AULA

14

O trabalho cansa?

PARA COMEÇAR

Roberto já não subia mais as escadas, só usava o elevador. Afinal ele não comia mais chocolate, não tinha mais energia sobrando para subir centenas de andares. Mas uma coisa ainda o intrigava. Como Maristela tinha feito aqueles cálculos? Como alguém pode achar resultados numéricos tão precisos a partir de um conceito que, segundo falou a própria Maristela, nem os físicos sabiam direito o que era?

A resposta a essas perguntas começa a ser dada nesta aula. Já vimos que as grandezas fundamentais da Física podem ser medidas diretamente por meio da criação de padrões adequados. É o caso do comprimento, da massa e do tempo. Outras grandezas derivadas não têm padrões próprios, mas podem ser medidas com auxílio dos padrões criados para as grandezas fundamentais. É o caso da área, do volume, da velocidade, da aceleração, da força etc. É o caso também da energia, mas com uma característica a mais: a medida da energia tem, como ponto de partida, uma outra grandeza física, o **trabalho**. Se energia é a capacidade de realizar trabalho, mede-se a energia de um corpo pelo **trabalho que ele realiza**. Mas o que é trabalho? Como se mede o trabalho realizado por um corpo?

Fique ligado

Conceito de trabalho

O avô de Roberto, um sitiante, ficou alguns dias no apartamento do neto e estranhou que aquela vizinha passasse a noite toda com a luz acesa.

"Ela não dorme?", quis saber o desconfiado lavrador.

"É que ela fica até tarde trabalhando sentada na frente do computador", explicou Roberto.

"Trabalhar sentado é novidade, pra mim isso não é trabalho, não cansa!", sentenciou o lavrador.

De fato, segundo a Física, Maristela não trabalhava, ou melhor, não **realizava trabalho**. O conceito de trabalho, em Física, é parecido com o do lavrador: sem força não há trabalho. Mas só a existência de força ainda não basta; é preciso que ela produza ou atue ao longo de um deslocamento. O trabalho poderá então ser medido pelo produto da força pelo deslocamento:

$$\boxed{\textbf{Trabalho = força} \cdot \textbf{deslocamento}}$$

Mas por que essa relação? Por que produto e não soma, por exemplo? Porque são grandezas que se compensam, isto é, se nós aumentamos uma, podemos diminuir a outra, na mesma proporção. Veja a Figura 1.

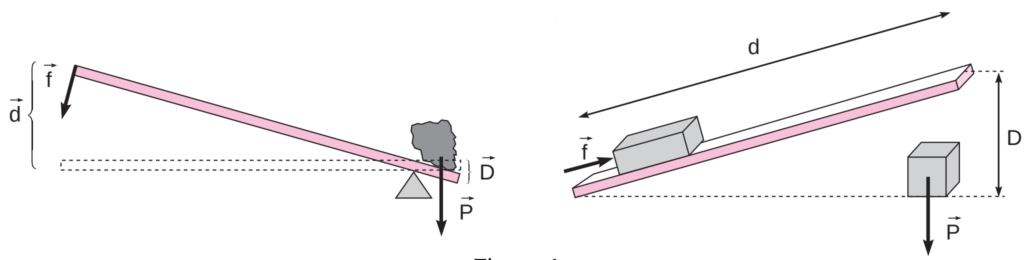


Figura 1

Na alavanca, uma força **menor** ($\vec{f}$) pode mover um peso **maior** ($\vec{P}$) porque o deslocamento (d) da força menor é maior que o deslocamento (D) do peso. O mesmo ocorre no plano inclinado. É possível elevar por uma altura (D) o caixote de peso ($\vec{P}$) fazendo uma força ($\vec{f}$) menor que ($\vec{P}$) porque, por intermédio do plano inclinado, a força ($\vec{f}$) atua ao longo de um deslocamento (d) maior que (D)**.** Em ambos os casos é válida a relação:

$$\boxed{F \cdot d = P \cdot D}$$

Em outras palavras, **é possível fazer uma força menor desde que se compense com um deslocamento maior**. A energia consumida é a mesma em ambos os casos, pois o trabalho realizado é o mesmo. Essa definição de trabalho, no entanto, não prevê todas as situações possíveis. Veja a situação ilustrada na Figura 2: o bloco está se movendo ao longo do deslocamento (d) sob a ação simultânea de várias forças. Será que todas realizam o mesmo trabalho? Como calcular o trabalho de cada uma das forças?

Trabalho de uma força constante

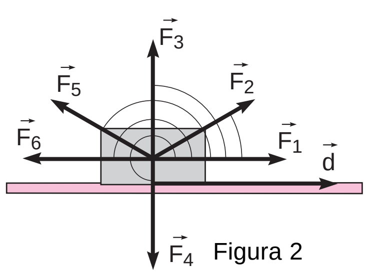


Figura 2

Como você pode ver na Figura 2, há forças que favorecem o deslocamento d ($\vec{F}_1$ e $\vec{F}_2$), outras que não influem diretamente ($\vec{F}_3$ e $\vec{F}_4$) e outras que se opõem ($\vec{F}_5$ e $\vec{F}_6$). Essas relações estão ligadas ao ângulo formado entre a força e o deslocamento. Se esse ângulo está compreendido entre 0º e 90º, a força favorece o deslocamento, realiza um trabalho **positivo.** Se for igual a 90º, ela não influirá no deslocamento, e seu trabalho será **nulo**. Se o ângulo estiver compreendido entre 90º e 180º, ela dificultará ou se oporá ao deslocamento, isto é, realizará um trabalho **negativo**. Além disso, apenas nos casos em que o ângulo é 0º ou 180º, a força atua **integralmente** a favor ou contra o deslocamento; nos demais casos, só uma parcela da força influi. Essa parcela é **a componente da força na direção do deslocamento.** Todas essas características devem aparecer na definição de trabalho de uma força. Por isso, além do produto **força** × **deslocamento**, aparece a grandeza trigonométrica cos α (co-seno de α, ângulo entre a força e o deslocamento). A definição do trabalho de uma força F, que representamos por τ_F é, portanto,

$$\boxed{\tau_F = F \cdot d \cdot \cos \alpha}$$

No SI, como a força é dada em newtons (N) e o deslocamento em metros (m), o trabalho será dado em N · m, unidade que recebe o nome de joule (J), em homenagem a James Prescott Joule, físico inglês do século XIX. Assim:

1 joule é o trabalho realizado por uma força de 1 newton que atua na mesma direção e sentido de um deslocamento de 1 metro.

Passo-a-passo

Como exemplo do cálculo do trabalho de uma força, vamos voltar à Figura 2 e calcular o trabalho das forças F_1 (τ_1), F_2 (τ_2), F_3 (τ_3), F_4 (τ_4), F_5 (τ_5) e F_6 (τ_6), ao longo do deslocamento d.

Suponha que todas as forças sejam iguais e valham 10 N e o deslocamento seja de 5 m. Em relação aos ângulos, temos:

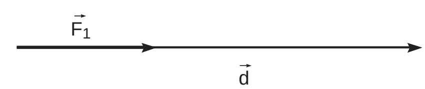
- O ângulo entre F_1 e d é $a_1 = 0^o$; F_1 tem **a mesma direção e sentido** do deslocamento**.**
- Vamos supor que o ângulo entre F_2 e d seja $\alpha_2 = 37^o$.
- Os ângulos entre F_3 e d e entre F_4 e d são $\alpha_3 = 90^o$ e $\alpha_4 = 90^o$; F_3 e F_4 são **perpendiculares** ao deslocamento.
- Vamos supor que o ângulo entre F_5 e d seja $\alpha_5 = 120^o$.
- O ângulo entre F_6 e d é $\alpha_6 = 180^o$, porque F_6 tem a **mesma direção e sentido oposto** ao deslocamento.

Observação: Você pode obter os valores do co-seno desses ângulos com uma calculadora ou consultando uma tabela de senos e co-senos.

Podemos agora calcular o trabalho de cada força:

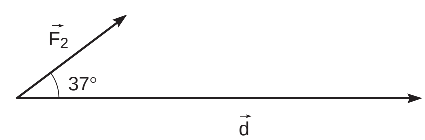
- $\tau_1 = F_1 \times d \times \cos \alpha_1$
  $\tau_1 = 10 \times 5 \times \cos 0^o$
  $\tau_1 = 50 \times 1{,}0 = 50\ J$

Figura 3.
Trabalho de F1



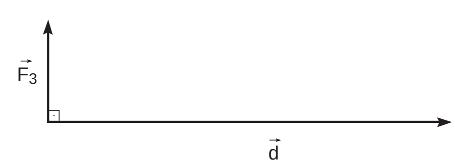
- $\tau_2 = F_2 \times d \times \cos \alpha_2$
  $\tau_2 = 10 \times 5 \times \cos 37^o$
  $\tau_2 = 50 \times 0{,}8 = 40\ J$

Figura 4.
Trabalho de F2



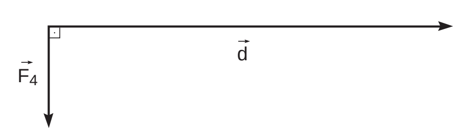
- $\tau_3 = F_3 \times d \times \cos \alpha_3$
  $\tau_3 = 10 \times 5 \times \cos 90^o$
  $\tau_3 = 50 \times 0 = 0$

Figura 5.
Trabalho de F3



- $\tau_4 = F_4 \times d \times \cos \alpha_4$
  $\tau_4 = 10 \times 5 \times \cos 90^o$
  $\tau_4 = 50 \times 0 = 0$

Figura 6.
Trabalho de F4



- $\tau_5 = F_5 \times d \times \cos \alpha_5$
  $\tau_5 = 10 \times 5 \times \cos 120^o$
  $\tau_5 = 50 \times -0{,}5 = -25\ J$

Figura 7.
Trabalho de F5

- $\tau_6 = F_6 \times d \times \cos \alpha_6$
  $\tau_6 = 10 \times 5 \times \cos 180^o$
  $\tau_6 = 50 \times -1{,}0 = -50\ J$

Figura 8.
Trabalho de F6

Observe que o valor do co-seno do ângulo corrige o valor do trabalho, em cada caso. Se o trabalho fosse calculado apenas pelo produto $F \cdot d$, obteríamos sempre o mesmo valor e o mesmo sinal, o que não corresponderia à realidade. É importante notar ainda que, se todas essas forças atuarem ao mesmo tempo, o trabalho resultante dessas forças, τ_R, será a **soma algébrica** do trabalho de cada uma. Assim, teremos:

$$\tau_R = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 + \tau_5 + \tau_6$$
$$\tau_R = 50 + 40 + 0 + 0 + (-25) + (-50)$$
$$\tau_R = 15\ \text{J}$$

Trabalho e energia cinética

Agora que já sabemos calcular o trabalho de uma força constante, é possível encontrar uma expressão matemática para a energia cinética. O raciocínio é simples. Suponha que um corpo está em repouso sobre um plano horizontal sem atrito (veja a Figura 9).

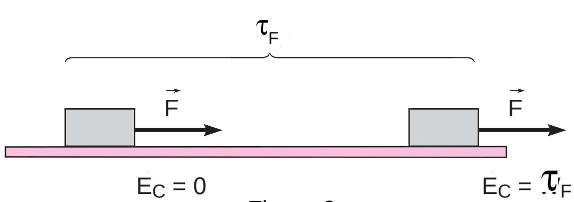


Figura 9

Como ele está em repouso, não tem energia cinética. Sobre esse corpo passa a atuar uma força constante $\vec{F}$, paralela ao plano, que o desloca na mesma direção e sentido da força. Depois de um deslocamento **d**, esse corpo está com uma determinada velocidade **v.** Adquire, portanto, uma energia cinética, E_C . Como só essa força realiza trabalho, essa energia cinética é fruto do trabalho dessa força (há mais duas forças atuando sobre o corpo, o peso e a reação do plano, mas são perpendiculares ao deslocamento e, portanto, não realizam trabalho). Pode-se, então, determinar a energia cinética desse corpo, pelo trabalho realizado por essa força, ou seja:

$$\boxed{\tau_F = E_C}$$

Temos, então:

$$\tau_F = F \cdot d \cdot \cos 0^\circ$$

Mas, pela segunda lei de Newton, $F = m \cdot a$. Temos, portanto:

$$\tau_F = m \cdot a \cdot d \cdot 1{,}0 \qquad \text{(I)}$$

Usando a equação de Torricelli, que é obtida quando eliminamos o tempo das funções horárias da posição e da velocidade no MRUV.

$$v^2 = v_0^{\,2} + 2 \cdot a \cdot d$$

Podemos determinar a velocidade do bloco ao final do deslocamento d. Como ele parte do repouso, $v_0 = 0$, a expressão se simplifica:

$$v^2 = 2 \cdot a \cdot d$$

Pode-se obter daí o valor do produto $a \cdot d$:

$$a \cdot d = \frac{v^2}{2}$$

Substituindo esse valor de $a \cdot d$ na expressão (I), obtemos:

$$\tau_F = m \cdot \frac{v^2}{2}$$

Essa expressão, $m \times \frac{v^2}{2}$, é, portanto, a **energia cinética E_{Cfinal} adquirida pelo corpo em função do trabalho da força F(τ_F)**. Escrevendo essa expressão de uma forma mais elegante, define-se energia cinética de um corpo de massa m com velocidade v como:

$$\boxed{E_C = \frac{1}{2} mv^2}$$

Como a energia cinética é igual ao trabalho realizado pela força, a sua unidade de medida deve ser a mesma unidade de trabalho. Logo, **a unidade de energia no SI também é o joule.**

Vamos voltar à Figura 3 e supor que o corpo **não estava inicialmente em repouso**, ou seja, $v_o \neq 0$. Isso significa que, quando a força F foi aplicada, o corpo já tinha uma energia cinética inicial, $E_{inicial}$. Para saber o trabalho dessa força ao final do deslocamento d, devemos descontar a energia cinética final, E_C, dessa energia cinética inicial, $E_{inicial}$. Nesse caso, o trabalho da força F é igual ao que o corpo ganha **a mais** de energia cinética, o que pode ser calculado pela variação da energia cinética que ele sofre, ou seja:

$$\boxed{\tau_F = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}}$$

Se houver mais forças atuando sobre o corpo, cada uma delas vai realizar um trabalho. Nesse caso, como vimos no exemplo 1, o trabalho resultante, τ_R, de todas essas forças é a soma algébrica do trabalho de cada força. Esse trabalho resultante é o responsável pela variação da energia cinética do corpo. Podemos, então, escrever:

$$\tau_R = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$

Representado por ΔE_C, que significa **variação da energia cinética**, a diferença $E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$, temos:

$$\tau_R = \Delta E_C$$

Essas duas últimas relações expressam matematicamente o **teorema da energia cinética**, uma valiosa ferramenta para a interpretação, compreensão e resolução de problemas de Física, cujo enunciado é:

O trabalho resultante (τ_R) de todas as forças que atuam sobre um corpo num deslocamento d é igual à variação da energia cinética desse corpo (ΔE_C) nesse deslocamento.

Passo-a-passo

Um automóvel com massa de 800 kg tem velocidade de 36 km/h quando é acelerado e, depois de percorrer um determinado deslocamento, está com velocidade de 108 km/h. Determinar:

a) Sua energia cinética inicial, $E_{inicial}$:

Como a energia é medida em joules, unidade do SI, precisamos transformar a velocidade em metros por segundo. Portanto, como já vimos anteriormente, v_o = 36 km/h = 10 m/s. Basta agora determinar o valor de $E_{inicial}$:

$$E_{inicial} = \frac{1}{2} mv_{oinicial}^{\ 2}$$

$$E_{inicial} = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot 10^2 = 40.000 \text{ J}$$

b) A energia cinética final, E_{Cfinal}. Sabendo–se que v = 108 km/h = 30 m/s, temos:

$$E_{Cfinal} = \frac{1}{2}\,mv^2$$

$$E_{Cfinal} = \frac{1}{2} \cdot 800 \cdot 30^2 = 360.000\ J$$

c) Qual o trabalho da força resultante que atua sobre o automóvel.
Aplicando o teorema da energia cinética, temos:

$$\tau_R = \Delta E_C = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$
$$\tau_R = 360.000 - 40.000 = 320.000\ J$$

Observe que esse valor não corresponde ao trabalho do motor. Se a estrada for plana, horizontal, ou predominarem as subidas, o trabalho do motor certamente será maior. Ele deverá vencer também as forças de atrito e resistência do ar e, se houver subida, a componente tangencial do peso do automóvel. Todas essas forças realizam um trabalho negativo. Se houver descida, o trabalho do motor pode ser menor, porque, nesse caso, o peso do automóvel também vai realizar trabalho positivo.

Passo-a-passo

Uma bala com 20 g de massa atinge uma parede com velocidade de 600 m/s e penetra, horizontalmente, 12 cm. Determine o valor médio da força de resistência exercida pela parede, para frear a bala.

Para determinar o valor médio da força de resistência R exercida pela parede sobre a bala, é preciso calcular o trabalho que ela realiza, τ_R. Isso pode ser feito pelo teorema da energia cinética, que permite calcular o trabalho da parede pela variação da energia cinética da bala:

$$\tau_{(parede)} = \Delta E_{C\,(bala)}$$
$$\tau_R = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$

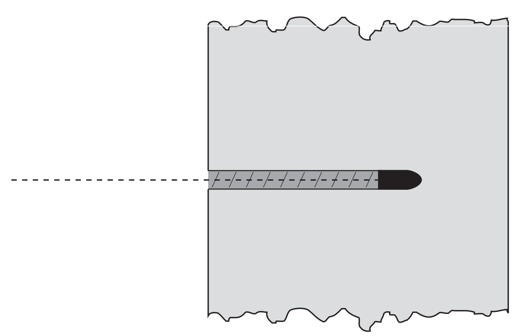


Figura 10

Como a bala pára ao final da penetração, $E_{Cfinal} = 0$, basta, portanto, calcular $E_{Cinicial}$.

$$E_{Cinicial} = \frac{1}{2}\,mv_o^{\,2}$$

Lembrando que m = 20 g = 0,02 kg e v_o = 600 m/s, temos:

$$E_{Cinicial} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}02 \cdot 600^2 = 3.600\ J.$$

Voltando a expressão do teorema da energia cinética, temos:

$$\tau_R = E_{Cfinal} - E_{Cinicial}$$

$$\tau_R = 0 - 3.600 = -\,3.600\ J$$

Para determinar o valor médio da força de resistência, voltemos à definição de trabalho de uma força, lembrando que, aqui $F_{Resultante} = R$:

$$\tau_R = R \cdot d \cdot \cos \alpha$$

Sabendo que o deslocamento da bala dentro da parede é d = 12 cm = 0,12 m, e $\alpha = 180^o$, pois a força exercida pela parede se opõe ao deslocamento, temos:

$$-3.600 = R \cdot 0{,}12 \cdot \cos 180^o$$
$$-3.600 = R \cdot 0{,}12 \cdot (-1{,}0)$$

Logo:

$$R = 3.600 \# 0{,}12 = 30.000 \text{ N}$$

Observação:
Dizemos que esse é o valor médio da força exercida pela parede sobre a bala porque essa força não é constante, ela varia ao longo do deslocamento.

Potência

Já vimos que, sob o ponto de vista da Física, sem força não há trabalho, mas ainda não respondemos a pergunta que dá titulo à nossa aula: o trabalho cansa? A resposta, é claro, só pode ser **"depende".** Depende do trabalho, da força que se faz e do deslocamento em que ela atua.

Mas há um fator a mais que ainda não entrou na discussão. Suponha que o nosso amigo Roberto, na esperança de compensar o chocolate que comia, resolvesse subir as escadas do seu prédio correndo. Será que desse jeito ele não iria gastar mais calorias?

A resposta agora é mais complicada. Fisicamente, o trabalho que ele realiza é o mesmo: transportar o próprio corpo do térreo ao andar em que mora. Mas nem ele nem seu organismo aceitam essa idéia com facilidade. Seu coração bateu muito mais rápido, sua respiração tornou-se ofegante, ele suou e se cansou muito mais. Internamente, o seu organismo consumiu muito mais energia, embora o trabalho externo tenha sido o mesmo. Isso ocorreu porque o **tempo** para a realização desse trabalho foi menor. Em outras palavras, a **potência** desenvolvida pelo organismo foi maior.

Você notou que estamos apresentando uma nova grandeza física muito importante nos dias de hoje, pois relaciona o trabalho (τ), realizado por uma máquina, com o intervalo de tempo (Δt) gasto em realizá-lo: a **potência (**P). Essa grandeza é definida pela expressão:

$$P = \frac{t}{D\,t}$$

Observe que, para um mesmo trabalho τ, quanto **menor** for o intervalo de tempo em que ele é realizado, que é o denominador da fração, **maior** será a potência e vice-versa. A unidade de potência no SI é o watt (W), em homenagem a James Watt, um engenheiro escocês que deu uma notável contribuição ao desenvolvimento das máquinas a vapor no século XVIII. Assim,

1 watt é a potência desenvolvida por uma máquina que realiza um trabalho de 1 joule em 1 segundo.

Como a potência é uma das grandezas físicas mais utilizadas na nossa vida diária, é comum encontrá-la expressa em múltiplos ou submúltiplos ou unidades práticas. Veja a seguir uma pequena lista dessas unidades e a relação delas com o watt:

1,0 quilowatt (kW) = 1.000 W
1,0 miliwatt (mW) = 0,001W
1,0 cv (cavalo-vapor) = 735,5 W
1,0 hp (horse-power) = 746 W

Além dessas unidades, há ainda uma unidade prática de energia, com a qual temos um desagradável contato mensal, por intermédio da conta de energia elétrica: o **quilowatt-hora**, cujo símbolo é kWh. A definição dessa unidade parte da definição de potência. Se a potência é dada por

$$P = \frac{\tau}{\Delta t},$$

então, o trabalho pode ser calculado pela relação:

$$\tau = P \cdot \Delta t$$

Isso significa que podemos medir o trabalho realizado por uma máquina e, portanto, a energia que ela consome, multiplicando-se a sua potência pelo tempo que ela fica funcionando. Se a potência é dada em watts e o tempo em segundos, o trabalho (ou a energia) será dado em joules. Essa unidade, no entanto, não é muito prática, principalmente para aparelhos elétricos. Por isso, costuma-se utilizar o quilowatt como unidade de potência e a hora como unidade de tempo, obtendo-se o quilowatt-hora como a correspondente unidade de trabalho (ou energia). Como essa é uma unidade prática (não pertence ao SI), é preciso saber a sua relação com o joule que, como vimos, é a unidade de trabalho e energia desse sistema. Teremos então:

$$1{,}0 \text{ kWh} = 1{,}0 \text{ kW} \cdot 1{,}0 \text{ h} = 1.000 \text{ W} \cdot 3.600 \text{ s} = 3.600.000 \text{ W} \cdot \text{s} = 3.600.000 \text{ J}$$

Imagine se o nosso amigo Roberto, ao invés de subir escadas, resolvesse correr numa estrada horizontal, em linha reta, com velocidade constante. Será que ele iria consumir energia? Se a velocidade é constante, a energia cinética não varia. Como o trabalho é igual à variação da energia cinética, ele não realiza trabalho, logo não consome energia, certo? **Errado!**

Na realidade, como vimos, o trabalho da **força resultante** é igual à variação da energia cinética. Quando alguém corre com velocidade constante, em linha reta, a força resultante é nula, mas a pessoa faz força para frente, pelo atrito de seus pés com o solo. Realiza, portanto, um trabalho positivo. No entanto, essa força é equilibrada pela resistência do ar que realiza um trabalho negativo. Por essa razão, a energia cinética não varia – o trabalho da força que a pessoa realiza para correr é consumido integralmente pelo trabalho da resistência do ar.

Nesse caso particular, é fácil calcular o trabalho que a pessoa realiza e, conseqüentemente, a energia que ela consome, por intermédio da potência desenvolvida. Por definição, o trabalho da força exercida é $\tau_F = Fd \cos \alpha$. Como a força atua na direção e sentido do deslocamento $\alpha = 0^o$ e $\cos \alpha = 1{,}0$. Então o trabalho da força é apenas $\tau_F = Fd$.

Lembrando que a potência é $P = \frac{\tau}{\Delta t}$, temos:

$$P = \frac{F \times d}{\Delta t}$$

Mas $d/\Delta t$ é a velocidade v da pessoa, logo, a potência pode ser expressa por:

$$\boxed{P = F \cdot v}$$

É bom lembrar que essa expressão é válida para qualquer corpo, mas só quando a **velocidade é constante**, ou seja, quando ele tem movimento retilíneo uniforme.

Passo-a-passo

Um automóvel desenvolve uma potência de 80 cv quando em trajetória retilínea com velocidade constante de 108 km/h. Qual a intensidade da força de resistência do ar?

Como o movimento é retilíneo uniforme, a força de resistência do ar é igual à força exercida pelo automóvel. Além disso, vale a expressão da potência num MRU ($P = F \cdot v$) Para aplicá-la, basta transformar as unidades dadas em unidades do SI:

$$P = 80 \text{ cv} = 80 \cdot 735{,}5 = 58.840 \text{ W}$$
$$v = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$$

Então, temos:

$$P = F \cdot v \Rightarrow 58.840 = F \cdot 30 \Rightarrow F = 58.840 \# 30 = 1.961 \text{ N (aproximadamente)}$$

Rendimento

Sabemos que há carros que consomem menos combustível do que outros, ou que até o mesmo carro, quando regulado, pode consumir menos. Da mesma forma, uma lâmpada fluorescente ilumina mais que uma lâmpada comum, de mesma potência. Isso vale também para o organismo humano. Há pessoas que engordam, mesmo comendo pouco, e outras que comem muito e não engordam. Em outras palavras, há máquinas que aproveitam melhor o combustível que consomem. Dizemos que essas máquinas têm um **rendimento** maior. Define-se o rendimento (r) de uma máquina pela razão entre a **potência útil** (P_U), que ela fornece e a **potência total**, (P_t), que ela consome, ou seja:

$$\boxed{r = \frac{P_U}{P_T}}$$

Pode-se escrever essa mesma expressão na forma de porcentagem. Teremos então:

$$\boxed{r = \frac{P_U}{P_T} \times 100\%}$$

É fácil ver que, se uma máquina fosse perfeita, o que não existe, ela teria rendimento $r = 1{,}0$ ou $r = 100\%$, porque a potência útil seria igual à potência total: ela aproveitaria tudo o que consome. Isso não acontece porque toda máquina gasta parte da energia que recebe para seu próprio funcionamento. Além disso, sempre há perdas. É impossível, por exemplo, eliminar completamente o atrito, que acaba se transformando em calor. E o calor gerado por atrito raramente é o objetivo de uma máquina. Ele é, em geral, um efeito indesejável, mas inevitável. Por essa razão, o rendimento de qualquer máquina será sempre um valor menor que 1,0 ou que 100%.

Passo-a-passo

Vamos voltar ao Exemplo 2. Suponha que o sistema mecânico daquele automóvel, naquela situação, tenha um rendimento de 0,25 ou 25% e que o tempo gasto para acelerar de 36 km/h para 108 km/h tenha sido de 10 s. Qual a potência total que ele consome, em cavalos-vapor?

Lembremos a resposta do segundo Passo-a-passo. O trabalho resultante sobre o carro é:

$$\tau_R = 320.000 \text{ J}$$

Que trabalho é esse? Sendo o trabalho resultante, é o **trabalho útil**, aquele que a gente aproveita. Dele pode-se calcular a **potência útil**, mas não a **potência total.** Como dissemos lá na resolução do Exemplo 2, o **trabalho total** que ele consome (que tira da energia fornecida pelo combustível) é certamente muito maior. Além do trabalho útil, ele esquenta, faz barulho, vence os atritos e a resistência do ar.

Vamos, então, calcular primeiro a potência útil. Como a potência é dada por $P = \tau/\Delta t$, a potência útil será calculada por essa expressão, desde que o trabalho, (τ), seja o trabalho útil. O trabalho útil, como comentamos é τ_R = 320.000 J e o intervalo de tempo é Δt = 10 s. Logo:

$$P_U = P_U = \frac{32.000 \text{ J}}{10 \text{ s}} = 3.200 \text{ W}$$

Como o rendimento r = 0,25, temos:

$$r = \frac{P_U}{P_T} \Rightarrow 0{,}25 = \frac{3.200 \text{ J}}{P_T} \Rightarrow P_T = \frac{3.200 \text{ J}}{0{,}25} \Rightarrow P_T = 12.800 \text{ W}$$

Para transformar esse valor em cavalos-vapor, basta dividir por 735,5 W, que equivale à potência de 1 cv. Temos, então:

$$P_T = 12.800 \# 735{,}5 = 17{,}4 \text{ cv (aproximadamente)}$$

Você pôde ver, nesta aula, que é possível calcular a energia de um corpo pelo trabalho que ele realiza. E que, para os físicos, só existe trabalho quando há força e deslocamento, portanto, o trabalho quase sempre cansa. Chegamos, também, a uma ligação muito importante que relaciona trabalho e energia cinética, $\tau = \Delta E_{C.}$ Vimos que a potência de uma máquina pode ser calculada pela razão entre o trabalho que ela realiza e o tempo gasto em realizá-lo. Que a potência útil é sempre menor que a potência total e a razão entre elas, sempre menor que a unidade, é o seu rendimento. Mas ainda ficamos devendo. Não sabemos como Maristela fez aquele cálculo que tirou o sono do nosso amigo Roberto. Mas estamos mais perto. Você lembra que ali o problema estava na altura que ele subia e no chocolate que comia. É preciso relacionar, então, trabalho com subida ou, falando mais bonito, deslocamento vertical. Esse, no entanto, é o assunto da próxima aula.

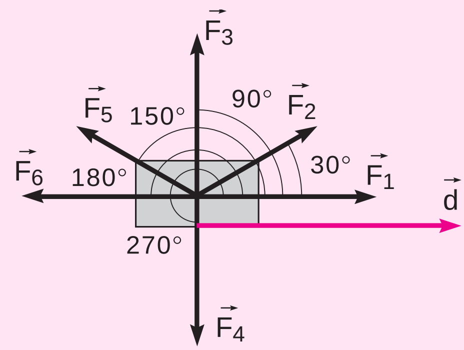
PARA TERMINAR

Nesta aula você aprendeu:

- o que é trabalho e como se acumula;
- o que é energia cinética;
- o que são potência e rendimento.

Exercício 1

No esquema da figura abaixo, supondo todas as forças iguais com valor de 100 N e o deslocamento (d) de 5 m, determine o trabalho de cada força.



Exercício 2

Um automóvel com massa de 1.200 kg tem velocidade de 144 km/h quando desacelerado e, depois de percorrer um certo trecho, está com velocidade de 36 km/h. Determine:

a) a sua energia cinética inicial ($E_{Cinicial}$);
b) a sua energia cinética final (E_{Cfinal});
c) o trabalho realizado sobre o automóvel;
d) se o automóvel percorreu 100 m nesse trecho, qual a intensidade da força resultante que atua sobre ele?

Exercício 3

Uma bala com 50 g de massa atinge uma parede a uma velocidade de 400 m/s e nela penetra, horizontalmente, 10 cm. Determine o valor médio da força de resistência exercida pela parede, para frear a bala.

Exercício 4

Suponha que um automóvel de massa 1.000 kg desenvolve uma potência de 60 cv, quando percorre uma trajetória retilínea com velocidade constante. Se a intensidade da resistência do ar que atua sobre o automóvel é de 1.471 N, qual a sua velocidade?

Exercício 5

Suponha que o conjunto mecânico de um automóvel tem um rendimento de 25%. Se o carro parte do repouso e atinge uma velocidade de 108 km/h em 10 s, qual é a potência total que ele consome, em cavalos-vapor?