

# Conservação, o “x” da questão!



Antoine Laurent de Lavoisier (1743-1794) optou pelo estudo da Química. Em 1789, publicou o *Tratado elementar de químicas*, onde aparece sua famosa **lei da conservação das massas**.

Quando exigimos das pessoas que moram em nossa casa que apaguem a luz ao sair de um aposento, não deixem a televisão ligada à noite enquanto dormem, fechem bem a torneira para que não fique pingando, ou, ainda, abaixem a chama do gás quando a água ferveu, estamos demonstrando preocupação com o desperdício!

Desperdício significa que algo útil foi jogado fora sem ter sido aproveitado – foi **desperdiçado**.

A água da torneira que pinga vai embora pelo ralo e a gente nem percebe. E uma água nova entra na caixa d'água, em substituição àquela que foi desperdiçada!

Agora pare e pense em quantas vezes você já ouviu alguém dizendo esta frase, bastante conhecida:

**“Nada se perde, tudo se transforma.”**

Essa frase é de Lavoisier, um famoso cientista francês do século 18. Podemos entender esta frase, por exemplo, quando colocamos água numa panela e a aquecemos, podemos ver que a água vai evaporando e o seu nível na panela vai diminuindo. Isso não significa que a água é **perdida**, mas que está se **transformando** em vapor d'água!

E a água que escorre pelo ralo, também se transforma?

Podemos pensar em termos de **utilidade**, isto é, a água que estava na caixa-d'água era útil, mas, depois que se foi pelo ralo, perdeu sua utilidade. Se quisermos utilizar novamente a água que se foi, teremos que pagar à companhia de água e esgoto, para que trate mais água e que esta seja enviada pelo encanamento até a nossa caixa-d'água! Ou seja, **haverá um custo na reutilização da água que já foi utilizada**.

No nosso dia-a-dia, usamos muito a expressão “desperdício de energia”, que se refere ao desperdício dos vários tipos de energia, como, por exemplo:

- Energia térmica: quando deixamos uma geladeira aberta, haverá um custo para que seu interior se esfrie novamente.
- Energia elétrica: banhos de chuveiro elétrico demorados geram enorme consumo de eletricidade, que também terá um custo.
- Energia química: carros mal regulados consomem mais do que o normal, aumentando assim o gasto de combustível.

Todas essas transformações, cuja energia não pode ser reaproveitada, são chamadas de **transformações irreversíveis**.

Ou seja, é impossível pegar o frio que sai da geladeira enquanto a porta está aberta e colocá-lo de volta dentro da geladeira. É impossível pegar a eletricidade que foi usada no chuveiro elétrico e colocá-la de volta no fio. É impossível usar o gás que saiu do escapamento de um automóvel, para encher novamente o tanque de gasolina!

A maioria das transformações de energia são do tipo **irreversível**.

Isso significa que a energia útil se transformou num outro tipo de energia e não pode ser reutilizada.

Uma pequena parte das transformações são do tipo **reversível**, ou seja, a energia pode ser transformada em outra forma de energia e depois voltar a ser o que era.

Um sistema que tem essa propriedade é chamado de **sistema conservativo**.

Nesta aula, estudaremos uma forma de energia, a **energia mecânica**, tanto em sistemas conservativos como em sistemas não-conservativos, também chamados dissipativos.

## Conservação da energia mecânica

Para compreender a energia mecânica, precisamos antes saber o que são energia cinética e energia potencial. Esses dois tipos de energia já foram definidos nas aulas passadas, mas vamos fazer uma pequena recordação.

**Energia cinética** é a energia associada ao movimento de um corpo. A energia cinética de um corpo de massa  $m$  e com velocidade  $v$ , é dada pela expressão:

$$E_{\text{cinética}} \text{ é } E_c = \frac{1}{2} mv^2$$

ou seja, quanto maior for a velocidade ou a massa do corpo, maior será a sua energia cinética.

**Energia potencial** é a medida do trabalho que a força-peso **pode** fazer sobre um corpo, ou seja, no caso da energia potencial gravitacional, quanto mais alto estiver o corpo, maior será sua capacidade de realizar trabalho. Por exemplo, um bate-estaca consegue realizar melhor o “trabalho” de enfiar a estaca no solo, quanto maior for a altura da qual ele é solto. A energia potencial gravitacional tem a seguinte expressão:

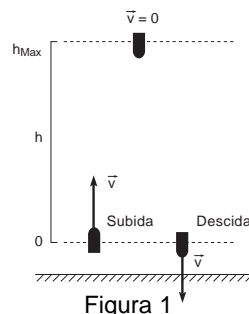
$$E_{\text{potencial gravitacional}} \text{ é } E_p = mhg$$

ou seja, quanto maior a massa do corpo ou sua altura em relação ao solo, maior será sua energia potencial gravitacional.

## Energia mecânica

Vamos recordar a aula sobre queda livre (Aula 5), onde estudamos o caso do tiro para cima (Figura 1). Agora, vamos analisar esse problema usando o conceito de energia.

No exemplo do tiro para cima vimos que a bala, ao sair do revólver, vai ganhando altura e perdendo velocidade. Quando chega ao ponto mais alto, sua velocidade é zero. Então, ela volta (no sentido contrário ao da subida), perdendo altura e ganhando velocidade, até chegar ao ponto de onde saiu com a mesma velocidade da partida, mas no sentido oposto.



O que acontece com a energia da bala?

Lembre-se de que estamos considerando nula a força de resistência do ar. A bala parte com uma grande velocidade, ou seja com uma energia cinética grande. Sua velocidade vai diminuindo, à medida que sobe e sua energia cinética também diminui. Quando chega no ponto mais alto, sua velocidade é zero, portanto, sua energia cinética também é zero. Quando a bala começa a voltar, sua velocidade aumenta e sua energia cinética também. Finalmente, de volta ao ponto de lançamento, sua velocidade tem o mesmo valor da velocidade de lançamento, mas o sentido contrário. Isso significa que sua energia cinética é **igual** à do momento do lançamento.

Em compensação, podemos pensar, desprezando a altura da pessoa que dá o tiro, que ela sai de uma altura zero, isto é, sai com uma energia potencial gravitacional nula, e vai ganhando altura, aumentando, assim sua energia potencial, até chegar à altura máxima, onde sua energia potencial é máxima. Finalmente ao voltar para a altura da qual partiu, sua energia potencial é novamente zero. Se fizermos um gráfico das energias envolvidas, vamos obter o gráfico da Figura 2:

O que acontece com a energia cinética à medida que a bala vai perdendo velocidade? Ela vai diminuindo. Mas, se quando a bala volta ela recupera sua energia cinética, onde ela ficou armazenada?

Na verdade o que ocorreu foi uma transformação de energia: toda energia cinética se transformou em potencial. E, ao voltar, a energia potencial se transformou em cinética. Trata-se, portanto, de um **sistema conservativo**.

Mas como foi feita essa transformação?

A variação da energia cinética foi igual à variação da energia potencial. Ou seja, à medida que a energia cinética **diminuiu** uma certa quantidade, a energia potencial aumentava a mesma quantidade. Podemos escrever essa transformação numa forma matemática:

$$\Delta E_c = -\Delta E_p$$

isto é,  $E_{C\text{ final}} - E_{C\text{ inicial}} = -(E_{P\text{ final}} - E_{P\text{ inicial}})$

É possível calcular a energia cinética e a energia potencial da bala? Sim, mas temos que calcular em pontos específicos, que tomaremos como **inicial** e **final**. Por exemplo, se quisermos calcular a altura máxima da bala temos que calcular as energias no início e no fim da subida.

Por exemplo, uma bala de revólver pesa aproximadamente 10 gramas, ou seja, 0,01 kg. Como vimos, a velocidade com que uma bala sai do cano do revólver é de aproximadamente 200 m/s. Assim, podemos calcular a energia cinética no momento do lançamento ( $E_{C\text{ inicial}}$ ):

$$E_{C\text{ inicial}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,01 (200)^2 = \frac{1 \cdot 0,01 \cdot 40.000}{2}$$

$$E_{C_i} = 200 \text{ Joules}$$

$$E_{P\text{ inicial}} = mgh = 0,01 \cdot 10 \cdot 0 = 0 \text{ Joules}$$

$$E_{P\text{ inicial}} = 0 \text{ J}$$

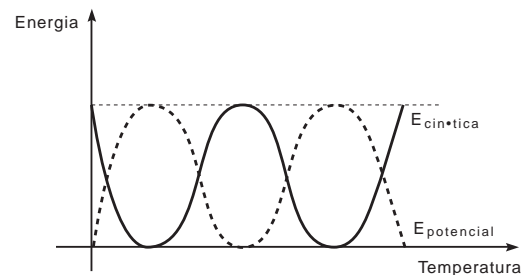


Figura 2

No ponto mais alto, que será nosso ponto final, a velocidade ( $v_{\text{final}}$ ) é nula, e a altura é máxima ( $h_{\text{max}}$ ), portanto,

$$E_{C \text{ final}} = \frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,01 (0)^2$$

$$E_{C \text{ final}} = 0 \text{ Joules}$$

$$E_{P \text{ final}} = mgh = 0,01 \cdot 10 \cdot h_{\text{max}}$$

$$E_{P \text{ final}} = 0,1 \cdot h_{\text{max}}$$

Como não sabemos o valor da altura máxima, temos que usar a equação que expressa a transformação da energia:

$$E_{C \text{ final}} - E_{C \text{ inicial}} = -E_{P \text{ final}} + E_{P \text{ inicial}}$$

$$0 - 200 = -0,1 \cdot h_{\text{max}} + 0$$

Com isso podemos concluir que

$$h_{\text{max}} = 2.000 \text{ m}$$

### A lei de conservação da energia mecânica

Vimos que a energia cinética se transforma em potencial e vice-versa, mas não vimos ainda o que se conserva. Se usarmos a equação de transformação, veremos o que irá se conservar em todo esse processo:

$$E_{C \text{ final}} - E_{C \text{ inicial}} = -E_{P \text{ inicial}} + E_{P \text{ final}}$$

Passamos tudo o que é inicial para um lado da equação e tudo o que é final para o outro lado, obtemos:

$$E_{C \text{ final}} - E_{P \text{ inicial}} = -E_{C \text{ inicial}} + E_{P \text{ final}}$$

Vemos então que **a soma da energia cinética com a energia potencial no início é igual à soma dessas energias no fim**. Isso significa que **essas duas quantidades somadas dão um valor constante**.

A essa quantidade constante damos o nome de **energia mecânica** ( $E_{\text{mecânica}}$ ).

$$E_{\text{mecânica}} \text{ é } E_m = E_c + E_p$$

Mas cuidado! **A energia mecânica é constante apenas nos sistemas conservativos**. Nesse caso, podemos escrever:

$$E_{C \text{ final}} - E_{P \text{ final}} = -E_{C \text{ inicial}} + E_{P \text{ inicial}}$$

$$E_{m \text{ final}} = E_{m \text{ inicial}}$$

$$E_{m \text{ final}} - E_{m \text{ inicial}} = 0$$

Portanto:

$$\Delta E_m = 0$$

Essa equação expressa a conservação da energia mecânica, isto é, significa que, **nos sistemas conservativos, a variação da energia mecânica é zero!**

## Sistemas dissipativos

No nosso dia-a-dia, não vemos com frequência sistemas conservativos. Muito pelo contrário, a grande maioria dos sistemas é dissipativa.

Por exemplo, para que o sino no alto de uma igreja continue tocando, é preciso que alguém puxe continuamente a corda para balançá-lo. Caso contrário, ele irá diminuindo seu movimento até parar definitivamente o balanço.

Por que será que o sino pára de balançar?

Sabe-se que o sino pára de tocar porque existe atrito (lembre-se da Aula 10), isto é, existe uma força externa que faz com que ele pare. Se não houvesse a força de atrito, o sino continuaria tocando indefinidamente. Bastaria realizar o trabalho de levantar o sino uma vez, para um dos lados, e soltá-lo.

Nesse caso, o trabalho de levantar o sino se transformou em energia potencial. Quando o sino é solto, essa energia potencial começa a se transformar em energia cinética, até que o sino tenha altura zero e velocidade máxima, ou seja, energia potencial igual a zero e energia cinética máxima. Em seguida, ele começa novamente a subir, perdendo velocidade e ganhando altura, até chegar do outro lado na mesma altura da qual saiu, e assim o processo continuaria, e o sino tocaria sem parar.

Mas, na realidade, o que ocorre é que o sino vai parando. Ele é solto de uma certa altura, mas chega ao outro lado com uma altura menor e, quando volta, atinge uma altura menor ainda. E assim por diante, até que não varia mais de altura, isto é, ele fica parado no ponto mais baixo possível.

Se fizermos um gráfico da energia potencial e da energia cinética do sino em função do tempo, teremos a Figura 5:

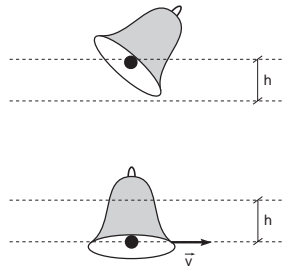


Figura 4. Em seu movimento, o sino atinge alturas diferentes.

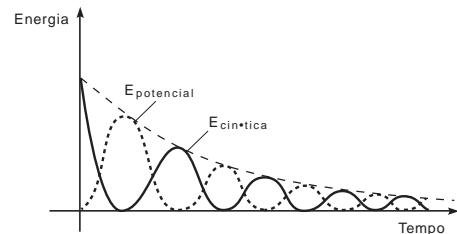


Figura 5. O amortecimento da energia potencial e cinética num sistema dissipativo.

Como podemos ver pelo gráfico, as duas energias vão diminuindo até chegar a zero. Ou seja, a energia mecânica não se conserva: a soma da energia potencial e cinética do corpo diminui até chegar a zero.

Para onde foi a energia mecânica? A única novidade nesse exemplo é a força de atrito, **o que significa que ela é a responsável pela dissipação da energia mecânica.**

O que o atrito fez com o sino? Sempre que quisermos parar um corpo que está em movimento, teremos que exercer uma força sobre esse corpo, até que ele fique em repouso. Ou seja, temos que realizar um trabalho para retirar a energia cinética do corpo. E isso é exatamente o que o atrito faz: ele realiza o trabalho de parar o sino, ou seja, ele retira toda a energia mecânica do corpo.

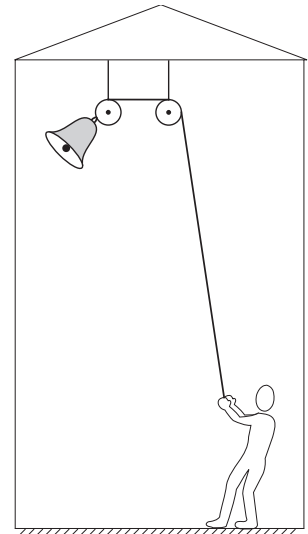


Figura 3

No que se transformou a energia mecânica do sino? Certamente você já fez a experiência de, quando está com frio, esfregar as mãos para aquecê-las. É exatamente isso que o atrito faz: **ele gera calor**. E calor é uma forma de energia chamada de **energia térmica**. Portanto, a energia mecânica do corpo se transformou em energia térmica.

Podemos, então, expressar a conservação da energia mecânica, nos sistemas dissipativos, como:

$$\Delta E_m = \tau_{\text{força de atrito}}$$

O atrito também é capaz de gerar outras formas de energia como, por exemplo, energia sonora. Quando arrastamos uma cadeira pelo chão, ela faz barulho. Ao ser empurrada, a cadeira ganha energia cinética que, devido ao atrito, transforma-se parte em energia térmica e, parte, em energia sonora.

Infelizmente, esses são processos irreversíveis, ou seja, não é possível reutilizar essas energias: elas estarão perdidas para sempre.

Um outro exemplo mais complexo é o de um automóvel: toda sua energia está armazenada no combustível, na forma de energia química.

Para onde vai toda energia do combustível? Ao ser ligado, o motor do carro fica muito quente, assim como os pneus. O motor também faz barulho. Todas essas manifestações são formas de dissipação de energia, por isso, apenas uma parcela da energia contida no combustível é utilizada para movimentar o carro, isto é, transformada em energia cinética. De modo geral, trata-se de uma máquina muito ineficiente.

**Observação:** A força de atrito é sempre contrária ao movimento. Isso significa que, se o corpo se desloca, a força de atrito será um vetor de sentido oposto ao vetor deslocamento. Quando calculamos o trabalho da força de atrito, obtemos um trabalho negativo. E o sinal negativo significa que a força de atrito está retirando energia mecânica do corpo, durante o trajeto.

Nesta aula vimos que:

- a energia se transforma;
- existem dois tipos de sistemas: os **conservativos** e os **dissipativos**;
- a energia mecânica é a **soma** da energia cinética mais a energia potencial;
- nos sistemas **conservativos**, a **energia mecânica se conserva** e tem a seguinte expressão:

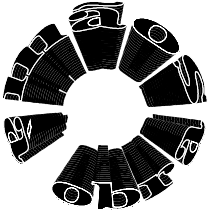
$$\Delta E_m = 0$$

- nos sistemas **dissipativos**, a **energia mecânica não se conserva** e o atrito realiza o trabalho de transformar a energia mecânica em energia térmica ou sonora. E a expressão da conservação da energia se torna:

$$\Delta E_m = \tau_{\text{força de atrito}}$$

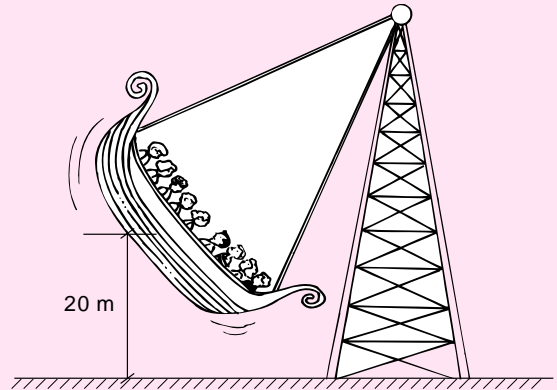
- é fundamental perceber quando se está **desperdiçando** energia, pois haverá um custo para gerar mais energia.





### Exercício 1

Em alguns parques de diversão, existe um brinquedo que se chama Barco Viking. Esse brinquedo consiste num grande barco, no qual as pessoas entram, que balança de um lado para o outro, como um pêndulo gigante, (figura ao lado). O barco alcança alturas de aproximadamente 20 metros, tanto de um lado como do outro. Como a quantidade de graxa no eixo de oscilação é muito grande, podemos considerar o atrito desprezível. Qual será a velocidade do barco quando ele passar pelo ponto mais baixo da sua trajetória?



### Exercício 2

Numa pequena obra um pedreiro do solo joga tijolos para outro que está no segundo andar, que fica a 3 metros do chão. Qual a menor velocidade com que o pedreiro que está no chão deve lançar cada tijolo para este chegar às mãos do outro pedreiro com velocidade zero?

### Exercício 3

Existe uma outra forma de energia potencial chamada **energia potencial elástica**. Essa energia normalmente é encontrada em sistemas que utilizam molas ou elásticos. Um exemplo que vemos nas lutas livres: os lutadores normalmente se utilizam das cordas elásticas para tomar impulso, ou seja, jogam-se contra as cordas e são arremessados com a mesma velocidade sobre o adversário. Sua energia cinética vai diminuindo à medida que a corda elástica vai esticando. Quando a corda está totalmente esticada, a velocidade do lutador é zero, ou seja, toda sua energia cinética se transformou em energia potencial elástica. Finalmente, a corda devolve a energia cinética para o lutador, que é arremessado sobre o outro. Supondo que o lutador tenha uma massa de 100 kg e se jogue nas cordas com uma velocidade de 5 m/s, calcule a energia potencial elástica armazenada na corda quando ela está totalmente esticada.

### Exercício 4

Quando uma criança desce por um escorregador, parte da sua energia mecânica se perde devido à força de atrito. Supondo que 600 joules se perdem com o trabalho da força de atrito, que a massa da criança seja 50 kg e que o escorregador tenha uma altura de 2 metros, qual será a velocidade com que ela chega ao solo?

### Exercício 5

Resolva o Exercício 4, desprezando o trabalho da força de atrito.