PROJETO
DE ENSINO
DE FÍSICA
IFUSP - Instituto de Física da Universidade de São Paulo
MEC/FAE/PREMEN

10

Mecânica

Energia e trabalho

MEC/FAE/PREMEN

PEF — PROJETO DE ENSINO DE FÍSICA,
constituído de quatro conjuntos destinados ao Ensino de 2.º Grau, foi planejado e elaborado pela equipe técnica do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) mediante convênios com a FAE e o PREMEN.

Coordenação
Ernst Wolfgang Hamburger
Giorgio Moscati

Mecânica
Antonia Rodrigues
Antonio Geraldo Violin
Diomar da Rocha Santos Bittencourt
Hideya Nakano
Luiz Muryllo Mantovani
Paulo Alves de Lima
Plínio Ugo Meneghini dos Santos

Eletricidade
Eliseu Gabriel de Pieri
José de Pinto Alves Filho
Judite Fernandes de Almeida

Eletromagnetismo
Jesuina Lopes de Almeida Pacca
João Evangelista Steiner

Programação Visual
Carlos Egídio Alonso
Carlos Roberto Monteiro de Andrade
Ettore Michele di San Fili Bottini
João Baptista Novelli Júnior

Fotografia e Reproduções
José Augusto Machado Calil
Washington Mazzola Racy

Secretaria e Datilografia
Carlos Eduardo Franco de Siqueira
Janete Vieira Garcia Novo

Linguagem
Claudio Renato Weber Abramo
Maria Nair Moreira Rebello

Construção de Protótipos
José Ferreira
Voanerges do Espírito Santo Brites

Desenho Industrial
Alessandro Ventura

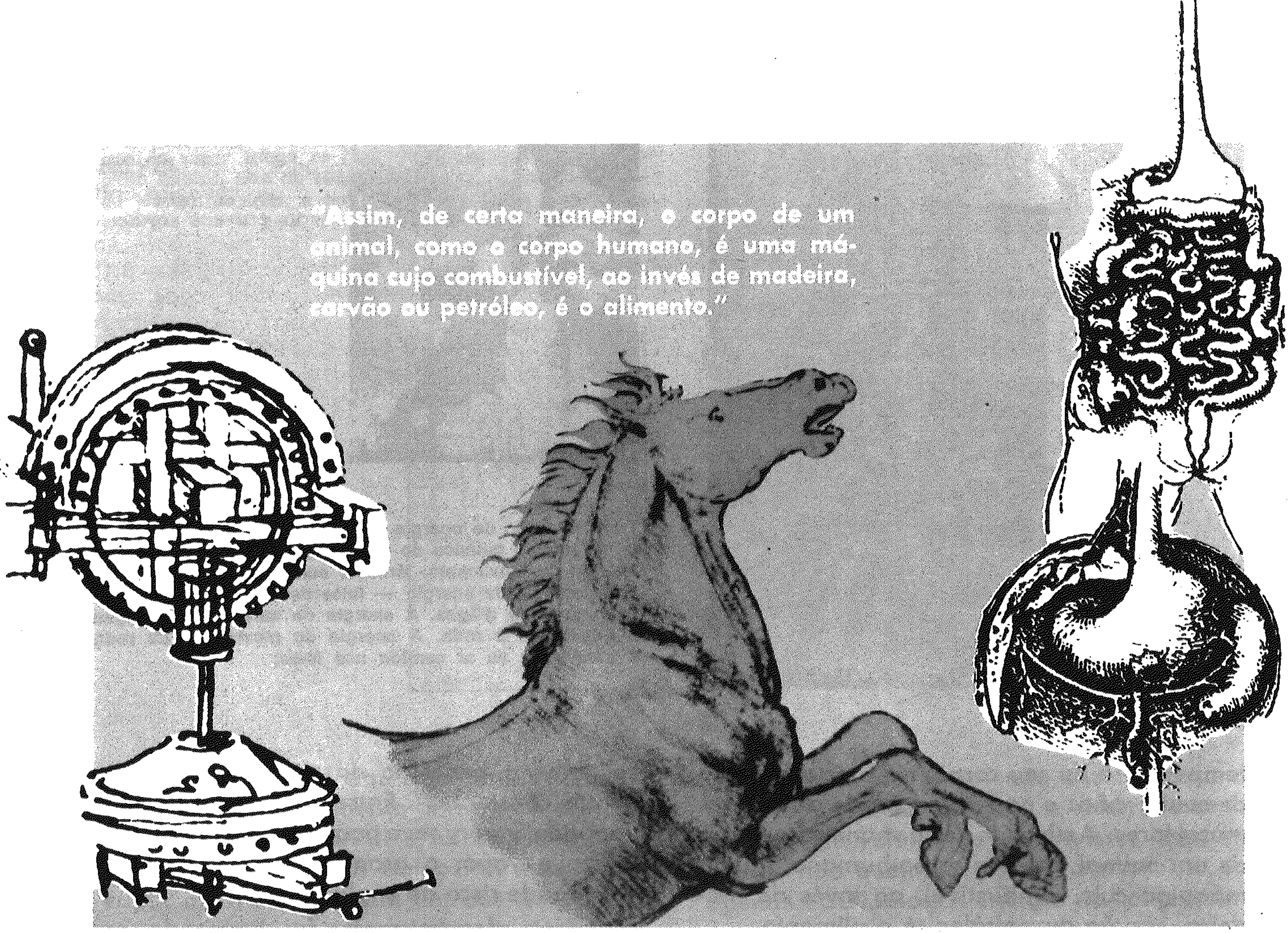
Colaboraram o pessoal da Secretaria, Oficina Gráfica, Administração, Oficina Mecânica e Oficina Eletrônica do IFUSP.

IFUSP: Caixa Postal 8 219, São Paulo — SP

CAPA

A lei de conservação de energia, descoberta em meados do século passado, é um conceito unificador de toda a ciência. Liga entre si todos os fenômenos naturais, mostrando que existe unidade na diversidade da natureza. Muitos artistas sentiram e transmitiram esta unidade, como Vincent van Gogh em seu quadro reproduzido na capa, **Paisagem com Campos Arados,** pintado em 1889. O Sol, elemento dominante no quadro, é também a fonte de energia que permite a nossa vida.

SUMÁRIO



Energia e trabalho

Todos os seres vivos necessitam da energia dos alimentos para viver. Os animais herbívoros obtêm energia das plantas. Os carnívoros também, embora indiretamente, pois comem animais herbívoros ou animais que comem animais herbívoros. Em última instância, todos os seres vivos — inclusive o homem — retiram energia das plantas.

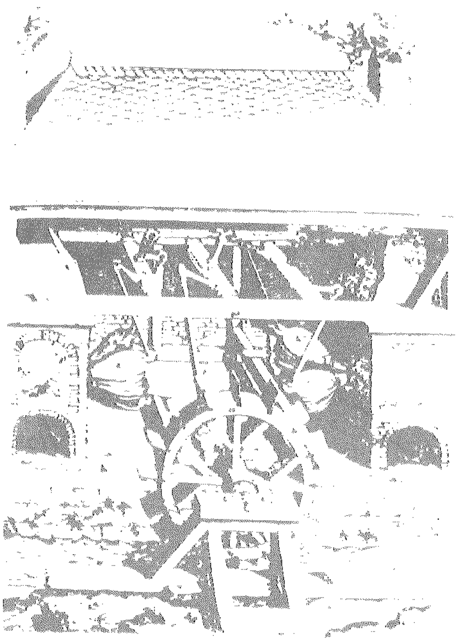
As plantas verdes obtêm energia da luz solar. Um pouco dessa energia é utilizada em suas funções vitais, enquanto que o resto — a maior parte — é empregado na síntese de glicose e outros hidratos de carbono a partir de água (H_2O) e dióxido de carbono ("gás carbônico" — CO_2).

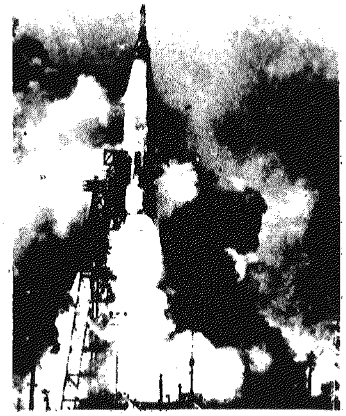
O processo de sintetização de hidratos de carbono pelas plantas é chamado **fotossíntese** — **fotos** é a palavra grega para luz. Esse processo ainda é objeto de investigação científica; sabe-se, no entanto, que ocorre em uma longa sucessão de pequenas transformações, somente se processando em plantas que contêm clorofila — a substância que lhes dá a cor verde.

A produção de um hidrato de carbono — como por exemplo a glicose ($C_6H_{12}O_6$) —, pela fotossíntese, pode ser representada esquematicamente da seguinte maneira:

$$6CO_2 + 6H_2O + \left(\begin{matrix}\text{energia}\\ \text{luminosa}\end{matrix}\right) \xrightarrow[\text{clorofila}]{} C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

A energia usada nessa síntese não é perdida, ficando armazenada como **energia química** nas moléculas de glicose; quando um animal se alimenta da planta, essa energia passa a ficar armazenada em suas células. Tal energia é utilizada na manutenção da





Transformação de energia — **o lançamento de um foguete. A energia química do combustível é transformada em energia de movimento, térmica, sonora e luminosa.**
Transferência de energia — **foles de um forno acionados por uma roda d'água. A energia do movimento da água é transferida à roda. A energia do movimento da roda é transferida ao ar contido nos foles.**

temperatura de seu corpo, no funcionamento de seus órgãos e na realização de atividades musculares. Assim, de certa maneira o corpo de um animal, como o corpo humano, é uma máquina cujo combustível, ao invés de madeira, carvão ou petróleo, é o alimento.

Até o século XVIII, o homem realizava a maioria de seus trabalhos — manufaturas, agricultura, pastoreio, construções, metalurgia, tecelagens etc. — auxiliado apenas por animais e por ferramentas rústicas, como arados, teares manuais etc. A primeira máquina que substituiu em grande escala o trabalho humano e animal foi a máquina a vapor.

Na Inglaterra do fim do século XVII, muitas minas de carvão estavam inundadas e abandonadas, pois as dificuldades para bombear a água muitas vezes não eram compensadas pela extração do minério. Quando se conseguia efetuar o bombeamento da água, utilizavam-se bombas movimentadas por moinhos ou por rodas d'água, aproveitando a energia dos ventos ou de quedas d'água próximas das minas.

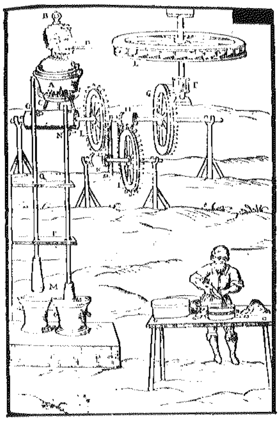
Em 1698, o engenheiro inglês Thomas Savery patenteou... "uma nova invenção para elevar água e movimentar moinhos que utiliza a força propulsora do fogo" — em termos modernos: a energia térmica liberada na combustão — "e será de grande vantagem na drenagem de minas e em moinhos onde não se tenha o benefício de quedas d'água ou ventos constantes". Entretanto, a máquina a vapor de Savery teve pequena aceitação, pois utilizava vapor a grande pressão, havendo um grande risco de explosões.

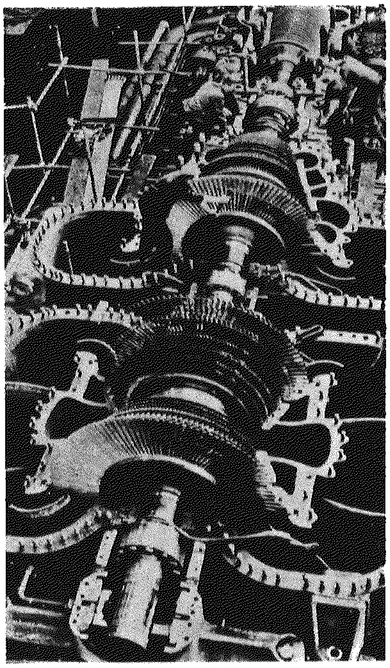
Essa desvantagem foi superada em 1705 por Thomas Newcomen (1663-1729), também inglês, com a invenção de uma máquina em que o vapor era mantido à pressão atmosférica. Apesar de não ser econômica segundo os padrões atuais, consumindo muito combustível, foi amplamente usada por mais de 70 anos.

Um grande desenvolvimento da máquina a vapor ocorreu em 1764. Nesse ano, o escocês James Watt (1736-1819), filho do proprietário de uma oficina que fabricava equipamentos navais, consertou um modelo da máquina de Newcomen usado em demonstrações para os alunos na Universidade de Glasgow. Ao estudar a máquina para realizar os reparos, Watt observou que ela desperdiçava muito combustível, pois o cilindro era desnecessariamente resfriado toda vez que o vapor era condensado. Watt acrescentou à máquina um condensador separado, conseguindo com isso, já nos primeiros modelos construídos, uma economia de 50% de combustível.

O sucesso de Watt estimulou o emprego de máquinas a vapor em locomotivas, barcos,

O princípio de funcionamento de uma turbina a vapor é mais simples que o das primeiras máquinas térmicas: um jato de vapor atinge as lâminas de um rotor, fazendo-o girar. Abaixo, uma de suas primeiras representações (Idade Média); ao lado, a turbina de uma usina termelétrica moderna aberta para reparos.





fábricas etc. e foi um fator importante no grande desenvolvimento industrial ocorrido no fim do século XVIII e no século XIX na Europa e nos Estados Unidos. A máquina a vapor de Watt foi assim um dos fatores responsáveis pela transformação social e econômica que lançou a civilização ocidental na era contemporânea.

Hoje as máquinas a vapor não são mais usadas nas indústrias, tendo sido substituídas por máquinas elétricas; entretanto, em muitos países, a turbina a vapor, inventada em 1884 por Charles Parsons, é agora a principal responsável pela produção de energia elétrica em usinas termelétricas.

O carvão mineral, o petróleo, o gás natural são os combustíveis empregados em máquinas térmicas; como as plantas, esses combustíveis também obtiveram energia da luz solar — só que há milhares de anos —, pois nada mais são que restos fósseis de antigas florestas.

Para os povos antigos, o Sol era uma divindade que lhes dava luz e calor durante o dia e os abandonava somente à noite, quando empreendia a viagem de retorno ao leste através de passagens subterrâneas. Os conhecimentos sobre o Sol desde aqueles tempos aumentaram muito; talvez o mais importante deles seja o de como esse astro consegue emitir tanta energia.

Certamente, o Sol não é simplesmente uma fogueira de carvão; se assim fosse, e se todo seu volume se constituísse, hoje, em carvão não queimado, ele se extinguiria em apenas 1 500 anos. A energia do Sol provém, na verdade, de reações nucleares: uma sucessão de reações nucleares faz com que quatro núcleos de hidrogênio sejam fundidos em um núcleo de hélio. A massa do núcleo de hélio é ligeiramente menor que a massa dos quatro núcleos de hidrogênio; a diferença corresponde — segundo a relação $E = mc^2$ deduzida por Einstein — à energia liberada na reação:

$$4H \rightarrow 1He + \text{energia}$$

No Sol, **em cada segundo** 564 toneladas de hidrogênio são convertidas em 560 toneladas de hélio; as 4 toneladas restantes correspondem a uma quantidade de energia um milhão de vezes maior que a energia armazenada pela Terra em carvão, petróleo e gás natural em 3,5 bilhões de anos. Apesar de somente um bilionésimo da energia liberada pelo Sol atingir nosso planeta, ela é — direta ou indiretamente — responsável por todos os processos que ocorrem na superfície da Terra: a sobrevivência de todos os seres vivos, o caminhar de uma formiga, a impressão de um livro, o lançamento de um foguete à Lua etc.

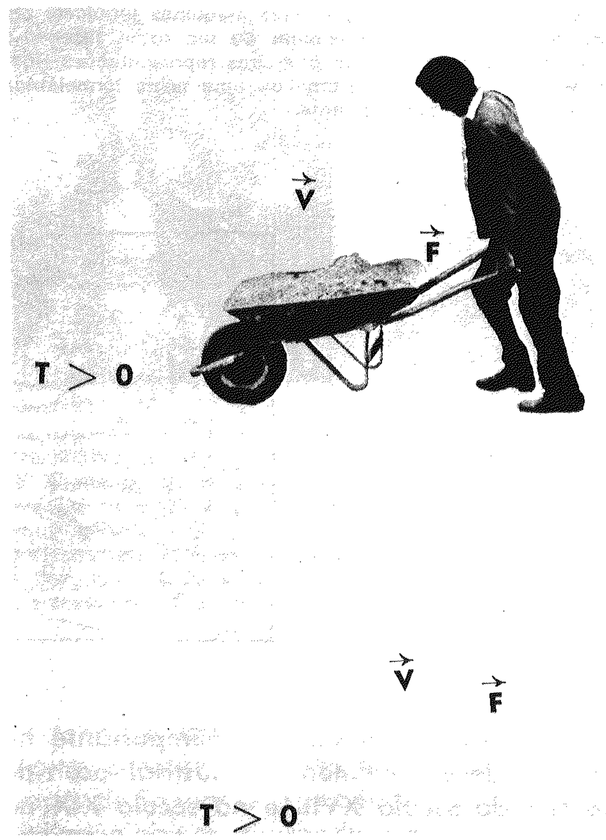


figura 1

1. TRABALHO: medida de energia transferida

Corpos em movimento possuem energia. Os ventos — massas de ar em movimento — agitam folhas de árvores, giram moinhos, impulsionam embarcações a vela. As águas das chuvas arrastam sedimentos do solo para os rios, transformando regiões montanhosas em planícies, em um processo de erosão que requer milhares de anos. Nas usinas hidrelétricas, a energia de movimento das águas dos rios é aproveitada para movimentar turbinas e gerar energia elétrica.

Nestes, como em todos os processos naturais, ocorrem transferências de energia de um corpo para outro.

Uma pessoa que levanta uma mala, empurra uma mesa, aperta um parafuso ou chuta uma bola, exerce forças sobre esses corpos, transferindo-lhes energia.

Ao empurrar uma mesa de um local para outro, afastado 1m, uma pessoa despende de uma certa quantidade de energia: se ela empurrar a mesa 4m, 6m etc., a energia despendida será 4, 6 etc. vezes maior.

Q1 - A energia transferida à mesa é proporcional à distância em que a mesa foi arrastada?

Por outro lado, a energia despendida para empurrar duas mesas iguais é o dobro da despendida para empurrar apenas uma: é necessário aplicar o dobro da força.

Portanto, a energia transferida ao se deslocar um corpo deve ser proporcional à distância percorrida e também à força aplicada.

Assim, a energia transferida pela ação de forças é diretamente proporcional ao produto **F** $\times$ **d** da força **F** pela distância **d** na qual a força atua. O produto **F** $\times$ **d** pode então ser adotado como medida da energia transferida.

Em Física, o produto **T** $=$ **F** $\times$ **d** chama-se **trabalho,** e é a medida da energia transferida pela ação de uma força constante sobre um corpo que se desloca na direção da

figura 2

RESPOSTAS

R_1 -

R_2 -

R_3 -

R_4 -

força. Costuma-se dizer que o trabalho é realizado pela força. Quando a força não é constante ou quando não tem a direção do deslocamento do corpo, a expressão do trabalho é mais complicada. Note que a palavra **trabalho** é usada em Física com significado diferente daquele empregado na linguagem comum.

Uma das unidades de trabalho é o **joule.** Corresponde ao trabalho de uma força de valor 1 newton que desloca um corpo de uma distância de 1 metro, na sua direção e sentido.

$$1 \text{ newton} \times 1 \text{ metro} = 1 \text{ joule}$$

$$1\text{N} \times 1\text{m} = 1\text{J}$$

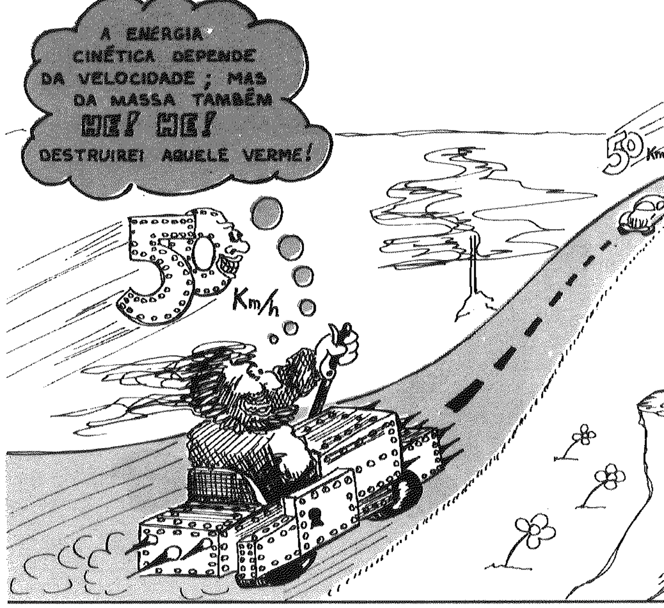
Q2 — Qual é, em joule, o trabalho realizado por uma força de 10N que desloca um corpo de uma distância de 2,5m?

Q3 — Um carro-guincho puxa um automóvel em uma estrada reta e horizontal, aplicando-lhe uma força de 900N ao longo de um trecho de 1 000m. Qual é o trabalho realizado por essa força nesse deslocamento?

Q4 — Uma força atua em um disco inicialmente em repouso sobre uma mesa sem atrito. O disco percorre 3,0m enquanto a força atua. Sabendo que o trabalho realizado pela força foi de 30,0J, qual o valor da força?

O trabalho realizado por uma força pode ser **positivo** ou **negativo.** É positivo quando a força tem o mesmo sentido da velocidade; neste caso, a força está "ajudando" o movimento. O trabalho é negativo quando a força se opõe ao movimento, quando tem sentido oposto à velocidade.

Por exemplo, na figura 1 um homem empurra um carro acelerando-o a partir do repouso. Realiza um trabalho positivo sobre o carro. Na figura 2 outro homem está freando outro carro, desacelerando-o, e a força tem sentido oposto ao da velocidade: neste caso, o trabalho executado pelo homem é negativo.



R1 — Sim.

R2 — $T = 25J$.

R3 — $T = 9 \times 10^5 J$.

R4 — $F = 10{,}0 N$.

2. Energia cinética

A energia de movimento é chamada **energia cinética**; em grego, **kinesis** significa movimento.

A energia cinética de um corpo depende de sua velocidade; quanto maior for sua velocidade, maior será sua energia cinética.

Q5 — Numa cobrança de falta, em um jogo de futebol, a bola atingiu a trave com velocidade de 8m/s. Numa outra cobrança, a bola atingiu a trave com velocidade de 3m/s. Em qual das vezes a bola atingiu a trave com maior energia cinética?

Q6 — Se a velocidade de um corpo aumenta, sua energia cinética aumenta ou diminui?

A energia cinética de um corpo não depende apenas de sua velocidade. Pode ocorrer que dois corpos tenham a mesma velocidade, mas não a mesma energia cinética: um carro de uma tonelada, a 50km/h, possui maior energia cinética que uma motocicleta de 100kg a essa mesma velocidade. Pode-se chegar a essa conclusão imaginando que ambos se choquem contra um muro: o automóvel produzirá um estrago muito maior.

A energia cinética, portanto, também depende da massa dos corpos. Dois corpos de **massas diferentes** e mesma velocidade possuem energias cinéticas diferentes.

Q7 — Dois corpos possuem mesma velocidade, **porém massas diferentes**; qual deles possui maior energia cinética?

Um corpo **inicialmente em repouso** sobre uma mesa horizontal em que pode se mover sem atrito adquire energia cinética ao sofrer ação de uma força **F**, que o desloca de uma distância **d**, pois é acelerado e sua velocidade aumenta.

Nesse caso, o corpo só adquire energia cinética sem que haja aparecimento de outro tipo de energia. Como o trabalho $\mathbf{F} \times \mathbf{d}$ mede a energia transferida ao corpo, a energia cinética adquirida é igual a esse trabalho:

$$\mathbf{F} \times \mathbf{d} = \mathbf{E}_c$$

Entretanto, pode-se deduzir a partir das leis de Newton que:

$$\mathbf{F} \times \mathbf{d} = \frac{1}{2}\mathbf{mv}^2$$

onde $\mathbf{v}^2$ é o quadrado da velocidade final adquirida pelo corpo de massa **m** ao ser aplicada a força **F**.

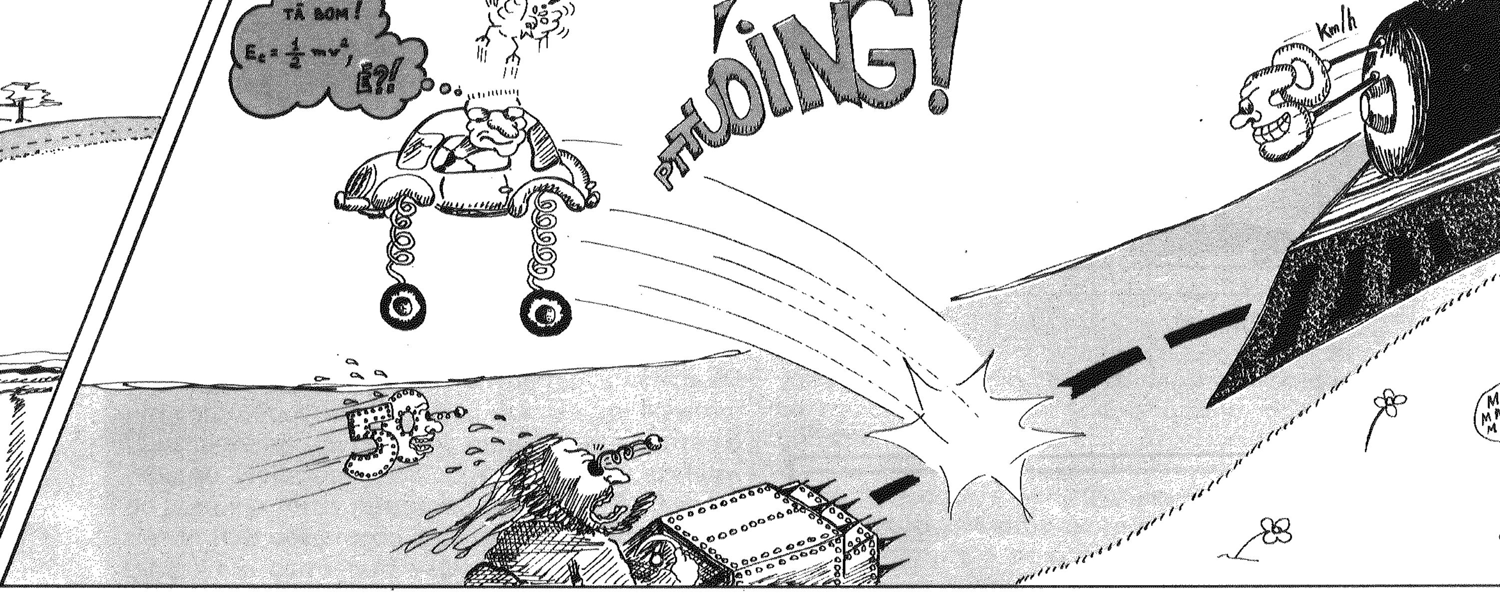
A expressão $\frac{1}{2}\mathbf{mv}^2$,

1.º) só depende da massa **m** do corpo e de sua velocidade **v**, isto é, das características do corpo e do seu movimento;
2.º) é igual ao trabalho $\mathbf{F} \times \mathbf{d}$ que mede a energia transferida.

Logo, adotaremos a expressão $\frac{1}{2}\mathbf{mv}^2$ como medida da energia cinética do corpo de massa **m** que esteja com velocidade **v**:

$$\mathbf{E}_c = \frac{1}{2}\mathbf{mv}^2$$

Essa expressão da energia cinética está de acordo com nossas hipóteses: quanto maior a velocidade de um corpo, maior a sua energia cinética; se dois corpos têm a mesma veloci-



dade, o de maior massa tem energia cinética maior.

Se a massa de um corpo é dada em **quilogramas** e sua velocidade em **metros por segundo,** sua energia cinética será medida em joule, pois a unidade de energia deve ser a mesma unidade de trabalho.

Assim, a energia cinética de um corpo de massa 3kg que se move à velocidade de 4m/s será:

$$\mathbf{E_c = \frac{1}{2}\ 3 \times 4^2 = 24J}, \text{ pois}$$

$$\mathbf{\frac{1}{2}\ .\ 3(kg)\ .\ 4^2(m/s)^2 = 24kg(m/s)^2 =}$$

$$\mathbf{= 24kg\ .\ m/s^2\ .\ m = 24N\ .\ m = 24J}$$

Q8 — Qual é a energia cinética de um corpo de massa 4kg que se move com velocidade 5m/s?

Q9 — O velocímetro de um automóvel, cuja massa é 1 000kg, marca 108km/h. Qual é sua energia cinética?

Q10 — Um caminhão de massa 10 toneladas corre a 50km/h. Um outro, de massa 2,5 toneladas, corre a 100km/h. Qual dos dois tem maior energia cinética?

Q11 — Um caminhão carregado e um pequeno automóvel movem-se com a mesma energia cinética. Se ambos são freados pela mesma força, qual dos dois percorrerá maior distância até parar?

RESPOSTAS

R_5 -

R_6 -

R_7 -

R_8 -

R_9 -

R_{10} -

R_{11} -

R5 — Na primeira vez.

R6 — Aumenta.

R7 — O que tiver maior massa.

R8 — $E_c = 50J$.

R9 — $E_c = 4,5 \times 10^5J$.

R10 — Ambos têm a mesma E_c.

R11 — Ambos percorrerão a mesma distância.

3. Relação entre trabalho e energia cinética

Consideremos agora que uma força constante **F** começa a atuar em um corpo que está com uma velocidade inicial v_i. Nesse caso, no instante em que a força **F** começa a atuar a energia cinética do corpo é: $\frac{1}{2}mv_i^2$

Se, após o corpo se deslocar de uma distância **d** sob a ação da força **F**, e a velocidade final do corpo for v_f, a sua energia cinética será dada por $\frac{1}{2}mv_f^2$. Então, a variação da energia cinética durante esse deslocamento será dada pela diferença entre a energia cinética final e a energia cinética inicial, ou seja, $\Delta E_c = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2$.

A energia transferida pela ação da força **F** deve ser igual a essa variação de energia cinética. De fato, pode-se demonstrar que:

$$F \times d = \frac{1}{2}mv_f^2 - \frac{1}{2}mv_i^2 = \Delta E_c$$

Isto é, o trabalho de uma força **F** que atua em um corpo durante um intervalo de tempo é igual à variação de energia cinética do corpo nesse intervalo.

Pode-se demonstrar que esse resultado continua válido mesmo quando a força resultante não é constante.

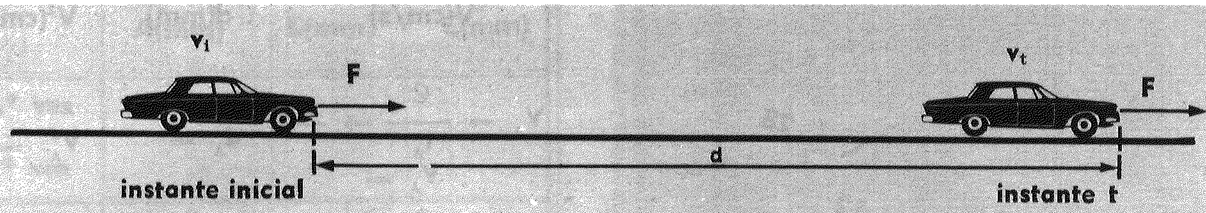
Q12 — Em um certo trajeto, um móvel sofre um aumento de velocidade de 3m/s para 8m/s; sabendo que o trabalho correspondente a essa mudança de velocidade foi de 55J, determine a massa do móvel.

Q13 — Que trabalho deve realizar uma força para parar um caminhão de massa 6 000kg que está a uma velocidade de 72km/h? Qual o valor da força para que essa freada se dê em 40m?

Q14 — Submete-se um corpo de massa 20kg, inicialmente em repouso, à ação de uma força constante. No fim de 2s a velocidade do corpo em questão é 3,6m/s. Pede-se:

a) a intensidade da força aplicada;

b) a energia cinética do corpo no fim de 5 segundos.



A relação entre trabalho e energia cinética de um corpo pode ser deduzida das leis de Newton. Consideremos um carro de massa **m** que parte do repouso (velocidade inicial $v_i = 0$) e é acelerado por uma força resultante constante **F**. O movimento terá aceleração **a** constante. Depois de um tempo **t** o carro terá velocidade final v_f e terá percorrido um espaço **d**. Os valores de v_f e **d** podem ser calculados se conhecermos **a** e **t**, como vimos no capítulo 6 (pág. 28): $v_f = at$ e $d = \frac{1}{2} a t^2$. A aceleração **a** é obtida da Lei de Newton $F = ma$. Então, o trabalho será $T = F.d = ma. \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} ma^2t^2$.

Nesta expressão podemos substituir **a** por $\frac{v_f}{t}$ obtendo: $T = \frac{1}{2} m \left(\frac{v_f}{t}\right)^2 t^2 = \frac{1}{2} m \frac{v_f^2}{t^2} t^2 = \frac{1}{2} m v_f^2$. Demonstramos, portanto, que a variação de energia cinética de um corpo é igual ao trabalho realizado pela resultante das forças que agem sobre ele, no caso de velocidade inicial v_i nula. No caso mais geral em que v_i não é nula, a demonstração é semelhante mas é necessário utilizar para v_f e **d** as expressões mais gerais dadas no capítulo 6 para este caso:

$$v_f = v_i + at \text{ ou } a = \frac{v_f - v_i}{t} \text{ e } d = \frac{v_f + v_i}{2} t.$$

O trabalho será

$$T = F \times d = ma. \frac{v_f + v_i}{2} t.$$

Nesta expressão podemos substituir **a** por $\frac{v_f - v_i}{t}$, obtendo:

$$T = m\left(\frac{v_f - v_i}{t}\right) \frac{v_f + v_i}{2} . t = \frac{m}{2} (v_f - v_i) (v_i + v_f) = \frac{m}{2} (v_f^2 - v_i^2) = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2 = \Delta E_c,$$

como queríamos demonstrar.

4. EXPERIÊNCIA: Energia cinética e velocidade na calha

Nesta experiência você verificará se realmente a energia cinética de um corpo é diretamente proporcional ao quadrado da sua velocidade. Para isso, você usará a calha, uma esfera, o cronômetro de areia e um tubo de metal.

Coloque a parte mais curta da calha na posição mais inclinada que os pequenos orifícios permitem.

Coloque o tubo sobre a calha, de modo que seu extremo coincida com o zero da régua gravada no fundo da calha.

Solte a esfera do extremo superior da parte inclinada da calha e observe o que ocorre com o tubo quando ela o encontra.

RESPOSTAS

R $_{12}$ -

R $_{13}$ -

R $_{14}$ -

R $_{15}$ -

R $_{16}$ -

R $_{17}$ -

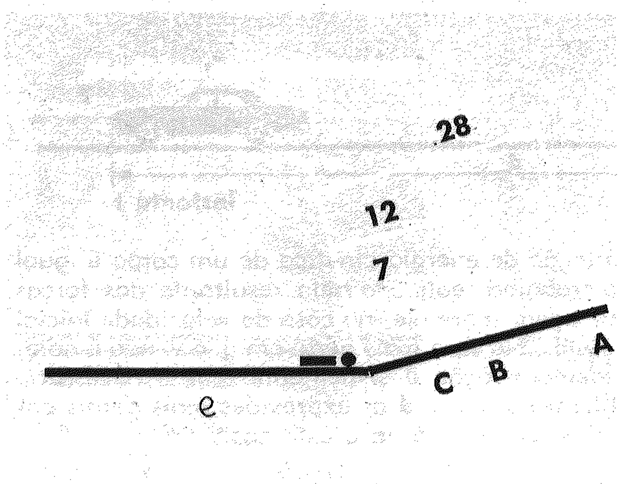


figura 3

V(cm/s)	d(mm)	$V^2(cm/s)^2$
$V_A = \frac{\ell}{t_A} = $ ___ $V_A =$	$d_A =$	$V_A^2 =$
$V_B = \frac{\ell}{t_B} = $ ___ $V_B =$	$d_B =$	$V_B^2 =$
$V_C = \frac{\ell}{t_C} = $ ___ $V_C =$	$d_C =$	$V_C^2 =$

tabela 1

Q15 — Qual é o deslocamento sofrido pelo tubo?

Q16 — Houve transferência de energia para o tubo?

Q17 — De onde veio essa energia?

O tubo não apresentou movimento uniforme durante a colisão; isso indica que forças não equilibradas agiram sobre ele durante o choque.

Q18 — Que força freou o tubo?

O freamento do tubo é devido à força de atrito f_a. O trabalho executado pela força de atrito é dado por $T = f_a \times d$, onde **d** é o deslocamento sofrido pelo tubo. Podemos então dizer que o trabalho executado nesse deslocamento é proporcional a **d**. Por outro lado, o trabalho realizado é praticamente igual à energia cinética da esfera instantes antes da colisão. Assim, a energia cinética da esfera na parte horizontal da calha antes da colisão é diretamente proporcional a **d**. Isto significa que, medindo **d**, estaremos medindo, a menos de uma constante, a energia cinética da esfera em seu movimento na parte horizontal. Você atingirá então a finalidade da experiência se verificar que a distância **d** é proporcional ao quadrado da velocidade da bolinha (v^2) na parte horizontal da calha. A experiência consistirá então do seguinte (veja os pontos **A**, **B** e **C** na figura 3): soltar a bolinha em **A**, medir a sua velocidade v_A na parte horizontal e medir o deslocamento d_A do tubo provocado pela colisão da bolinha. Soltar a bolinha em **B**, medir v_B e d_B, soltar a bolinha em **C**, medir v_C e d_C e finalmente verificar se v^2 é proporcional a **d**.

Retire o tubo e assinale com um lápis três pontos na parte inclinada da sua calha, conforme a figura 3. Nivele a calha.

Q19 — Marque na tabela 1 (1.ª coluna) o comprimento ℓ da parte horizontal da sua calha.

Abandonando a esfera em **A**, meça o tempo que ela gasta para percorrer 5 vezes a parte horizontal da calha. Determine o tempo médio t_A para percorrer uma vez essa parte. Faça o mesmo abandonando a esfera em **B** e depois em **C**. Escreva os valores de t_A, t_B e t_C na tabela 1.

Determine os valores das velocidades da bolinha na parte horizontal da calha, quando ela é abandonada respectivamente em **A**, **B** e **C**. Anote esses valores na primeira coluna da tabela 1.

Coloque agora o tubo sobre a calha, de modo que seu extremo coincida com o zero da escala.

Ao determinar a posição do tubo, antes da colisão e ao medir seu deslocamento, faça-o olhando bem de cima, para ler corretamente a escala.

Abandone a esfera, sucessivamente, nos pontos **A**, **B** e **C**, e meça, em cada caso, o deslocamento sofrido pelo tubo. Repita a experiência 5 vezes e anote os resultados na tabela 2.

Calcule as médias dos deslocamentos do tubo para os lançamentos a partir de **A**. Calcule também a média dos deslocamentos

	A(mm)	B(mm)	C(mm)
1.ª vez			
2.ª vez			
3.ª vez			
4.ª vez			
5.ª vez			
Média	d_A =	d_B =	d_C =

tabela 2

relativos a lançamentos a partir de **B** e de **C**. Coloque esses resultados na segunda e terceira colunas da tabela 1.

Q20 — Quando solta de **A**, **B** e **C**, quais são respectivamente as velocidades da esfera momentos antes de colidir com o tubo? (Veja na tabela 1.)

Construa, na figura 4, o gráfico **d** × **v**, colocando as velocidades da esfera no eixo das abscissas e os deslocamentos do tubo no das ordenadas.

Q21 — O gráfico é um segmento de reta?

Q22 — v é proporcional a **d**?

Q23 — Calcule os quadrados das velocidades encontradas na tabela 1 e preencha a última coluna dessa tabela.

Q24 — Construa o gráfico **d** × $\mathbf{v}^2$ na figura 5.

Q25 — Esse gráfico é retilíneo e passa pela origem?

Q26 — **d** é proporcional a $\mathbf{v}^2$?

Q27 — O que você pode concluir sobre a relação entre a energia cinética da esfera e a velocidade?

Esta experiência mostrou que a energia cinética de um corpo em movimento é diretamente proporcional ao quadrado de sua velocidade, o que concorda com a equação:

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

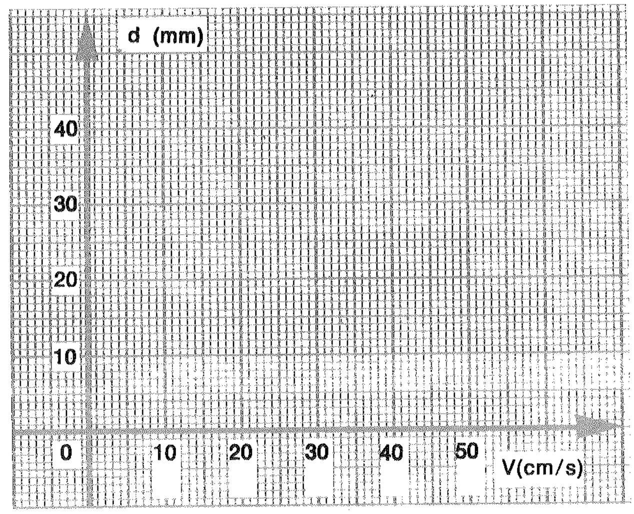


figura 4

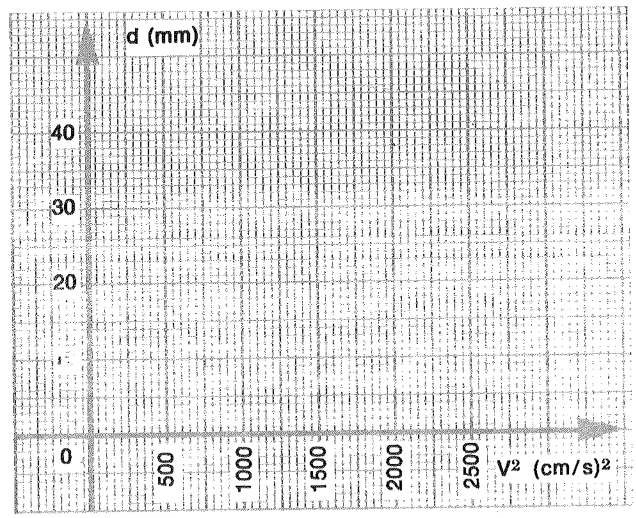


figura 5

RESPOSTAS

R_{18} -

R_{20} -

R_{21} -

R_{22} -

R_{25} -

R_{26} -

R_{27} -

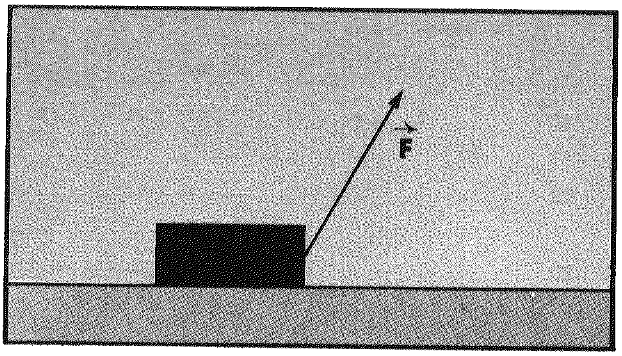


figura 6

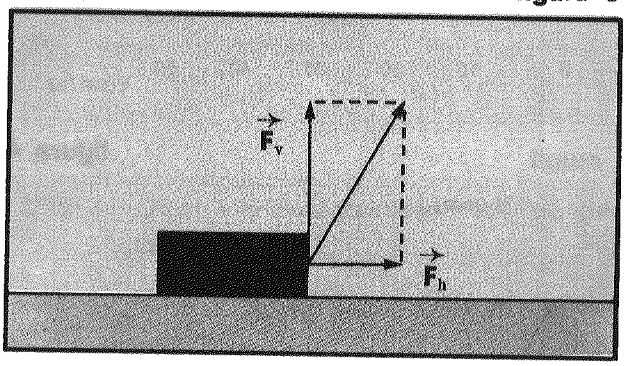


figura 7

R12 — m = 2kg.

R13 — T = $1{,}2 \times 10^6$J e F = 3×10^4N.

R14 — a) F = 36N; b) E_c = 810J.

R15 — Aproximadamente 4,2cm.

R16 — Sim.

R17 — Da esfera em movimento.

R18 — A força do atrito.

R19 — Aproximadamente 70 cm.

R20 — Os valores dependem de detalhes de construção de cada calha. Os valores abaixo foram obtidos em uma calha-protótipo; provavelmente eles não coincidirão com os valores que você obteve.

V_A = 52cm/s. V_B = 34cm/s.

V_C = 26cm/s.

R21 — Não.

R22 — Não.

R23 — Veja observação na R20.

$$V_A^2 = (52)^2 = 2{,}7 \times 10^3 \ (\frac{cm}{s})^2$$

$$V_B^2 = (34)^2 = 1{,}1 \times 10^3 \ (\frac{cm}{s})^2$$

$$V_C^2 = (26)^2 = 0{,}7 \times 10^3 \ (\frac{cm}{s})^2$$

R24 — Uma reta que passa pela origem.

R25 — Sim.

R26 — Sim.

R27 — A energia cinética é proporcional ao quadrado da velocidade.

5. Trabalho de força não paralela ao deslocamento

O trabalho executado por uma força constante que desloca um corpo na sua direção e sentido é calculado multiplicando-se o módulo da força pelo deslocamento:

$$T = F \times d.$$

Consideremos agora o caso em que uma força constante atua em uma direção que **não** é a do deslocamento do corpo.

No capítulo 8 vimos que um disco é mantido em movimento circular sem atrito sobre uma superfície horizontal graças a uma força dirigida para o centro (centrípeta). Essa força é perpendicular à trajetória e, apesar de não ser contrabalançada por outra, **não** modifica o **módulo** da velocidade do disco. Isso significa que a energia cinética do disco não varia, isto é, que uma força perpendicular à trajetória não lhe transfere energia. Portanto, o trabalho realizado por uma força perpendicular à trajetória de um corpo é nulo.

Q28 — Um corpo de peso 10N é deslocado horizontalmente de 2m sobre uma mesa plana por meio de uma força horizontal de 4N. Qual o trabalho realizado pela força de 4N? E o trabalho realizado pela força-peso? (Note que ela é perpendicular ao deslocamento.)

Q29 — É constante a energia cinética de um satélite em órbita perfeitamente circular, tendo a Terra no centro de sua trajetória?

Q30 — Em meia volta, quanto vale o trabalho da força que a Terra exerce sobre esse satélite?

Outro exemplo em que uma força $\vec{F}$ atua em uma direção diferente do movimento do corpo é ilustrado pela figura 6. Essa força tem dois efeitos: acelera o corpo horizontalmente e tende a levantá-lo verticalmente. Na figura 7 estão indicadas as partes dessa força responsáveis por esses efeitos; essas partes são chamadas respectivamente de componente horizontal $\vec{F}_h$ e componente vertical $\vec{F}_v$. Vetorialmente, $\vec{F}_v + \vec{F}_h = \vec{F}$.

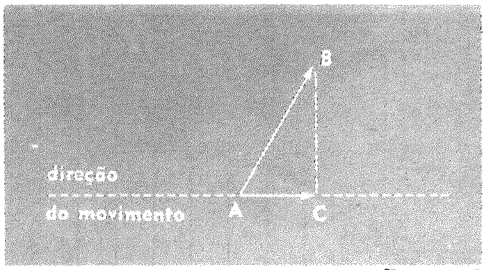


figura 8

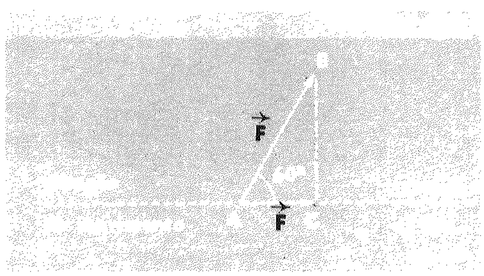


figura 9

Se $\vec{F}_v$ for menor que o peso do corpo, ele não será erguido e só terá movimento na horizontal. Assim, somente $\vec{F}_h$ transferirá energia ao corpo, pois $\vec{F}_v$ é perpendicular à trajetória. Como o trabalho da força $\vec{F}$ é a soma dos trabalhos de suas componentes $\vec{F}_v$ e $\vec{F}_h$ e o trabalho de $\vec{F}_v$ é nulo, o trabalho realizado por $\vec{F}$ fica resumido ao trabalho de $\vec{F}_h$. Em conclusão:

$$T_F = T_{Fh} = F_h \times d,$$

pois $\vec{F}_h$ tem a mesma direção do movimento.

O valor de $\vec{F}_h$ pode ser determinado da seguinte maneira: Represente $\vec{F}$ pelo segmento **AB**, considerando sua direção, sentido e módulo. A partir do extremo desse segmento, trace a perpendicular à direção do movimento até encontrar a reta que indica essa direção (figura 8). O segmento **AC** (orientado de **A** para **C**) representa $\vec{F}_h$.

A medida de **AC** na escala utilizada para representar $\vec{F}$ dá o módulo de $\vec{F}_h$.

Por exemplo, suponha que uma força $\vec{F}$ de módulo **F** = 10N forma um ângulo de 60° com a mesa, e desloca um corpo de 1,2m. Como determinar o trabalho realizado pela força?

RESPOSTAS

R$_{28}$ -

R$_{29}$ -

R$_{30}$ -

R$_{31}$ -

R$_{32}$ -

---

1) Determinação do módulo da componente (figura 9). Escala: 1,0cm corresponde a 5,0N.

2) Cálculo do trabalho de $\vec{F}$

$$T_F = T_{Fh} = F_h \times d = 5{,}0 \times 1{,}2 = 6{,}0J$$

Q31 — Se a direção da força $\vec{F}$ do exemplo anterior formasse um ângulo de 30° com a horizontal, qual seria o trabalho correspondente?

O valor da componente $\vec{F}_h$ poderia ser calculado por meio de fórmulas trigonométricas, conforme segue: pela figura 9, temos: $F_h = F \times \cos \alpha$.

No primeiro exemplo dado, $\alpha = 60°$. Uma tabela de relações trigonométricas nos dá $\cos 60° = 0{,}50$. Assim,
$F_h = 10 \times \cos 60° = 10 \times 0{,}50 = 5{,}0N$, que concorda com o valor encontrado graficamente.

Q32 — Calcule o valor de $\vec{F}_h$ no exemplo da **Q31**, sabendo que $\cos 30° = 0{,}87$.

Em conclusão: quando uma força constante $\vec{F}$ desloca um corpo, por uma extensão **d**, numa direção que forma um ângulo α com a direção de $\vec{F}$, o trabalho realizado é calculado por : $T = F \times d \times \cos \alpha$ ou por $T = F' \times d$, onde **F'** é a componente de **F** paralela ao deslocamento.

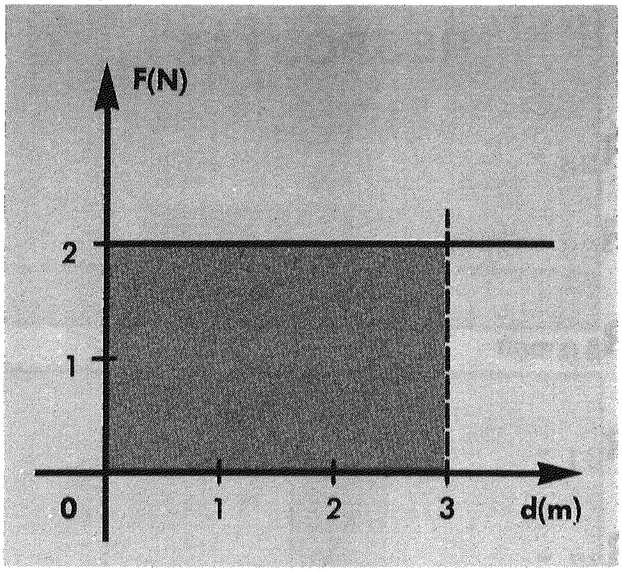


figura 10

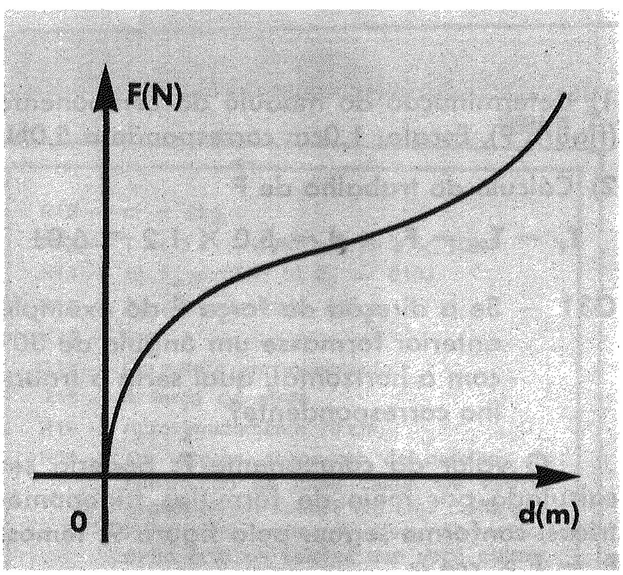


figura 11

6. Cálculo do trabalho quando a força não é constante

Consideremos inicialmente o trabalho de uma força constante. Seja, por exemplo, calcular o trabalho de uma força $\vec{F}$ constante de módulo 2,0N que desloca um corpo, na sua direção e sentido, em uma extensão de 3,0m. Pelo que vimos, temos:

$$\mathbf{T} = \mathbf{F} \times \mathbf{d} = 2{,}0\text{N} \times 3\text{m} = 6\text{J}.$$

Como a força é constante, o gráfico de **F** em função de **d** é dado pela figura 10. A área da figura em cinza nesse gráfico vale: **A** = 3m × 2,0N = 6J.

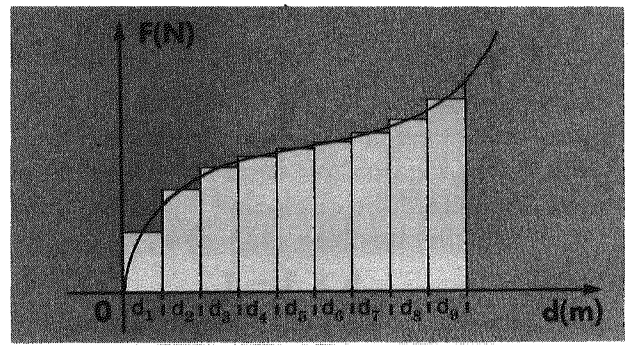


figura 12

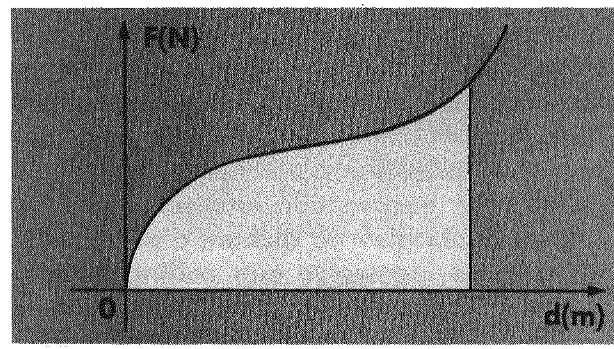


figura 13

A unidade dessa área não é de superfície e sim de trabalho. Assim, no caso de $\vec{F}$ ser constante, a área da figura limitada pelo gráfico **F** versus **d** e pelos eixos coordenados representa o trabalho da força $\vec{F}$.

Se, durante o deslocamento, o módulo da força variar, por exemplo, conforme o gráfico da figura 11, o cálculo do trabalho pela relação **T** = **F** × **d** não é possível, pois a força varia e não saberíamos que valor de **F** iríamos utilizar para calcular o trabalho. Nesse caso, podemos supor que o deslocamento **d** total seja constituído de um grande número de deslocamentos sucessivos $\mathbf{d}_1$, $\mathbf{d}_2$, $\mathbf{d}_3$ etc. tão pequenos que a variação da força durante cada um deles seja desprezível, como ilustra a figura 12.

O trabalho total será então a soma dos trabalhos parciais realizados em cada trecho e, portanto, pode ser obtido pela área total da figura limitada pelo gráfico **F** × **d**, como mostra a figura 13.

Utilizando essa conclusão, podemos calcular o trabalho de forças não constantes. Seja, por exemplo, calcular o trabalho de uma força que varia com a distância, conforme o gráfico indicado na figura 14. A área abaixo do gráfico vale 12J; assim, o traba-

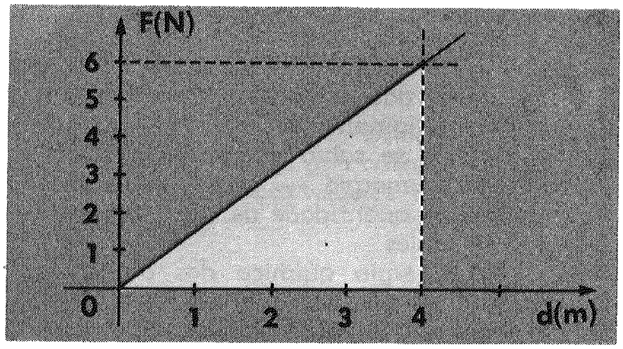


figura 14

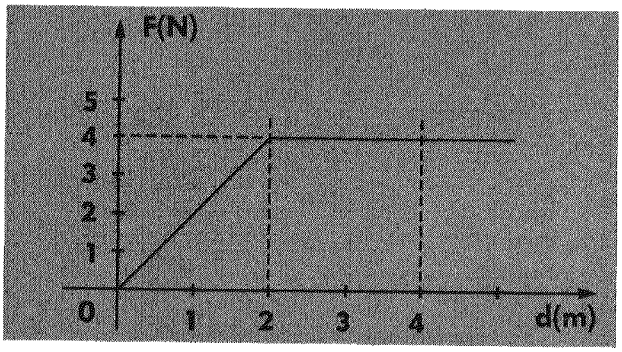


figura 15

lho realizado por essa força vale também 12 joules.

Q33 — A força que age sobre um corpo em função do deslocamento é dada no gráfico da figura 15. Qual o trabalho dessa força no deslocamento de 0 a 2m? E de 0 a 4m?

A força exercida por uma mola que sofre uma deformação **x** é dada por $F = Kx$, ou seja, é proporcional à deformação. Como exprimir o trabalho dessa mola quando, depois de distendida de um valor **x**, volta à forma inicial? O gráfico da força em função da deformação é dado na figura 16. A área abaixo desse gráfico é:

$$A = \frac{1}{2}\text{base} \times \text{altura} = \frac{1}{2}x \cdot Kx = \frac{1}{2}Kx^2.$$

Portanto, o trabalho realizado pela mola, para voltar à forma primitiva, é:

$$T = \frac{1}{2}Kx^2,$$

onde **K** é chamado de constante elástica da mola.

Q34 — Qual o trabalho realizado por uma mola cuja constante é $K = 200N/m$, ao retornar à forma original depois de distendida de $x = 0{,}2m$?

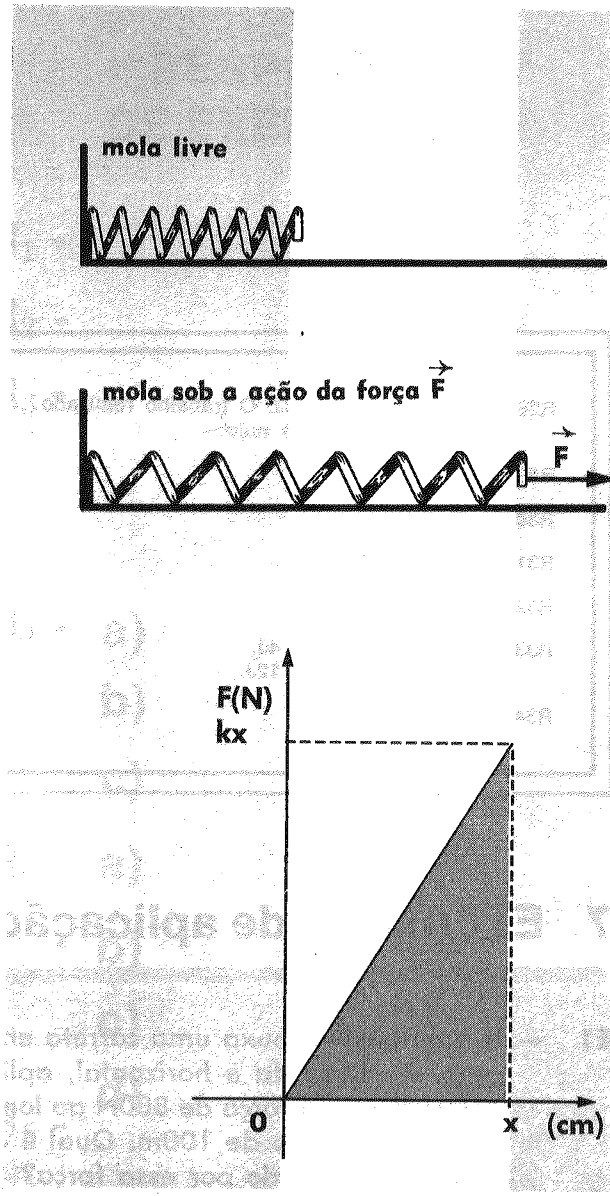


figura 16

RESPOSTAS

R_{33} -

R_{34} -

Uma das unidades de energia é a **caloria.** Originalmente usada — quando ainda não se sabia que o calor é uma forma de energia — como unidade de medida de quantidade de calor, equivale a 4,18 joules.

A energia química dos alimentos habitualmente é medida em quilocalorias (1 kcal = 10^3 cal = $4{,}18 \times 10^3$J).

ALIMENTO	ENERGIA
Bife	3 880 kcal/kg
Leite	730 kcal/kg
Arroz	1 270 kcal/kg
Batata	890 kcal/kg
Trigo	770 kcal/kg

tabela 3

R28 — T = 4 × 2 = 8J. O trabalho realizado pela força-peso é nulo.

R29 — Sim.

R30 — Zero.

R31 — $T_F \cong 10{,}4$J.

R32 — $F_H = 8{,}7$N.

R33 — De 0 a 2m T = 4J.
De 0 a 4m T = 12J.

R34 — 4J.

7. Exercícios de aplicação

E1 — Um automóvel puxa uma carreta em uma estrada reta e horizontal, aplicando-lhe uma força de 800N ao longo de um trecho de 100m. Qual é o trabalho realizado por essa força?

E2 — A carreta a que se refere o **E1** tem de massa 800kg; no fim do trecho de 100m, sua velocidade é 10m/s. Qual é a sua energia cinética nesse instante (quando acabou de percorrer os 100m)?

E3 — Neste caso, o aumento de energia cinética da carreta foi igual ao trabalho realizado pelo automóvel?

E4 — Uma força horizontal de 10,0N age sobre um disco de massa 2,0kg que estava inicialmente em repouso sobre uma mesa horizontal lisa. O disco percorre então a distância de 3,0m sob a ação da força.

a) Quanto trabalho foi realizado pela força?
b) Quanta energia foi transferida ao disco?
c) Qual é a velocidade final adquirida pelo disco?

E5 — Compare, em cada caso, a energia cinética de dois objetos **A** e **B** em movimento, cuja única diferença é a seguinte:

a) **A** tem o dobro da velocidade de **B**.
b) **A** está se dirigindo para o norte e **B** para o sul.
c) A trajetória de **A** é retilínea e a de **B**, curvilínea.
d) A massa de **A** é o dobro da de **B**.

E6 — Um corpo de massa 200g é lançado verticalmente para cima com uma velocidade inicial de 20m/s. Em que instantes a energia cinética do corpo vale 10J?

E7 — Quantas quilocalorias são ingeridas por uma pessoa cuja refeição consta

Algumas atividades físicas necessitam de mais energia que outras. A tabela 4 fornece alguns valores médios, no caso de uma pessoa jovem e saudável.

ATIVIDADE	TAXA DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA
Dormir	1,0 a 1,3 kcal/min
Deitar	1,3 a 1,6 kcal/min
Ficar sentado	1,6 a 1,9 kcal/min
Ficar de pé	1,9 a 2,1 kcal/min
Andar	3,8 kcal/min
Correr	8,0 a 12,0 kcal/min
Nadar	9,0 kcal/min

tabela 4

de 200g de carne, 400g de arroz, 150g de batatas fritas e um copo (100g) de leite? Veja a tabela 3.

E8 — Quantas calorias por dia, no mínimo, seriam necessárias para uma pessoa passar 8 horas dormindo e as restantes deitada, descansando? Essa quantidade seria a mínima necessária por dia para sua sobrevivência? Veja a a tabela 4.

E9 — Uma pessoa dorme 8 horas por dia, trabalha 8 horas num escritório — a maior parte do tempo sentada. Quantas calorias no mínimo, em média, ela necessita por dia?

E10 — Avalie quantas calorias você consome por dia, com base nos dados da tabela 4.

E11 — Quantas calorias são utilizadas, em média, por um jogador de basquete numa partida? O basquete é jogado em dois tempos de 20 minutos, sendo descontadas as interrupções.

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R_1 -

R_2 -

R_3 -

R_4 - a)

b)

c)

R_5 - a)

b)

c)

d)

R_6 -

R_7 -

R_8 -

R_9 -

R_{10} -

R_{11} -

R1 — 8×10^4J.

R2 — 4×10^4J.

R3 — Não, uma parte do trabalho realizado pelo carro corresponde à energia térmica dissipada devida à ação da força de atrito.

R4 — a) 30J.
b) 30J.
c) $\sqrt{30}$m/s.

R5 — a) $E_A = 4E_B$.
b) $E_A = E_B$.
c) $E_A = E_B$.
d) $E_A = 2E_B$.

R6 — 1s e 3s.

R7 — 1 490 kcal.

R8 — Aproximadamente 1 700 kcal. Sim.

R9 — Aproximadamente 1 800 kcal, se ficar deitada o resto do dia.

R10 — De 2 000 a 4 000 kcal.

R11 — Aproximadamente 400 kcal.

E12 — Dois corpos **A** e **B** de massas 0,5kg e 1,0kg, respectivamente, foram empurrados sobre uma mesa horizontal lisa ao ser descomprimida uma mola colocada entre eles. **B** adquiriu a velocidade de 0,5m/s. Qual a energia cinética adquirida por **A**?

E13 — Uma bola de massa 1,0kg cai de uma altura de 3m. Considere 10,0m/s^2 o valor da aceleração da gravidade.

a) Qual o trabalho realizado pelo peso da bola?

b) Qual a energia cinética da bola ao atingir o solo?

E14 — Um disco de massa 1,0kg é acelerado a partir do repouso sobre uma mesa horizontal lisa por meio de uma força de 4,0N aplicada em um ângulo de 45° com a horizontal. A distância percorrida pelo disco, enquanto a força atuou, foi de 2,0m.

a) De quanto foi o trabalho realizado pela força sobre o disco?

b) Qual foi a velocidade final adquirida?

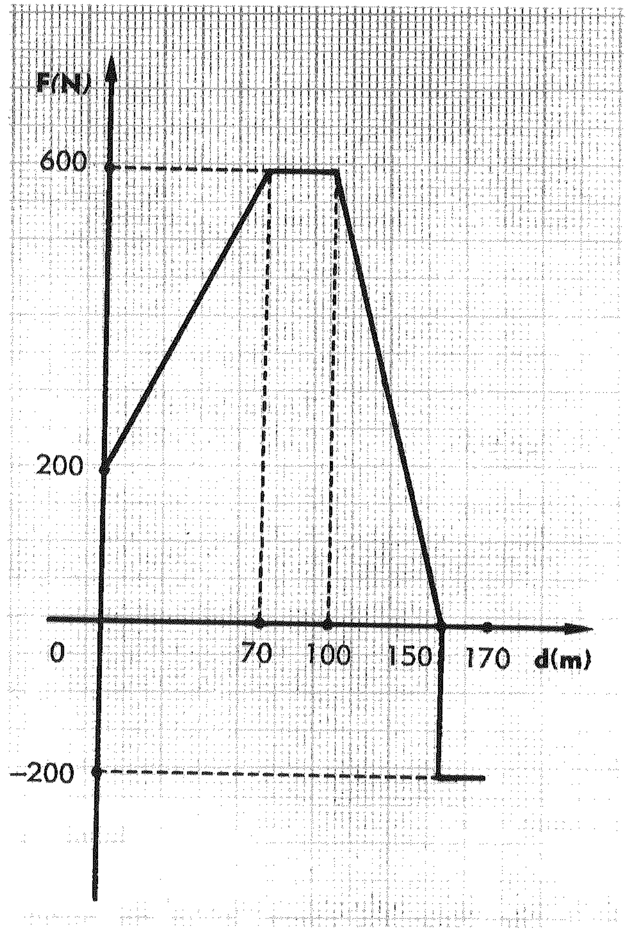


figura 17

E15 — Um corpo é acelerado por uma força cujo gráfico de sua variação em função da distância percorrida está representado na figura 17. A massa do corpo é de 200kg. Calcule:

a) o trabalho relativo ao percurso de 70m;

b) a aceleração ao fim de 100m;

c) o trabalho total realizado entre 0 e 170m;

d) a velocidade final do corpo após o percurso de 170m; a velocidade inicial do corpo era $\sqrt{330}$m/s.

E16 — Uma certa máquina **A** eleva verticalmente um corpo de massa 1,0kg a 20,0m de altura em 10s, em movimento uniforme. Outra máquina **B** acelera em uma superfície horizontal lisa um corpo de massa 3,0kg do re-

Potência

O trabalho realizado para elevar, com velocidade constante, um corpo de peso 100N a uma altura de 10m é de 1 000J, tanto no caso do corpo ser elevado por uma pessoa a uma velocidade de 1m/s como por um elevador a 10m/s. A diferença entre esses dois casos não é o trabalho realizado, mas o tempo de realização do trabalho.

Assim, pode ser definida uma grandeza chamada **potência** dada pela relação entre o trabalho realizado (ou seja, a energia transferida) e o tempo gasto para realizá-lo:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t}.$$

Se a energia transferida for medida em joule e o intervalo de tempo em segundo, a potência é medida em **watt** (símbolo **W**). Portanto, no exemplo citado acima, a potência desenvolvida pela pessoa foi de 1 000J ÷ 10s = 100W, enquanto que a potência desenvolvida pelo elevador foi de 1 000J ÷ 1s = = 1 000W.

pouso à velocidade de 10m/s em 2,0s.

a) De quanto foi o trabalho realizado por cada máquina?

b) Qual a potência desenvolvida por cada máquina?

E17 — Em quanto tempo um motor de potência 125W ergue a uma altura de 10m um corpo de peso 10N?

E18 — Um dispositivo de potência 2 000W demora 30 segundos para erguer um corpo a 20m de altura. Qual é o peso desse corpo expresso em newtons?

E19 — Um flash de máquina fotográfica deve fornecer 1 000W de potência luminosa durante 0,05s.

a) Qual a energia utilizada pelo flash?

b) Em quanto tempo o flash é recarregado com essa energia, se for utilizada uma potência de 20W?

RESPOSTAS DE EXERCÍCIOS

R_{12} -

R_{13} - a)

b)

R_{14} - a)

b)

R_{15} - a)

b)

c)

d)

R_{16} - a)

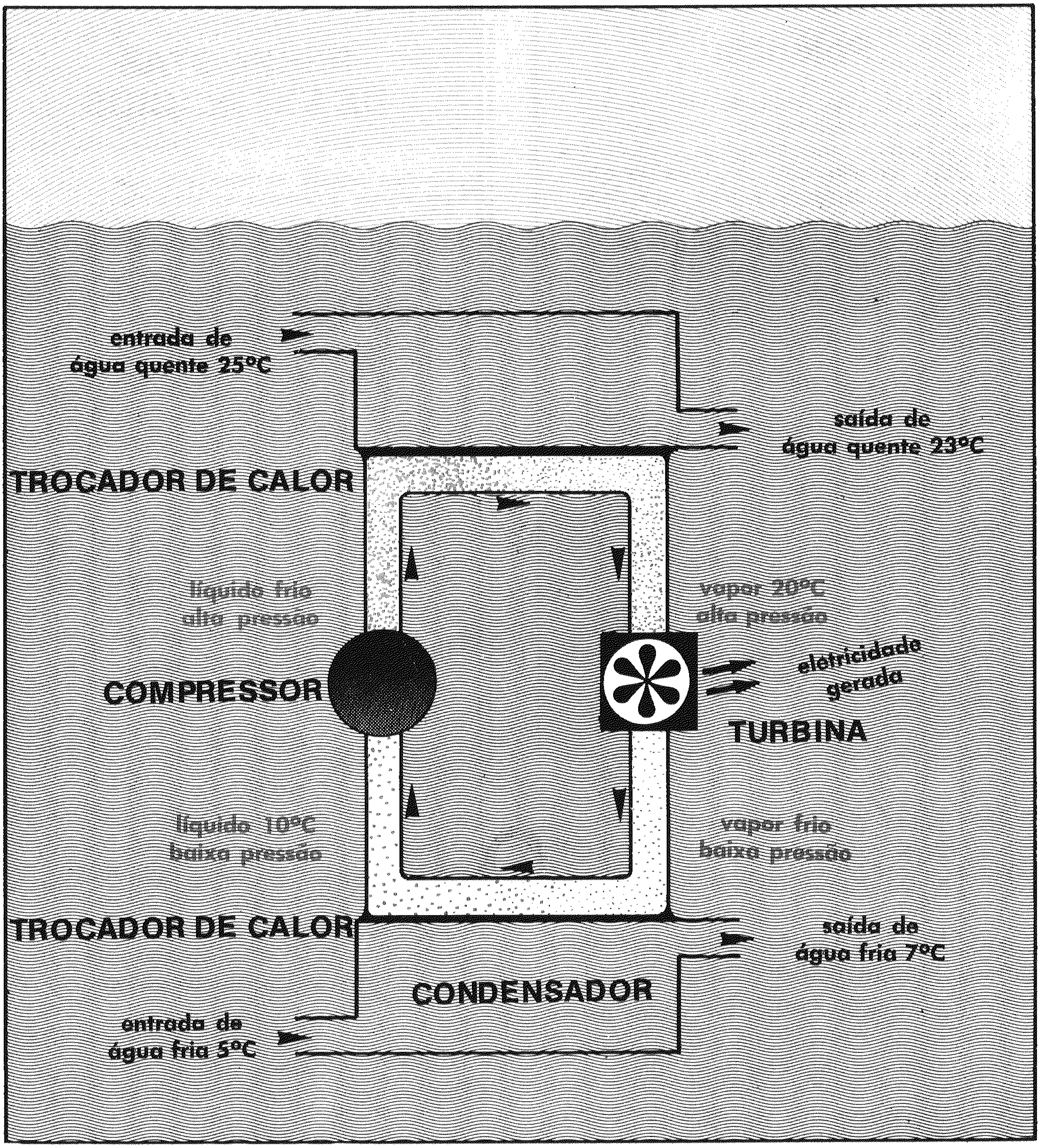
b)

R_{17} -

R_{18} -

R_{19} - a)

b)



R12 — 0,5J.

R13 — **a)** τ = 30J. **b)** E_c = 30J.

R14 — **a)** $\tau = 4{,}0\ \sqrt{2}\,J = 5{,}6J$.
b) $v = \sqrt{11{,}2}\,m/s = 3{,}4\ m/s$.

R15 — **a)** 28 000J. **b)** 3m/s^2.
c) 57 000J. **d)** v = 30m/s.

R16 — **a)** T_A = 200N e T_B = 150N.
b) P_A = 20W e P_B = 75W.

R17 — 0,8s.

R18 — 3 000N.

R19 — **a)** 50J. **b)** 2,5s.

Esquema de funcionamento de uma usina solar

A substância de trabalho da usina solar poderia ser amônia. A caldeira está próxima à superfície do mar, onde a temperatura da água é de 25°C. Como, mesmo para trocadores de calor muito eficientes, sempre há uma diferença de temperatura entre a caldeira e a substância de trabalho, podemos supor que a amônia líquida a alta pressão, ao passar pela caldeira, atinge apenas a temperatura de 20°C, que entretanto é suficiente para que se vaporize. Em seguida, o vapor de amônia sob pressão movimenta uma turbina que gera eletricidade. Ao sair da turbina o vapor perde pressão e temperatura e flui até o condensador, localizado aproximadamente a 1000 metros de profundidade, onde a temperatura é de 5°C. Depois de passar pelo condensador, a amônia líquida é, em seguida, comprimida para voltar sob pressão à caldeira e recomeçar o ciclo. Para manter a temperatura da caldeira e do condensador é necessário manter um fluxo contínuo de água por eles.

Leitura Suplementar

Oceano: uma usina solar

A humanidade necessita cada vez mais de energia. No Brasil, por exemplo, os técnicos acreditam que no futuro a necessidade de energia será tal que as usinas hidrelétricas, hoje a principal fonte de energia do País, não poderão satisfazer a demanda. Em vista disso, será necessário recorrer a outras fontes de energia.

Os reatores nucleares que estão sendo construídos em Angra dos Reis serão os primeiros de uma possível rede de reatores para suprir esse deficit energético.

Entretanto, os reatores nucleares apresentam vários problemas: o combustível precisa ser importado e é difícil e custoso evitar a poluição. Em todo mundo procura-se por isso alternativas às usinas nucleares. Os combustíveis fósseis como o petróleo e o carvão não existem em quantidade suficiente para satisfazer a demanda mundial até o fim do século, o que exclui as usinas termelétricas.

A possibilidade de se aproveitar diretamente a energia proveniente do Sol é muito mais atraente, principalmente porque quase não produz poluição. Até agora esta energia só foi transformada em energia elétrica em pequena escala, como nos satélites artificiais.

Um dos modos de captar a radiação solar em grande escala seria instalar grandes placas metálicas com revestimentos especiais em uma área deserta, onde quase nunca houvesse nuvens. As placas seriam aquecidas e a partir da diferença de temperatura com o solo far-se-ia funcionar um gerador elétrico. Uma usina solar deste tipo custaria atualmente mais do que uma usina nuclear.

Entretanto, em vez de coletores artificiais da radiação solar como placas metálicas, poder-se-ia utilizar um coletor natural — o oceano.

Qualquer máquina térmica, para obter energia elétrica ou trabalho a partir de calor, precisa de uma diferença de temperatura entre caldeira e condensador. Na zona tropical a temperatura superficial do mar é aproximadamente 25°C e diminui nas camadas inferiores, chegando a 5°C a mil metros de profundidade.

A energia elétrica seria produzida à custa de calor retirado da superfície do oceano; parte deste calor seria transferida às camadas mais profundas. Este gerador seria muito menos eficiente do que as usinas térmicas comuns porque a diferença de temperatura é muito menor: em vez de 500°C é somente 10°C. Por causa disto, seria necessário bombear uma quantidade enorme de água quente pela caldeira e de água fria pelo condensador, mas água não falta no mar.

Resta examinar que efeitos sobre o meio-ambiente resultariam da exploração maciça de energia solar do mar. A temperatura da superfície do mar cairia; se no ano 2000 toda a população terrestre utilizasse somente energia destas usinas localizadas nos trópicos e se esta população tivesse o mesmo consumo per capita atual dos Estados Unidos, a queda de temperatura na região tropical seria de cerca de 1°C. Ao mesmo tempo as camadas mais profundas do oceano ficariam mais quentes, resultando eventualmente em um pequeno aquecimento geral de toda a Terra. Em outras palavras, a região equatorial ficaria mais fria de cerca de um grau e as zonas temperadas ficariam mais quentes de fração de grau.

Ainda estamos longe de poder construir uma usina de energia solar do mar que seja econômica e de confiança; há muitos problemas técnicos a serem resolvidos. Entretanto, a possibilidade existe.

Esta obra foi impressa pela
EDITORA DO BRASIL S/A.
Av. Mal. Humberto de Alencar Castelo Branco, 368
Fone: 913-4141 — Guarulhos — SP
para a
FAE — Fundação de Assistência ao Estudante
Rua Miguel Ângelo, 96 — Maria da Graça
Rio de Janeiro — RJ — República Federativa do Brasil
em 1984.

ISBN 85-222-0161-7