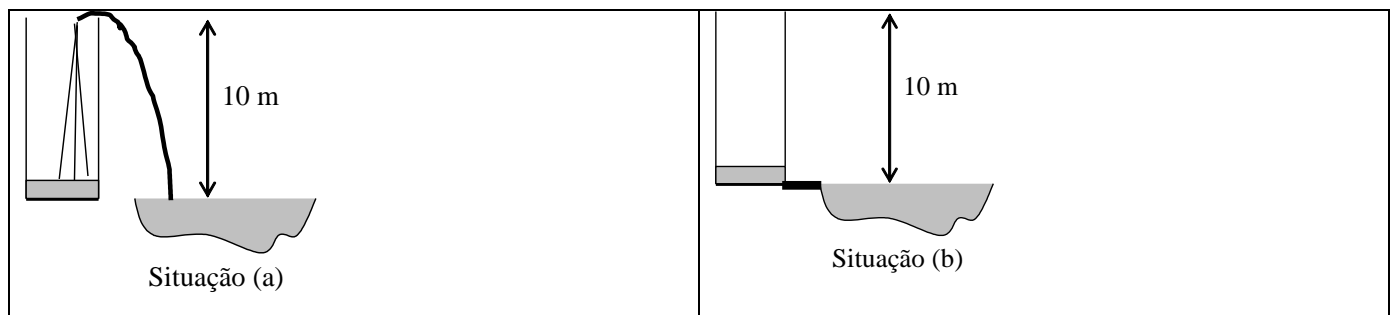
O para-choque com molas de um carro é projetado de modo a absorver o impacto de outro veículo a 9 km/h e com 1500 kg; uma colisão dessas comprimirá cada uma das duas molas idênticas, escondidas no interior do para-choque, em 15 cm. O veículo sofre um choque frontal, e as molas não estão deformadas no início da batida.

**Determine** a constante de força de cada mola.

28. *Importância dos detalhes na determinação da energia para encher um tanque de água*

Um tanque de água cilíndrico com 10 m de altura tem uma capacidade de  $1000 \text{ m}^3$ . Ele é preenchido com água de um grande lago cuja superfície está na mesma altura que o fundo do tanque. Duas formas diferentes podem ser usadas para o preenchimento do tanque:

- elevar a água até à boca do tanque, a 10 m de altura e com velocidade praticamente nula, e despejá-la.
- empurrar a água, a velocidade praticamente nula, por uma conexão no fundo do tanque,



Calcule o trabalho realizado ao encher o tanque:

- pela força que eleva a água pelo procedimento i).
- pela força que empurra a água pelo procedimento ii).
- O valor obtido em b) é menor que a), o que indica que o procedimento descrito em a) usou mais energia que a necessária para preencher o tanque. O que aconteceu com a energia excedente?