Teoremas do trabalho e da energia

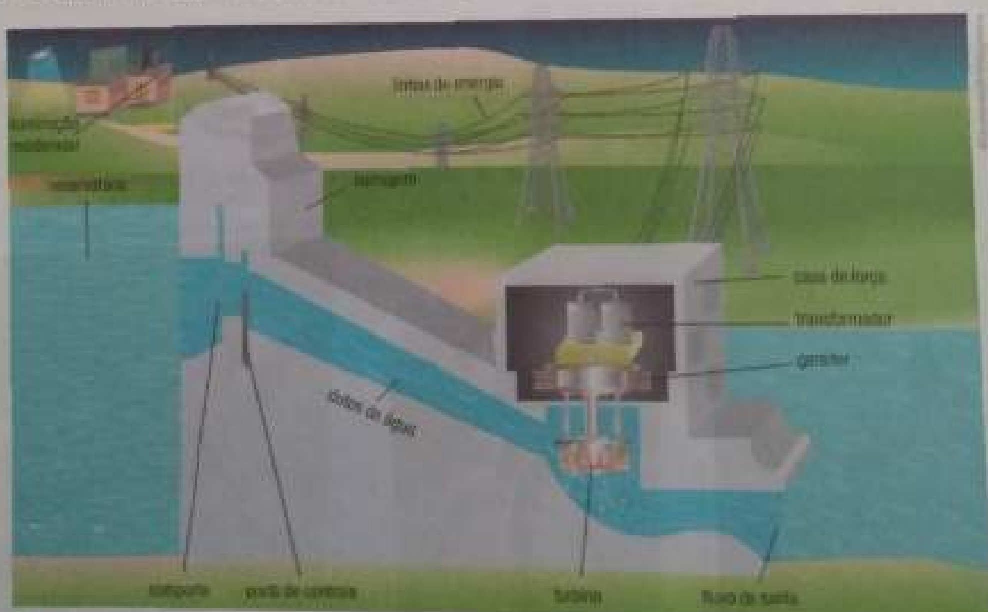
O conceito de trabalho de uma força está diretamente relacionado à aplicação de uma força que, por sua vez, pode transformar um tipo de energia em outro ou transferir a energia entre diferentes corpos em um sistema.

> "Na natureza, nada se cria e nada se perde, tudo se transforma."
>
> Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794)

Por exemplo, a água acumulada na barragem de uma hidroelétrica tem energia armazenada que pode ser transferida ou transformada. Isso ocorre mediante a realização de trabalho por parte da força gravitacional que atua sobre a água.

A água contida em uma barragem apresenta energia potencial gravitacional.

Assim, o trabalho realizado pela força gravitacional transforma parte da energia potencial gravitacional acumulada em energia cinética (energia de movimento) no momento em que as comportas são abertas. Essa água é conduzida pelos dutos até chegar às turbinas, que utilizam a energia cinética para movimentar os geradores e produzir energia elétrica. A eletricidade é transmitida pelas linhas de energia até as residências.



A energia armazenada na represa é transformada em energia de movimento pela realização do trabalho da força peso.

Mundo do trabalho

O engenheiro de energia

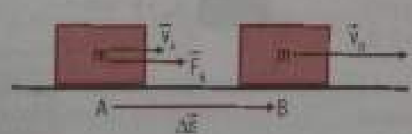
O engenheiro de energia é um profissional capacitado para trabalhar em sistemas, projetos, programas e unidades de geração de energia. Sua função compreende análise, desenvolvimento e planejamento logístico de transporte, de distribuição e de utilização da energia. O engenheiro de energia pode ser alocado em usinas geradoras, como as hidrelétricas, termoelétricas e termonucleares; estações e subestações de distribuição de energia elétrica; refinarias de petróleo ou etanol e plataformas e poços de extração de petróleo; postos de trabalho administrativos, de controle e gestão.

Raciocínio lógico e destreza com números são algumas das habilidades exigidas dos engenheiros de energia.

O engenheiro de energia deve combinar habilidades e conhecimentos dos principais ramos das engenharias, como Engenharia Civil, Mecânica e Elétrica, e ainda as especificidades da produção energética, com foco nos setores locais e globais. Ele também deve ter profundo conhecimento de vários ramos da Física, como mecânica dos sólidos e dos fluidos, Termodinâmica, Eletromagnetismo e Eletrodinâmica, além de conhecimento de normas técnicas e de segurança dos sistemas com os quais trabalha.

Justificativa das demonstrações dos teoremas

Ao longo deste volume, a energia e o trabalho foram citados e relacionados diversas vezes. Neste tópico, vamos investigar a relação entre trabalho e energia sob um ponto de vista quantitativo. Para isso, considere um corpo que se move horizontalmente sob ação de uma força resultante de módulo constante, partindo de um ponto **A**, com velocidade $\mathbf{v_A}$, e chegando a um ponto **B**, com velocidade $\mathbf{v_B}$. Essa relação pode ser ilustrada da seguinte maneira:



A dinâmica do movimento pode ser descrita pela 2ª Lei de Newton:

$$F_R = m \cdot a \Rightarrow F_R = m \cdot \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$F_R \cdot \Delta t = m \cdot (v_B - v_A) \qquad \text{(I)}$$

Como a força resultante é constante, a aceleração também será. Assim, a velocidade média do corpo ao longo do trajeto de **A** para **B** é igual à média das velocidades:

$$v_M = \frac{v_A + v_B}{2} \Rightarrow \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{v_A + v_B}{2} \Rightarrow \Delta t = \frac{2\Delta s}{v_A + v_B} \qquad \text{(II)}$$

Substituindo o intervalo de tempo $\mathbf{\Delta t}$ de (II) em (I), temos:

$$F_R \cdot \frac{2\Delta s}{v_A + v_B} = m \cdot (v_B - v_A)$$

$$F_R \cdot \Delta s = \frac{m}{2} \cdot (v_A + v_B) \cdot (v_B - v_A)$$

O lado esquerdo da igualdade é o trabalho da força resultante que atua sobre o corpo. Desenvolvendo o lado direito, temos:

$$\tau_{F_R} = \frac{m}{2} \cdot \left(v_B^2 - v_A^2\right) \Rightarrow \tau_{F_R} = \frac{m \cdot v_B^2}{2} - \frac{m \cdot v_A^2}{2}$$

O lado direito da igualdade corresponde à variação da energia cinética no percurso de **A** para **B**.

Considerando que a velocidade no ponto B ($\vec{v}_B$) tem módulo superior à velocidade no ponto A ($\vec{v}_A$), concluímos que houve um aumento de energia cinética. Esse acréscimo de energia cinética deve-se ao trabalho mecânico realizado pela força resultante.

Essa relação entre o trabalho realizado pela força resultante sobre um corpo e a energia cinética é denominada de **teorema trabalho – energia cinética**, em outras palavras, **o trabalho total realizado em um corpo é igual à variação da energia cinética.**

$$\boxed{\tau_{total} = \Delta E_c}$$

$$\tau_{total} = E_{c_f} - E_{c_i}$$

$$\tau_{total} = \frac{m \cdot v_f^2}{2} - \frac{m \cdot v_i^2}{2}$$

[9] Informações sobre o teorema da energia cinética.

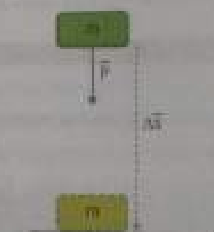
O físico alemão Albert Einstein (1879-1955) foi um dos grandes destaques da História da Ciência. Sua Teoria da Relatividade, por exemplo, provocou mudanças profundas na concepção que o ser humano tinha do Universo. Faça uma pesquisa sobre esse cientista, cite alguns de seus pensamentos e explique o significado da expressão $E = m \cdot c^2$.

[10] Sugestão de resposta para a pesquisa.

Trabalho e energia potencial

De modo semelhante à análise feita entre o trabalho total realizado sobre um corpo e a variação da energia cinética, podemos analisar a relação entre as forças peso e elástica na variação da energia potencial de um sistema mecânico.

Trabalho da força peso e variação da energia potencial



A queda de corpos provoca uma transformação de energia.

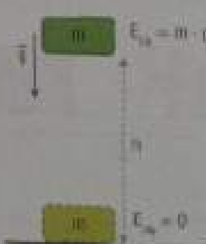
Considere um corpo de massa **m**, inicialmente a uma altura **h** em relação ao solo. Desprezando-se a força de arrasto do ar, nesse corpo é aplicada somente a força peso, vertical para baixo.

Como estudamos anteriormente, o trabalho da força peso na queda de um corpo é positivo (trabalho motor), uma vez que a força peso e o deslocamento estão ambos orientados no mesmo sentido, para baixo. Pela definição de trabalho de uma força constante e paralela ao deslocamento – produto da força aplicada pelo deslocamento –, temos que o trabalho aplicado pela força peso na queda do objeto é igual a:

$$\tau_P = +F_P \cdot \Delta s \Rightarrow \tau_P = +P \cdot \Delta s$$

$$\tau_P = +m \cdot g \cdot h$$

Nessa equação, o peso do corpo é igual à massa **m** multiplicada pela aceleração da gravidade **g** e pelo deslocamento, correspondente à altura **h**.



A energia potencial gravitacional diminui conforme a queda de um corpo.

No ponto de altura máxima, esse corpo tem uma energia potencial gravitacional determinada por: $E_{pg} = m \cdot g \cdot h$. À medida que ele desce, sua altura em relação ao solo diminui e, consequentemente, sua energia potencial gravitacional também diminui.

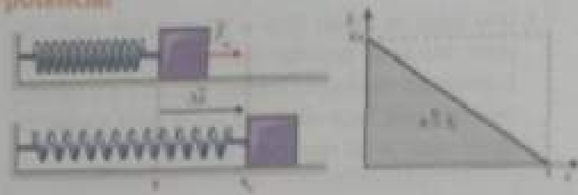
Por fim, quando o corpo atinge o solo, sua energia potencial gravitacional é nula e, assim, podemos determinar a variação da energia potencial gravitacional:

$$\begin{cases} E_{pg_i} = m \cdot g \cdot h \\ E_{pg_f} = 0 \end{cases} \qquad \begin{aligned} \Delta E_{pg} &= E_{pg_f} - E_{pg_i} \\ \Delta E_{pg} &= -m \cdot g \cdot h \end{aligned}$$

Comparando o trabalho realizado pela força peso $(\tau_p = +m \cdot g \cdot h)$ à variação da energia potencial gravitacional $(\Delta E_{pg} = -m \cdot g \cdot h)$, podemos concluir que: $\tau_p = -\Delta E_{pg}$

Trabalho da força elástica e variação da energia potencial

Considere um corpo de massa **m** ligado horizontalmente a uma mola deformada de uma posição de equilíbrio ($x_0 = 0$) até uma posição **x**. Desprezando-se a força de atrito entre o bloco e o solo, a força resultante aplicada sobre o corpo, na direção horizontal, é a força elástica, que aponta para a direita.



A força elástica aplicada por uma mola é proporcional à constante elástica e à sua deformação.

O trabalho realizado pela força elástica na restituição da mola à sua posição inicial é motor e tem módulo numericamente igual à área do gráfico que representa a força aplicada pela mola em função do seu deslocamento.

$$\tau_{F_{el}} = \frac{K \cdot \Delta x^2}{2}$$

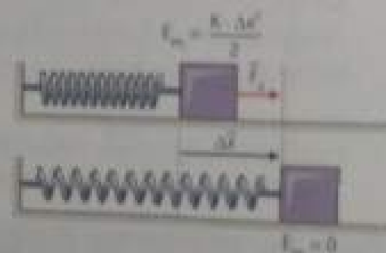
Na equação, **K** representa a constante de elasticidade da mola e **Δx** representa o deslocamento do objeto enquanto a mola retoma ao tamanho natural (deformação da mola).

Já a energia potencial elástica, para uma posição **x** em relação à posição de equilíbrio x_0, é dada por:

$$E_{pe} = \frac{K \cdot \Delta x^2}{2}$$

À medida que a mola restitui seu formato natural, a energia potencial armazenada diminui, o que pode ser observado pela redução da deformação da mola.

Por fim, quando a mola retorna à sua posição de equilíbrio, a energia potencial elástica do sistema é nula e, então, podemos determinar a variação da energia potencial elástica:



$$\begin{cases} E_{pe_i} = \dfrac{K \cdot \Delta x^2}{2} \\ E_{pe_f} = 0 \end{cases} \qquad \Delta E_{pe} = E_{pe_f} - E_{pe_i} \qquad \Delta E_{pe} = -\frac{K \cdot \Delta x^2}{2}$$

Comparando o trabalho realizado pela força elástica $\left(\tau_{F_{el}} = \dfrac{K \cdot \Delta x^2}{2}\right)$ com a variação da energia potencial elástica $\left(\Delta E_{pe} = -\dfrac{K \cdot \Delta x^2}{2}\right)$, podemos concluir que: $\tau_{F_{el}} = -\Delta E_{pe}$

Percebemos então que o trabalho da força peso ou da força elástica está relacionado à variação da energia potencial de um sistema, conforme a equação:

$$\boxed{\tau_F = -\Delta E_p}$$

Como a potência média pode ser dada por $P_m = \dfrac{\tau}{\Delta t}$, com os teoremas que acabamos de estudar, fica evidente que, para calcular o módulo da potência, também podemos utilizar a variação de energia no numerador dessa fração. De forma equivalente, é possível calcular a variação de energia por $\Delta E = P_m \cdot \Delta t$, o que justifica a energia às vezes ser expressa em watt-hora (W · h) ou em quilowatt-hora (kW · h) – é uma maneira prática de fazer o cálculo quando a potência é dada em watts ou quilowatts e o tempo está sendo medido em horas.