

Física e Química

Componente de Física

11.º ano



Ministério
da Educação



ONLINE
+ OFFLINE
+ DOWNLOAD

Manual Digital na app
EV Smart Book e em
www.escolavirtual.cv



Explora o manual digital do teu livro

Exercícios Interativos

Para resolução com *feedback* imediato.



Vídeos e interatividades

Explicam a matéria de forma motivadora.



Jogos

Exploram os conceitos curriculares de forma lúdica.



Áudios

Dão vida aos textos e ajudam a reforçar as competências linguísticas.



QuizEV

Desafiam-te a mostrares o que sabes. Podes, também, jogar com os teus amigos.



www.escolavirtual.cv



Física e Química 11.º ano

Criação intelectual
Cristina Celina Silva
(Componente de Química)

Noémia Maciel
Carlos Azevedo
(Componente de Física)

Revisão científica
Universidade de Cabo Verde

Design
Porto Editora

Créditos fotográficos
Depositphotos.com
Freepik.com
©Pedro Moita (comp.
Física: p. 6, 8, 64, 65,
66, 90, 98, 108, 112, 123;

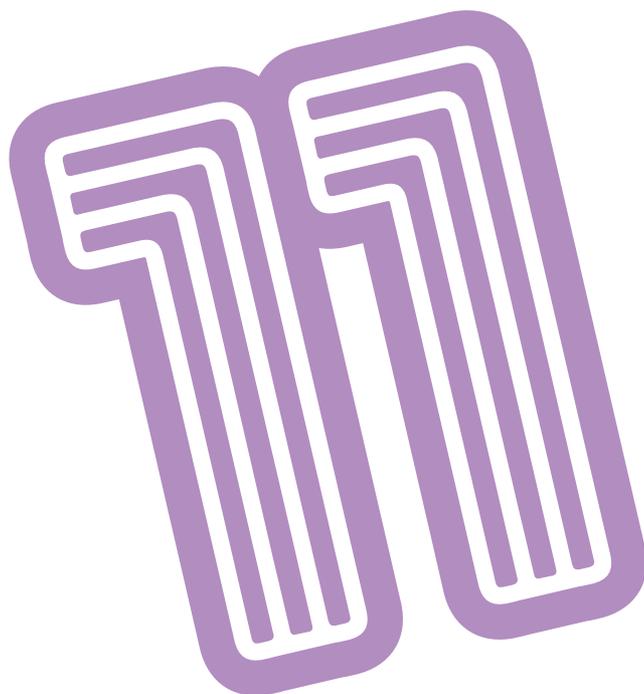
comp. Química: p. 6, 8,
9, 19, 29, 30, 37, 40, 73)
Porto Editora
[http://www.si.edu/
copyright/](http://www.si.edu/copyright/)
Stock.Adobe.com
Shutterstock.com

Edição
2025

Física e Química

Componente de Física

11.º ano



Manual **Revisto**

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital



<https://escolavirtual.cv>

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv



Ministério
da Educação

Podes também aceder ao teu livro através da **app EV Smart Book**



Conhece o teu manual

Separador



Subtemas

Objetivos de aprendizagens

Fotografia relacionada com o tema

Mapa de conceitos

Exercícios de aplicação

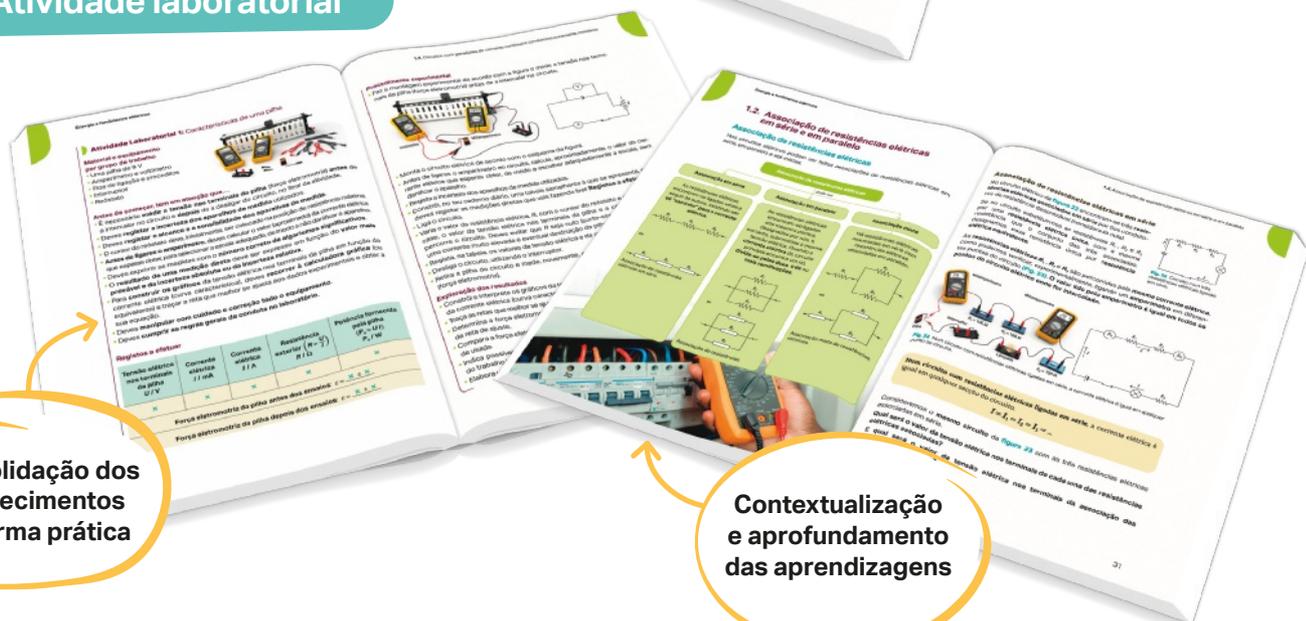
Síntese dos conteúdos aprendidos

Questões de verificação de aprendizagens

Atividade laboratorial

Consolidação dos conhecimentos de forma prática

Contextualização e aprofundamento das aprendizagens



Registo de dados	Corrente elétrica I (A)	Resistência variável R (Ω)	Potência dissipada pela pilha P (W)
Tensão elétrica nos terminais da pilha U (V)			

Força eletromotriz da pilha antes das leituras: $\mathcal{E} = \dots$
Força eletromotriz da pilha depois das leituras: $\mathcal{E} = \dots$

Componente de Física

Teste diagnóstico	4
--------------------------	---

1

Energia e fenómenos elétricos	6
--------------------------------------	---

Ponto de partida	8
-------------------------	---

1.1. Circuitos elétricos e grandezas elétricas	10
------------------------------------------------	----

1.2. Associação de resistências elétricas em série e em paralelo	30
------------------------------------------------------------------	----

1.3. Energia transferida para um recetor elétrico e efeito Joule	42
------------------------------------------------------------------	----

1.4. Circuitos com geradores de corrente contínua e condutores puramente resistivos	51
-------------------------------------------------------------------------------------	----

2

Energia, fenómenos térmicos e radiação	64
-----------------------------------------------	----

Ponto de partida	66
-------------------------	----

2.1. Sistema termodinâmico. Temperatura e equilíbrio térmico	68
--------------------------------------------------------------	----

2.2. Transferências de energia por calor	84
------------------------------------------	----

2.3. Interação radiação-matéria	96
---------------------------------	----

2.4. Condutividade térmica	110
----------------------------	-----

2.5. Capacidade térmica mássica e variação de entalpia	119
--------------------------------------------------------	-----

2.6. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica	141
-----------------------------------------------	-----

Soluções	156
-----------------	-----

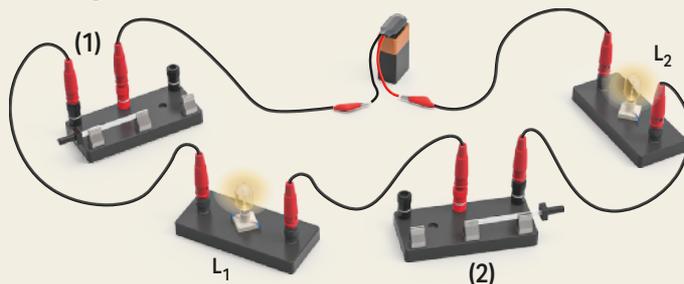
Teste diagnóstico

1. Observa o circuito elétrico da figura.

1.1. Indica a opção que completa corretamente a frase seguinte:

Quando se abre o interruptor (1), a lâmpada L_1 ...

- (A) apaga e a lâmpada L_2 continua acesa.
- (B) mantém-se acesa e a lâmpada L_2 apaga.
- (C) e a lâmpada L_2 apagam.



1.2. O circuito elétrico da figura é um circuito em série ou em paralelo?

1.3. Que relação existe entre a corrente elétrica que passa na lâmpada L_1 e a que passa na lâmpada L_2 ?

1.4. Quando se interrompe um circuito elétrico em série, num ponto qualquer do circuito, há corrente elétrica em algum setor do circuito?

2. Na figura podes ver a escala de um voltímetro analógico.

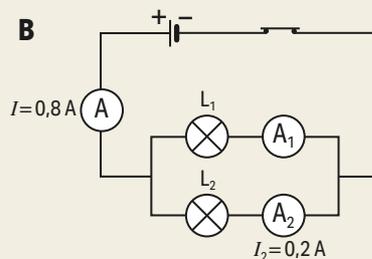
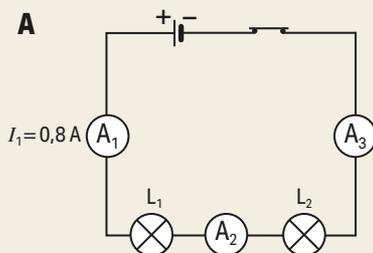
2.1. Indica o alcance deste aparelho.

2.2. Qual é o valor da menor divisão da escala?

2.3. Indica o valor da tensão elétrica medido.



3. Observa os circuitos elétricos representados esquematicamente nas figuras A e B.



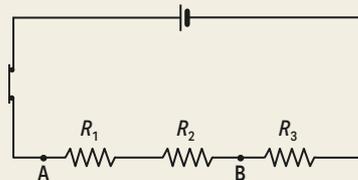
3.1. No circuito da figura A, qual é o valor da corrente elétrica lido nos amperímetros A_2 e A_3 ? Justifica.

3.2. Na figura B, qual é o valor da corrente elétrica lido no amperímetro A_1 ? Justifica.

3.3. No circuito da figura A, se as lâmpadas L_1 e L_2 forem iguais, qual delas brilha mais?

3.4. No circuito da figura B, qual das lâmpadas brilha mais? Justifica.

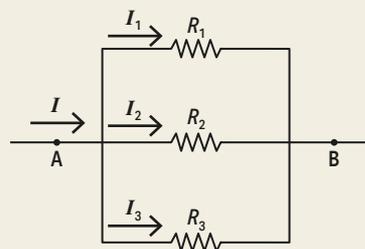
4. Na figura está representado esquematicamente um circuito elétrico com três resistências elétricas associadas em série. O valor da corrente elétrica que atravessa o circuito é 2,0 A e os valores das resistências elétricas dos condutores são:



$R_1 = 2,0 \Omega$, $R_2 = 3,0 \Omega$ e $R_3 = 1,0 \Omega$.

- 4.1. Qual é o componente elétrico que cria tensão elétrica no circuito?
 4.2. Qual é o sentido convencional da corrente elétrica no circuito?
 4.3. Determina o valor da tensão elétrica entre os pontos A e B do circuito.

5. Considera três resistências elétricas associadas em paralelo, como mostra o esquema da figura, sendo $R_1 > R_2 > R_3$.



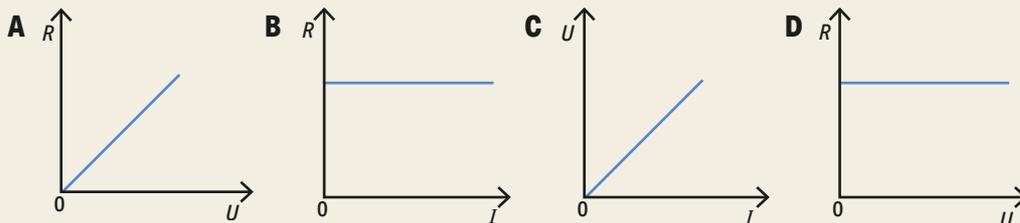
- 5.1. Indica as opções corretas.

- (A) $I_1 = I_2 = I_3$ (B) $I = I_1 + I_2 + I_3$
 (C) $I_1 < I_2 < I_3$ (D) $I_1 > I_2 > I_3$

- 5.2. Indica a(s) opção(ões) correta(s).

- (A) $U_{AB} = U_{R_1} = U_{R_2} = U_{R_3}$ (B) $U_{AB} = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3}$
 (C) $U_{R_1} < U_{R_2} < U_{R_3}$ (D) $U_{R_1} > U_{R_2} > U_{R_3}$

6. Qual dos gráficos não corresponde a um condutor ôhmico?



7. Uma lâmpada elétrica tem os seguintes valores nominais: 60 W e 230 V.

Determina:

- 7.1. a resistência elétrica da lâmpada;
 7.2. a corrente elétrica que a percorre;
 7.3. a energia elétrica consumida pela lâmpada, em kW h, durante 24 horas de funcionamento.

FIM

Item	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	3.1	3.2	3.3	3.4	4.1	4.2	4.3	5.1	5.2	6.	7.1	7.2	7.3
Cotação (valores)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

7



Energia e fenómenos elétricos

- 1.1. Circuitos elétricos e grandezas elétricas
- 1.2. Associação de resistências elétricas em série e em paralelo
- 1.3. Energia transferida para um recetor elétrico e efeito Joule
- 1.4. Circuitos com geradores de corrente contínua e condutores puramente resistivos

Subtema 1.1. Circuitos elétricos e grandezas elétricas

- Interpretar o significado das grandezas: corrente elétrica, tensão elétrica e resistência elétrica.

Subtema 1.2. Associação de resistências elétricas em série e em paralelo

- Resolver problemas que envolvam a aplicação de variáveis que influenciem a resistência e o cálculo de resistências equivalentes em série e/ou em paralelo.

Subtema 1.3. Energia transferida para um recetor elétrico e efeito Joule

- Resolver problemas acerca da Lei de Ohm, da Lei de conservação da energia num circuito elétrico, tendo em conta o efeito Joule.

Subtema 1.4. Circuitos com geradores de corrente contínua e condutores puramente resistivos

- Avaliar, numa perspetiva intra e interdisciplinar, como a energia elétrica e as suas diversas aplicações são vitais na sociedade atual e as repercussões a nível social, económico, político e ambiental.
- Atividade laboratorial – Características de uma pilha: determinar as características de uma pilha numa atividade experimental.

1 Energia e fenómenos elétricos

Ponto de partida

- Neste subtema são abordados conceitos-chave relativos a sistemas elétricos, fundamentais para o estudo do eletromagnetismo, em particular, da indução eletromagnética.
- Nestas páginas vais encontrar alguns exemplos de avanços tecnológicos que foram possíveis recorrendo ao estudo...



... das grandezas e circuitos elétricos, fundamentais para quase todas as tarefas e manutenção de equipamentos de uso diário...



... das características dos geradores elétricos, essenciais para a alimentação de computadores, telemóveis, veículos elétricos, etc., procurando sempre melhorar a eficiência na capacidade e no carregamento...



... das características dos cabos elétricos, imprescindíveis para o transporte da eletricidade até nossas casas...



... do efeito Joule, utilizado nos mais variados dispositivos, como aquecedores, secadores de cabelo, fogões, etc., que contribuem para o conforto das nossas vidas...



... da associação de componentes elétricos, que permite efetuar a planificação da rede elétrica da escola, das nossas casas...



... de circuitos elétricos com recetores, como lâmpadas, cujas características de eficiência, durabilidade, consumo e preço, evoluíram extraordinariamente, graças aos contributos das leis da Física...

... da conceção das cidades do futuro...

e muito, muito mais nas páginas que se seguem.

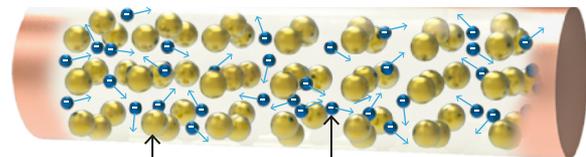
1.1. Circuitos elétricos e grandezas elétricas

Circuito elétrico

Nos metais, tal como o cobre (Fig. 1), os átomos formam redes de átomos. Como, nestas redes, os átomos ficam próximos uns dos outros, os eletrões de valência (eletrões de condução) de um átomo são atraídos não só pelo seu núcleo como também pelos núcleos dos átomos vizinhos, o que faz com que os eletrões se encontrem em permanente agitação e se desloquem desordenadamente entre os átomos, formando, no seu conjunto, como que um “mar de eletrões” (Fig. 2).



Fig. 1 Fio de cobre.



Núcleo e eletrões dos níveis mais internos

Eletrões de valência (eletrões livres)

Fig. 2 Estrutura metálica segundo o modelo “mar de eletrões”.

Quando se liga um gerador de tensão elétrica, como, por exemplo, uma pilha, às extremidades de um fio metálico (Fig. 3), a energia transferida faz com que os **eletrões de condução** passem a **mover-se ordenadamente** ao longo do fio condutor.

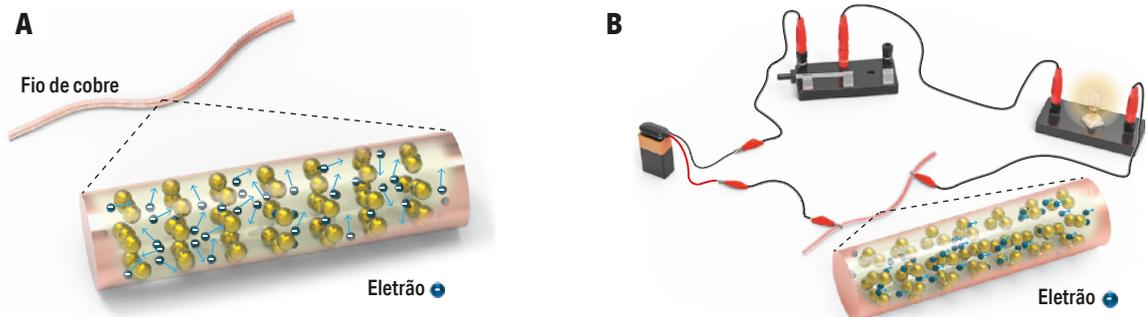


Fig. 3 A Num condutor metálico, o movimento dos eletrões de condução é desordenado. B Num circuito fechado (condutor metálico ligado a um gerador de tensão e com o interruptor fechado), o movimento dos eletrões de condução é orientado.

Designa-se por **corrente elétrica** o **movimento orientado** de partículas com carga elétrica, também designadas por **portadores de carga elétrica**, através de um **circuito fechado**.

Os **portadores de carga elétrica** podem ser **elétrões**, **iões positivos** ou **iões negativos**. Temos, por exemplo, um movimento orientado de elétrões num fio de cobre quando ligado a um gerador (**Fig. 3B**) e temos um movimento orientado de iões positivos e negativos durante uma eletrólise (**Fig. 4**).

Nos exemplos referidos, temos **correntes elétricas**.

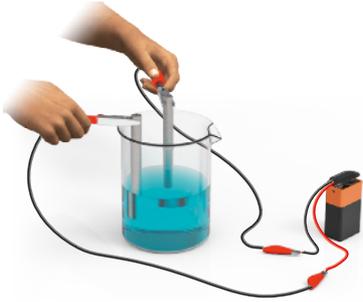


Fig. 4 Numa eletrólise, os portadores de carga são iões positivos e negativos.

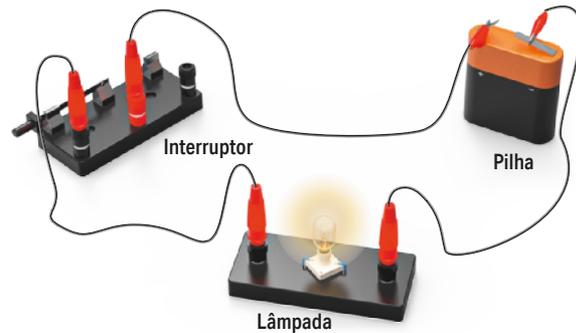
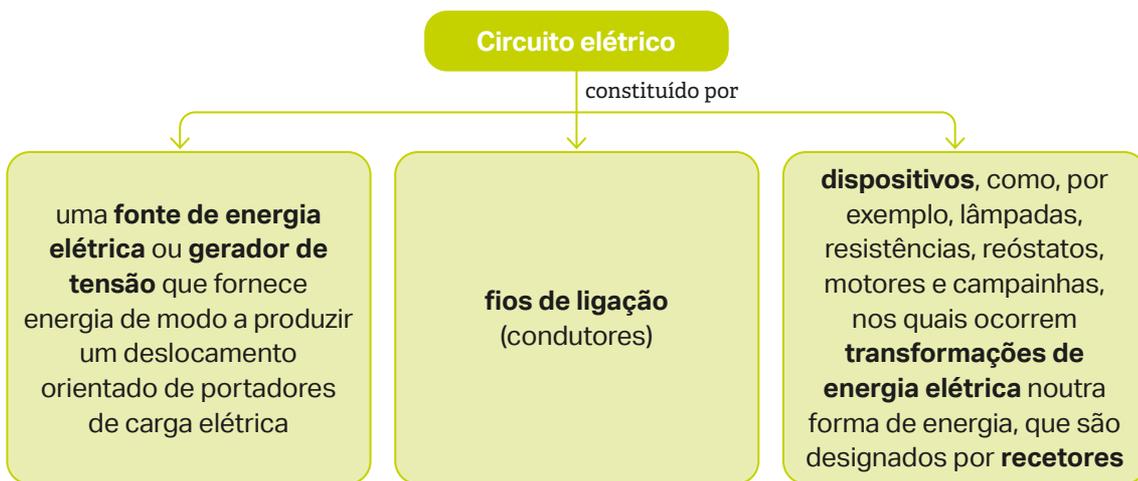


Fig. 5 Só há corrente elétrica num circuito fechado.

Para que haja uma **corrente elétrica**, é necessário um **circuito fechado** (**Fig. 5**), normalmente constituído por:



Também podemos ter **aparelhos de medida**, como, por exemplo, multímetros, voltímetros, amperímetros ou ohmímetros, que também são recetores.

Um **circuito elétrico** é um conjunto de componentes ligados por fios condutores, que inclui geradores e recetores.

Para o estudo da corrente elétrica é importante compreendermos bem o significado das grandezas elétricas: **corrente elétrica**, **tensão elétrica** (ou **diferença de potencial elétrico**), **resistência elétrica** e **potência elétrica**.

Corrente elétrica

A grandeza **corrente elétrica**, I , é a carga elétrica que passa, por unidade de tempo, através de uma secção reta de um condutor (Fig. 6).

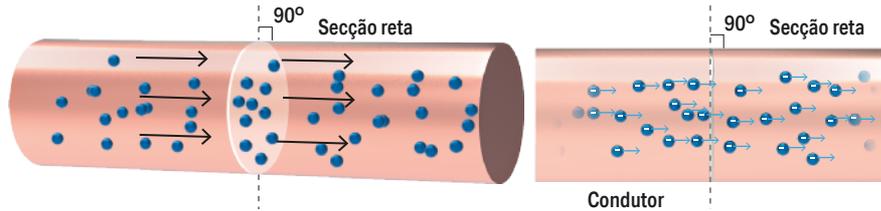


Fig. 6 A corrente elétrica é igual à carga elétrica que atravessa uma secção reta do condutor, por unidade de tempo.

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

A
(ampere)
C
(coulomb)
s
(segundo)

Quando, num determinado condutor, a **corrente elétrica aumenta**, isso **não significa que haja mais eletrões em movimento no circuito**. O número de eletrões a circular é o mesmo; o que acontece é que estes se movimentam mais depressa, ou seja, é maior a carga elétrica que passa numa dada secção, por unidade de tempo.

A **unidade SI** de **corrente elétrica** é o **ampere, A**. Atribui-se esta designação em homenagem ao físico francês Ampère (Fig. 7), pelo seu contributo relativamente ao estudo dos fenómenos elétricos.



Fig. 7 André Ampère (1775-1836).

Repara: $1 \text{ kA} = 1000 \text{ A} = 10^3 \text{ A}$; $1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A} = 10^{-3} \text{ A}$;
 $1 \text{ }\mu\text{A} = 0,000\ 001 \text{ A} = 10^{-6} \text{ A}$

Os **aparelhos** que se utilizam **para medir a corrente elétrica** são os **amperímetros**, que podem ser **analógicos (Fig. 8A)** ou **digitais (Fig. 8B)**.



Fig. 8A Amperímetros analógicos. **B** Multímetro digital preparado para funcionar como amperímetro.

A **corrente elétrica**, I , é a carga elétrica que passa, por unidade de tempo, através de uma secção reta de um condutor.

Corrente contínua e corrente alternada

Os geradores de tensão podem gerar dois tipos de corrente elétrica:

Corrente contínua (CC ou DC)

Uma **corrente elétrica** diz-se **contínua** quando os portadores de carga elétrica se deslocam sempre no mesmo sentido.



As pilhas e as baterias são geradores de corrente contínua.

Corrente alternada ou alterna (CA ou AC)

Uma **corrente elétrica** diz-se **alternada** quando os portadores de carga elétrica se deslocam ora num sentido ora no outro, de forma periódica.



Em nossas casas, a corrente elétrica de uma tomada da rede de distribuição de energia elétrica é uma corrente alternada.

Há aparelhos que só usam **corrente contínua** (por exemplo, computadores, telemóveis, *tablets*, etc.). Estes aparelhos funcionam através de baterias recarregáveis por transformadores, quando necessário.

Nas **centrais elétricas (Fig. 9)**, os alternadores produzem corrente elétrica alternada. Em Cabo Verde, a corrente elétrica que recebemos em casa muda de sentido 50 vezes por segundo. Por isso, a corrente elétrica tem uma frequência de 50 Hz (hertz).

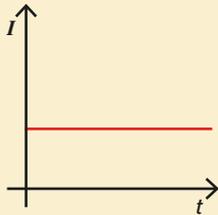
Fig. 9 Central elétrica, onde os alternadores produzem corrente elétrica alternada.



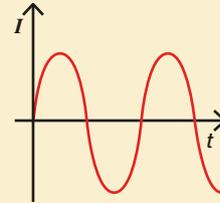
Uma **corrente elétrica** diz-se **contínua** quando os portadores de carga elétrica se deslocam sempre no mesmo sentido e diz-se **alternada** quando mudam periodicamente de sentido.

Os **gráficos** seguintes mostram a **forma como a corrente elétrica varia com o tempo**, dependendo do tipo de gerador que lhe dá origem. Assim:

Um **gerador de corrente contínua (DC)** origina uma corrente elétrica constante ao longo do tempo e sempre no mesmo sentido.



Um **gerador de corrente alternada (AC)** origina uma corrente elétrica que varia periodicamente ao longo do tempo, tomando valores positivos ou negativos, consoante o sentido do movimento dos eletrões; alterna periodicamente o sentido.

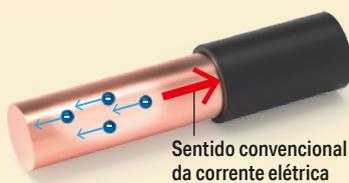


Sentido da corrente elétrica

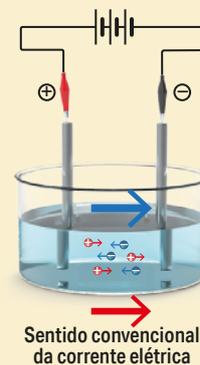
O sentido do movimento dos portadores de carga elétrica depende do sinal da carga elétrica desses portadores. Por convenção, considera-se como o sentido da **corrente elétrica** o **sentido contrário ao do movimento dos portadores de carga elétrica negativa**.

Sempre que nos referimos ao **sentido da corrente elétrica**, estamos a considerar o **sentido convencional**. Assim:

Num **condutor metálico**, o **sentido convencional** da corrente elétrica é oposto ao do movimento real dos eletrões.



Num **eletrólito**, o **sentido convencional** da corrente elétrica é o do movimento dos catiões.



Nos **circuitos elétricos**, o **sentido da corrente elétrica** (sentido convencional) é, portanto, do polo positivo do gerador para o polo negativo (**Fig. 10**), embora o movimento real dos elétrons no condutor metálico seja em sentido contrário e, no eletrólito do voltâmetro, os íons se movam nos dois sentidos. Os íons (+) movem-se para o cátodo (-) e os íons (-) movem-se para o ânodo (+).

Num circuito elétrico, o **sentido da corrente elétrica** é do polo positivo para o polo negativo do gerador.

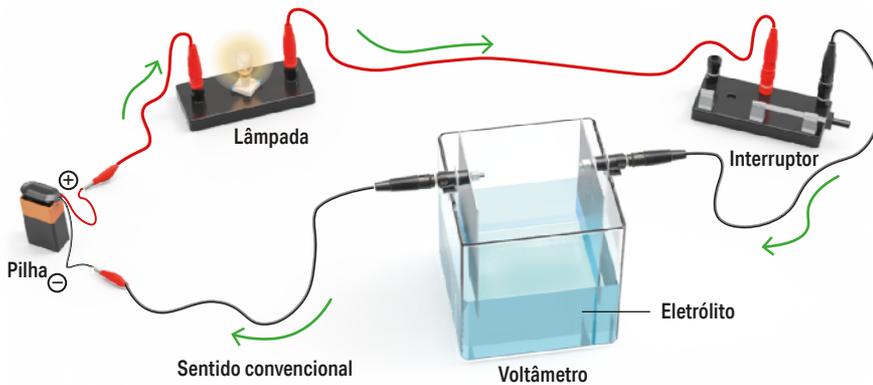


Fig. 10 Sentido da corrente elétrica num circuito.

Tensão elétrica

Para que, num circuito elétrico, os portadores de carga elétrica tenham movimento orientado, é necessário fornecer-lhes energia. Daí nos circuitos elétricos ter de haver sempre uma **fonte de energia** que vai criar uma **tensão elétrica** ou diferença de potencial elétrico nos terminais dos condutores que fazem parte do circuito.

A **tensão elétrica** ou **diferença de potencial elétrico**, U , nos terminais de um condutor percorrido por uma corrente elétrica, é a energia transferida para o condutor por unidade de carga elétrica que o atravessa.

$$U = \frac{E}{q}$$

v
(volt)
 J
(joule)
 C
(coulomb)

A **unidade SI** de **tensão elétrica** é o **volt, V**. Atribuiu-se-lhe esta designação em homenagem ao físico italiano Alessandro Volta (**Fig. 11**), inventor do primeiro gerador eletroquímico.



Fig. 11 Alessandro Volta (1745-1827).

Repara: $1 \text{ MV} = 1\,000\,000 \text{ V} = 10^6 \text{ V}$; $1 \text{ kV} = 1000 \text{ V} = 10^3 \text{ V}$;
 $1 \text{ mV} = 0,001 \text{ V} = 10^{-3} \text{ V}$

Os **aparelhos** que se utilizam **para medir a tensão elétrica** são os **voltímetros**, que podem ser **analógicos (Fig. 12A)** ou **digitais (Fig. 12B)**.



Fig. 12A Voltímetros analógicos. **B** Multímetro digital preparado para funcionar como voltímetro.

A **tensão elétrica** ou **diferença de potencial elétrico**, U , nos terminais de um condutor percorrido por uma corrente elétrica, é a energia transferida para o condutor por unidade de carga elétrica que o atravessa.

Resistência elétrica

Os metais, as ligas metálicas e a grafite são exemplos de **materiais bons condutores da corrente elétrica**. Contudo, uns oferecem maior **resistência** (oposição) à passagem da corrente elétrica do que outros.

Quando se aplica uma **mesma tensão elétrica a diferentes condutores**, verifica-se (recorrendo a um amperímetro) que a **corrente elétrica é mais intensa** no condutor de **menor resistência elétrica (Fig. 13)**.

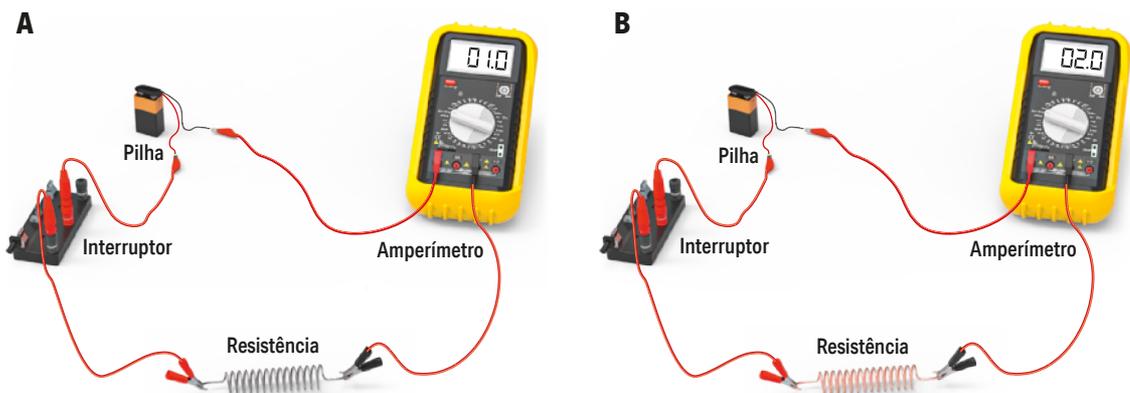


Fig. 13 Em (A), o condutor oferece uma resistência (oposição) maior à passagem da corrente elétrica do que o condutor em (B).

Lei de Ohm: A temperatura constante, existe uma razão constante entre a tensão elétrica aplicada a um condutor e a corrente elétrica que o percorre.

$$R = \frac{U}{I} = \text{constante}$$

Os **condutores óhmicos** são também conhecidos por **condutores lineares**, pois o gráfico da corrente elétrica em função da tensão elétrica (Fig. 16), é uma reta que passa pela origem do referencial, isto é, para estes condutores, a **corrente elétrica** é uma **função linear da tensão elétrica** aplicada nos terminais do condutor.

À **função $I = I(U)$** chama-se **característica do condutor** e o **gráfico** correspondente designa-se por **curva característica do condutor**.

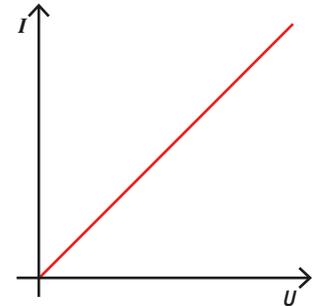


Fig. 16 Gráfico $I = I(U)$ de um condutor óhmico.

Há condutores que não obedecem à Lei de Ohm; dizem-se **condutores não óhmicos**. Nestes condutores, a corrente elétrica e a tensão elétrica não são diretamente proporcionais; graficamente, já não temos uma reta.

Todos os componentes de um circuito, desde as pilhas às lâmpadas, motores, aparelhos de medida e fios de ligação, **apresentam resistência elétrica**. A de alguns é **muito pequena**, como é o caso dos **fios de ligação**, dos **interruptores** e dos **amperímetros**; a de outros é **elevada**, como é o caso dos **voltímetros**.

Assim, para que os aparelhos de medida, **amperímetros** e **voltímetros**, não afetem as características de um circuito elétrico, estes aparelhos **devem ser intercalados no circuito**:

- **em série**, no caso dos **amperímetros**, pois, sendo a sua resistência elétrica muito pequena, praticamente não afetam a corrente elétrica que se pretende medir, para a tensão elétrica aplicada (Fig. 17);

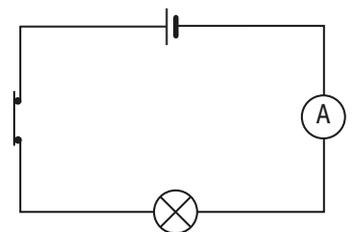
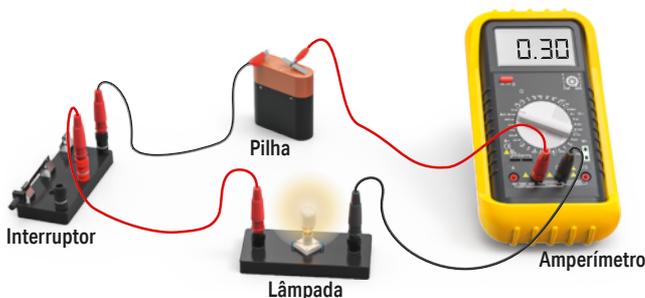


Fig. 17 Num circuito elétrico, os amperímetros intercalam-se em série.

- **em paralelo**, no caso dos **voltímetros**, pois, sendo a sua resistência elétrica elevada, praticamente não afetam a tensão elétrica que se pretende medir (**Fig. 18**).

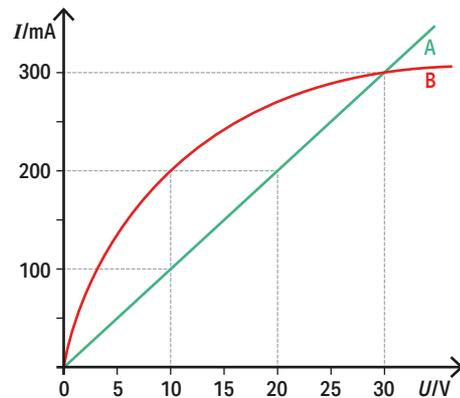


Fig. 18 Num circuito elétrico, os voltímetros intercalam-se em paralelo.

Num circuito elétrico, os **amperímetros** intercalam-se **em série** e os **voltímetros** **em paralelo**.

Exercício resolvido

- No gráfico da figura estão representadas as curvas características de dois condutores, A e B.
- 1.1 Indica o condutor que não obedece à Lei de Ohm e justifica.
- 1.2 Indica o condutor cuja resistência elétrica aumenta com o aumento da tensão elétrica aplicada.



Resolução:

- 1.1. O condutor que não obedece à Lei de Ohm é o condutor B. O condutor A obedece, pois, graficamente, a função $I = I(U)$ é uma reta que passa pela origem do referencial, o que significa que a resistência é constante: $R = \frac{U}{I} = \text{constante}$.
- 1.2. O **condutor B**, pois, sendo $R = \frac{U}{I} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{I}{U}$, e, neste caso, a razão $\frac{I}{U}$ só é constante para o condutor A.

Para o condutor B, como se pode ver por análise do gráfico, à medida que U aumenta, a razão $\frac{I}{U}$ diminui. Se diminui, significa que R aumenta.

Também se pode verificar por cálculo. Assim, sendo:

$$I_1 = 200 \text{ mA} \Leftrightarrow I_1 = 0,200 \text{ A para } U_1 = 10 \text{ V e } I_2 = 300 \text{ mA} \Leftrightarrow I_2 = 0,300 \text{ A para } U_2 = 30 \text{ V.}$$

Substituindo pelos valores em $R = \frac{U}{I}$, tem-se:

$$R_1 = \frac{10}{0,200} \Leftrightarrow R_1 = 50 \Omega \text{ e } R_2 = \frac{30}{0,300} \Leftrightarrow R_2 = 100 \Omega.$$

Resistência elétrica de um condutor filiforme

A temperatura constante, a **resistência elétrica** é uma característica de um condutor (Fig. 19). Esta **depende** do **material** que o constitui e das suas **características geométricas: comprimento e área da secção reta**.

No caso de um condutor com uma forma geométrica simples, como, um **condutor filiforme** (em forma de fio), verifica-se que a **resistência elétrica** do condutor:

- **aumenta com o comprimento, ℓ** , do condutor;
- **diminui com a área, A** , da sua secção reta;
- **depende do material** de que é feito.



Fig. 19 O fio de cobre é um condutor filiforme.

A **expressão** que traduz a **relação entre a resistência elétrica de um condutor filiforme e as suas características geométricas** é a seguinte:

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

em que ρ se designa por **resistividade do material** de que é feito o condutor.

A **resistividade, ρ** , de um condutor, a uma dada temperatura (ver **quadro 1**, página 22), é uma característica do material de que é feito o condutor. Variando a temperatura, a resistividade varia e, conseqüentemente, a resistência elétrica do condutor também varia. A **unidade de resistividade** é o **ohm metro, $\Omega \text{ m}$** .

O facto de a resistência de um condutor filiforme variar com o seu comprimento está na base do funcionamento dos **reóstatos (Fig. 20)**.

Um **reóstato** é uma **resistência elétrica variável**. Mudando-se a posição do cursor, varia-se o comprimento do fio atravessado pela corrente elétrica e, conseqüentemente, o valor da resistência elétrica intercalada no circuito.

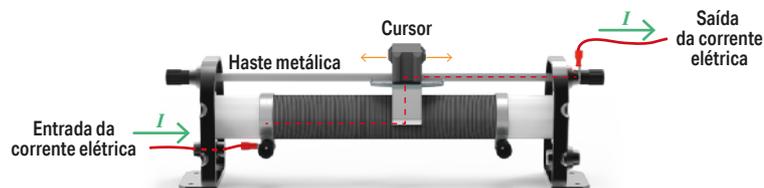


Fig. 20 Reóstato de cursor.

Exercício resolvido

- Um condutor, homogéneo e filiforme, com 18 m de comprimento e $6,0 \text{ mm}^2$ de área de secção reta, é percorrido por uma corrente elétrica de 6,0 A, quando lhe é aplicada uma tensão elétrica de 18 V nos seus terminais.
 - Determina o valor da resistência elétrica do fio condutor.
 - Calcula o valor da resistividade do material que o constitui, à temperatura da experiência ($\theta = 20 \text{ }^\circ\text{C}$).

Resolução:

2.1. $\ell = 18 \text{ m}$, $A = 6,0 \text{ mm}^2 \Leftrightarrow A = 6,0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$; $I = 6,0 \text{ A}$, $U = 18 \text{ V}$

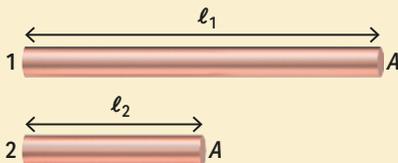
Atendendo a que $R = \frac{U}{I}$, tem-se, substituindo pelos valores: $R = \frac{18}{6,0} \Leftrightarrow R = 3,0 \Omega$

2.2. Sendo $R = \rho \frac{\ell}{A} \Leftrightarrow \rho = R \frac{A}{\ell}$,

substituindo pelos valores, fica: $\rho = 3,0 \times \frac{6,0 \times 10^{-6}}{18} \Leftrightarrow \rho = 1,0 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$

Sendo $R = \rho \frac{\ell}{A}$, podemos concluir que:

De dois condutores do **mesmo material** e com a **mesma área de secção reta**, tem **maior resistência elétrica** o que tiver **maior comprimento**.

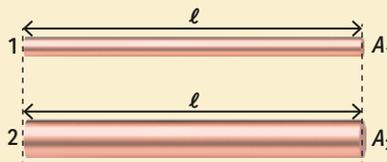


$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$$

ou seja

maior $\ell \Rightarrow$ maior R

De dois condutores do **mesmo material** e com o **mesmo comprimento**, tem **maior resistência elétrica** o que tiver **menor área de secção reta**.

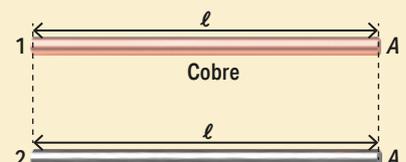


$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{A_2}{A_1}$$

ou seja

menor $A \Rightarrow$ maior R

De dois condutores filiformes, **geometricamente iguais**, mas de **materiais diferentes**, tem **maior resistência elétrica** o que tiver **maior resistividade**.



$$\rho_1 > \rho_2 \Rightarrow R_1 > R_2$$

Resistividade de um material e temperatura

Verifica-se, experimentalmente, que a **resistência de um condutor, depende da temperatura**. Isso deve-se ao facto de a **resistividade do material** variar com a temperatura (Fig. 21).

A **expressão** que traduz a relação entre a **resistividade do material e a temperatura** é a seguinte:

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta\theta) \quad (1)$$

onde ρ_0 é a resistividade à temperatura de referência θ_0 , que habitualmente é $0 \text{ }^\circ\text{C}$, α é o **coeficiente de temperatura da resistividade** e ρ é a resistividade do condutor após ter sofrido a variação de temperatura $\Delta\theta$.

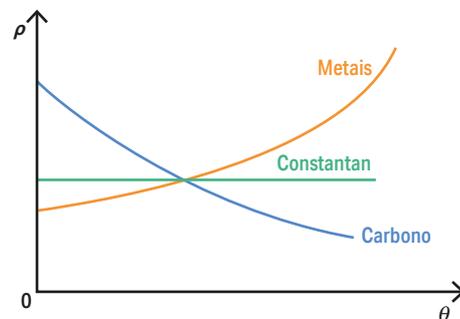


Fig. 21 Gráfico da variação da resistividade de alguns materiais com a temperatura.

O coeficiente de temperatura da resistividade varia com a temperatura mas, dentro de uma boa aproximação, pode considerar-se constante entre os 0 °C e 100 °C.

Para a maioria dos metais puros é $\alpha \approx 4 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

A partir da expressão (1) é possível deduzir a expressão equivalente para a resistência de um condutor feito do mesmo material, que é:

$$R = R_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$$

Como podemos ver no gráfico da **figura 21**, a resistividade dos metais aumenta com o aumento da temperatura, a das ligas metálicas, como o constantan, varia pouco com a temperatura e a dos semicondutores diminui quando a temperatura aumenta.

No **quadro 1** apresentam-se as **resistividades**, à temperatura de 20 °C, de alguns materiais **bons condutores da corrente elétrica**, de outros **maus condutores** e, ainda, de alguns que se designam por **semicondutores**. Também se apresentam algumas aplicações.

Material		Resistividade (20 °C) $\rho/\Omega \text{ m}$	Varição de ρ com a temperatura	Aplicações
Bons condutores	Metais	Prata	ρ aumenta quando a temperatura aumenta	Fabrico de fios elétricos
		Cobre		
		Tungsténio		
	Ligas metálicas	Constantan (liga de cobre e níquel)	$4,9 \times 10^{-7}$	ρ varia pouco com a temperatura
Nicromo (liga de crómio e níquel)		$1,1 \times 10^{-6}$		
Semicondutores	Carbono (grafite)	$3,5 \times 10^{-5}$	ρ diminui quando a temperatura aumenta	Fabrico de termístores para termómetros ou termóstatos
	Silício	$6,4 \times 10^2$		
Maus condutores	Madeira (seca)	10^8 a 10^{14}		
	Borracha	10^{13} a 10^{16}		
	Vidro	10^{10} a 10^{14}		

Quadro 1

Exercício resolvido

- 3 Um fio de cobre tem, à temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, a resistência elétrica de $40\ \Omega$ ($\alpha = 3,9 \times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$).

Determina a resistência elétrica do fio de cobre à temperatura de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Resolução:

3. Sendo $R = R_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$

tem-se

$$R = 40 \times (1 + 3,9 \times 10^{-3} \times (80 - 20)) \Leftrightarrow R = 40 \times (1 + 0,23) \Leftrightarrow \mathbf{R = 49\ \Omega}$$

Física em ação

Supercondutores

Perto do zero absoluto [$T = -273\text{ }^{\circ}\text{C}$], certos materiais conduzem a corrente elétrica praticamente sem qualquer resistência elétrica. Dizem-se **supercondutores**. Por exemplo, o alumínio, o estanho, o chumbo e o zinco são supercondutores. Atualmente, conhecem-se muitos outros materiais supercondutores.

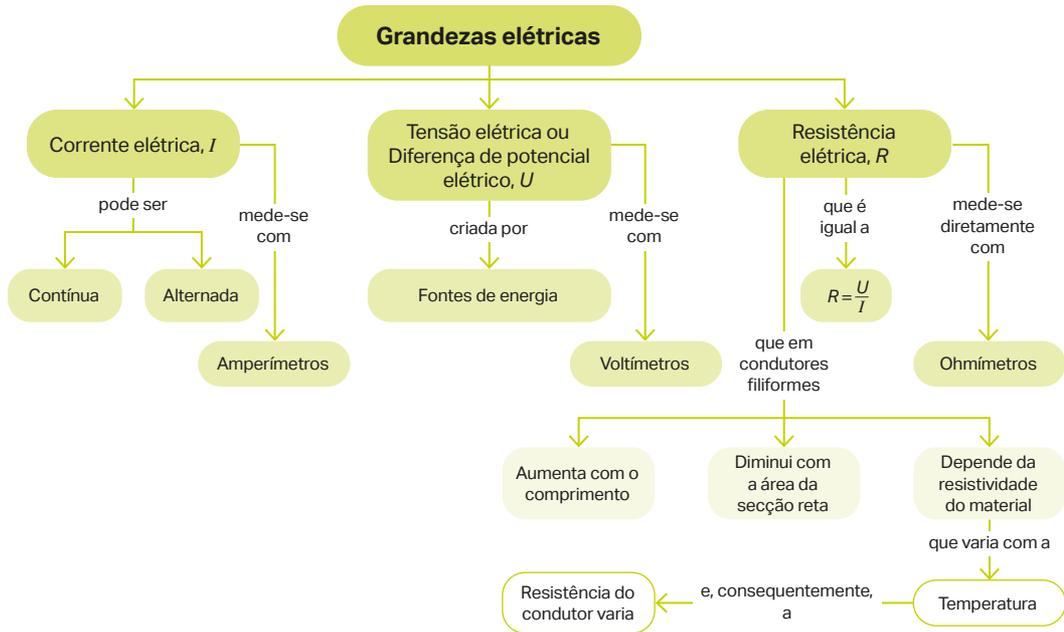
A resistividade de um supercondutor, abaixo da temperatura crítica (T_c – temperatura à qual a resistividade decresce abruptamente), pode ser da ordem de $10^{-25}\ \Omega\text{ m}$, que corresponde a 17 ordens de grandeza menor que a resistividade de condutores, como o cobre, à temperatura ambiente.

Um efeito importante nos supercondutores é que, uma vez estabelecida uma corrente elétrica através deles, essa corrente se mantém por muito tempo, sem ser necessário aplicar qualquer tensão elétrica, pois $R \approx 0$. Em laboratório, já se têm observado correntes elétricas que persistem durante anos.

Entre as muitas aplicações dos supercondutores, podemos referir o **Maglev**, comboio de alta velocidade, que funciona por **levitação magnética**, conseguida com **supercondutores**.



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Uma **corrente elétrica** diz-se **contínua** quando os portadores de carga elétrica se deslocam sempre no mesmo sentido e diz-se **alternada** quando mudam periodicamente de sentido.
- A grandeza **corrente elétrica** é a carga elétrica que passa, por unidade de tempo, através de uma secção reta de um condutor.

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

- A **tensão elétrica ou diferença de potencial elétrico** nos terminais de um condutor, percorrido por uma corrente elétrica, é a energia transferida para o condutor por unidade de carga elétrica que o atravessa.

$$U = \frac{E}{q}$$

- A **resistência elétrica de um condutor** é igual ao quociente entre a tensão elétrica, aplicada aos terminais do condutor e a corrente elétrica que o percorre.

$$R = \frac{U}{I}$$

- A **resistência elétrica de um condutor homogéneo e filiforme** depende do material (resistividade) de que é feito e é diretamente proporcional ao seu comprimento e inversamente proporcional à área da sua secção reta.

$$R = \rho \frac{\ell}{A}$$

- A **resistividade** é baixa nos **bons condutores** (metais e ligas metálicas) e elevada nos **maus condutores**. Varia pouco com a temperatura, nas ligas metálicas e, nos **semi-condutores**, diminui à medida que a temperatura aumenta.

Exercícios de aplicação

1 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:

- (A) Uma corrente elétrica é sempre um movimento orientado de eletrões.
- (B) O sentido da corrente elétrica é o sentido do movimento orientado dos eletrões num condutor metálico.
- (C) Nas soluções condutoras, a corrente elétrica deve-se ao movimento dos catiões num sentido e dos aniões em sentido oposto.
- (D) Quando num condutor os eletrões se movem de uma forma orientada num único sentido, dizemos que o condutor está a ser percorrido por uma corrente elétrica contínua.
- (E) Uma corrente elétrica é um movimento orientado de portadores de carga elétrica através de um circuito fechado.

2 Indica a opção que completa corretamente a frase seguinte:

Por convenção, o sentido da corrente elétrica através de um condutor é...

- (A) o sentido contrário ao do movimento dos portadores de carga elétrica negativa.
- (B) o sentido do movimento dos portadores de carga elétrica negativa.
- (C) o sentido contrário ao do movimento dos portadores de carga elétrica positiva.
- (D) o sentido contrário ao do movimento dos iões numa solução condutora.

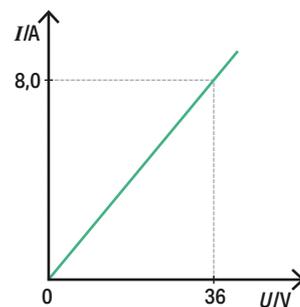
3 Faz, as seguintes conversões de unidades:

- (A) $1 \text{ kA} = \dots \text{ A}$
- (B) $0,001 \text{ A} = \dots \text{ mA}$
- (C) $0,000\ 002 \text{ A} = \dots \mu\text{A}$
- (D) $5 \mu\text{A} = \dots \text{ mA}$
- (E) $3 \text{ mA} = \dots \text{ kA}$
- (F) $2 \text{ kA} = \dots \mu\text{A}$

4 O gráfico representa a curva característica de um condutor óhmico.

Determina:

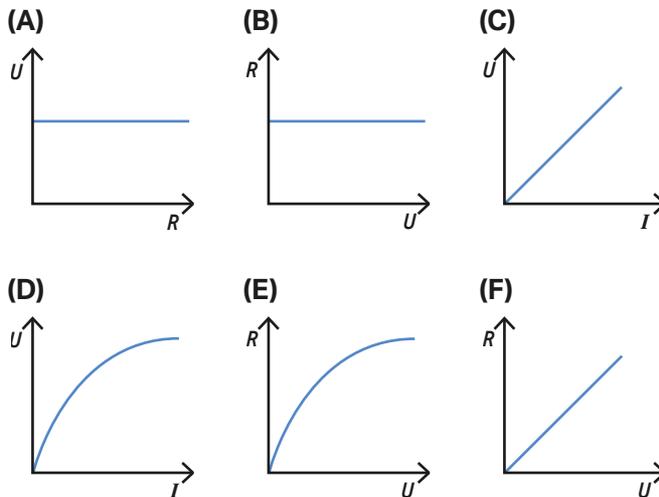
- 4.1.** a resistência elétrica do condutor.
- 4.2.** a corrente elétrica que percorre o condutor quando a tensão elétrica que é aplicada nos seus terminais é $7,2 \text{ V}$.



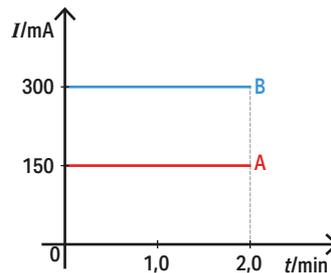
- 5** A uma dada temperatura, uma resistência elétrica de $5,0 \text{ M}\Omega$ é submetida a uma tensão elétrica de 15 V .

Determina, em microamperes, o valor da corrente elétrica que atravessa a resistência.

- 6** Observa os gráficos seguintes e indica os que correspondem a condutores óhmicos.

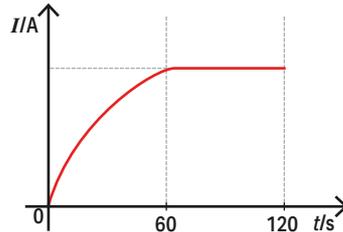


- 7** O gráfico da figura diz respeito à corrente elétrica que atravessa dois fios condutores, A e B, durante dois minutos.



- 7.1.** Em qual dos condutores a carga elétrica que passa, por unidade de tempo, através de uma secção reta do condutor é maior? Justifica.
- 7.2.** Indica o módulo da carga elétrica, expressa em unidades SI, que passa, por unidade de tempo, através de uma secção reta de cada um dos condutores.
- 7.3.** Sabendo que a carga elétrica é sempre um múltiplo da carga do eletrão ($q_e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$), pois esta é a carga mais pequena que existe, determina o número de eletrões que atravessam a secção reta do condutor B por segundo.
- 7.4.** Calcula o módulo da carga elétrica, em unidades SI, que passa por uma secção reta de cada um dos condutores, A e B, nos primeiros 2 minutos.

- 8** A corrente elétrica que percorre um condutor elétrico submetido a uma tensão elétrica constante varia, em função do tempo, de acordo com o gráfico seguinte:

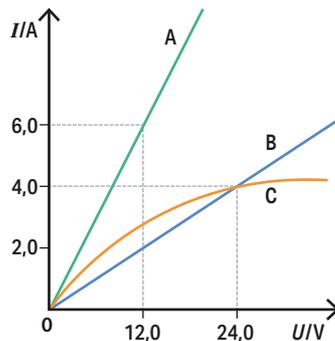


- 8.1.** A resistência elétrica deste condutor, no decorrer dos 120 s,
- (A) aumenta uniformemente.
 - (B) diminui uniformemente.
 - (C) tende para um valor constante.
 - (D) nenhuma das opções anteriores.

- 8.2.** Comenta a afirmação seguinte:

Quando, num determinado condutor, a corrente elétrica aumenta, isso não significa que estejam em movimento mais elétrons no circuito onde se encontra esse condutor.

- 9** No gráfico da figura representam-se as curvas características de três condutores puramente resistivos, A, B e C, a uma dada temperatura.



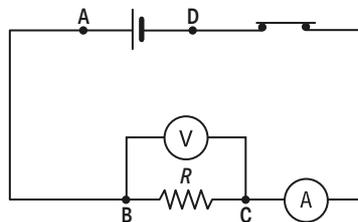
- 9.1.** Determina a resistência elétrica dos condutores A e B.
- 9.2.** Indica o(s) condutor(es) que é(são) ôhmico(s).
- 9.3.** Indica o condutor que apresenta maior resistência elétrica quando a tensão elétrica que lhe é aplicada é de 12,0 V.
- 9.4.** O condutor puramente resistivo A, quando sujeito a uma tensão elétrica de 12,0 V, é percorrido por uma corrente elétrica de 6,0 A. Determina o valor da tensão elétrica nos terminais do mesmo condutor quando a corrente elétrica que o percorre é de 4,0 A.

- 10** A corrente elétrica que percorre um condutor ôhmico quando, a uma dada temperatura, é submetido a uma tensão elétrica de 18 V nos seus terminais é de 0,45 A.

10.1. Determina o valor da resistência elétrica do condutor.

10.2. Qual seria a corrente elétrica que percorreria este condutor se a tensão elétrica aplicada nos seus terminais fosse de 12 V?

- 11** Observa o circuito esquematizado na figura. Considera que a medida indicada no voltímetro, com o circuito fechado, é 1,5 V e que a medida indicada no amperímetro é 0,50 A.



11.1. Qual é o valor da tensão elétrica entre os pontos A e D, com o circuito fechado?

11.2. Que valor indicaria o amperímetro em circuito aberto?

11.3. Que valor indicaria o voltímetro, ligado ao circuito nos pontos B e C, em circuito aberto?

11.4. Determina o valor da resistência elétrica R intercalada no circuito.

11.5. Que aparelho podes usar para medir o valor de uma resistência elétrica quando esta não se encontra intercalada num circuito?

- 12** Dois fios condutores cilíndricos, um de cobre, com resistividade $1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, e outro de tungsténio, com resistividade $5,6 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$, têm o mesmo comprimento e o mesmo diâmetro. Se os dois forem percorridos por uma mesma corrente elétrica, pode afirmar-se que:

(A) a tensão elétrica aplicada nas extremidades do fio de cobre é menor do que no fio de tungsténio.

(B) a resistência elétrica dos dois fios condutores é igual.

(C) a resistência elétrica do fio condutor de cobre é maior do que a resistência elétrica do fio de tungsténio.

(D) a tensão elétrica aplicada nas extremidades dos dois fios é igual.

- 13 Considera um fio condutor de comprimento ℓ e resistência elétrica R , a uma dada temperatura. Se esse fio pudesse ser esticado de forma a passar a ter um comprimento 2ℓ , mantendo constante a densidade e a resistividade, a sua nova resistência passaria a ser:

(A) $\frac{R}{2}$ (B) $\frac{R}{4}$ (C) R (D) $2R$ (E) $4R$

- 14 Um condutor filiforme de comprimento ℓ e área de secção reta A tem uma resistência R . Outro fio do mesmo material tem um comprimento 2ℓ , uma área $2A$ e uma resistência R' . Indica a opção correta.

(A) $R = 2R'$ (B) $R = 4R'$ (C) $R = \frac{2}{3}R'$ (D) $R = R'$

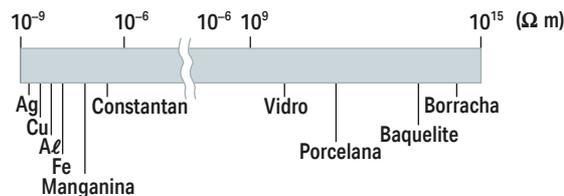
- 15 Dois fios cilíndricos, um de cobre, com resistividade $\rho = 1,7 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ (a 20°C), e outro de alumínio, com resistividade $\rho = 2,8 \times 10^{-8} \Omega \text{ m}$ (a 20°C), possuem um mesmo comprimento e um mesmo diâmetro.

Se os dois fios forem percorridos pela mesma corrente elétrica, I , pode afirmar-se que...

- (A) as resistências elétricas dos dois fios são iguais.
 (B) a resistência elétrica do fio de cobre é maior do que a resistência elétrica do fio de alumínio.
 (C) a tensão elétrica nos terminais dos dois fios condutores é igual.
 (D) a tensão elétrica nos terminais do fio de cobre é menor do que nos terminais do fio de alumínio.
 (E) se os dois fios forem submetidos, separadamente, a uma mesma tensão elétrica, a corrente elétrica que atravessa os fios será a mesma.

Seleciona a opção correta.

- 16 Na figura seguinte podemos ver os valores das resistividades de alguns materiais, à temperatura de 20°C .



- 16.1. Dos materiais indicados na figura:

- (A) quais são os que apresentam menores valores da resistividade?
 (B) quais são maus condutores da corrente elétrica?

- 16.2. Como varia, de um modo geral, a resistividade dos metais e ligas metálicas com a temperatura?

- 16.3. Como varia, de um modo geral, a resistência elétrica de um fio metálico com a temperatura?

1.2. Associação de resistências elétricas em série e em paralelo

Associação de resistências elétricas

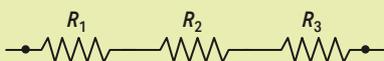
Nos circuitos elétricos podem ser feitas associações de resistências elétricas em série, em paralelo e até mistas.

Associação de resistências elétricas

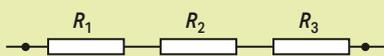
pode ser

Associação em série

As resistências elétricas encontram-se ligadas umas a seguir às outras, existindo **um só "caminho" para a corrente elétrica**.



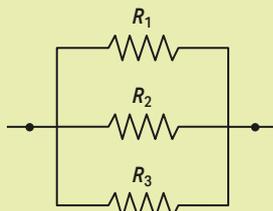
ou



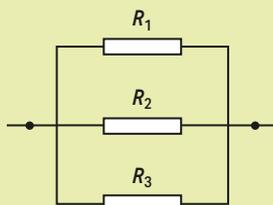
Associação de resistências elétricas em série.

Associação em paralelo

As resistências elétricas encontram-se ligadas aos mesmos pontos, designados por nós, e, portanto, submetidas à mesma tensão elétrica. Quando a **corrente elétrica** do circuito principal encontra um nó, **divide-se pelas duas, três ou mais ramificações**.



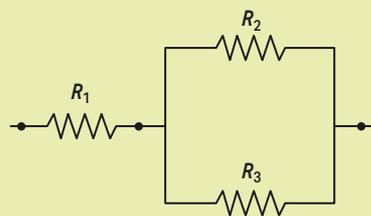
ou



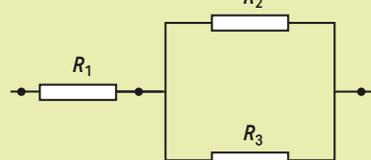
Associação de resistências

Associação mista

Há resistências elétricas associadas em série com resistências elétricas associadas em paralelo.



ou



Associação mista de resistências elétricas.



Associação de resistências elétricas em série

No circuito elétrico da **figura 22** encontram-se três **resistências elétricas associadas em série** por fios condutores de resistência desprezável (considerada nula).

Se no circuito substituirmos as resistências R_1 , R_2 e R_3 por uma **resistência elétrica única**, com a mesma resistência que o conjunto das três associadas, designamos essa resistência única por **resistência elétrica equivalente**.

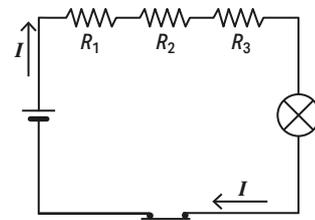


Fig. 22 Circuito com três resistências elétricas ligadas em série.

As **resistências elétricas** R_1 , R_2 e R_3 são percorridas pela **mesma corrente elétrica**, como podemos verificar, experimentalmente, ligando um **amperímetro** em diferentes pontos do circuito (**Fig. 23**). **O valor lido pelo amperímetro é igual em todos os pontos do circuito elétrico onde for intercalado.**

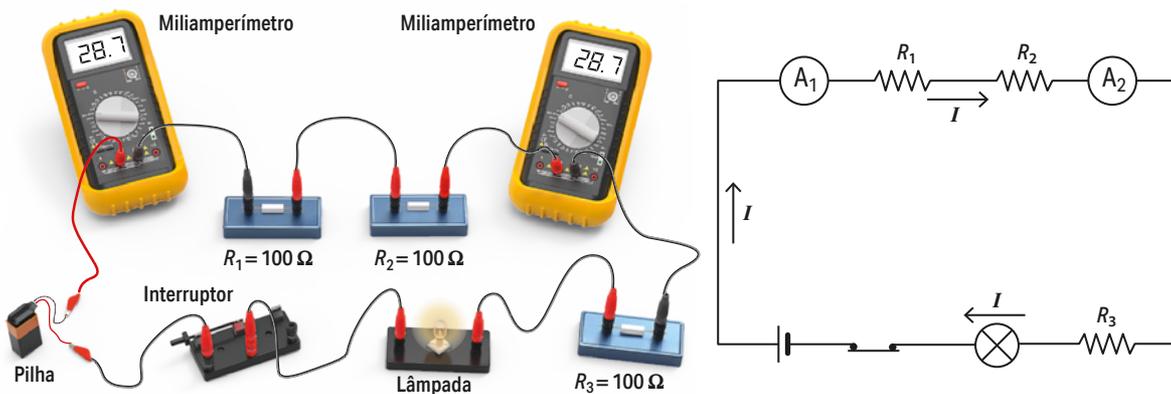


Fig. 23 Num circuito com resistências elétricas ligadas em série, a corrente elétrica é igual em qualquer ponto do circuito.

Num circuito com resistências elétricas ligadas em série, a corrente elétrica é igual em qualquer secção do circuito.

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

Consideremos o **mesmo circuito** da **figura 23** com as três resistências elétricas associadas em série.

Qual será o valor da tensão elétrica nos terminais de cada uma das resistências elétricas associadas?

E qual será o valor da tensão elétrica nos terminais da associação das resistências elétricas?

Para darmos resposta a estas questões, vamos recorrer a um **voltímetro** para medirmos essas tensões elétricas (**Fig. 24**).

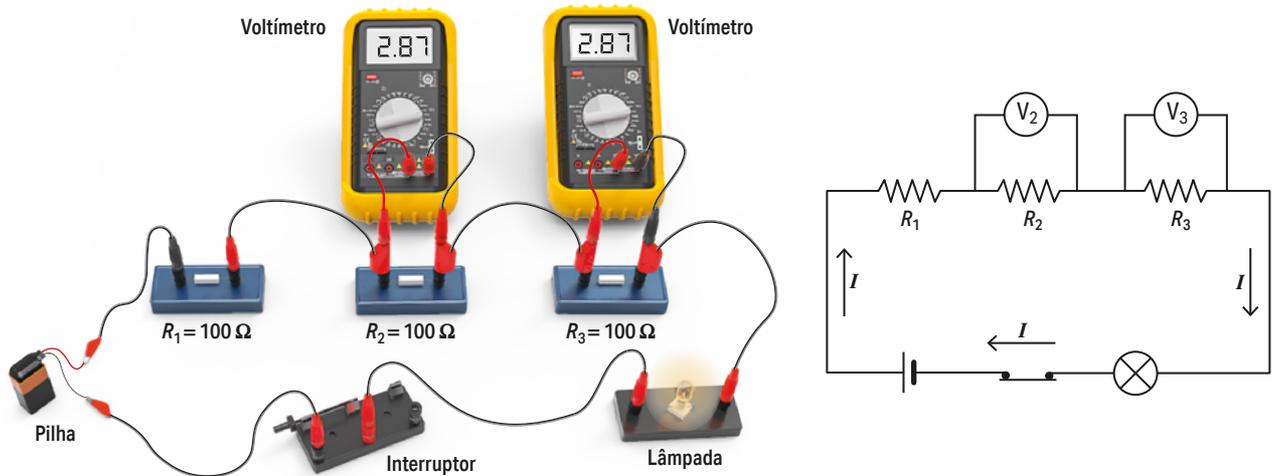


Fig. 24 Medição de tensões elétricas num circuito com resistências elétricas associadas em série.

Verifica-se, experimentalmente, que a **tensão elétrica nos terminais de uma associação de resistências elétricas em série é igual à soma das tensões elétricas nos extremos de cada uma das resistências elétricas associadas** (**Fig. 25**).

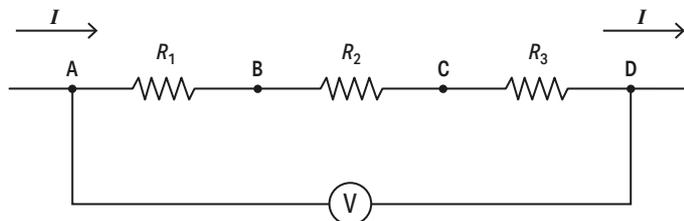


Fig. 25 Associação de resistências elétricas em série percorridas pela mesma corrente elétrica, I .

Assim, no caso da associação de resistências elétricas em série da **figura 25**, designando por U_{AD} a tensão elétrica nos extremos da associação das resistências R_1 , R_2 e R_3 e por U_{AB} , U_{BC} e U_{CD} as tensões elétricas nos extremos de cada uma das resistências, respetivamente, R_1 , R_2 e R_3 , verifica-se que:

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

Numa associação de resistências elétricas em série, a tensão elétrica nos extremos da associação das resistências elétricas, U_R , é igual à soma das tensões elétricas nos extremos de cada resistência elétrica, U_{R_1} , U_{R_2} , U_{R_3} , ...

$$U_R = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} + \dots$$

Sendo

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD}$$

também é:

$$U_{AD} = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

Designando por **R** a **resistência elétrica equivalente da associação**, tem-se:

$$U_{AD} = R I \Rightarrow R = R_1 + R_2 + R_3$$

Numa associação de resistências elétricas em série, a resistência elétrica equivalente ao conjunto das resistências elétricas associadas é igual à soma dessas resistências elétricas.

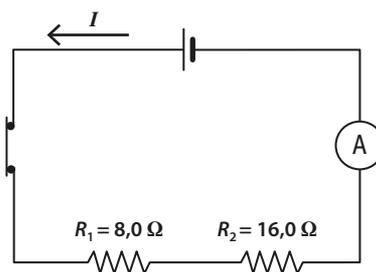
$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Exercício resolvido

- 4 No circuito representado na figura encontram-se duas resistências elétricas, R_1 e R_2 , associadas em série. A tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_2 é de 8,0 V.

Determina:

- 4.1 a corrente elétrica que passa em cada uma das resistências elétricas.
 4.2 a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_1 .
 4.3 a tensão elétrica nos terminais da associação das duas resistências, R_1 e R_2 .



Resolução:

- 4.1. $R_1 = 8,0 \Omega$; $R_2 = 16,0 \Omega$; $U_{R_2} = 8,0 \text{ V}$

A corrente elétrica, I , que passa por cada uma das resistências elétricas é igual, pois trata-se de uma associação de resistências elétricas em série.

Sabendo que $U_{R_2} = R_2 I$, tem-se, substituindo pelos valores:

$$8,0 = 16,0 \times I \Leftrightarrow I = \mathbf{0,50 \text{ A}}$$

- 4.2. Sendo $U_{R_1} = R_1 I$, substituindo pelos valores, tem-se:

$$U_{R_1} = 8,0 \times 0,50 \Leftrightarrow U_{R_1} = \mathbf{4,0 \text{ V}}$$

- 4.3. A tensão elétrica nos terminais da associação, U , é dada por:

$$U = U_{R_1} + U_{R_2}$$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$U = 4,0 + 8,0 \Leftrightarrow U = \mathbf{12,0 \text{ V}}$$

Associação de resistências elétricas em paralelo

No circuito da **figura 26** encontram-se **três resistências elétricas iguais associadas em paralelo** por fios condutores de resistência desprezável.

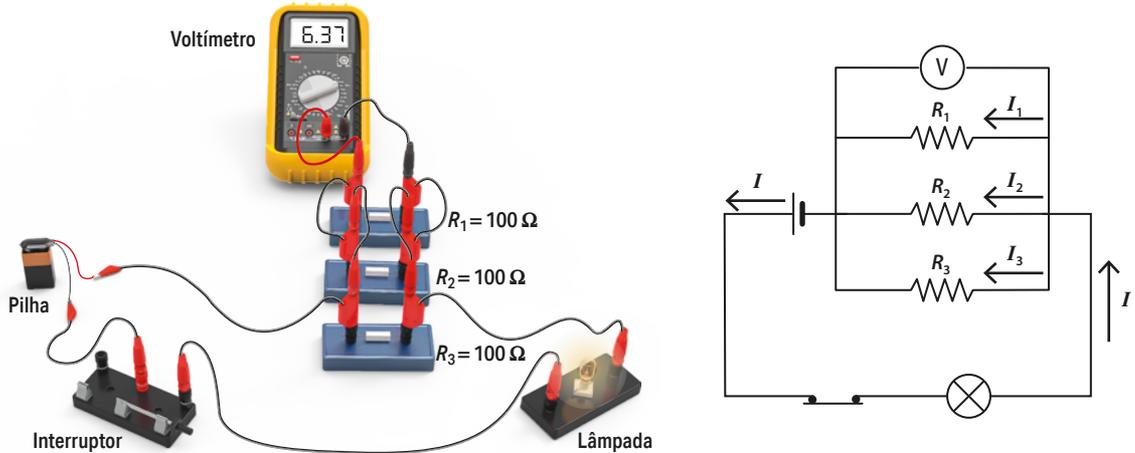


Fig. 26 Medição da tensão elétrica numa associação de três resistências elétricas iguais em paralelo.

Nesta associação em paralelo de **três resistências elétricas, R_1 , R_2 e R_3** , podemos verificar, ligando um **voltímetro** aos extremos das resistências, que a **tensão elétrica nos seus extremos é igual**.

Numa associação de resistências elétricas em paralelo, a tensão elétrica nos extremos das resistências elétricas associadas é igual.

$$U = U_{R_1} = U_{R_2} = U_{R_3}$$

Consideremos o circuito da **figura 27** com as três resistências elétricas associadas em paralelo.

Que relação haverá entre a corrente elétrica, I , no circuito principal e a corrente elétrica que percorre as resistências elétricas associadas?

Para darmos resposta a esta questão, vamos recorrer a um **amperímetro** para medir essas correntes elétricas (**Fig. 27**).

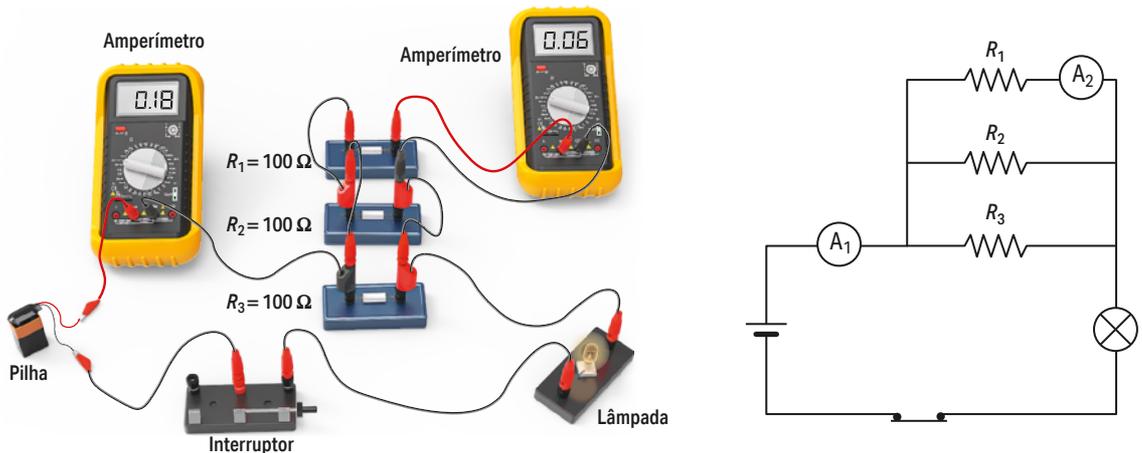


Fig. 27 Medição da corrente elétrica em pontos diferentes de um circuito com resistências elétricas iguais associadas em paralelo.

Verificamos que a **corrente elétrica**, no **circuito principal**, é **igual à soma das correntes elétricas que percorrem as resistências elétricas associadas em paralelo (Fig. 28)**.

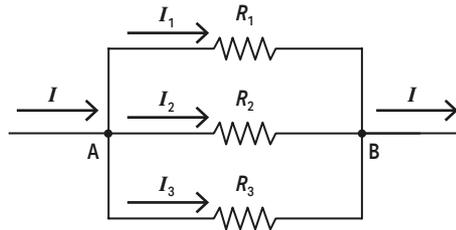


Fig. 28 Associação de resistências elétricas em paralelo, onde a tensão elétrica nos extremos das resistências é igual.

Num circuito com resistências elétricas associadas em paralelo, a corrente elétrica no circuito principal é igual à soma das correntes elétricas nos circuitos derivados.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

Sendo

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{e} \quad I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1)$$

tem-se:

$$I = \frac{U}{R}; I_1 = \frac{U}{R_1}; I_2 = \frac{U}{R_2}; I_3 = \frac{U}{R_3}$$

Substituindo em (1), fica:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} \Leftrightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

Numa associação de resistências elétricas em paralelo, o inverso da resistência elétrica equivalente é igual à soma dos inversos das resistências elétricas associadas.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

No dia a dia, a **associação de componentes elétricos em paralelo tem mais vantagens do que uma associação em série**, pois, se um dos componentes fundir ou avariar, impedindo a passagem da corrente elétrica, esta ainda pode circular pelos outros ramos do circuito. Podem mesmo usar-se interruptores nos diferentes ramos do circuito em paralelo, permitindo ligar e desligar componentes do circuito de forma independente. Daí a **instalação de aparelhos elétricos em nossas casas** ser feita em associações **em paralelo**.

Exercícios resolvidos

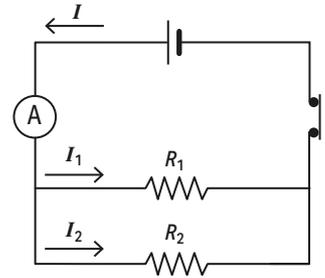
5 Observa o circuito elétrico representado na figura. A corrente elétrica na resistência R_1 , de $9,0 \Omega$, é $0,50 \text{ A}$. Calcula:

5.1 o valor da tensão elétrica nos terminais das duas resistências elétricas.

5.2 a corrente elétrica que passa na resistência R_2 , sabendo que $R_2 = 2 R_1$.

5.3 a corrente elétrica, medida com o amperímetro, no circuito principal.

5.4 a resistência elétrica equivalente desta associação.



Resolução:

5.1. $R_1 = 9,0 \Omega$; $I_1 = 0,50 \text{ A}$. Como R_1 e R_2 se encontram associadas em paralelo, é $U_{R_1} = U_{R_2}$.

Sendo $R = \frac{U}{I} \Rightarrow U_{R_1} = R_1 \times I_1$, tem-se, substituindo pelos valores:

$$U_{R_1} = 9,0 \times 0,50 \Leftrightarrow U_{R_1} = 4,5 \text{ V e } U_{R_2} = 4,5 \text{ V}$$

5.2. Sendo $U_{R_2} = R_2 I_2$ e $R_2 = 2 R_1$, então, $U_{R_2} = 2 R_1 I_2$.

Substituindo pelos valores, tem-se: $4,5 = 2 \times 9,0 \times I_2 \Leftrightarrow I_2 = 0,25 \text{ A}$

5.3. A corrente elétrica, I , no circuito principal, pode ser calculada pela expressão: $I = I_1 + I_2$

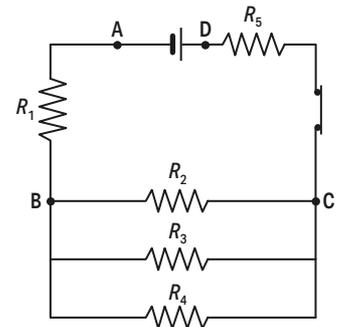
Substituindo pelos valores, tem-se: $I = 0,50 + 0,25 \Leftrightarrow I = 0,75 \text{ A}$

5.4. Como R_1 e R_2 se encontram associadas em paralelo, é:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R} = \frac{1}{9,0} + \frac{1}{18,0} \Leftrightarrow R = 6,0 \Omega$$

6 O circuito elétrico da figura é constituído por uma pilha, cinco resistências elétricas iguais e um interruptor.

Determina o valor de cada uma das resistências elétricas, sendo a tensão elétrica da pilha $U = 8,4 \text{ V}$ e a corrente elétrica que percorre a resistência elétrica $I = 0,12 \text{ A}$.



Resolução:

• Cálculo da resistência elétrica equivalente da associação das resistências elétricas

$$R_2, R_3 \text{ e } R_4: \frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4}$$

Como as resistências elétricas R_2, R_3 e R_4 são iguais à resistência R_1 , temos:

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{3}{R_1} \Leftrightarrow R_{\text{eq}} = \frac{R_1}{3}$$

• Designando por R a resistência elétrica equivalente das cinco resistências elétricas R_1, R_2, R_3, R_4 e R_5 , fica: $R = R_1 + \frac{R_1}{3} + R_1 \Leftrightarrow R = \frac{7}{3} R_1$

Pela definição da resistência elétrica, tem-se: $\frac{U}{I} = \frac{7}{3} R_1 \Rightarrow \frac{8,4}{0,12} = \frac{7}{3} R_1 \Leftrightarrow R_1 = 30 \Omega$

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Num circuito com resistências elétricas ligadas em série, a corrente elétrica é igual em qualquer secção do circuito.

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \dots$$

- Numa associação de resistências elétricas em série, a tensão elétrica nos extremos da associação das resistências elétricas é igual à soma das tensões elétricas nos extremos de cada resistência elétrica.

$$U_R = U_{R_1} + U_{R_2} + U_{R_3} + \dots$$

- Numa associação de resistências elétricas em série, a resistência elétrica equivalente ao conjunto das resistências associadas é igual à soma dessas resistências elétricas.

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

- Numa associação de resistências elétricas em paralelo, a tensão elétrica nos extremos das resistências elétricas associadas é igual.

$$U = U_{R_1} = U_{R_2} = U_{R_3} = \dots$$

- Num circuito com resistências elétricas associadas em paralelo, a corrente elétrica no circuito principal é igual à soma das correntes elétricas nos circuitos derivados.

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots$$

- Numa associação de resistências elétricas em paralelo, o inverso da resistência elétrica equivalente é igual à soma dos inversos das resistências associadas.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:
- (A) Numa associação de resistências elétricas em série, mesmo que uma delas avarie, passa sempre corrente elétrica.
- (B) Três resistências elétricas só podem estar associadas todas em série ou todas em paralelo.
- (C) Resistências elétricas iguais associadas em série estão sujeitas à mesma tensão elétrica nos seus terminais.
- (D) Num circuito só com componentes associados em série, a corrente elétrica é igual em qualquer ponto do circuito.
- (E) Numa associação de resistências elétricas em série, a tensão elétrica nos terminais de cada resistência elétrica é diretamente proporcional ao valor da respetiva resistência.

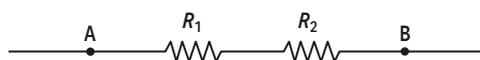
- 2** Três resistências elétricas encontram-se associadas em paralelo, sendo mantida constante a tensão elétrica entre os terminais da associação. Se uma das resistências queimar, o que ocorrerá com a corrente elétrica em cada uma das outras resistências associadas? Justifica.

- 3** Associaram-se em série duas resistências elétricas, sendo $R_1 = 4,0 \Omega$ e $R_2 = 6,0 \Omega$. A tensão elétrica nos terminais da resistência R_1 é 60 V. Calcula:

3.1. a corrente elétrica na resistência elétrica R_2 .

3.2. a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_2 .

- 4** Considera duas resistências elétricas, R_1 e R_2 , associadas em série.



A tensão elétrica nos terminais da associação é 9,0 V ($U_{AB} = 9,0 \text{ V}$).

- 4.1.** Sabendo que o valor da resistência elétrica R_2 é 10Ω e que a corrente elétrica que passa na resistência R_2 é 0,60 A, determina:

4.1.1. a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_2 ;

4.1.2. a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_1 ;

4.1.3. o valor da resistência elétrica R_1 .

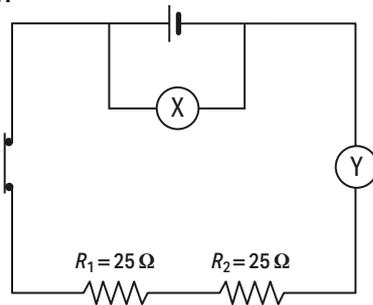
- 4.2.** Compara o valor da tensão elétrica nos terminais da associação das resistências elétricas com os valores das tensões elétricas nos terminais das resistências associadas.

- 4.3.** Compara o valor da corrente elétrica que passa em cada uma das resistências elétricas.

5 Observa a figura onde está esquematizado um circuito elétrico.

O voltímetro mede uma tensão elétrica de 9,0 V.

Considera desprezável a resistência elétrica dos fios condutores.



5.1. Como se designam os aparelhos de medida representados pelas letras X e Y?

5.2. Indica o valor da tensão elétrica nos terminais de cada uma das resistências elétricas.

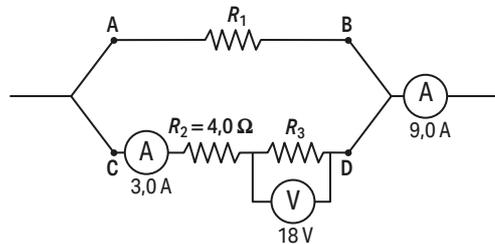
5.3. Indica o valor da corrente elétrica no circuito, quando o interruptor se encontra aberto.

5.4. Calcula a corrente elétrica que passa na resistência elétrica R_1 , em circuito fechado.

5.5. Indica o valor da corrente elétrica medido pelo aparelho Y.

6 Observa a figura, que representa, esquematicamente, uma associação de resistências elétricas.

Tendo em consideração os dados indicados na figura, calcula:

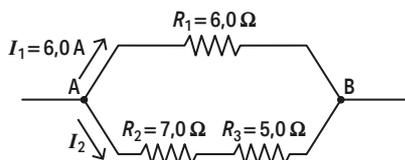


6.1. a tensão elétrica nos terminais da associação das resistências elétricas R_2 e R_3 ;

6.2. a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_1 ;

6.3. o valor da resistência elétrica R_1 .

7 Observa a figura, que representa, esquematicamente, uma associação de resistências elétricas.



Tendo em conta os dados indicados na figura, calcula:

7.1. a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica R_1 ;

7.2. a tensão elétrica nos terminais da associação das resistências R_2 e R_3 ;

7.3. o valor da corrente elétrica I_2 .

8 Considera duas resistências elétricas, R_1 e R_2 , associadas em paralelo.

A tensão elétrica nos terminais da associação é $6,0\text{ V}$ ($U_{AB} = 6,0\text{ V}$).

8.1. Sabendo que o valor da resistência R_2 é $10\ \Omega$ e que $R_2 = 2 R_1$, determina:

8.1.1. a corrente elétrica que atravessa a resistência elétrica R_2 ;

8.1.2. a corrente elétrica que atravessa a resistência elétrica R_1 ;

8.1.3. o valor da corrente elétrica, I , no circuito principal.

8.2. Completa a frase seguinte:

Como a tensão elétrica nos terminais da associação é _____ (1) para as duas _____ (2), a resistência elétrica de maior valor é percorrida por uma corrente elétrica _____ (3) .

8.3. Selecciona a opção correta.

(A) $R_1 I_1 = R_2 I_2$

(B) $R_1 I_2 = R_2 I_1$

(C) $R_1 I_1 > R_2 I_2$

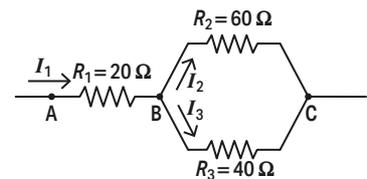
(D) $R_1 I_1 < R_2 I_2$

9 Na associação de resistências elétricas da figura, o valor da corrente elétrica I_1 é $5,0\text{ A}$.
Calcula:

9.1. o valor das correntes elétricas I_2 e I_3 ;

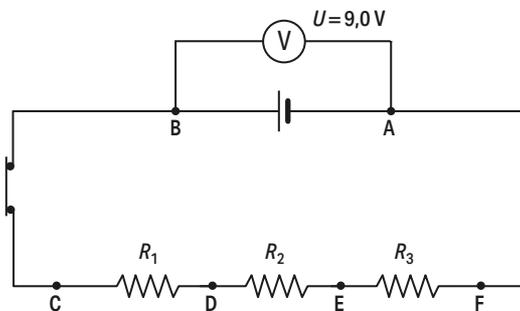
9.2. a tensão elétrica entre os pontos B e C;

9.3. a tensão elétrica entre os pontos A e C.



10 Observa o circuito elétrico esquematizado na figura.

A resistência elétrica dos fios de ligação é considerada desprezável.



10.1. Se as resistências elétricas R_1 , R_2 e R_3 forem iguais, qual é o valor da tensão elétrica:

10.1.1. entre os pontos C e F?

10.1.2. entre os pontos A e F?

10.1.3. entre os pontos C e D?

10.1.4. entre os pontos C e E?

10.2. Se as resistências elétricas R_1 , R_2 e R_3 forem todas diferentes ($R_1 = 2,0 \Omega$, $R_2 = 3,0 \Omega$ e $R_3 = 1,0 \Omega$):

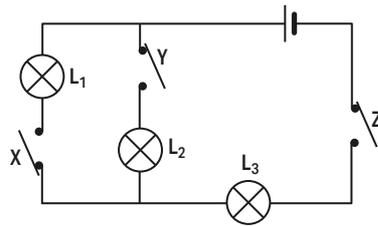
10.2.1. compara o valor da corrente elétrica que percorre a resistência elétrica R_1 com o valor da corrente elétrica que percorre a resistência R_2 ;

10.2.2. compara o valor da corrente elétrica que percorre a resistência elétrica R_1 com o valor da corrente elétrica que percorre o fio condutor entre os pontos F e A.

11 Observa o circuito esquematizado na figura.

Indica o número da opção que completa de forma correta cada uma das frases seguintes:

- (A) Ligando apenas o interruptor Z...
- (B) Ligando os interruptores Y e Z...
- (C) Ligando os interruptores X e Z...
- (D) Ligando os interruptores X e Y...

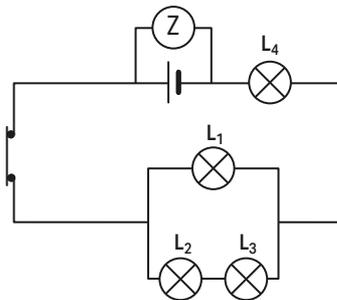


Opções:

- | | |
|------------------------------------|--------------------------------|
| 1. acendem L_1 , L_2 e L_3 . | 2. acendem L_1 e L_2 . |
| 3. acendem L_2 e L_3 . | 4. acendem L_1 e L_3 . |
| 5. acende só L_1 . | 6. acende só L_2 . |
| 7. acende só L_3 . | 8. não acende nenhuma lâmpada. |

12 Observa o circuito elétrico esquematizado na figura.

As lâmpadas são todas iguais.



- 12.1.** Como se designa o aparelho representado pela letra Z?
- 12.2.** Relativamente ao aparelho Z, indica a grandeza física que permite medir.
- 12.3.** Quais são as lâmpadas que brilham menos?
- 12.4.** Qual é a lâmpada que brilha mais?
- 12.5.** Indica o que acontece ao brilho das lâmpadas quando:

(A) se desliga a lâmpada L_1 ;	(B) se desliga a lâmpada L_2 ;
(C) se desliga a lâmpada L_3 ;	(D) se desliga a lâmpada L_4 .

1.3. Energia transferida para um recetor eléctrico e efeito Joule

Potência eléctrica

A energia eléctrica consumida por um recetor (dispositivo eléctrico) depende do tempo de funcionamento e também da sua potência. Se repararmos, os dispositivos eléctricos trazem indicadas certas características, como a tensão eléctrica máxima a que podem ser submetidos e a potência eléctrica necessária ao seu funcionamento (Fig. 29).

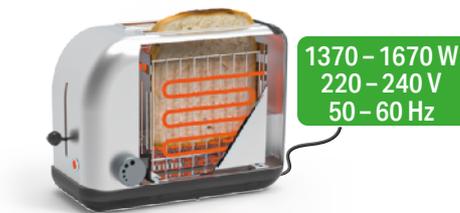


Fig. 29 A potência eléctrica de um dispositivo eléctrico é uma característica do aparelho.

A **potência eléctrica**, P , de um recetor é a energia eléctrica transferida para o recetor por unidade de tempo e que ele transforma em outra ou outras formas de energia. A potência eléctrica mede, portanto, a rapidez com que a energia eléctrica é transferida. Calcula-se dividindo a energia transferida pelo tempo de funcionamento do aparelho.

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

W
(watt)
 s
(segundo)
 J
(joule)

Repara: $1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W} = 10^6 \text{ W}$
 $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 10^3 \text{ W}$
 $1 \text{ mW} = 0,001 \text{ W} = 10^{-3} \text{ W}$

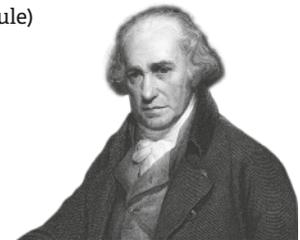


Fig. 30 James Watt (1736-1819).

A **potência eléctrica** de um dispositivo eléctrico pode ser **medida: diretamente** com um **wattímetro** e **indiretamente**, através da **tensão eléctrica** aplicada nos terminais do recetor (que pode ser, por exemplo, uma resistência óhmica, um motor ou um voltâmetro) e da **corrente eléctrica** que o percorre.

Estas grandezas físicas relacionam-se pela expressão: $P = UI$

A **potência eléctrica**, P , de um recetor é a energia eléctrica transferida para o recetor, por unidade de tempo, e relaciona-se com a tensão eléctrica que lhe é aplicada e a corrente eléctrica que o percorre.

$$P = UI$$

Energia transferida para um recetor num circuito elétrico

A potência elétrica de um recetor elétrico pode ser calculada pelas expressões:

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \text{e} \quad P = UI$$

Então, se igualarmos estas expressões, temos:

$$\frac{E}{\Delta t} = UI \Leftrightarrow E = UI\Delta t$$

Portanto:

A energia elétrica transferida para um recetor depende da tensão elétrica aplicada nos seus terminais, da corrente elétrica que o percorre e do tempo de funcionamento.

$$E = UI\Delta t$$

A **energia elétrica** transferida para os dispositivos elétricos (e por eles consumida), num dado intervalo de tempo, é medida pelos **contadores de eletricidade** em **quilowatts-hora, kWh**.

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s}$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$$

Exercício resolvido

- 7 Uma varinha mágica, com a potência de 500 W, é ligada a uma tomada de 230 V durante 2,0 minutos. Calcula:
- 7.1 a corrente elétrica que percorre a varinha mágica;
- 7.2 a energia elétrica consumida pela varinha mágica durante os 2,0 minutos de funcionamento.

Resolução:

7.1. $P = 500 \text{ W}, U = 230 \text{ V}; \Delta t = 2,0 \text{ min} \Leftrightarrow \Delta t = 120 \text{ s}$

Sendo $P = UI \Leftrightarrow I = \frac{P}{U}$,

substituindo pelos valores, tem-se: $I = \frac{500}{230} \Leftrightarrow I = 2,17 \text{ A}$.

7.2. Sendo $E = UI\Delta t$,

substituindo pelos valores, tem-se: $E = 230 \times 2,17 \times 120 \Leftrightarrow E = 5,99 \times 10^4 \text{ J}$

ou, aplicando a expressão $P = \frac{E}{\Delta t}$, tem-se: $E = 500 \times 120 \Leftrightarrow E = 6,00 \times 10^4 \text{ J}$.

Nota: No primeiro método de resolução, o valor obtido é aproximado pelo facto de haver um arredondamento no cálculo de I .

Efeito Joule

Considera um **circuito elétrico** constituído por um **gerador** e uma **resistência elétrica, R** (Fig. 31). Esta vai **receber energia elétrica do gerador** e a **sua energia aumenta**. As cargas elétricas em movimento, ao colidirem com as partículas que constituem a resistência elétrica, transmitem-lhes energia, passando estas a vibrar com maior intensidade, **aumentando a temperatura da resistência e libertando-se energia por calor para a vizinhança**. Esta energia designa-se **energia dissipada por efeito Joule**.

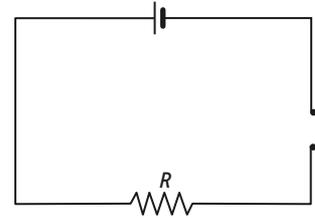


Fig. 31 Circuito com um gerador e uma resistência elétrica.

Efeito Joule: Energia dissipada num recetor, com uma determinada resistência elétrica, quando percorrido por uma corrente elétrica.

A **energia dissipada, por efeito Joule**, num recetor, pode ser calculada pela expressão:

$$E = UI\Delta t \quad (1)$$

Se substituirmos na expressão (1) U por RI , tem-se: $E_{\text{dissipada}} = RI^2\Delta t$

A **potência dissipada, $P_{\text{dissipada}}$** ou P_d , por efeito Joule, pode ser calculada pela expressão:

$$P_{\text{dissipada}} = \frac{E_{\text{dissipada}}}{\Delta t} \Leftrightarrow P_d = \frac{RI^2\Delta t}{\Delta t} \Leftrightarrow P_d = RI^2$$

Sendo $R = \frac{U}{I}$, a **potência dissipada** também pode ser calculada pelas expressões:

$$P_d = RI^2 \Leftrightarrow P_d = UI$$

$$P_d = RI^2 \Leftrightarrow P_d = R \frac{U^2}{R^2} \Leftrightarrow P_d = \frac{U^2}{R}$$

Exercício resolvido

- 8 Um fio condutor óhmico, com uma resistência elétrica de $20 \, \Omega$, é percorrido por uma corrente elétrica de $800 \, \text{mA}$, durante $4,0$ minutos. Determina:
- 8.1 a energia dissipada por efeito Joule nesse intervalo de tempo;
- 8.2 a potência dissipada nesse intervalo de tempo.

Resolução:

8.1. $R = 20 \, \Omega$, $I = 800 \, \text{mA} \Leftrightarrow I = 0,800 \, \text{A}$, $\Delta t = 4,0 \, \text{min} \Leftrightarrow \Delta t = 240 \, \text{s}$

A energia dissipada por efeito Joule calcula-se pela expressão: $E_d = RI^2\Delta t$.

Substituindo pelos valores, tem-se: $E_d = 20 \times 0,800^2 \times 240 \Leftrightarrow E_d = 3,1 \times 10^3 \, \text{J}$ ou $E_d = 3,1 \, \text{kJ}$.

8.2. Sendo $P_d = \frac{E_d}{\Delta t}$, substituindo pelos valores, tem-se: $P_d = \frac{3,1 \times 10^3}{240} \Leftrightarrow P_d = 13 \, \text{W}$
ou

Sendo $P_d = RI^2$, substituindo pelos valores, tem-se: $P_d = 20 \times 0,800^2 \Leftrightarrow P_d = 13 \, \text{W}$.

Vantagens e desvantagens do efeito Joule

O **efeito Joule** é utilizado em muitos **dispositivos elétricos**, que são concebidos **para aquecimento**, como, por exemplo, torradeiras (**Fig. 32A**), cafeteiras elétricas, ferros de engomar, secadores de cabelo, fornos elétricos (**Fig. 32B**), aquecedores elétricos, etc.



Fig. 32 Dispositivos elétricos concebidos para aquecimento, devido ao efeito Joule.

Os **fusíveis** são também aplicações do **efeito Joule** (**Fig. 33**). Constituem **componentes de segurança** que interrompem os circuitos elétricos quando aquecem, devido a um aumento exagerado da corrente elétrica. Nestes casos, o **efeito Joule** é **vantajoso**.

Mas o efeito Joule pode ser desvantajoso, pois, quanto maior for a energia que transfere por calor para a vizinhança (energia dissipada), menor é a energia útil disponível. É o que se verifica, por exemplo, com as **lâmpadas de incandescência** (**Fig. 34**), que dissipam cerca de 90% da energia que recebem.



Fig. 33 Os fusíveis funcionam com base no efeito Joule.
A – fusível novo; B – fusível fundido.



Fig. 34 As lâmpadas de incandescência, dissipam muita energia por efeito Joule.



Fig. 35 As lâmpadas LED dissipam muito menos energia.

Os **LED** (díodos emissores de luz) são componentes de **elevada eficiência**. As **lâmpadas LED** (**Fig. 35**) dissipam apenas cerca de 20% da energia que recebem. Hoje, os LED são cada vez mais utilizados na iluminação pública e de interiores.

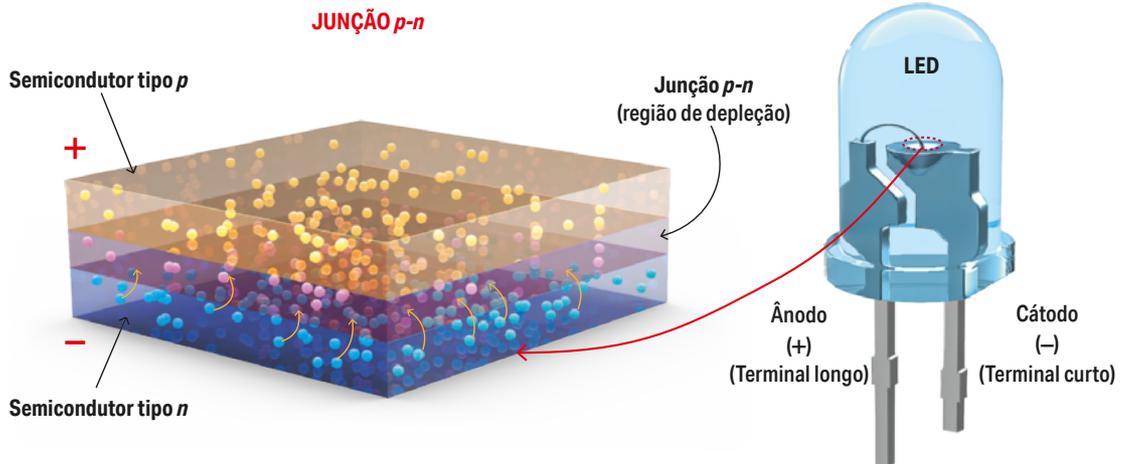
As **lâmpadas de incandescência** (com elevada dissipação de energia por efeito Joule) marcaram os sistemas de iluminação no século XX e os **LED** estão a marcar os sistemas de iluminação no século XXI.

Física em ação

LED

Um **LED** é constituído por camadas de material semicondutor, nas quais circula uma corrente elétrica de fraca intensidade. Uma dessas camadas tem excesso de elétrões, dando origem a um **terminal negativo (cátodo)**.

Outra dessas camadas tem excesso de iões positivos (escassez de eletrões), dando origem a um **terminal positivo (ânodo)**. A camada que fica no meio é neutra.



Dependendo do material que constitui o LED, é emitida uma luz de cor diferente.

Os LED têm uma grande **eficiência energética**. Isto é possível porque os **LED** transformam praticamente toda a energia elétrica em luz; têm, pois, uma **elevada eficiência energética devido ao efeito Joule praticamente inexistente**. Para além do reduzido consumo de energia, também apresentam elevada robustez, reduzida dimensão e muito longa durabilidade, se as condições de funcionamento forem respeitadas.

Como ligar um LED num circuito

Uma vez que um LED apresenta polaridade, este deve ser ligado de forma correta, para evitar ser danificado: o ânodo (+) do LED deve ser ligado ao terminal positivo do circuito e o cátodo (-), ao terminal negativo. Deve garantir-se, ainda, não ultrapassar a tensão de funcionamento divulgada pelo fabricante – se

necessário, deve intercalar-se uma resistência elétrica (protetora) em série com o LED, que tem como função limitar a corrente elétrica que o percorre, de forma a não exceder o valor máximo permitido.

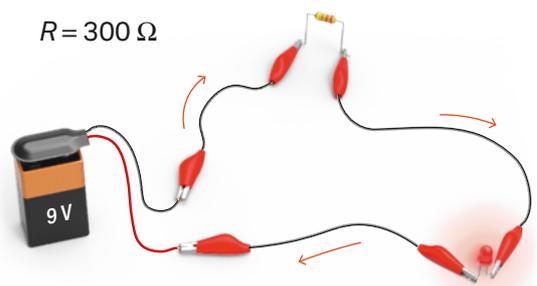
Por exemplo, um LED concebido para funcionar sob uma tensão de 3,0 V requer uma corrente elétrica de funcionamento de 20 mA.

Se pretendemos ligar este LED a uma pilha de 9,0 V, a resistência elétrica protetora a associar em série é dada por:

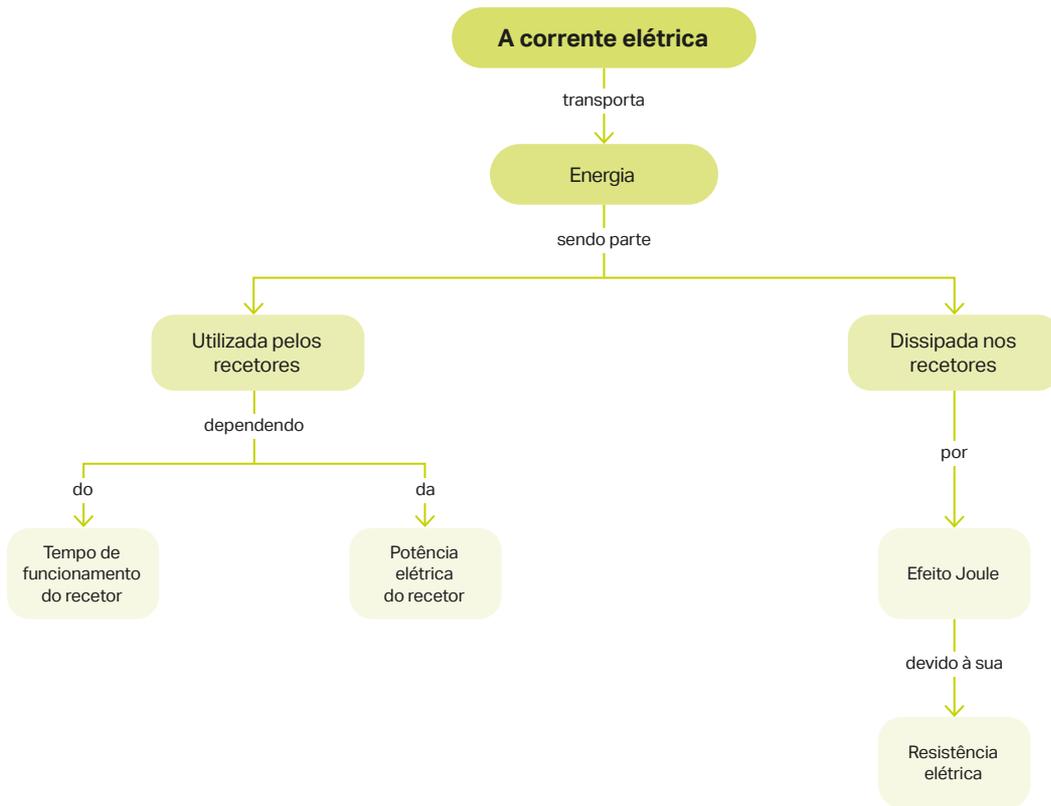
$$R = \frac{U_{\text{fonte}} - U_{\text{LED}}}{I_{\text{LED}}}$$

$$R = \frac{9,0 \text{ V} - 3,0 \text{ V}}{0,020 \text{ A}} \Leftrightarrow R = 3,0 \times 10^2 \Omega$$

$$R = 300 \Omega$$



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **potência elétrica** de um recetor é a energia elétrica transferida para o recetor, por unidade de tempo, e relaciona-se com a tensão elétrica que lhe é aplicada e a corrente elétrica que o percorre.

$$P = \frac{E}{\Delta t} \quad \text{e} \quad P = UI$$

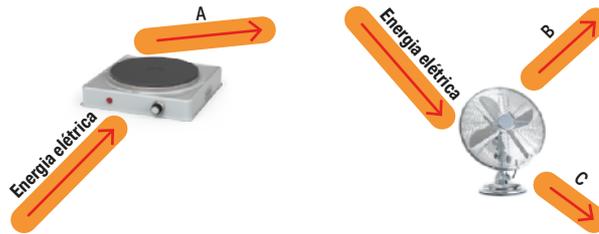
- A **energia elétrica transferida para um recetor** depende da tensão elétrica aplicada nos seus terminais, da corrente elétrica que o percorre e do tempo de funcionamento.

$$E = UI \Delta t$$

- Efeito Joule** – energia dissipada num condutor percorrido por uma corrente elétrica, devido à sua resistência, e que é transferida para as vizinhanças através de calor.

$$E_{\text{dissipada}} = RI^2 \Delta t \quad \text{e} \quad P_{\text{dissipada}} = RI^2$$

- 6 Nas figuras seguintes, podes ver representados um disco elétrico e um motor elétrico que foram intercalados num circuito percorrido por corrente elétrica.



As setas indicam a energia elétrica recebida por estes componentes elétricos e a energia transformada nesses equipamentos noutras formas de energia.

- 6.1. Na figura do disco elétrico, a que energia corresponde a seta A?
- 6.2. Na figura do motor, a que energias correspondem as setas B e C?
- 6.3. Qual é o efeito da corrente elétrica comum a estes dois componentes elétricos?
- 7 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:
- (A) O efeito térmico da corrente elétrica é também conhecido por efeito Joule.
- (B) Numa torradeira, a energia elétrica que se transforma em energia térmica (efeito Joule) é uma energia útil.
- (C) Um LED é um componente elétrico com elevada eficiência energética.
- (D) Num motor, a energia elétrica que se transforma em energia térmica (efeito Joule) é uma energia útil.

- 8 Uma resistência elétrica de aquecimento de imersão, que apresenta as seguintes características: 15 V, 60 W, foi mergulhada em água.

- 8.1. Calcula o valor da resistência elétrica de aquecimento.
- 8.2. Determina a energia dissipada, por efeito Joule, na resistência elétrica de aquecimento, durante 2,0 min de funcionamento.

- 9 Uma resistência elétrica de 20Ω é percorrida por uma corrente elétrica de 0,50 A.

- 9.1. Calcula a tensão elétrica nos terminais da resistência elétrica.
- 9.2. Calcula o valor da potência elétrica dissipada na resistência elétrica.
- 9.3. A relação entre a potência transferida para a resistência elétrica e a tensão elétrica nos seus terminais é

(A) $P = \frac{U}{R}$

(B) $P = \frac{U^2}{R}$

(C) $P = U^2 R$

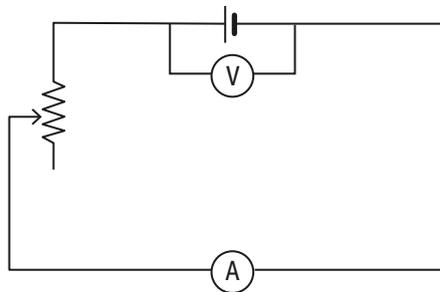
(D) $P = UR$

- 10** Considera um condutor puramente resistivo, com potência dissipada, P . Se a tensão elétrica aplicada nos seus terminais duplicar, o que acontece com a potência por ele dissipada?

- (A) Torna-se duas vezes superior.
 (B) Passa a metade.
 (C) Mantém-se constante.
 (D) Torna-se quatro vezes superior.
 (E) Passa a ser quatro vezes menor.

Seleciona a opção correta.

- 11** Um reóstato encontra-se intercalado num circuito elétrico, conforme se mostra na figura.



Indica a opção que completa corretamente a frase seguinte:

Ao diminuirmos o valor da resistência elétrica intercalada no circuito, a energia dissipada na resistência, por unidade de tempo,

- (A) aumenta.
 (B) diminui.
 (C) permanece constante.
- 12** Um cabo elétrico cilíndrico dissipa uma potência de 460 W, quando submetido a uma tensão elétrica de 230 V.
- 12.1.** Calcula a corrente elétrica que percorre o cabo elétrico.
- 12.2.** Calcula o comprimento, ℓ , do cabo, com área de secção reta $0,050 \text{ cm}^2$, sabendo que a resistividade do material de que é feito é $\rho = 1,1 \times 10^{-6} \Omega \text{ m}$.

1.4. Circuitos com geradores de corrente contínua e condutores puramente resistivos

Geradores de corrente contínua

Os **geradores** de corrente elétrica são dispositivos capazes de manter uma tensão elétrica entre os seus terminais.

Os geradores de corrente elétrica classificam-se, em geral, pelo tipo de mecanismo (químico, mecânico ou eletromagnético) envolvido na obtenção de uma tensão elétrica entre os seus terminais.

As **pilhas** e as **baterias** são exemplos de geradores de corrente elétrica a partir da energia libertada nas reações químicas que ocorrem no seu interior. São geradores do tipo da **pilha de Volta**, o primeiro **gerador eletroquímico** (Fig. 36).

A corrente elétrica obtida nas pilhas e baterias é uma **corrente elétrica contínua**.

Consideremos um **circuito elétrico** constituído por uma **pilha**, uma resistência elétrica R , uma lâmpada, um interruptor e fios de ligação (Fig. 37).



Fig. 36 Pilha de Volta.

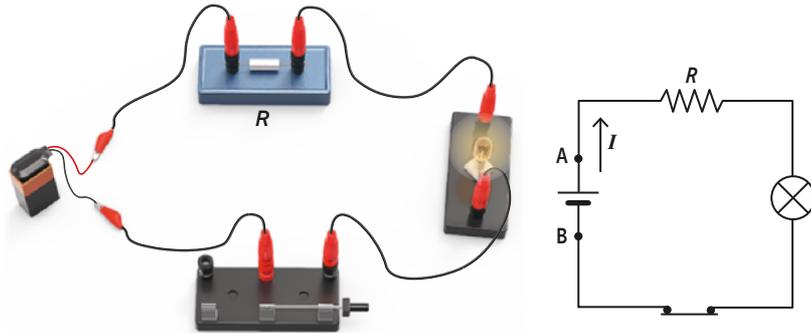


Fig. 37 Circuito com um gerador de corrente contínua, uma resistência R , uma lâmpada e um interruptor.

No circuito exterior ao gerador de corrente, os portadores de carga elétrica perdem energia ao atravessarem a resistência R e a lâmpada (os fios de ligação praticamente não perdem energia, pois a sua resistência é considerada desprezável), que é dissipada por **efeito Joule**.

No interior do gerador de corrente contínua, os portadores de carga elétrica (positiva) deslocam-se de B para A, adquirindo uma energia elétrica que é depois transferida ao circuito elétrico. O aumento de energia elétrica dos portadores de carga elétrica no gerador de corrente é conseguido à custa da energia química (nos geradores eletroquímicos); o gerador realiza trabalho sobre os portadores de carga elétrica.

Os **geradores de corrente elétrica** são dispositivos capazes de manter uma tensão elétrica entre os seus terminais.

Como os **geradores de corrente elétrica** têm **resistência interna**, **dissipam energia por efeito Joule**. Logo, a energia dos portadores de carga elétrica no circuito exterior é inferior à energia transformada no gerador.

Força eletromotriz de um gerador de corrente contínua

Quando dizemos que uma pilha é de 9 V (Fig. 38), estamos a referir-nos à sua **força eletromotriz**, o que significa que a pilha com a força eletromotriz de 9 V transforma 9 J de energia química em energia elétrica, por cada unidade de carga elétrica (coulomb) que a atravessa.

A designação “força eletromotriz” não se refere a uma força, mas sim a uma energia por unidade de carga elétrica.



Fig. 38 A força eletromotriz da pilha é 9 V.

A **força eletromotriz**, ε , de um gerador de corrente contínua, é a energia que o gerador transforma em energia elétrica por unidade de carga elétrica que o atravessa.

$$\varepsilon = \frac{E_g}{q}$$

A **unidade SI** de **força eletromotriz** é o **volt, V**.

A **força eletromotriz de um gerador de corrente contínua** pode medir-se ligando diretamente os polos do gerador a um voltímetro (Fig. 39).



Fig. 39 Um voltímetro ligado diretamente aos polos de um gerador de corrente contínua mede a sua força eletromotriz.

Consideremos, agora, uma pilha intercalada num circuito constituído por uma resistência R , uma lâmpada, um interruptor e fios de ligação. Se nesse circuito (Fig. 40) ligarmos um **voltímetro** aos polos da pilha, o voltímetro **indicará** uma **tensão inferior** ao valor da força eletromotriz da pilha.

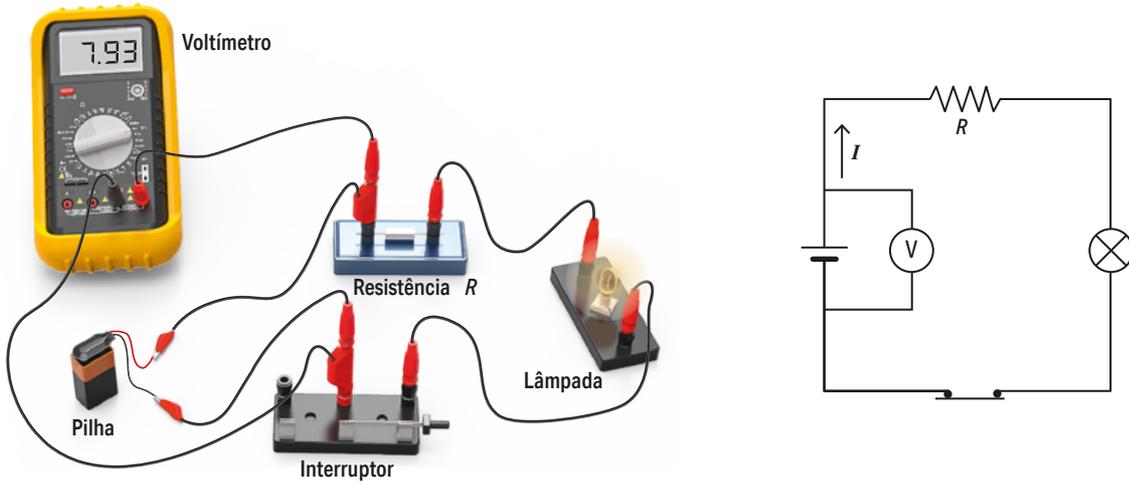


Fig. 40 Voltímetro ligado aos terminais de uma pilha intercalada num circuito elétrico fechado.

Tal facto permite concluir que só parte da energia transformada na pilha é transferida para o circuito exterior. A energia "perdida" é a energia dissipada na própria pilha, por efeito Joule, devido à sua **resistência interna**.

Só um **gerador ideal**, isto é, com resistência interna nula, é capaz de manter, nos terminais do circuito exterior, uma tensão elétrica igual à sua força eletromotriz.

As **características de um gerador** de corrente elétrica contínua são a força eletromotriz, ϵ , e a resistência interna, r .

Com efeito, a **tensão elétrica, U , nos terminais de um gerador de força eletromotriz, intercalado num circuito, depende** da sua **resistência interna** e da **corrente elétrica** que percorre o circuito. O seu valor é dado pela expressão:

$$U = \epsilon - rI$$

A função $U = f(I)$ designa-se por **curva característica do gerador**. Na **figura 41** podemos ver a sua representação gráfica. A ordenada na origem é a força eletromotriz, ϵ , e o módulo do declive da reta é a resistência interna, r , do gerador.

- Em **circuito aberto**, é $I = 0$. Logo, $U = \epsilon$, isto é, a tensão elétrica nos terminais de um gerador de corrente contínua é igual à sua força eletromotriz.
- Em **circuito fechado**, como $I \neq 0$, tem-se $U < \epsilon$, isto é, a tensão elétrica nos terminais de um gerador de corrente contínua é inferior à sua força eletromotriz.

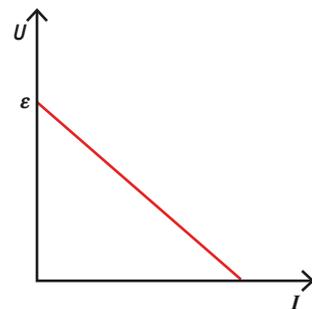
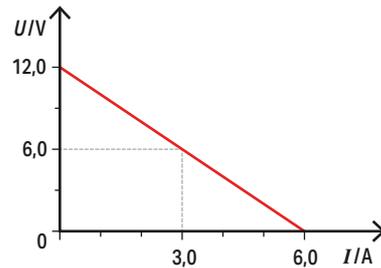
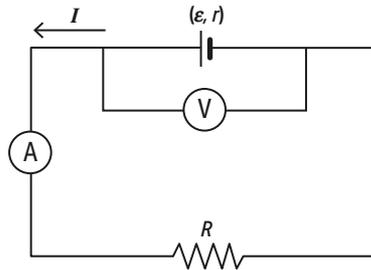


Fig. 41 Gráfico da curva característica de um gerador.

Exercício resolvido

- 9 O gráfico da figura representa a curva característica de um gerador de corrente contínua quando se encontra ligado, num circuito elétrico, a uma resistência óhmica, R , de $6,0 \Omega$.



- 9.1 Indica os valores medidos pelo amperímetro e pelo voltímetro, intercalados no circuito elétrico, com o interruptor aberto.
- 9.2 Indica, justificando, a força eletromotriz do gerador de corrente contínua.
- 9.3 Determina a resistência interna do gerador de corrente contínua.

Resolução:

- 9.1. O amperímetro indicará $I = 0 \text{ A}$, pois o circuito está aberto; não passa corrente elétrica. O voltímetro indicará, de acordo com o gráfico da curva característica, $U = 12,0 \text{ V}$.
- 9.2. Sendo $U = \varepsilon - rI$, quando o interruptor está aberto, é $I = 0 \text{ A}$ e, conseqüentemente, $U = \varepsilon$. Portanto, a força eletromotriz do gerador de corrente contínua é $\varepsilon = 12,0 \text{ V}$.
- 9.3. A expressão $U = \varepsilon - rI$ corresponde à curva característica de um gerador de corrente contínua e é uma função linear, $U = f(I)$, em que o módulo do declive da reta que se obtém no gráfico é a resistência interna, r , do gerador.

$$\text{Então, } U = \varepsilon - rI \Leftrightarrow r = \frac{\varepsilon - U}{I}.$$

$$\text{Substituindo pelos valores retirados do gráfico, tem-se: } r = \frac{12,0 - 6,0}{3,0} \Leftrightarrow r = 2,0 \Omega.$$

Balanço da energia num circuito elétrico

Pela **Lei da Conservação da Energia**, a **energia transformada num gerador de corrente contínua em energia elétrica, E_g** , é igual à soma da energia elétrica que o gerador fornece ao circuito exterior, **energia útil, E_u** , com a **energia dissipada**, por efeito Joule, no seu interior.

$$E_g = E_u + E_d$$

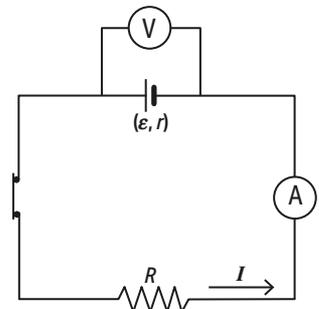


Fig. 42 Circuito com um gerador de corrente contínua e uma resistência elétrica.

Energia do gerador, E_g

A força eletromotriz, ε , de um gerador de corrente contínua é dada pela expressão:

$$\varepsilon = \frac{E_g}{q}$$

Sendo $q = I\Delta t$, tem-se:

$$E_g = \varepsilon I \Delta t$$

que é a expressão da **energia do gerador, E_g , que é a energia que o gerador transforma** em energia elétrica.

Energia útil, E_u

A **energia útil, E_u** , que é a energia fornecida pelo gerador ao circuito exterior, é dada pela expressão:

$$E_u = UI \Delta t$$

onde U é a tensão elétrica nos terminais do gerador.

Energia dissipada no gerador, E_d

Como o gerador de corrente contínua tem resistência interna, r , parte da energia que o gerador transforma é dissipada, por efeito Joule, no próprio gerador. Logo,

$$E_d = r I^2 \Delta t$$

Se dividirmos as expressões anteriores por Δt , obtêm-se as **expressões correspondentes para as potências**.

Potência do gerador, P_g

A **potência do gerador, P_g** , é:

$$P_g = \frac{\varepsilon I \Delta t}{\Delta t} \Leftrightarrow P_g = \varepsilon I \quad (1)$$

Potência útil, P_u

A **potência útil, P_u** , é:

$$P_u = \frac{UI \Delta t}{\Delta t} \Leftrightarrow P_u = UI \quad (2)$$

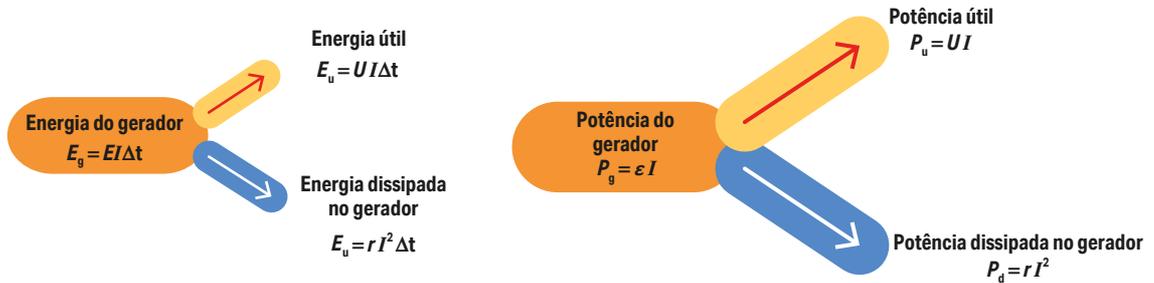
Potência dissipada no gerador, P_d

A **potência dissipada no gerador, P_d** , é:

$$P_d = \frac{r I^2 \Delta t}{\Delta t} \Leftrightarrow P_d = r I^2 \quad (3)$$

Pela Lei da Conservação da Energia, sendo $E_g = E_u + E_d$, também é:

$$P_g = P_u + P_d$$



A **potência de um gerador** de corrente contínua é igual à soma da potência útil com a potência dissipada, no gerador, por efeito Joule.

Se atendermos às expressões anteriores (1), (2) e (3), da página anterior, podemos escrever:

$$\varepsilon I = UI + rI^2 \Leftrightarrow \varepsilon = U + rI \Leftrightarrow U = \varepsilon - rI$$

Esta expressão, que já tínhamos visto na página 53, dá-nos a **tensão elétrica nos terminais do gerador**, tendo em conta as suas características, ε e r .

Num circuito elétrico com um gerador de corrente contínua e uma resistência elétrica, R , tem-se que $P_u = RI^2$.

Pela Lei da Conservação da Energia, podemos escrever:

$$P_g = P_u + P_d \Leftrightarrow \varepsilon I = RI^2 + rI^2 \Leftrightarrow \varepsilon = RI + rI \Leftrightarrow \varepsilon = I(R + r)$$

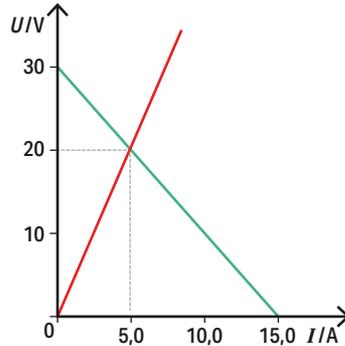
Logo,

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

A **corrente elétrica fornecida a um circuito, por um gerador** de corrente contínua, de força eletromotriz ε , depende da resistência total do circuito (resistência elétrica exterior somada com a resistência interna do gerador).

Exercício resolvido

- 10 O gráfico da figura representa as curvas características de um gerador de corrente contínua e de uma resistência elétrica.



- 10.1 Calcula a resistência elétrica ôhmica.
- 10.2 Indica o valor da força eletromotriz do gerador de corrente contínua.
- 10.3 Determina a resistência interna do gerador.
- 10.4 Calcula a corrente elétrica que se estabelece no circuito quando se liga esta resistência elétrica aos terminais do gerador de corrente contínua.

Resolução:

- 10.1. Sendo $R = \frac{U}{I}$, tem-se, recorrendo a valores retirados do gráfico:

$$R = \frac{20}{5,0} \Leftrightarrow R = 4,0 \Omega.$$

- 10.2. Uma vez que $U = \varepsilon - rI$, para $I = 0$, é $U = \varepsilon$. Portanto, a força eletromotriz do gerador é $\varepsilon = 30 \text{ V}$.

- 10.3. A resistência interna do gerador é igual ao módulo do declive da reta no gráfico da curva característica do gerador.

Então, tem-se:

$$r = \frac{30}{15,0} \Leftrightarrow r = 2,0 \Omega.$$

- 10.4. Num circuito elétrico, com um gerador de corrente contínua e uma resistência elétrica, R , a corrente elétrica pode ser calculada pela expressão:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}.$$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$I = \frac{30}{4,0 + 2,0} \Leftrightarrow I = 5,0 \text{ A}.$$

Atividade Laboratorial 1: Características de uma pilha

Material e equipamento por grupo de trabalho

- Uma pilha de 9 V
- Amperímetro e voltímetro
- Fios de ligação e crocodilos
- Interruptor
- Reóstato



Antes de começar, tem em atenção que...

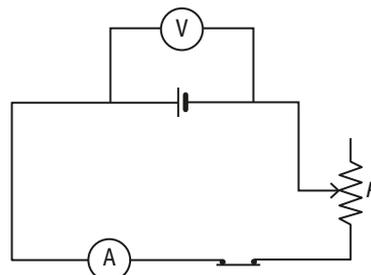
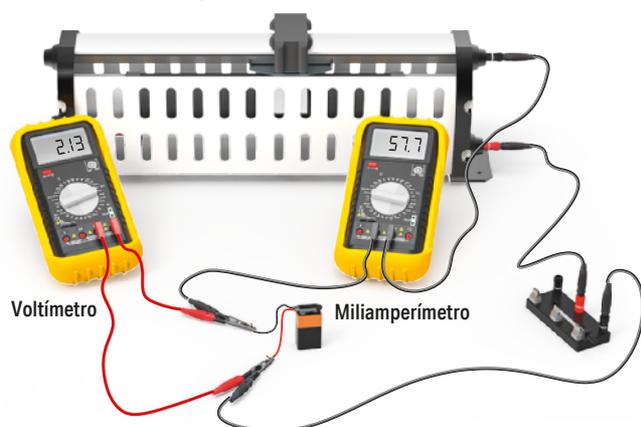
- É necessário **medir a tensão nos terminais da pilha** (força eletromotriz) **antes** de a intercalar no circuito e **depois** de a desligar do circuito, no final da atividade.
- Deves **registar a incerteza dos aparelhos de medida** utilizados.
- Deves **registar o alcance e a sensibilidade dos aparelhos de medida**.
- O cursor do reóstato deve, inicialmente, ser colocado na posição de resistência máxima.
- **Antes de ligares o amperímetro**, deves calcular o valor (aproximado) da corrente elétrica que esperas obter, para selecionar a escala adequada, de modo a não danificar o aparelho.
- Deves exprimir as medidas com o **número correto de algarismos significativos**.
- O **resultado de uma medição direta** deve ser expresso em função do **valor mais provável e da incerteza absoluta ou da incerteza relativa**.
- Para **construir os gráficos** da tensão elétrica nos terminais da pilha em função da corrente elétrica (curva característica), deves **recorrer à calculadora gráfica** (ou equivalente) e traçar a reta que melhor se ajusta aos dados experimentais e obter a sua equação.
- Deves **manipular com cuidado e correção todo o equipamento**.
- Deves **cumprir as regras gerais de conduta no laboratório**.

Registos a efetuar

Tensão elétrica nos terminais da pilha U / V	Corrente elétrica I / mA	Corrente elétrica I / A	Resistência exterior $\left(R = \frac{U}{I}\right)$ R / Ω	Potência fornecida pela pilha $(P_u = UI)$ P_u / W
×	×	×	×	×
Força eletromotriz da pilha antes dos ensaios: $\varepsilon = \underline{\quad \times \pm \times \quad}$				
Força eletromotriz da pilha depois dos ensaios: $\varepsilon = \underline{\quad \times \pm \times \quad}$				

Procedimento experimental

- Faz a montagem experimental de acordo com a figura e mede a tensão nos terminais da pilha (força eletromotriz) antes de a intercalar no circuito.

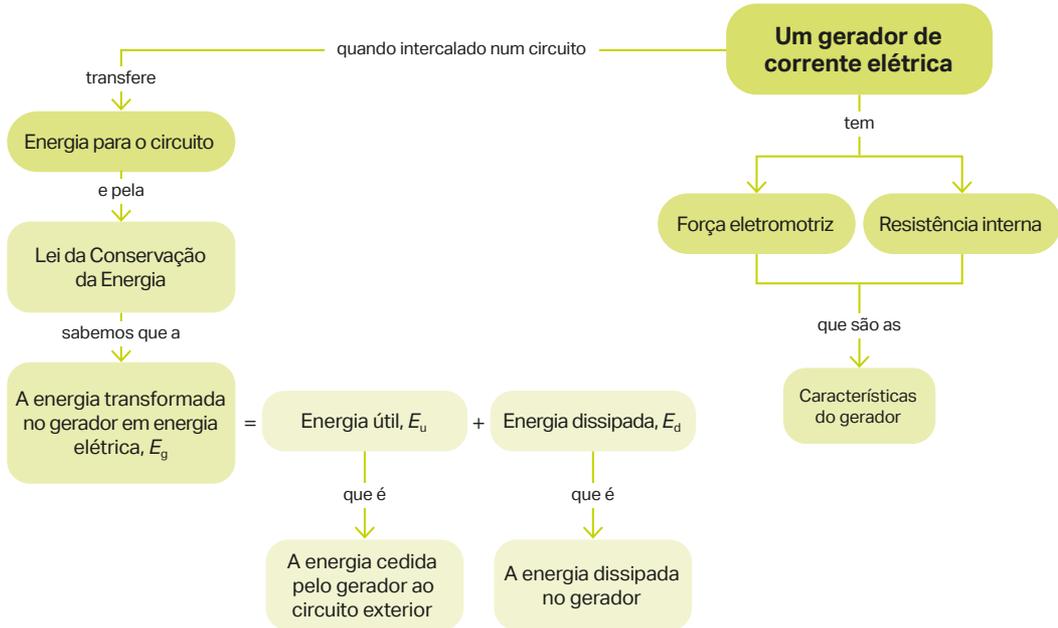


- Monta o circuito elétrico de acordo com o esquema da figura.
- Antes de ligares o amperímetro ao circuito, calcula, aproximadamente, o valor da corrente elétrica que esperas obter, de modo a escolher adequadamente a escala, sem danificar o aparelho.
- Regista a incerteza dos aparelhos de medida utilizados.
- Constrói, no teu caderno diário, uma tabela semelhante à que se apresenta, na qual deves registar as medições diretas que vais fazendo (ver **Registos a efetuar**).
- Liga o circuito.
- Varia o valor da resistência elétrica, R , com o cursor do reóstato e mede, para cada caso, o valor da tensão elétrica nos terminais da pilha e a corrente elétrica que percorre o circuito. Deves evitar que R seja nulo (curto-circuito), o que produziria uma corrente muito elevada e eventual destruição da pilha.
- Regista, na tabela, os valores da tensão elétrica e da corrente elétrica medidos.
- Desliga o circuito, utilizando o interruptor.
- Retira a pilha do circuito e mede, novamente, a tensão elétrica nos seus terminais (força eletromotriz).

Exploração dos resultados

- Constrói e interpreta os gráficos da tensão elétrica nos terminais da pilha em função da corrente elétrica (curva característica).
- Traça as retas que melhor se ajustam aos dados experimentais e obtém a sua equação.
- Determina a força eletromotriz e a resistência interna da pilha a partir da equação da reta de ajuste.
- Compara a força eletromotriz da pilha nova com a força eletromotriz da pilha depois de usada.
- Indica possíveis causas de erros (aleatórios ou sistemáticos) durante a realização do trabalho laboratorial.
- Elabora um relatório sobre o trabalho laboratorial que realizaste.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **força eletromotriz**, ε , de um gerador é a energia que o gerador transforma em energia elétrica por unidade de carga elétrica que o atravessa.

$$\varepsilon = \frac{E_g}{q}$$

- A **tensão elétrica**, U , nos terminais de um gerador de força eletromotriz, ε , e resistência interna, r , quando atravessado pela corrente elétrica, I , é dada pela expressão:

$$U = \varepsilon - rI$$

- **Em circuito fechado**, é $U < \varepsilon$ e, **em circuito aberto**, é $I = 0$.
- O **gráfico da função $U = f(I)$** designa-se por **curva característica do gerador**.
- A **potência de um gerador**, P_g , é igual à soma da potência útil, P_u , com a potência dissipada, P_d , no gerador – Lei da Conservação da Energia.

$$P_g = P_u + P_d$$

onde $P_g = \varepsilon I$, $P_u = UI$ e $P_d = rI^2$

- A **corrente elétrica fornecida a um circuito, por um gerador** de corrente contínua, de força eletromotriz ε , depende da resistência total do circuito (resistência elétrica exterior somada com a resistência interna do gerador).

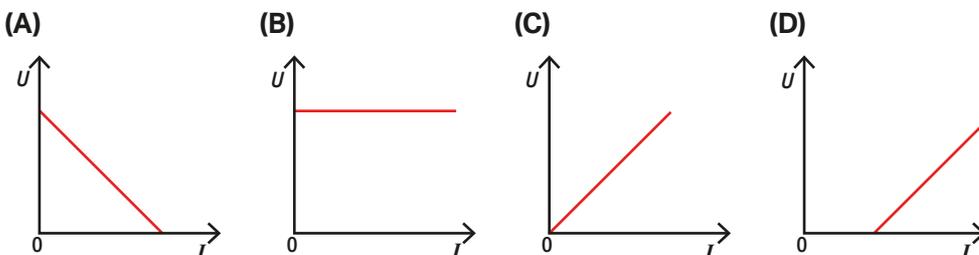
$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}$$

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das afirmações seguintes:
- (A) Um gerador eletroquímico é um gerador que transforma qualquer tipo de energia em energia elétrica.
- (B) Por convenção, a corrente elétrica circula no circuito elétrico (circuito exterior) do polo (+) para o polo (-).
- (C) A corrente elétrica obtida nas pilhas e baterias é uma corrente contínua.
- (D) O sentido convencional da corrente elétrica é o sentido do movimento dos portadores de carga elétrica negativos.

- 2** Selecciona a opção que completa corretamente a seguinte frase:
Um gerador, num circuito elétrico,
- (A) cria cargas elétricas.
- (B) cria portadores de carga elétrica.
- (C) fornece energia às cargas elétricas que o atravessam.
- (D) retira o excesso de energia às cargas elétricas que o atravessam.

- 3** Dos gráficos seguintes, $U = f(I)$, indica:



- 3.1.** o que traduz a relação entre a tensão elétrica nos terminais de um gerador, com resistência interna nula (gerador ideal), e a corrente elétrica, I , que circula no circuito elétrico;
- 3.2.** o que traduz a relação entre a tensão elétrica nos terminais de um gerador, de resistência interna não nula, e a corrente elétrica, I , que circula no circuito elétrico;
- 3.3.** o que traduz a relação entre a tensão elétrica nos terminais de uma resistência ôhmica (a temperatura constante) e a corrente elétrica, I , que a percorre.

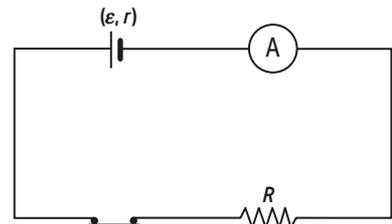
- 4** Uma pilha ($\varepsilon = 6,0 \text{ V}$ e $r = 2,0 \Omega$) encontra-se ligada num circuito com condutores puramente resistivos de resistência equivalente R . Calcula:

- 4.1.** a corrente elétrica no circuito, sabendo que o valor da resistência elétrica equivalente R é 98Ω ;
- 4.2.** a tensão elétrica nos terminais do gerador no circuito elétrico fechado.

5 Indica as afirmações verdadeiras.

- (A) Quando dizemos que uma pilha é de 9,0 V, estamos a referir-nos à sua força eletromotriz.
- (B) A unidade de força eletromotriz, no Sistema SI, é o ohm.
- (C) A força eletromotriz de um gerador é a energia que o gerador transfere por unidade de tempo.
- (D) A força eletromotriz de um gerador é igual à tensão elétrica nos seus terminais em circuito aberto.
- (E) Cada gerador elétrico tem uma força eletromotriz característica.

6 O circuito da figura é constituído por um gerador de corrente contínua, ligado a um condutor puramente resistivo ($R = 20 \Omega$) e a um amperímetro que marca 200 mA.



Determina:

- 6.1.** a tensão elétrica nos terminais do gerador;
- 6.2.** a resistência interna do gerador, sabendo que a potência dissipada no gerador é 0,040 W;
- 6.3.** a força eletromotriz do gerador.

7 Um condutor puramente resistivo, com uma resistência elétrica de 20Ω , foi ligado a um gerador de corrente com $\varepsilon = 15 \text{ V}$ e $r = 2,5 \Omega$.

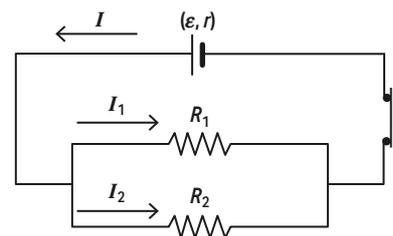
Determina:

- 7.1.** a corrente elétrica que percorre o circuito;
- 7.2.** a potência dissipada no condutor puramente resistivo;
- 7.3.** a energia elétrica dissipada no condutor resistivo, em 2 minutos.

8 Observa o circuito elétrico esquematizado na figura.

Sabendo que $\varepsilon = 30 \text{ V}$, $R_1 = R_2 = 4,0 \Omega$, $r = 1,0 \Omega$ e $I_1 = 5,0 \text{ A}$, determina:

- 8.1.** o valor da corrente elétrica que percorre o circuito principal;
- 8.2.** a tensão elétrica nos terminais do gerador em circuito aberto;
- 8.3.** a tensão elétrica nos terminais do gerador no circuito fechado;
- 8.4.** a potência total dissipada nas resistências elétricas R_1 e R_2 ;
- 8.5.** a potência útil do gerador;
- 8.6.** a potência do gerador.



2

Subtema 2.1. Sistema termodinâmico. Temperatura e equilíbrio térmico

- Compreender os processos de transferência de energia em sistemas termodinâmicos.

Subtema 2.2. Transferências de energia por calor

- Distinguir transferências de energia sob a forma de calor (condução e convecção), de radiação e de trabalho.

Subtema 2.3. Interação radiação-matéria

- Compreender que todos os corpos, à temperatura ambiente, emitem radiação na zona do infravermelho, dando exemplos de aplicação.

Subtema 2.4. Condutividade térmica

- Explicar fenômenos do dia a dia utilizando balanços energéticos.

Energia, fenômenos térmicos e radiação

- 2.1. Sistema termodinâmico. Temperatura e equilíbrio térmico
- 2.2. Transferências de energia por calor
- 2.3. Interação radiação-matéria
- 2.4. Condutividade térmica
- 2.5. Capacidade térmica mássica e variação de entalpia
- 2.6. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica

Subtema 2.5. Capacidade térmica mássica e variação de entalpia

- Resolver problemas de balanços energéticos, envolvendo os conceitos de capacidade térmica mássica e de variação de entalpia mássica de transição de fase, explicitando argumentos e raciocínios.
- Atividade Laboratorial – Capacidade térmica mássica.
- Atividade Laboratorial – Balanço energético de uma mistura de água (líquida) e gelo e determinação da entalpia de fusão do gelo

Subtema 2.6. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica

- Compreender e aplicar a Primeira Lei da Termodinâmica.
- Compreender que os processos que ocorrem espontaneamente na Natureza se dão sempre no sentido da diminuição da energia útil.
- Compreender e calcular o rendimento de um processo, interpretando a degradação de energia com base na Segunda Lei da Termodinâmica, analisando a responsabilidade individual e coletiva na utilização sustentável de recursos.

Ponto de partida

Tal como vimos no 10.º ano, a energia, enquanto grandeza física presente em todos os fenómenos da Natureza, manifesta-se sob diversas formas: química, mecânica, térmica, luminosa, nuclear, entre outras. Todo o progresso, industrialização, transportes e conforto dependem da sua utilização.

Vimos, também, no 10.º ano, que:

- qualquer sistema tem energia (interna);
- a energia (interna) associada a um sistema não isolado pode ser em parte transferida para outro sistema;
- quando a energia se transfere entre sistemas, a energia total conserva-se globalmente, de acordo com a Lei da Conservação da Energia, uma das leis fundamentais da ciência;
- neste subtema são abordadas as manifestações de energia em sistemas termodinâmicos.
- nestas páginas vais encontrar alguns exemplos dos contextos deste subtema...



... no estudo dos sistemas termodinâmicos, sistemas complexos com elevado número de partículas, como, por exemplo, de um automóvel...



... no estudo das transferências de energia por calor, como, por exemplo, as que ocorrem num motor de combustão de um automóvel...



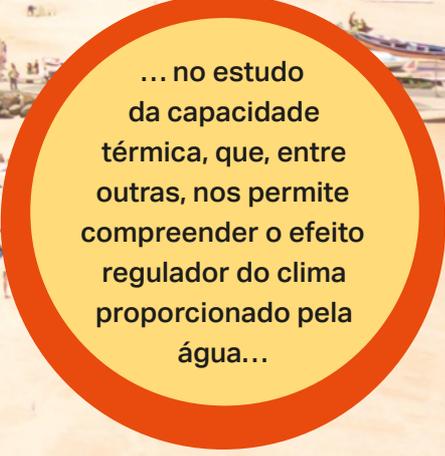
... no estudo da interação radiação-matéria, que veio permitir a construção de painéis fotovoltaicos, cada vez mais imprescindíveis para a obtenção de energia elétrica "mais limpa" ...



... no estudo da condutividade térmica, que contribuiu, entre outras aplicações, para a construção de coletores solares para aquecimento de água, permitindo um melhor aproveitamento da radiação solar...



... no estudo das Leis da Termodinâmica, presentes na concepção de máquinas térmicas, como a máquina a vapor, na origem da Revolução Industrial, ou o motor de um automóvel...



... no estudo da capacidade térmica, que, entre outras, nos permite compreender o efeito regulador do clima proporcionado pela água...

... e muito mais, nas páginas que se seguem.

2.1. Sistema termodinâmico. Temperatura e equilíbrio térmico

Sistema, fronteira e vizinhança

Vimos já que, em Física, um **sistema** é um corpo ou conjunto de corpos em estudo. Ao conjunto formado pelo **sistema** e pela sua **vizinhança** ou meio exterior, dá-se o nome de **universo**.

Um sistema separa-se da sua vizinhança ou meio exterior pela **fronteira**. Esta pode ser **real** ou **imaginária**.

Por exemplo, se o sistema em estudo for a **Lua**, a **fronteira** é **real**, pois corresponde à superfície que a delimita em relação à sua vizinhança, que é o Espaço exterior com todos os outros astros do Universo.

Mas se o **sistema** em estudo for **a Terra juntamente com a Lua (Fig. 1)**, a **fronteira** aqui é **imaginária**, pois não há uma superfície de separação definida entre o sistema e a vizinhança, embora saibamos que a vizinhança do sistema é o Espaço exterior com todos os outros astros do Universo.



Fig. 1A Sistema-vizinhança.



Fig. 1B Sistema Terra e Lua.

Sistemas abertos, fechados e isolados

De acordo com as características das fronteiras, os **sistemas** podem ser **abertos**, **fechados** ou **isolados**.

Sistema aberto – é um sistema em que **a fronteira permite troca de matéria e de energia com a vizinhança**. Por exemplo, um refrigerante de cola contido num copo é um sistema aberto porque troca matéria com a vizinhança (liberta CO_2 para a atmosfera) e energia por calor (há transferência de energia do ar para o copo e bebida com gelo, que aquecem).



Sistema fechado – é um sistema em que **a fronteira não permite troca de matéria** com a vizinhança, mas **permite troca de energia**. Por exemplo, o sumo de frutas contido numa embalagem fechada é um sistema fechado porque a embalagem não permite troca de matéria com a vizinhança (foi fechada hermeticamente para preservar o conteúdo), mas permite troca de energia por calor (não é feita com materiais termicamente isolados).

Sistema isolado – é um sistema em que **a fronteira não permite troca de matéria nem de energia** com a vizinhança. Por exemplo, uma bebida quente dentro de um copo térmico (fronteira) é um sistema praticamente isolado porque não permite troca de matéria nem de energia por calor com a vizinhança (a embalagem é feita de materiais isolantes, com baixa condutividade térmica)..



Se um sistema for isolado, a sua energia interna mantém-se constante.

Na prática, é difícil **evitar-se a troca de energia com a vizinhança**. Os sistemas “isolados” só o são aproximadamente. Por exemplo, uma bebida quente dentro de um copo térmico só se conserva quente durante algum tempo; acaba por arrefecer, pois há troca de energia por calor entre o sistema e a vizinhança. O mesmo se passa com outros recipientes térmicos. O único **exemplo de sistema verdadeiramente isolado**, em que a energia total permanece constante, é o **Universo**. Sendo o **Universo constituído por tudo o que existe fisicamente (Fig. 2)**, não pode trocar matéria nem energia com uma vizinhança que não tem.

A quantidade total de massa/energia que hoje existe no Universo é a mesma que sempre existiu, desde a sua origem, e continuará a ser a mesma ao longo dos anos.

Um **sistema isolado** é um sistema que não troca matéria nem energia com a vizinhança; a sua energia mantém-se constante.



Fig. 2 Sendo o Universo constituído por tudo o que existe fisicamente, é um sistema isolado.

Nos **sistemas não isolados**, há **transferência de energia** por **interação entre sistemas**, isto é, entre um sistema e a sua vizinhança (outros sistemas com os quais pode interagir). Um **sistema** pode **receber** ou **ceder energia** à sua vizinhança. O sistema de onde provém a energia designa-se por **fonte** (por exemplo, o Sol, o vento, o carvão e o petróleo) e o(s) outro(s) sistema(s) para onde a energia é transferida designa(m)-se por **recetor(es)** (por exemplo, as lâmpadas, os telemóveis, os frigoríficos e os motores de automóveis). A **fonte cede energia** e os **recetores recebem energia**.

Fonte de energia

Transferência de energia

Recetor(es) de energia

Quando a energia se transfere entre sistemas, estando o conjunto isolado, a energia total conserva-se globalmente.

Sistema termodinâmico

Vimos já que todos os sistemas possuem **energia interna**, E_{int} , pelo facto de serem constituídos por partículas.

A **energia interna** de um sistema é a energia que está associada à energia cinética de todas as partículas que constituem o sistema e à energia potencial devida às interações entre todas essas partículas.

$$E_{\text{int}} = E_c (\text{partículas do sistema}) + E_p (\text{partículas do sistema})$$

Sabemos que, num **sistema físico**, constituído por um **número muito elevado de partículas**, em agitação térmica desordenada, que interagem e trocam energia com o exterior, a energia interna pode sofrer variações; o sistema é, neste caso, designado por **sistema termodinâmico**. Devido ao elevado número de partículas, um sistema termodinâmico não pode ser estudado microscopicamente através da aplicação das leis de Newton a cada uma das partículas que o compõem.

Um **sistema termodinâmico** é um sistema em que se tem em conta a sua energia interna; é constituído por um número muito elevado de partículas.

Por exemplo, quando uma **nave espacial (Fig. 3)** regressa do Espaço, ao entrar na atmosfera terrestre, há um aquecimento muito grande dos materiais que a revestem, podendo mesmo incendiar, devido ao atrito entre a nave espacial e a atmosfera. Enquanto as energias cinética e potencial gravítica da nave diminuem, a sua energia interna aumenta. A nave espacial é um exemplo de um **sistema termodinâmico**.

Fig. 3 A nave espacial, ao entrar na atmosfera terrestre, é um exemplo de um sistema termodinâmico.

Temperatura e equilíbrio térmico

A **temperatura** é uma propriedade que se relaciona com as sensações de quente e de frio, que são subjetivas.

Por exemplo, a **água de uma tina, à temperatura ambiente (Fig. 4)**, pode parecer-nos quente depois de termos colocado as mãos em água fria e pode parecer-nos fria se as tivermos colocado previamente em água quente, mas **a temperatura da água nas duas situações é a mesma.**



Fig. 4 As sensações de quente e de frio são uma medida subjetiva da temperatura.

Para determinar a temperatura da água da tina, podemos utilizar um **termómetro**. Colocando-o em contacto com a água, aguarda-se até que seja atingido o **equilíbrio térmico**, que ocorre quando a temperatura indicada pelo termómetro é igual à temperatura da água.

Considera, agora, **dois sistemas, A e B, a temperaturas diferentes**, que são **postos em contacto** através de uma parede condutora térmica (**Fig. 5**). As outras paredes são isoladoras térmicas.

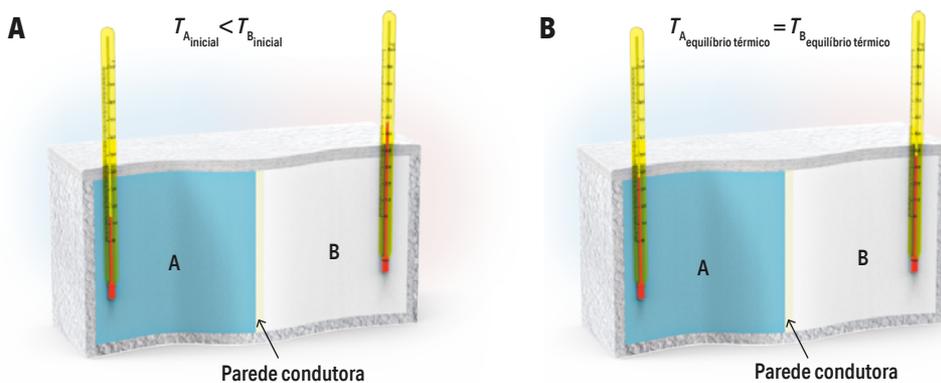


Fig. 5 A Sistemas em contacto a temperaturas diferentes; **B** Sistemas em equilíbrio térmico.

A parede condutora térmica permite a **passagem de energia do sistema B**, que se encontra a uma **temperatura mais elevada, para o sistema A**, que se encontra a **temperatura mais baixa.**

A experiência mostra que as temperaturas dos dois termômetros começam a aproximar-se e que, **ao fim de algum tempo**, os dois termômetros marcam a **mesma temperatura**. Atingiu-se o **equilíbrio térmico**.

A **temperatura** é uma propriedade que determina se um sistema está ou não em equilíbrio térmico com outros.

Dois corpos em **equilíbrio térmico** entre si estão à mesma temperatura.

Interpretação microscópica de temperatura

As **partículas** constituintes de um sistema estão em permanente agitação, possuindo, por isso, **energia cinética**. A **temperatura** de um sistema é tão **mais elevada** quanto **maior** for a **energia cinética média** das suas partículas.

Na **figura 6** podemos ver **dois gobelés, A e B**, com a **mesma quantidade de água**, mas a **temperaturas diferentes**.

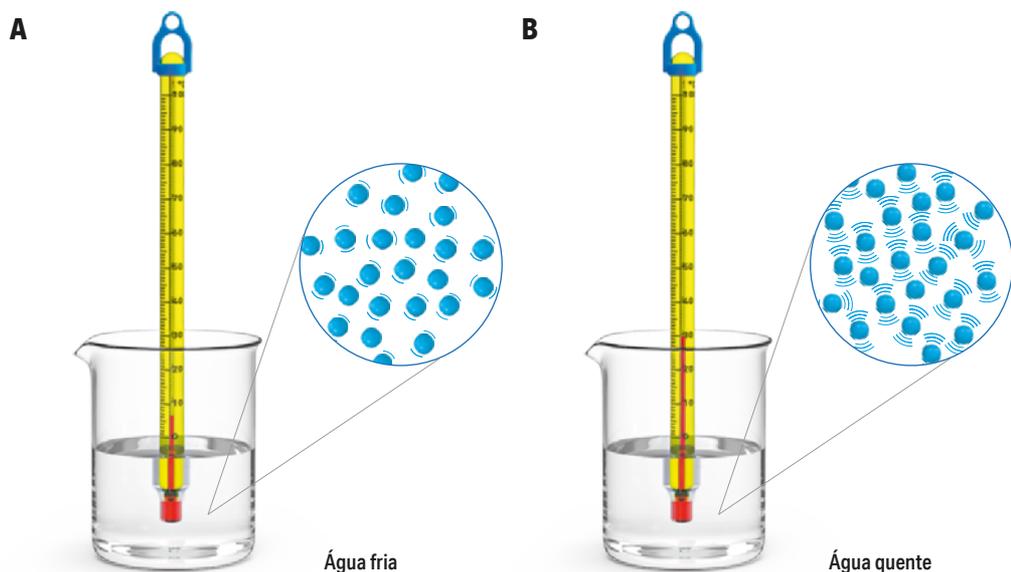


Fig. 6 No gobelé B, a agitação das partículas da água é maior.

Como **no gobelé B** a **agitação das partículas** (moléculas) da água é **maior**, a **temperatura** da água, em B, é **maior** do que em A.

A **energia transferida** para um sistema **pode**, portanto, **aumentar** a energia cinética das suas partículas, ou seja, a sua **agitação térmica**. Este processo é acompanhado de um **aumento de temperatura**, pois a **temperatura** é **diretamente proporcional** à **energia cinética** média (de translação) das partículas do sistema.

Um **aumento de temperatura** de um sistema equivale a um aumento da energia cinética média das suas partículas.

Energia interna e temperatura

A **energia interna de um sistema** está associada à energia cinética de todas as partículas e à energia potencial devida às interações entre essas partículas. Assim, a **energia interna** de um sistema também se relaciona com a **temperatura**.

Por exemplo, se tivermos **dois copos, A e B, com igual volume de leite** e a **temperatura diferente**, o **copo B**, com leite quente, tem **mais energia interna (Fig. 7)**.

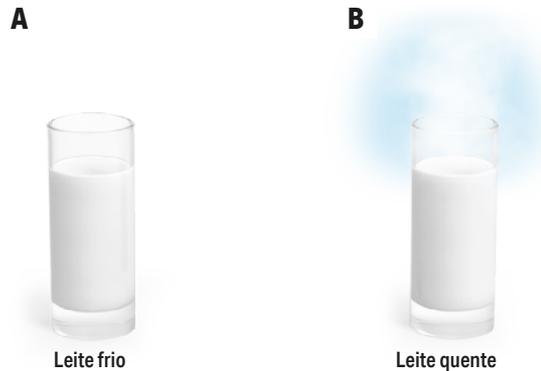


Fig. 7 O copo B, com leite quente, tem mais energia interna do que o copo A, com igual volume de leite frio.

O aumento de **temperatura** de um sistema leva, em geral, a um **aumento da sua energia interna**.

Consideremos, agora, um **copo A com sumo de laranja, à temperatura ambiente (Fig. 8)**. Se **repartirmos igualmente o sumo de laranja por dois copos, como varia a temperatura e a energia interna do sistema?**

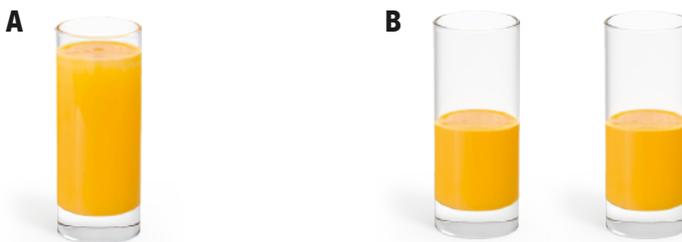


Fig. 8 A temperatura final de cada uma das partes de sumo é igual à temperatura inicial.

- A **temperatura de cada uma das partes de sumo**, em B, é igual à temperatura inicial do sumo no copo A, pois a temperatura não depende do número de partículas do sistema.
- A **energia interna final de cada uma das partes de sumo**, em B, é menor do que a energia interna do sumo do copo, em A. Apesar de a temperatura ser igual, **a quantidade de sumo em cada um dos copos, em B, é menor do que no copo A**. Como o sumo foi dividido em duas partes iguais, a energia interna dos sumos dos copos, em B, é igual e a sua soma é igual à energia interna inicial do sumo do copo A.

A **temperatura** não depende do número de partículas do sistema, mas a **energia interna** depende do número de partículas do sistema.

Termómetros e escalas de temperatura

Os **termómetros** são os dispositivos que utilizamos para **medir temperaturas**. Baseiam-se no facto de a **temperatura** ser uma **propriedade** comum aos **sistemas em equilíbrio térmico**.

A experiência mostra que **certas propriedades dos corpos variam com a temperatura**. Estas propriedades designam-se por **propriedades termométricas**.

Existem **vários tipos de termómetros**, como, por exemplo:



Termómetro de líquido, que utiliza como propriedade termométrica o volume de um líquido, como o álcool corado.



Multímetro com termopar, que utiliza como propriedade termométrica a força eletromotriz.



Termómetro digital de resistência elétrica, que utiliza a variação da resistência elétrica de um material com a temperatura.



Termómetro de cristal líquido, que utiliza cristais líquidos que mudam de cor com a temperatura.



Termómetro de infravermelho, que mede a temperatura por meio da radiação infravermelha emitida por um corpo.

Escalas de temperatura

Para se poder fazer a medição de temperaturas com um termómetro, este tem de ser graduado de acordo com uma **escala de temperatura**.

Escalas de temperatura mais usadas:



Escala Celsius

A **escala de temperatura Celsius** foi proposta pelo físico e astrónomo sueco Anders Celsius (Fig. 9), em meados do século XVIII (1742).

Para graduar um termómetro na escala Celsius, recorre-se a **dois estados de temperatura** bem definidos, os chamados **pontos fixos** (pontos de referência).

Ao estado térmico em que ocorre a **fusão do gelo** (Fig. 10A), à pressão atmosférica normal (primeiro ponto de referência), associa-se a **temperatura de 0 °C**; ao estado térmico em que ocorre a **ebulição da água** (Fig. 10B), à pressão atmosférica normal (segundo ponto de referência), associa-se a **temperatura de 100 °C**.



Fig. 9 Anders Celsius (1701-1744).

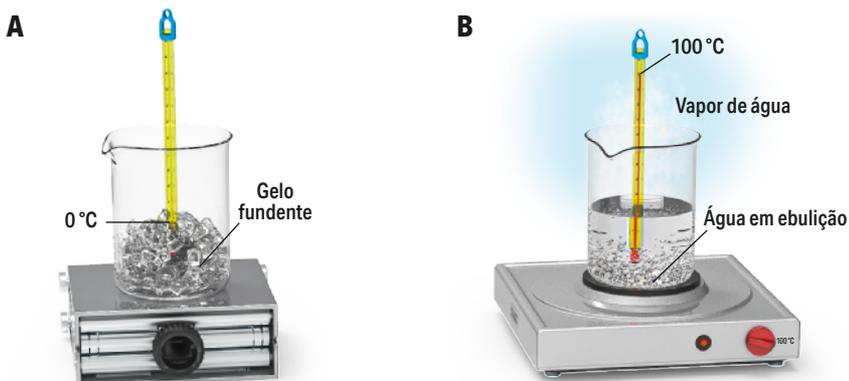


Fig. 10 Determinação dos pontos fixos: **A** reservatório do termómetro em gelo fundente (mistura de gelo e água a 0 °C); **B** reservatório do termómetro em água em ebulição.

O intervalo de temperaturas entre $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ é dividido em 100 partes iguais (Fig. 11), em que cada divisão corresponde a $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (um grau Celsius).

Por ter 100 divisões iguais, é usual dizer-se que a **escala Celsius** é uma escala centígrada ou centesimal.

A **unidade de temperatura na escala Celsius** é o **grau Celsius ($^{\circ}\text{C}$)**, que corresponde à centésima parte do intervalo de temperaturas entre os pontos fixos $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Esta é uma das escalas de temperatura mais usadas. Contudo, na prática, verifica-se um problema na sua utilização. Diferentes termómetros podem indicar temperaturas um pouco diferentes, conforme o comportamento térmico da substância termométrica utilizada.

Escala Kelvin

Com o objetivo de ultrapassar o problema de termómetros graduados em graus Celsius indicarem, por vezes, temperaturas diferentes, foi concebido um **termómetro-padrão**, em que o **valor da temperatura é independente da substância termométrica** utilizada.

A escala definida com este tipo de termómetro é uma **escala absoluta**, isto é, **independente da natureza da substância termométrica**.

Nesta **escala de temperatura absoluta**, o zero da escala é o **zero absoluto**, que é o limite de temperatura mais baixa que se pode atingir. Logo, **nesta escala, todas as temperaturas são positivas**.

O **ponto de referência** considerado para esta escala é o **ponto triplo da água**, que corresponde à temperatura em que **coexistem**, em equilíbrio termodinâmico, **os três estados físicos** – gelo, água líquida e vapor de água (Fig. 12).

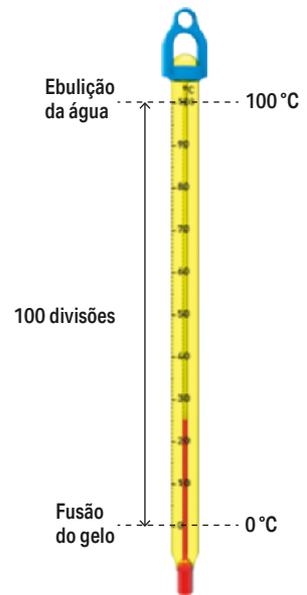


Fig. 11 A unidade de temperatura na escala Celsius é o grau Celsius.



Fig. 12 Sistema fechado onde coexistem, em equilíbrio termodinâmico, gelo, água líquida e vapor de água.

A **unidade SI de temperatura** é o **kelvin**, símbolo **K**, em homenagem ao físico inglês Lord Kelvin (**Fig. 13**), que estabeleceu a **escala de temperatura absoluta** ou **escala Kelvin**.

Nesta escala e à pressão atmosférica normal:

- a **temperatura** correspondente à **fusão do gelo** é **273,15 K**;
- a **temperatura** correspondente à **ebulição da água** é **373,15 K**.

Entre estes dois pontos fixos existem **100 divisões iguais**. Cada divisão corresponde a **1 K** (um kelvin) (**Fig. 14**).

Portanto, a **variação** de temperatura de um kelvin (1 K) é igual à **variação** de temperatura de um grau Celsius (1 °C).

A **unidade de temperatura** na **escala Kelvin** é o **kelvin (K)**. A **variação** de temperatura de um kelvin (1 K) é igual à **variação** de temperatura de um grau Celsius (1 °C).

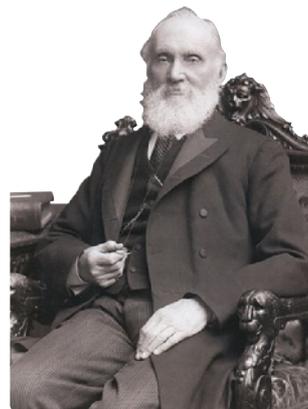


Fig. 13 Lord Kelvin (1824-1907).

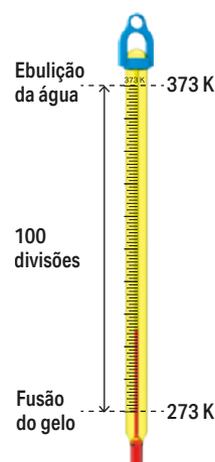


Fig. 14 A unidade de temperatura da escala Kelvin é o kelvin.

Relação entre a escala Celsius e a escala Kelvin

A **relação entre a temperatura na escala Kelvin (T) e a temperatura na escala Celsius (θ ou t)** é a seguinte:

$$T = \theta + 273,15 \quad \text{ou} \quad T = t + 273,15$$

Esta relação mostra que a **diferença entre duas temperaturas em kelvin, T_1 e T_2 , ou em graus Celsius, θ_1 e θ_2 , é expressa pelo mesmo número**.

Por exemplo, a diferença entre as temperaturas de ebulição e de fusão da água é 100 K ou 100 °C, isto é, a diferença entre estas temperaturas é expressa pelo mesmo número; a unidade de temperatura é que difere.

Na **figura 15**, podemos ver que, para um mesmo estado térmico de um líquido termométrico, apenas os valores numéricos da temperatura são diferentes na **escala Celsius e na escala Kelvin (Tabela 1)**.

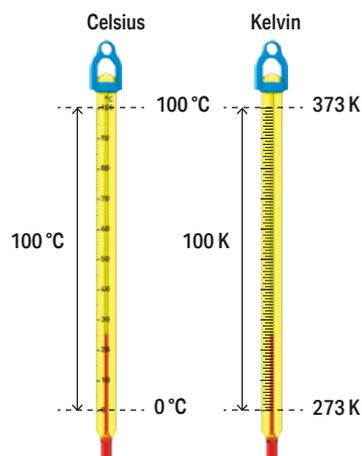


Fig. 15 Escala Celsius e escala Kelvin.

	Escala Celsius	Escala Kelvin
Unidade de temperatura	grau Celsius/ °C	kelvin/ K
Símbolo	θ ou t	T
Temperatura de fusão do gelo (à pressão normal)	0 °C	273,15 K
Temperatura de ebulição da água (à pressão normal)	100 °C	373,15 K
Zero absoluto	- 273,15 °C	0 K

Tabela 1 Comparação entre as escalas Celsius e Kelvin.

Escala Fahrenheit

Em países de tradição anglo-saxónica, utiliza-se a **escala Fahrenheit**, em homenagem ao físico e engenheiro que a propôs, Daniel Gabriel Fahrenheit (1686-1736). Nesta escala, a temperatura de **fusão do gelo** é **32 °F** e a de **ebulição da água** é **212 °F**.

O **intervalo de temperatura** entre estes dois pontos fixos está dividido em **180 partes iguais**.

A **variação de temperatura de 1 K ou de 1 °C corresponde, nesta escala, a 1,8 °F**.

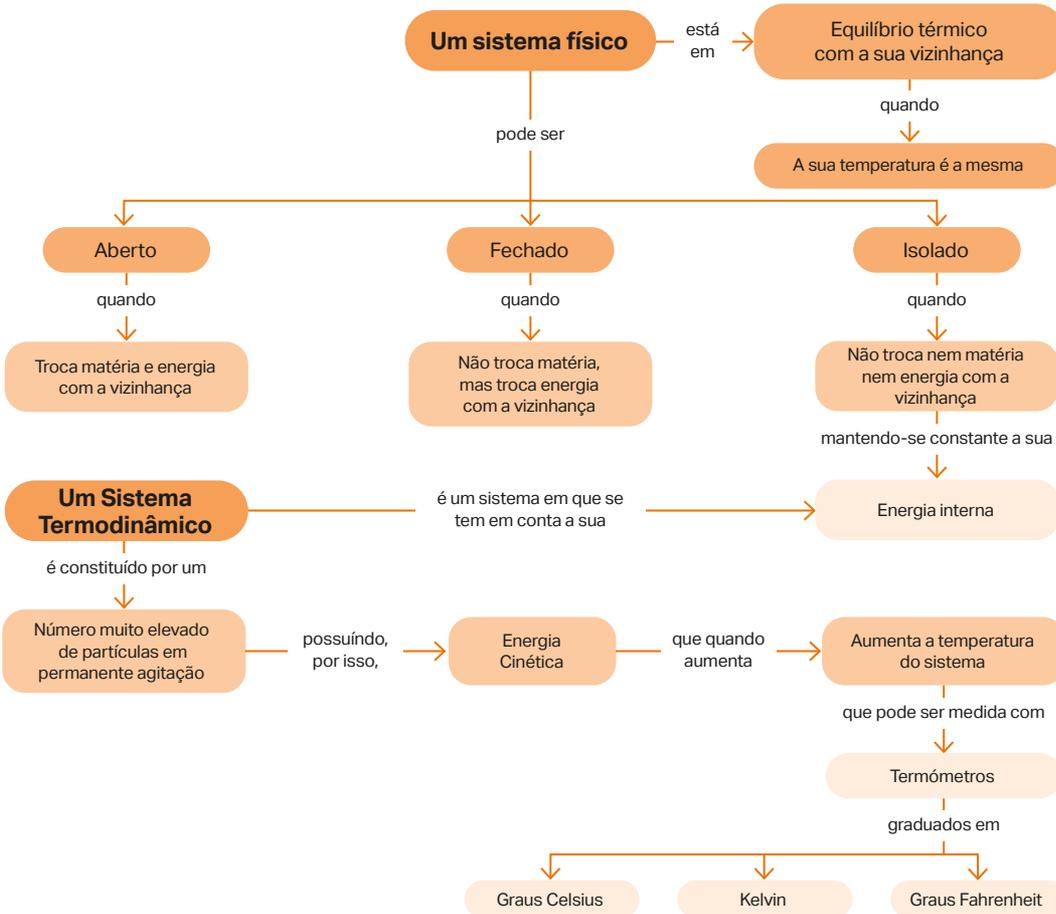
Exercício resolvido

- 1 Colocaram-se, num mesmo recipiente com água, dois termómetros, um graduado em graus Celsius (termómetro A) e outro graduado em kelvin (termómetro B). De seguida, aqueceu-se um pouco a água do recipiente. A elevação de temperatura verificada, no termómetro A, foi 20 °C.
 - 1.1 Qual foi a elevação de temperatura verificada no termómetro B? Justifica.
 - 1.2 Se a temperatura da água fosse 308,15 K, quando se terminou o aquecimento, qual seria a temperatura inicial da água medida no termómetro A?

Resolução:

- 1.1. A elevação de temperatura verificada no termómetro B foi **20 K**, pois a diferença das duas temperaturas em kelvin e em graus Celsius é expressa pelo mesmo número.
- 1.2. Sendo $T = \theta + 273,15$, a temperatura final da água, em graus Celsius, é $308,15 = \theta_f + 273,15 \Leftrightarrow \theta_f = 35 \text{ °C}$. Como a elevação de temperatura foi 20 °C, a temperatura inicial da água, medida no termómetro A, era **15 °C** ($\theta_i = 15 \text{ °C}$).

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Os **sistemas físicos** podem ser **abertos**, **fechados** ou **isolados**.
- **Sistema aberto** – troca **matéria e energia** com a vizinhança.
- **Sistema fechado** – **não troca matéria**, mas **troca energia** com a vizinhança.
- **Sistema isolado** – **não troca matéria nem energia** com a vizinhança.
- Um **sistema termodinâmico** é um sistema em que se tem em conta a sua energia interna; é constituído por um número muito elevado de partículas.
- A **temperatura** é uma propriedade que determina se um sistema está ou não em equilíbrio térmico com outros. Está relacionada com a energia cinética média das partículas.
- **Relação entre a temperatura na escala Kelvin (T) e na escala Celsius (θ ou t):**

$$T = \theta + 273,15 \text{ ou } T = t + 273,15, \text{ sendo } \Delta T = \Delta \theta$$

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
 - (A) Um sistema juntamente com a sua vizinhança constituem o Universo.
 - (B) Há fronteiras entre sistemas que permitem trocas de matéria e de energia e outras que só permitem trocas de energia.
 - (C) A energia interna de um sistema fechado mantém-se constante.
 - (D) Sempre que se dissipa energia, a energia do Universo diminui.

- 2** Seleciona a afirmação falsa.
 - (A) Há três tipos fundamentais de energia: energia cinética, energia potencial e energia térmica.
 - (B) A energia interna de um sistema é a energia que está associada à energia cinética e potencial das partículas do sistema.
 - (C) Um sistema a temperatura elevada tem mais energia interna do que o mesmo sistema a temperatura mais baixa.
 - (D) A energia interna de um sistema isolado conserva-se.

- 3** Completa, no teu caderno diário, as seguintes frases:
 - (A) A temperatura é uma ____ (1) ____ que determina se um sistema está ou não em ____ (2) ____ térmico com outros.
 - (B) Um sistema está em equilíbrio ____ (3) ____ com a sua vizinhança quando a ____ (4) ____ é a mesma.
 - (C) Quando dois corpos em contacto, através de uma parede condutora, se encontram em equilíbrio térmico, há sempre alguma ____ (5) ____ a ser transferida de um para o outro, embora a sua ____ (6) ____ permaneça constante.

- 4** Colocou-se uma esfera de ferro, à temperatura de 40 °C, dentro de um gobelé com água, à temperatura de 15 °C, e introduziu-se de imediato o gobelé, com a esfera completamente mergulhada na água, dentro de uma caixa termicamente isolada.
 - 4.1.** Em termos energéticos, o que vai ocorrer dentro da caixa térmica?
 - 4.2.** O que significa dizer que a caixa é termicamente isolada?
 - 4.3.** Compara a energia do sistema *esfera + gobelé com água* antes de entrarem em contacto e depois de estarem em contacto na caixa termicamente isolada.
 - 4.4.** Indica a lei em que te baseaste para responder à questão anterior.

5 Na figura estão representados quatro gobelés com água, à temperatura ambiente.

(A)

$$m_{\text{água}} = 200 \text{ g}$$



(B)

$$m_{\text{água}} = 400 \text{ g}$$



(C)

$$m_{\text{água}} = 200 \text{ g}$$



(D)

$$m_{\text{água}} = 300 \text{ g}$$



Selecione a opção correta.

- (A) A energia interna da água no gobelé A é igual à de B, C e D.
 (B) A energia interna da água no gobelé A é igual à da água no gobelé C.
 (C) A temperatura da água do gobelé B é superior à do gobelé D e a do gobelé D é superior à do gobelé A.
 (D) A água dos quatro gobelés, como está à mesma temperatura, tem a mesma energia interna.
 (E) A água dos quatro gobelés, como tem a mesma energia interna, está à mesma temperatura.

6 Considera três sistemas, A, B e C.

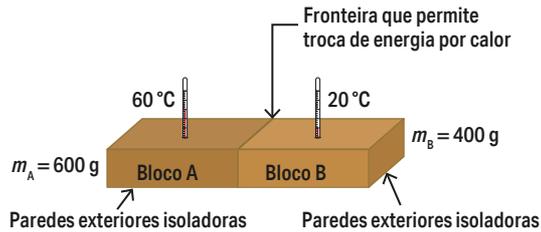
Sabe-se que:

- o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B;
- o sistema C está em equilíbrio térmico com o sistema B.

- 6.1.** Se o sistema A está em equilíbrio térmico com o sistema B, que relação existe entre a temperatura de A e de B?
- 6.2.** Se o sistema C está em equilíbrio térmico com o sistema B, que relação existe entre a temperatura de A e de C?
- 6.3.** Completa, no teu caderno diário, a seguinte frase:

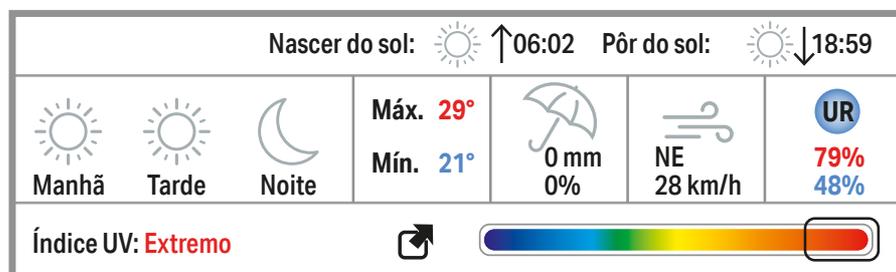
Dois sistemas em equilíbrio térmico com um _____⁽¹⁾ estão em equilíbrio _____⁽²⁾ entre si.

- 7 Observa a figura, na qual podemos ver dois blocos de cobre, A e B, a temperaturas diferentes e que foram postos em contacto.



Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:

- (A) A energia interna do bloco A é superior à energia interna do bloco B.
 (B) A energia interna dos dois blocos em contacto, quando termina a transferência de energia, é igual.
 (C) Quando termina a transferência de energia entre os dois blocos, estes ficam à mesma temperatura.
 (D) A transferência de energia entre os dois blocos termina quando estes ficam à mesma temperatura.
 (E) Os dois blocos só ficam em equilíbrio térmico se a energia interna final for igual.
- 8 Observa a figura onde se indica a previsão de temperatura, máxima e mínima, para um dado dia de Maio, na ilha do Sal.



- 8.1. Indica os valores das temperaturas máxima e mínima previstas, em unidades SI.
- 8.2. Indica o valor da amplitude térmica prevista (diferença entre a temperatura máxima e mínima) em graus Celsius e em kelvin.

9 Considera os seguintes valores numéricos:

- 273,15	0	100	273,15	373,15
----------	---	-----	--------	--------

Indica o valor, acompanhado da respetiva unidade, que corresponde à temperatura:

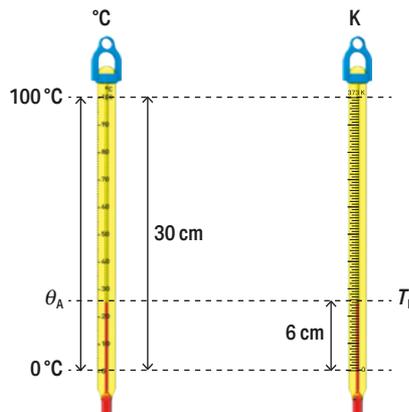
- 9.1. de fusão do gelo, na escala Kelvin.
- 9.2. do zero absoluto, na escala Celsius.
- 9.3. de ebulição da água, na escala Celsius.
- 9.4. do zero absoluto, na escala Kelvin.
- 9.5. de ebulição da água, na escala Kelvin.

10 Na tabela encontram-se registadas algumas temperaturas em kelvin e em graus Celsius. Completa a tabela, no caderno diário, com os valores em falta.

Temperatura em kelvin	Temperatura em graus Celsius
306 K	33 °C
(1)	54 °C
100 K	(2)
(3)	- 80 °C

11 Observa a figura. Nela estão representados dois termómetros, um graduado em graus Celsius e o outro, em kelvin.

Indica as temperaturas θ_A e T_B registadas em cada um dos termómetros.



2.2. Transferências de energia por calor

Calor

Sabemos que, quando **um corpo quente é posto em contacto com um corpo mais frio (Fig. 16)**, o corpo mais frio aquece e o corpo mais quente arrefece. Transfere-se sempre energia do corpo que se encontra a temperatura mais elevada para o que se encontra a temperatura mais baixa.

Esta **transferência espontânea de energia** cessa quando os dois corpos ficam à mesma temperatura. Diz-se, então, que atingiram o **equilíbrio térmico**.

À energia transferida espontaneamente entre os dois corpos, a temperaturas diferentes, dá-se o nome de **calor**. Tratando-se de uma energia transferida, a unidade de medida de calor é a mesma energia, ou seja, o joule (J), no Sistema Internacional de Unidades (SI).

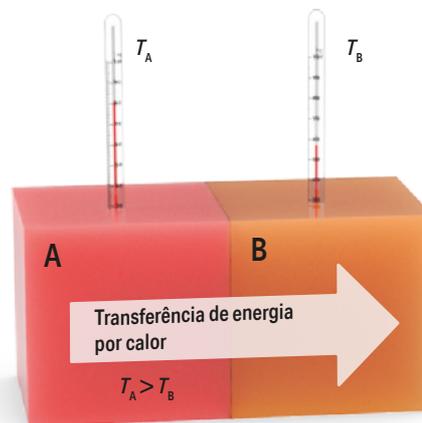


Fig. 16 Transferência de energia por calor.

Calor é a energia transferida espontaneamente entre sistemas a temperaturas diferentes.

Experiências de Thompson e de Joule

O **calor** foi, durante muito tempo, visto como uma substância especial, o **calórico**, envolvida em fenômenos de aquecimento.

Nessa época, acreditava-se que o calórico fluía dentro da matéria, dos corpos mais quentes para os mais frios, explicando assim o equilíbrio térmico.

Em 1795, o físico norte-americano **Benjamin Thompson (Fig. 18)** observou que, quando **se perfuravam com brocas as peças de bronze** para fazer canhões, estas **aqueciam tanto** que, ao colocá-las dentro de reservatórios com água fria, esta **fervia (Fig. 17)**.

Segundo a teoria do calórico, a água só podia ferver se lhe fosse fornecido calórico, mas, neste caso, **a água fervia como consequência da realização de trabalho mecânico**. Logo, o calor não podia ser um fluido, mas algo da mesma natureza do trabalho.

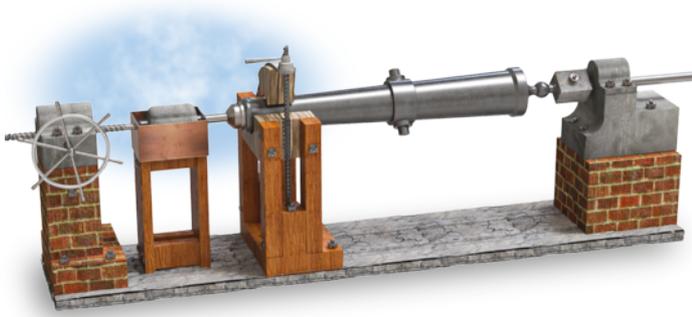


Fig. 17 Fabrico de canhões no século XIX – broca movida por cavalos e arrefecimento com água.



Fig. 18 Benjamin Thompson (1753-1814).

Como se tratava de trabalho mecânico, **Thompson afirmou que o calor também devia ser energia**. Thompson conseguiu, inclusivamente, fazer cálculos e mostrar que o “calor” produzido era proporcional ao trabalho realizado.

Em meados do século XIX, a ideia de Thompson veio a ser confirmada pelo físico inglês **James Joule (Fig. 20)**, com a conhecida **experiência de Joule (Fig. 19)**.

Joule observou que, ao deixar cair pesos suspensos de uma certa altura, o sistema de pás agitava a água contida num recipiente termicamente isolado, provocando o aumento da temperatura desta.

Admitindo que, devido ao atrito entre as pás e a água, a energia cinética dos pesos se mantinha constante durante a descida, a diminuição de energia potencial gravítica seria igual ao aumento da energia interna da água.

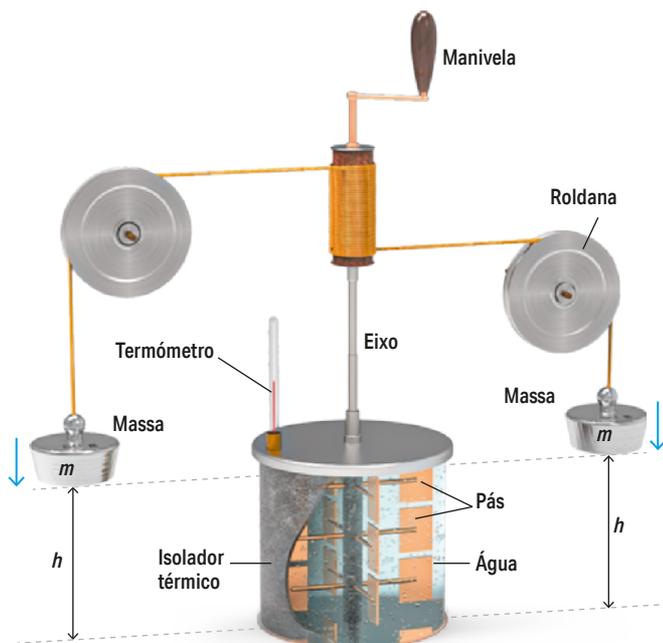


Fig. 19 Experiência de Joule.



Fig. 20 James Joule (1818-1889).

A energia interna da água aumentava, assim, devido à transferência de energia através da realização de trabalho.

Joule verificou também que um determinado valor de trabalho produzia sempre a mesma elevação de temperatura numa dada massa de água. Como esta também podia ser aquecida se recebesse energia sob a forma de calor, concluiu que calor é energia.

Esta experiência constituiu um **contributo fundamental para a clarificação do conceito de calor**, ao mostrar que **um aquecimento pode ser feito por dois processos – calor ou trabalho.**

As **experiências de Thompson e de Joule** constituíram contributos fundamentais para o reconhecimento de que o calor é energia.

Calor e trabalho

As experiências de Thompson e de Joule permitiram concluir que é possível fazer **variar a energia interna de um sistema de duas maneiras diferentes mas equivalentes:**

- **por transferência de energia por calor (Fig. 21A);**
- **por transferência de energia através da realização de trabalho mecânico.** Por exemplo, quando as lâminas da varinha mágica giram dentro da água, realizam trabalho (Fig. 21B). Esta transferência de energia por trabalho provoca um aumento da temperatura da água.

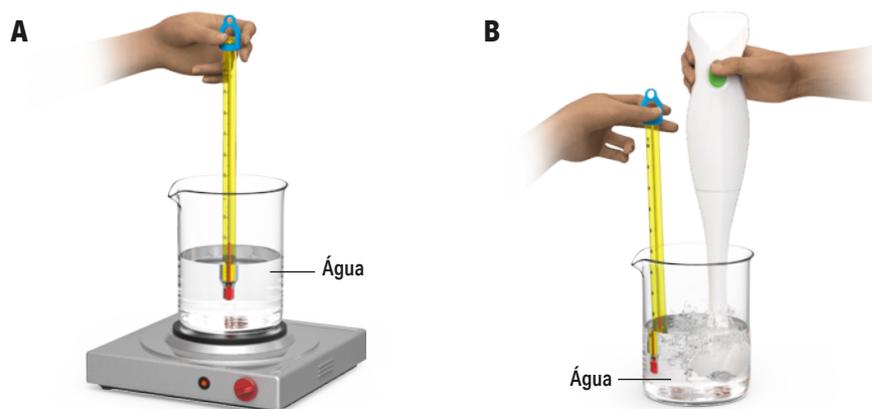


Fig. 21 Energia transferida para um sistema: **A** por calor; **B** por trabalho.

Portanto, calor e trabalho são processos de transferência de energia que conduzem a uma variação da energia interna da água, variando a sua temperatura.

As **experiências de Thompson e de Joule** permitiram concluir que é possível variar a energia interna de um sistema de duas maneiras diferentes: por trabalho mecânico ou por calor.

Transferência de energia por calor

Há dois **mecanismos de transferência de energia por calor** que exigem contacto entre sistemas: a **condução térmica** e a **convecção térmica**.

Existe um **terceiro mecanismo** de transferência de energia por calor, mesmo não havendo contacto entre os sistemas, que é a **radiação**, como iremos ver.



Condução térmica

Os metais são bons condutores térmicos. Apercebemo-nos facilmente disso quando seguramos, por exemplo, uma das extremidades de uma **barra metálica**, que está a ser **aquecida** na outra extremidade (**Fig. 22**).

As partículas da extremidade aquecida, ao receberem energia, passam a agitar-se mais. Essa agitação propaga-se às partículas vizinhas e destas às outras, ao longo da barra. O aumento da agitação das partículas traduz-se num aumento de temperatura em toda a barra.

Este mecanismo de transferência de energia –

condução térmica – pode ser explicado **por interações entre as partículas**, que levam a que as de maior energia cinética cedam energia às de menor energia cinética, passando estas a vibrar mais, em torno das suas posições médias de equilíbrio, mas sem haver deslocamento das partículas ao longo da barra.

A **condução térmica** ocorre, **principalmente, nos sólidos**. Nos líquidos e nos gases, a condução térmica é, geralmente, muito fraca, pois nos fluidos as partículas encontram-se mais afastadas umas das outras, o que dificulta a condução térmica. Por exemplo, o ar, a água, o álcool e os óleos vegetais e minerais são maus condutores térmicos; no entanto, metais líquidos, como o mercúrio, são bons condutores térmicos.

A **condução térmica** é explicada por interações entre as partículas, em que as de maior energia cinética cedem energia às de menor energia cinética, mas sem haver deslocamento de matéria.



Fig. 22 Transferência de energia por calor (condução térmica) numa barra metálica.

Convecção térmica

A **convecção térmica** é o mecanismo de transferência de energia por calor que **ocorre apenas nos fluidos** (líquidos e gases). Caracteriza-se pelo facto de a **energia ser transferida pelo deslocamento das partículas do próprio fluido**, em movimento ascendente e descendente, devido a **diferenças de densidade**. Por exemplo, se colocarmos **permanganato de potássio num gobelé com água** e aquecermos (**Fig. 23**), podemos ver o movimento da água durante a dissolução do permanganato de potássio.

Esse movimento da água deve-se à **diferença de densidade da água quente e da água fria**. A água fria, à medida que aquece, torna-se menos densa e sobe, enquanto a água das camadas superiores, mais fria e, portanto, mais densa, desce. Geram-se, assim, movimentos ascendentes e descendentes da água que se designam por **correntes de convecção**.



Fig. 23 Correntes de convecção na água que está a ser aquecida.

Na **convecção térmica** ocorre transferência de energia por calor por deslocamento das partículas do próprio fluido, devido a diferenças de densidade das partes mais quentes e mais frias do fluido, gerando-se as correntes de convecção.

Nos **fluidos** (líquidos e gases), onde a condução térmica é fraca, a transferência de energia por calor ocorre, **essencialmente**, por **convecção**.

A convecção tem diversas **aplicações** no dia a dia. É o caso, por exemplo, do **arrefecimento de uma sala** por meio de um ar condicionado. O ar da sala arrefece devido às correntes de convecção geradas (**Fig. 24**).



Fig. 24 O ar frio junto do ar condicionado desce, gerando-se correntes de convecção que permitem arrefecer a sala.

São também as correntes de convecção que permitem explicar as **brisas marítimas** e as **brisas terrestres (Fig. 25 e 26)**.

Durante o dia, a terra e o mar aquecem, mas a terra aquece mais depressa do que o mar, atingindo uma temperatura superior à da água do mar. Logo, o ar, junto ao solo, aquece, tornando-se menos denso e sobe na atmosfera; geram-se correntes ascendentes de ar. Por sua vez, o ar junto ao mar, que está mais frio, movimenta-se do mar para terra, dando origem a **brisas marítimas** (diurnas) (Fig. 25), que tornam o clima mais ameno durante o dia.

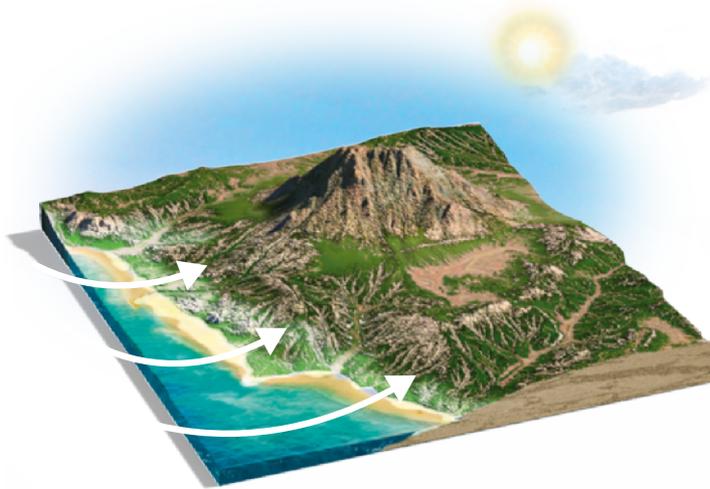


Fig. 25 Durante o dia, ocorrem brisas marítimas – correntes de ar frio do mar para a terra

À noite acontece o contrário. Como a terra arrefece mais depressa do que a água do mar, o ar junto ao mar, mais quente, sobe, sendo substituído pelo ar mais frio vindo de terra. Geram-se, assim, **brisas terrestres** (noturnas) de ar frio (Fig. 26), da terra para o mar.



Fig. 26 Durante a noite, ocorrem brisas terrestres – correntes de ar frio da terra para o mar.

Radiação

É possível a transferência de energia por calor entre sistemas sem haver contacto entre eles. Este mecanismo de transferência de energia por calor designa-se por **radiação**. É o caso da **energia emitida pelo Sol** que atinge a Terra, atravessando o espaço vazio (Fig. 27).

Esta transferência de energia faz-se através da **propagação de luz (radiação eletromagnética)**.



Fig. 27 O Sol aquece a Terra por radiação.

A **transferência de energia por radiação** ocorre através da propagação de luz, sem ser necessário haver contacto entre os sistemas.

Esta forma de transferência de energia por calor é utilizada, por exemplo, nos **coletores solares** (Fig. 28). Estes **aproveitam a radiação solar para aquecerem fluidos**, normalmente água ou ar, e **têm aplicações no aquecimento de águas** (em casas, hotéis, hospitais, piscinas, etc.), entre outras. Também é por radiação que se aquecem alimentos num **forno de micro-ondas** (Fig. 29), onde ondas eletromagnéticas de frequência específica interagem com as moléculas polares neles existentes.

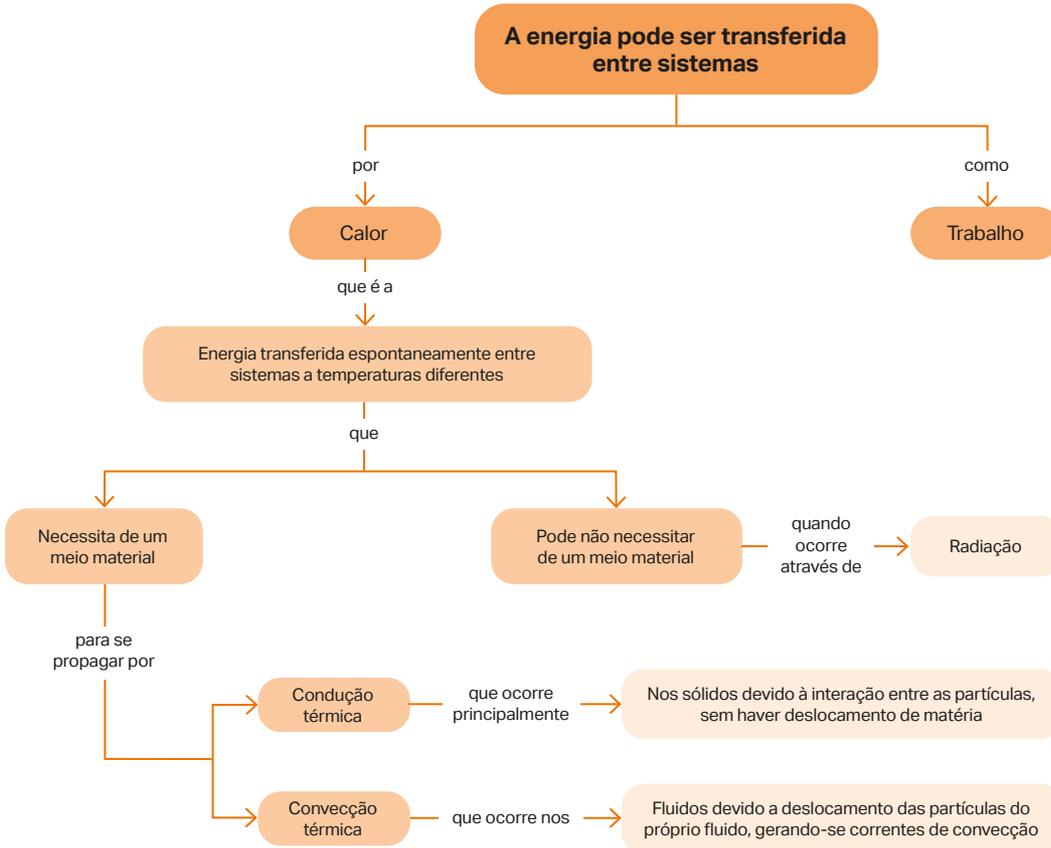


Fig. 28 Coletores solares.



Fig. 29 Num forno de micro-ondas ocorre transferência de energia por radiação.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- É possível **variar a energia interna** de um sistema de duas maneiras: por **trabalho** mecânico ou por **calor**.
- A transferência de energia de ou para um corpo, por calor ou por trabalho, conduz a uma variação da sua energia interna.
- A **condução térmica** e a **convecção térmica** são dois mecanismos de transferência de energia por calor que exigem contacto entre sistemas.
- A **condução térmica** é explicada por interações entre as partículas, em que as de maior energia cinética cedem energia às de menor energia cinética, mas sem haver deslocamento de matéria.
- Na **convecção térmica**, ocorre transferência de energia por calor por deslocamento de partículas do próprio fluido devido a diferenças de densidade das partes mais quentes e mais frias do fluido, gerando-se **correntes de convecção**.
- A **transferência de energia por radiação** ocorre através da propagação de luz, sem ser necessário haver contacto entre os sistemas.

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) Calor é a energia que um corpo possui.
 - (B) A transferência de energia por calor entre dois corpos cessa quando eles adquirem a mesma energia interna.
 - (C) Um corpo que se encontra a temperatura mais alta tem mais calor do que outro a temperatura mais baixa.
 - (D) Calor é a energia transferida espontaneamente de um corpo que se encontra a temperatura mais elevada para um corpo a temperatura mais baixa.
 - (E) Uma transferência de energia por calor ocorre espontaneamente do corpo que se encontra a maior temperatura para o que está a menor temperatura.
- 2** Indica a opção que completa corretamente a seguinte frase:
Calor e trabalho são...
- (A) processos de transferência de energia entre sistemas.
 - (B) manifestações de energia de sistemas.
 - (C) tipos de energia dos sistemas.
 - (D) formas de energia dos sistemas.
- 3** Dois corpos A e B, de massas m_A e m_B ($m_A = 2 m_B$), encontram-se inicialmente às temperaturas θ_A e θ_B , respetivamente, com $\theta_A = 3 \theta_B$. Num dado instante, são postos em contacto.
- Após atingirem o equilíbrio térmico, teremos:
- (A) $\theta'_A < \theta'_B$.
 - (B) $\theta'_A > \theta'_B$.
 - (C) $\theta'_A = \theta'_B$.
 - (D) $\theta'_A = 6 \theta'_B$.
- Seleciona a opção correta.
- 4** Considera as seguintes afirmações e classifica-as de verdadeiras (V) ou falsas (F).
- (A) A condução térmica é explicada por interações entre as partículas, em que as de maior energia cinética cedem energia às de menor energia cinética, passando estas a vibrar mais, com deslocamento de matéria.
 - (B) Na convecção ocorre transferência de energia por calor por deslocamento de partículas do próprio fluido devido a diferenças de densidade das partes mais quentes e mais frias do fluido, gerando-se as chamadas correntes de convecção.

- (C) A transferência de energia por radiação ocorre através da propagação de luz, exigindo um meio material entre os dois corpos a temperaturas diferentes.
- (D) A condução térmica e a convecção são dois mecanismos de transferência de energia por calor que não necessitam de um meio material.

5 A convecção térmica ocorre unicamente em...

- (A) sólidos.
- (B) sólidos, líquidos e gases.
- (C) fluidos.
- (D) gases.

Seleciona a opção correta.

6 Associa corretamente as situações da tabela A aos processos de transferência de energia por calor da tabela B.

Tabela A	Tabela B
(A) Copo de leite quente na mão	(I) Convecção
(B) Alimento a ser aquecido num forno micro-ondas	(II) Condução térmica
(C) Brisa marítima	(III) Radiação
(D) Ovo a ser estrelado numa placa elétrica	

7 Após se ligar um disco do fogão, coloca-se nele uma panela com sopa.

Classifica as seguintes afirmações em verdadeiras (V) ou falsas (F).

- (A) No disco do fogão ocorre transferência de energia por calor para a panela com sopa.
- (B) A transferência de energia por calor, das camadas inferiores para as camadas superiores da sopa, faz-se através de condução e convecção.
- (C) Durante o processo de aquecimento da sopa, a sua energia interna não aumenta.
- (D) Quando a pressão do ar no interior da panela é elevada, a tampa da panela desloca-se. As transferências de energia do conteúdo da panela para o exterior fazem-se, então, através de trabalho e de calor.
- (E) Quando se desliga o disco, a sopa no interior da panela arrefece. As transferências de energia por calor para o exterior fazem-se apenas por condução através do ar e da superfície onde a panela está apoiada.

8 Considera as seguintes situações na vizinhança de um disco elétrico de um fogão ligado.

I. Aproxima a tua mão a uma distância de 20 cm.

II. Toca na parte metálica de um tacho colocado sobre o disco.

III. Toca nas pegas isoladoras de um tacho colocado sobre o disco.

Regista as tuas experiências sensoriais e explica-as, à luz do que sabes sobre formas de transferência de energia por calor e propriedades dos materiais envolvidos.

9 Uma panela com água é aquecida num fogão a gás. Parte da energia produzida na combustão do gás é transmitida à água, através do fundo da panela, e ela aquece.



9.1. A água que se encontra na parte inferior da panela aquece por condução ou por convecção?

9.2. Qual é a parte da água que aquece primeiro?

9.3. Completa, no teu caderno diário, as seguintes frases:

(A) A água na parte inferior da panela adquire uma temperatura ____ (1) ____ devido ao contacto com o fundo da panela, tornando-se ____ (2) ____ densa. Por isso, ____ (3) ____ e é substituída por água menos quente, que desce por ser ____ (4) ____ densa.

(B) Estes movimentos da água implicam trocas constantes de ____ (5) ____; a água mais quente (que sobe) vai ____ (6) ____ e a água menos quente (que desce) vai ____ (7) ____.

10 Qual é a diferença entre calor e temperatura?

(A) Temperatura é uma energia em movimento e calor é uma sensação térmica.

(B) A temperatura é proporcional à energia cinética média das partículas do sistema e calor é a energia que é transferida de um sistema a maior temperatura para outro a menor temperatura, até ser atingido o equilíbrio térmico.

(C) Calor e temperatura são grandezas equivalentes, isto é, calor e temperatura são designações diferentes da energia de um sistema.

Selecciona a opção correta.

- 11** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) Um corpo quente tem mais calor do que um corpo frio.
 - (B) Calor é a energia interna que um corpo possui.
 - (C) Um corpo tem tanto mais calor quanto mais massa tiver.
 - (D) A transferência de energia por calor, por condução ou convecção exige contacto entre sistemas.
 - (E) Pode transferir-se energia entre sistemas através da realização de trabalho.
- 12** Quais são os processos de transferência de energia por calor que ocorrem nas seguintes situações?
- (A) Aquecimento do ar de uma sala.
 - (B) Aquecimento de água com uma resistência elétrica de imersão.
 - (C) Aquecimento de água com um disco elétrico.
 - (D) Roupa a ser passada com um ferro elétrico.
- 13** Indica a opção que completa corretamente a seguinte frase:
- A taxa temporal de transferência de energia por calor de um bloco de ferro aquecido e colocado, de seguida, sobre uma bancada de madeira, à temperatura ambiente...
- (A) aumenta até o bloco ficar à temperatura ambiente.
 - (B) diminui até o bloco ficar à temperatura ambiente.
 - (C) mantém-se constante desde que se deixou de aquecer o bloco até este ficar à temperatura ambiente.
- 14** Comenta a seguinte afirmação:
- A condução e a convecção são processos de transferência de energia que dependem das propriedades do meio material no qual ocorrem.
- 15** Seleciona a opção que completa corretamente a seguinte frase:
- A transferência de energia por radiação...
- (A) só ocorre no vácuo.
 - (B) só ocorre entre corpos em contacto.
 - (C) ocorre por interações entre as partículas.
 - (D) ocorre através da propagação de radiação eletromagnética.

2.3. Interação radiação-matéria

Radiação eletromagnética

A **luz** do Sol chega até nós, na Terra, propagando-se através do espaço vazio (vácuo). Isso acontece porque a luz não precisa de um meio material para se propagar. Estas **ondas**, como a luz, **que não precisam de um meio material para se propagarem**, designam-se por **ondas ou radiações eletromagnéticas**.

As **radiações eletromagnéticas** não precisam de um meio material para se propagarem.

A **luz** (radiação eletromagnética) pode ser **visível** ou **não visível**. Por exemplo, os **raios gama**, os **raios X**, a **radiação ultravioleta**, a **radiação infravermelha**, as **micro-ondas** e as **ondas de rádio** são formas de **luz não visível** pelo ser humano; apenas podem ser detetadas pelos seus efeitos.

Na verdade, o **ser humano** só consegue **detetar luz visível** numa determinada **gama de frequências**, que vai, aproximadamente, dos $7,7 \times 10^{14}$ Hz (extremo violeta) aos $3,9 \times 10^{14}$ Hz (extremo vermelho).

O conjunto de todas as radiações eletromagnéticas de diferentes frequências designa-se por **espectro eletromagnético** (Fig. 30).

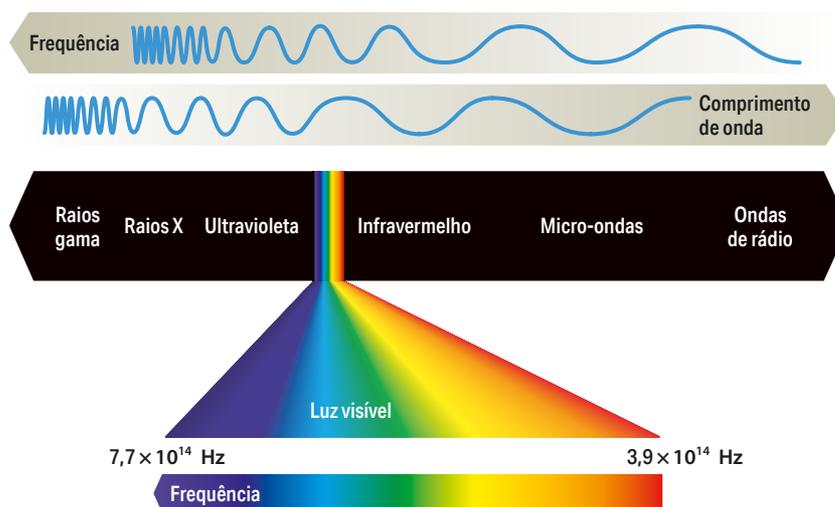


Fig. 30 Espectro eletromagnético.

O **espectro eletromagnético** é o conjunto de todas as **radiações eletromagnéticas**, que são, por ordem decrescente de frequência: raios gama, raios X, ultravioleta, visível, infravermelho, micro-ondas e ondas de rádio.

Por análise da **figura 30**, pode verificar-se que a **luz visível** é uma **pequena parte do espectro eletromagnético**.

As **radiações eletromagnéticas**, tal como as outras ondas, **transportam energia**. A energia transportada depende da sua **amplitude** e **frequência**. Assim:

- de duas radiações com a **mesma amplitude**, tem **mais energia** a radiação de **maior frequência**;
- de duas radiações com a **mesma frequência**, tem **mais energia** a radiação de **maior amplitude**.

A **frequência**, f , de uma onda eletromagnética, que se propague no vazio, relaciona-se com o **comprimento de onda**, λ , pela expressão:

$$c = \lambda f$$

onde c corresponde à velocidade de propagação da luz no vazio.

$$c = 3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

Reflexão, absorção e transmissão da radiação

A **radiação que incide num corpo** é em **parte refletida** na superfície do corpo; outra parte é **absorvida**, podendo provocar aquecimento do corpo; e outra parte da radiação pode atravessar o corpo, isto é, ser **transmitida** pelo corpo (**Fig. 31**).

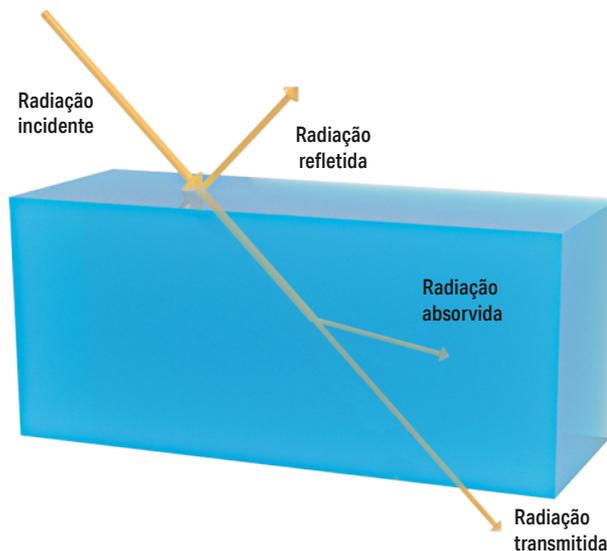


Fig. 31 A radiação que incide num corpo pode ser refletida, absorvida e transmitida.

De acordo com a **Lei da Conservação da Energia** é:

$$E_{\text{rad. incidente}} = E_{\text{rad. refletida}} + E_{\text{rad. absorvida}} + E_{\text{rad. transmitida}}$$

Há **corpos opacos à radiação**, isto é, não a transmitem (não se deixam atravessar por ela). **Estes corpos apenas absorvem ou refletem.**

Há também **corpos que são opacos a uma radiação de uma determinada frequência**, mas transmitem radiações com outras frequências. É o caso do **vidro comum**, utilizado nas **janelas** das nossas casas e em **estufas (Fig. 32)**, que é **transparente à radiação visível**, isto é, deixa-se atravessar por ela, praticamente não a absorvendo, mas é **opaco à radiação infravermelha (IV)**.

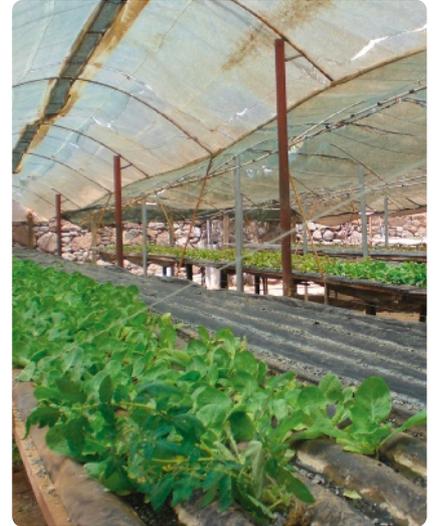


Fig. 32 Numa estufa, o vidro ou plástico que a envolvem transmitem a radiação visível para o seu interior, mas são opacos à radiação IV, levando ao aquecimento do ambiente interior.



Radiação e irradiância

Todos os corpos emitem radiação eletromagnética, a qualquer temperatura, devido à agitação térmica das partículas com cargas elétricas (átomos, moléculas ou íões) que os constituem.

A **radiação emitida** depende da temperatura do corpo. À **temperatura ambiente**, emitem predominantemente **radiação na zona do infravermelho**. **Aumentando** gradualmente a **temperatura**, a emissão passa a ter uma maior contribuição de **luz visível**: de início **luz vermelha**, passando a seguir para **luz amarela, verde e azul**. A **altas temperaturas**, pode chegar à região do **ultravioleta** do espectro eletromagnético.

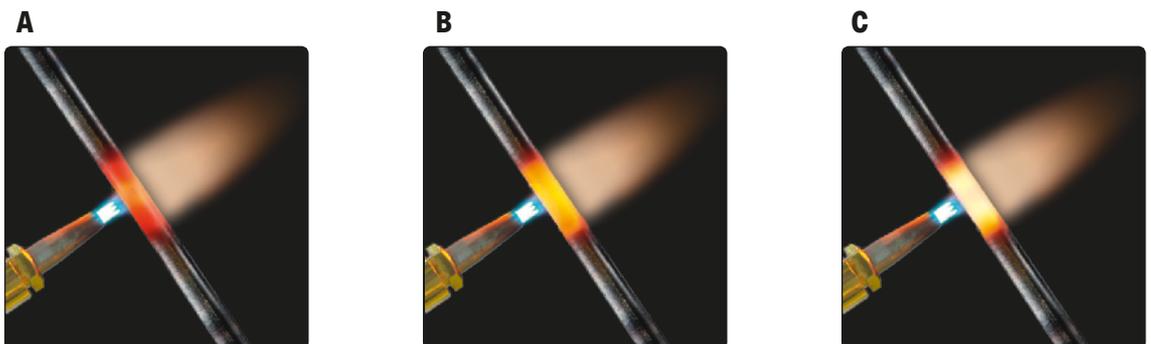


Fig. 33 O comprimento de onda da radiação de máxima intensidade emitida por um corpo depende da temperatura do corpo. No corpo da figura é $T_A < T_B < T_C$.

Um **corpo à temperatura ambiente** emite predominantemente radiação na zona do infravermelho.

Ao mesmo tempo que emite, um corpo também absorve radiação eletromagnética da sua vizinhança. Assim, se um corpo estiver a uma temperatura superior à da vizinhança, a radiação que emite é maior do que a que absorve da vizinhança, até ser atingido o equilíbrio térmico.

Quando um corpo está em **equilíbrio térmico** com a sua vizinhança, **emite e absorve energia**, como radiação, **à mesma taxa temporal**.

A energia da radiação, por unidade de área e por unidade de tempo, designa-se por **irradiância**, E_r . Esta depende da **temperatura** e da **natureza da superfície**. A **irradiância** exprime-se, em **watt por metro quadrado**, $W m^{-2}$ (unidade SI).

A **irradiância**, E_r , é a energia da radiação por unidade de área e por unidade de tempo.

$$E_r = \frac{E}{A \Delta t}, \text{ ou seja, } E_r = \frac{P}{A}$$

Por exemplo, a **irradiância solar**, no topo da atmosfera terrestre e à distância média da Terra ao Sol, designa-se por **constante solar** e o seu valor é $1,36 \times 10^3 W m^{-2}$, aproximadamente.

Na superfície da Terra, a irradiância é menor, pois há absorção de radiação pela atmosfera. O valor da **irradiância num local da superfície da Terra** varia com a sua **localização** e com a **época do ano**.

Para o **Sol**, cuja temperatura à superfície é, aproximadamente, 5800 K, a **irradiância espectral máxima** ocorre para comprimentos de onda na **zona do visível**.

A **figura 34** mostra o **espectro de radiação térmica do Sol** ($T = 5800 K$) e o **espectro de radiação térmica de um corpo com a temperatura média da Terra** ($T = 288 K$).

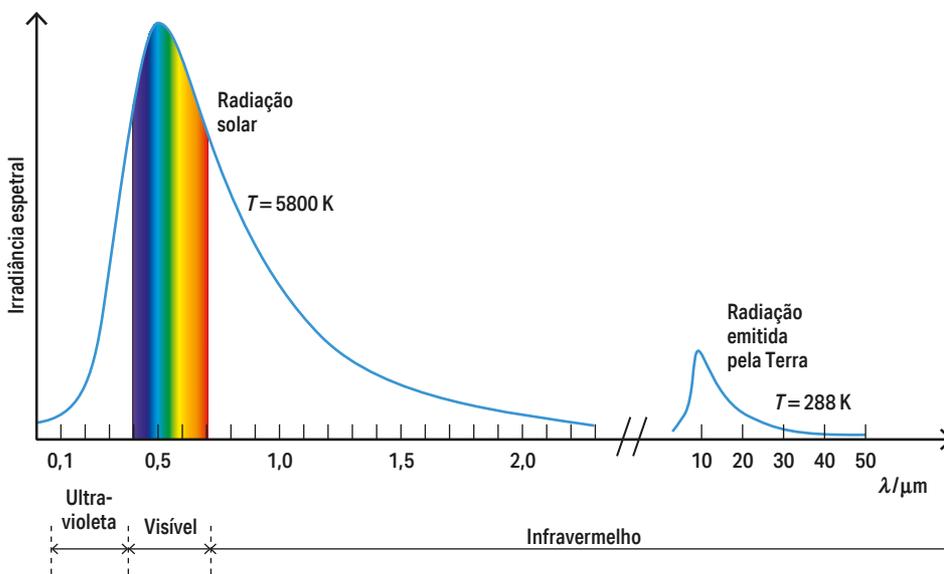


Fig. 34 Espectro de radiação térmica do Sol e de um corpo com a temperatura média da Terra.

Por análise desta figura com os dois espetros, podemos compreender melhor a **grande diferença de comprimentos de onda para os quais a emissão de radiação é máxima**, para o Sol e para a Terra, bem como a **diferença de irradiâncias**.

O Sol emite radiação, principalmente, na zona do visível, enquanto **a Terra emite** radiação, principalmente, na zona do infravermelho.

A **energia da radiação emitida** por um corpo **depende também da natureza da superfície**. Por exemplo, **as superfícies pretas emitem e absorvem toda a radiação**, o que não acontece com outras superfícies. Daí se falar em **emissividade**.

A **emissividade** é um fator numérico que depende da superfície do corpo emissor. Pode ter valores entre 0 e 1.

- Se a **emissividade** de um corpo é **pequena** (próxima de 0), o corpo é **mau absorsor** e, conseqüentemente, é **mau emissor** de radiação.
- Se a **emissividade** de um corpo é **grande** (próxima de 1), o corpo é **bom absorsor** e, conseqüentemente, **bom emissor** de radiação.

As **superfícies pretas** absorvem toda a radiação visível que sobre elas incide.

Exemplo

Consideremos dois cubos de alumínio, com as mesmas dimensões e à mesma temperatura, um pintado de cinzento-metalizado e outro pintado de preto (**Fig. 35**).

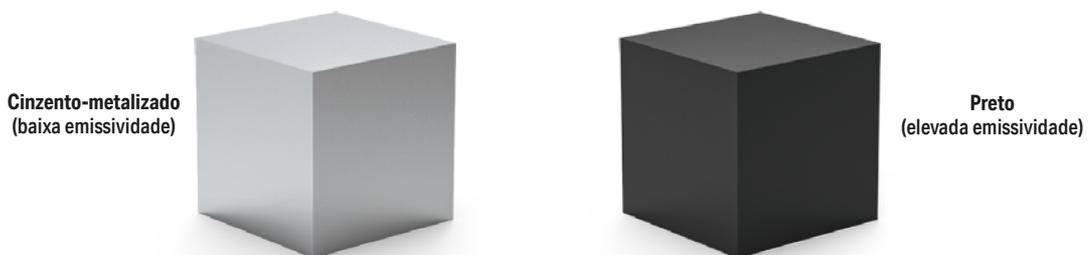


Fig. 35 Dois cubos iguais, à mesma temperatura, mas pintados de cor diferente.

Se submetermos os cubos a radiação visível de igual intensidade, durante um mesmo intervalo de tempo, verificamos que:

- o **cubo cinzento-metalizado** sofre uma variação de temperatura pouco relevante, pois tem um elevado poder de reflexão. Logo, **a energia que é refletida não é absorvida** (baixa emissividade); **não contribui para o aumento de temperatura do cubo**;
- o **cubo pintado de preto** sofre um **aumento de temperatura bastante considerável**, pois, por ser preto, tem um **elevado poder de absorção** (elevada emissividade).

Aplicações da radiação infravermelha

Atualmente, existem **câmaras de termografia por infravermelhos**. Estas fornecem imagens, **termogramas**, da radiação infravermelha emitida por um corpo.

Os **sensores de infravermelho** permitem conhecer a **temperatura** de diferentes partes de um corpo, pois as cores da imagem têm que ver com a temperatura dessa zona. Os termogramas são muito utilizados, por exemplo, em diagnóstico térmico e para estudar a eficiência energética de edifícios. (Fig. 36).



Fig. 36 Termograma de uma casa.



Fig. 37 Visão noturna com infravermelhos.

A **radiação infravermelha** tem muitas **aplicações práticas importantes**. Por exemplo, na Segunda Guerra Mundial eram já usados sistemas de visão noturna (Fig. 37). Atualmente, para além do que já foi referido, os comandos remotos, alarmes e termómetros de infravermelho são outras aplicações da radiação infravermelha muito usadas no dia a dia.

Painéis fotovoltaicos

Os **painéis fotovoltaicos** (Fig. 38) são dispositivos constituídos por **células fotovoltaicas** (Fig. 39), utilizados para **produzirem energia elétrica a partir da radiação solar incidente**.



Fig. 38 Paineis fotovoltaicos.

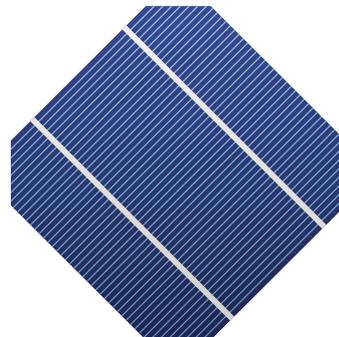


Fig. 39 Célula fotovoltaica.

As **células fotovoltaicas**, constituídas, em geral, por cristais de silício (material semi-condutor), aproveitam a energia da radiação solar para criarem diretamente uma tensão elétrica nos seus terminais, **produzindo corrente elétrica contínua** com tensão baixa (geralmente entre 0,5 V e 0,7 V).

Um **painel fotovoltaico** é uma associação de células fotovoltaicas que aproveitam a energia da luz solar para criarem diretamente uma tensão elétrica nos seus terminais, produzindo uma corrente elétrica contínua.

Os **painéis fotovoltaicos** são, hoje, **cada vez mais utilizados a nível mundial** para produzir energia elétrica em larga escala.

Algumas das dificuldades da sua implementação têm que ver com os **custos elevados** da tecnologia utilizada, a **ocupação de grandes áreas** para se produzir uma quantidade significativa de energia e o **rendimento baixo** do processo de produção.

Os **painéis solares** devem ser **colocados** de modo que a **intensidade da radiação solar incidente** seja **máxima**. Por exemplo, no **hemisfério norte**, devem ser **orientados para sul** e com uma inclinação adequada à latitude do lugar.

Em Cabo Verde, a inclinação deve ser de cerca de 15° com a horizontal, podendo ser ajustado a valores entre 20° e 30° nos meses de verão.

Aplicações dos painéis fotovoltaicos



Autoprodução fotovoltaica

Os **painéis fotovoltaicos** que são utilizados nos sistemas fotovoltaicos autónomos para fornecer corrente elétrica (que produzem durante o dia) a habitações, sinalização, iluminação noturna, entre outras aplicações, **necessitam de**:

- um **inversor de corrente elétrica** que converte a corrente elétrica contínua, produzida pelo painel fotovoltaico, em corrente elétrica alternada com a mesma tensão e frequência nominais da corrente fornecida pelas empresas de distribuição (220 V a 230 V, 50 Hz, em Cabo Verde);



Fig. 40 Painéis fotovoltaicos usados para fornecer eletricidade a uma habitação.

- uma **bateria** para armazenar energia elétrica produzida em excesso, durante determinado período do dia, pelos painéis fotovoltaicos, para que possa ser utilizada durante a noite ou vendida à rede elétrica, de acordo com as necessidades da instalação elétrica em causa;
- um **regulador ou controlador de carga** para proteger as baterias de sobrecarga e descarga excessiva, prolongando a sua vida útil, e para otimizar o aproveitamento da energia gerada pelos painéis.

Os **sistemas fotovoltaicos autónomos diferem dos sistemas ligados à rede**, essencialmente, **por serem dimensionados em função dos consumos energéticos**.



Fig. 41 Esquema de rede elétrica numa casa com autoprodução.

Dimensionamento da área de um painel fotovoltaico

Para dimensionar a área de um painel fotovoltaico, para uma determinada instalação elétrica, é essencial:

- **calcular a potência elétrica necessária.** Para isso, é preciso fazer um levantamento dos aparelhos elétricos que irão funcionar em simultâneo, bem como saber a respetiva potência elétrica;
- **calcular a potência solar média disponível por unidade de área do painel,** que depende do local da instalação e do número médio de horas de luz solar por dia;
- **calcular a potência elétrica fornecida pelo painel,** por unidade de área, conhecida a potência solar média disponível e o rendimento do painel;
- **calcular a área adequada para o painel fotovoltaico** satisfazer a potência elétrica necessária.

O conhecimento do **rendimento de um painel fotovoltaico** é importante pois ajuda a dimensionar o sistema fotovoltaico de forma a maximizar a produção de energia elétrica.

O **rendimento de um painel fotovoltaico** calcula-se pela expressão:

$$\eta(\%) = \frac{P_{\text{fornecida pelo painel}}}{P_{\text{radiação incidente}}} \times 100$$

Exercício resolvido

- 2 Pretende-se instalar um painel fotovoltaico, com a área de $0,60 \text{ m}^2$ e rendimento médio de 20%, para carregar a bateria que alimenta o circuito elétrico de um telefone de um posto SOS. Uma célula fotovoltaica desse painel, com a área de $1,00 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, fornece, em média, durante um dia, a energia de $1,04 \times 10^5 \text{ J}$. Calcula a potência média da radiação solar que incide no painel.

Resolução:

2. $A_{\text{painel}} = 0,60 \text{ m}^2$; $\eta = 20\%$; $A_{\text{célula}} = 1,00 \times 10^{-2} \text{ m}^2$; $E_{\text{fornecida pela célula do painel}} = 1,04 \times 10^5 \text{ J}$ (por dia)

Para calcular a potência média da radiação solar que incide no painel, vamos utilizar a

$$\text{expressão: } \eta = \frac{P_{\text{fornecida pelo painel}}}{P_{\text{radiação incidente}}}$$

- **Cálculo da potência média fornecida pelo painel** com $\eta = 20\%$ ($P_{\text{fornecida pelo painel}}$):

$$1 \text{ dia} = 24 \text{ h} \Leftrightarrow 1 \text{ dia} = 24 \times 3600 \text{ s} \Leftrightarrow 1 \text{ dia} = 8,64 \times 10^4 \text{ s}$$

A energia fornecida em média pelo painel, por dia, é:

$$\frac{1,00 \times 10^{-2} \text{ m}^2}{1,04 \times 10^5 \text{ J}} = \frac{0,60 \text{ m}^2}{E_{\text{fornecida (por dia)}}} \Leftrightarrow E_{\text{fornecida (por dia)}} = 6,24 \times 10^6 \text{ J}$$

Então, sendo a potência média fornecida pelo painel dada pela expressão: $P = \frac{E}{\Delta t}$, substituindo pelos valores, tem-se:

$$P_{\text{fornecida pelo painel}} = \frac{6,24 \times 10^6 \text{ J}}{8,64 \times 10^4 \text{ s}} \Leftrightarrow P_{\text{fornecida pelo painel}} = 72 \text{ W.}$$

- **Cálculo da potência média da radiação solar incidente no painel:** $\eta = \frac{P_{\text{fornecida pelo painel}}}{P_{\text{radiação incidente}}}$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$0,20 = \frac{72}{P_{\text{radiação incidente}}} \Leftrightarrow P_{\text{radiação incidente}} = \frac{72}{0,20} \Leftrightarrow P_{\text{radiação incidente no painel}} = 360 \text{ W}$$

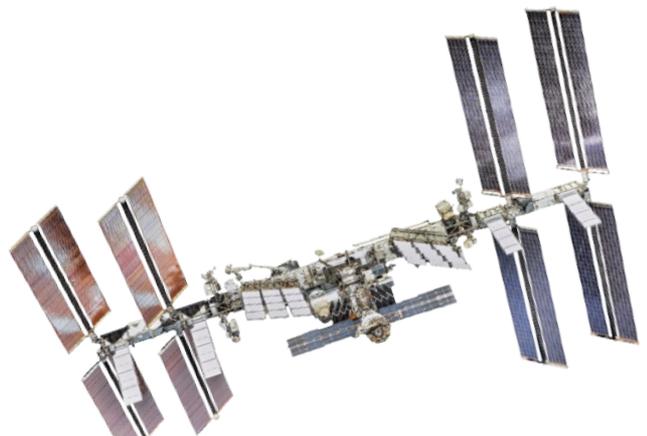
Física em ação

Estação Espacial Internacional

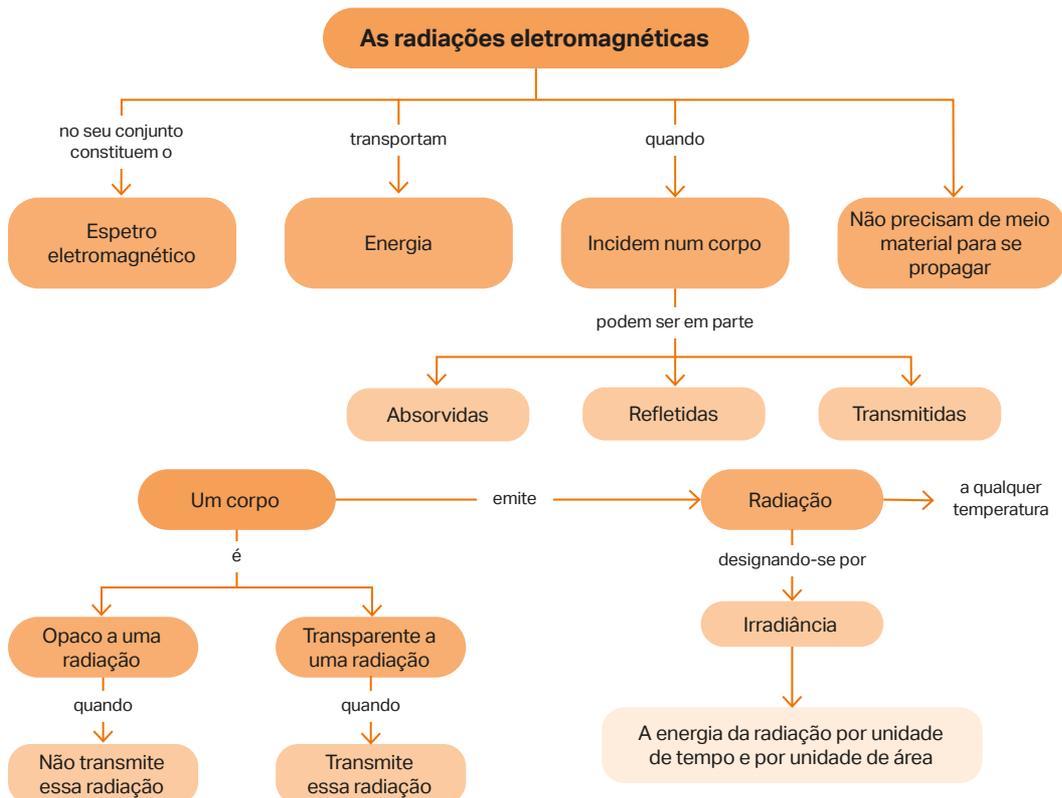
A **Estação Espacial Internacional (EEI)** é um laboratório espacial cuja montagem em órbita começou em 1998. A estação encontra-se em órbita baixa (entre 408 km e 418 km), podendo ser vista da Terra a olho nu. Viaja a uma velocidade média de 27 700 km/h, completando 15,70 órbitas por dia.

A EEI envolve diversos programas espaciais. Constitui uma plataforma para a realização de experiências e pesquisas científicas (algumas cuja realização na superfície terrestre seria de elevada dificuldade, mas de relativa

facilidade em órbita terrestre). **A fonte de energia elétrica da EEI é o Sol.** A eletricidade é produzida com **painéis fotovoltaicos**. Cada painel tem uma área de, aproximadamente, 375 m^2 e 58 metros de comprimento.



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **radiação que incide num corpo** pode ser em parte **absorvida**, em parte **refletida** e em parte **transmitida**:

$$E_{\text{rad. incidente}} = E_{\text{rad. absorvida}} + E_{\text{rad. refletida}} + E_{\text{rad. transmitida}}$$

- Um **corpo opaco** a uma radiação não se deixa atravessar por ela; não a transmite.
- Um **corpo transparente** a uma radiação deixa-se atravessar pela radiação; transmite-a.
- **Todos os corpos emitem radiação eletromagnética** a qualquer temperatura. O tipo de radiação emitida depende da temperatura do corpo.
- Um **corpo à temperatura ambiente emite** radiação predominantemente **infravermelha**.
- A **irradiância** é a energia da radiação, por unidade de área e de tempo.

$$E_r = \frac{E}{A \Delta t}, \text{ ou seja, } E_r = \frac{P}{A}$$

- Um **painel fotovoltaico** é uma associação de células fotovoltaicas que aproveitam a energia da luz solar para criarem uma diferença de potencial nos seus terminais, produzindo uma corrente elétrica contínua.

- O **rendimento** calcula-se pela expressão $\eta(\%) = \frac{P_{\text{fornecida pelo painel}}}{P_{\text{radiação incidente}}} \times 100$

Exercícios de aplicação

- 1** O espectro eletromagnético é constituído por um conjunto de radiações com diferentes comprimentos de onda e frequências.
- 1.1.** Indica quatro tipos de radiação do espectro eletromagnético por ordem crescente de frequência.
- 1.2.** Nos aeroportos, a movimentação dos aviões é monitorizada pelo uso do radar. Indica a propriedade da radiação eletromagnética que está implícita nesta tecnologia.
- 2** A figura apresenta uma parte do gráfico da irradiância espectral de um corpo, a uma determinada temperatura, em função do comprimento de onda.



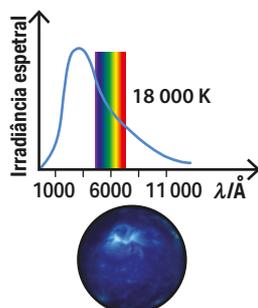
À temperatura considerada, o corpo emite...

- (A) apenas radiação visível.
- (B) radiação de máxima intensidade no visível.
- (C) apenas radiação ultravioleta.
- (D) radiação de máxima intensidade no ultravioleta.
- 3** O mel é produzido pelas abelhas, que retiram o néctar das flores e o transformam, através de um processo químico natural, em mel. Apesar do seu minúsculo cérebro, a abelha tem uma capacidade de navegação notável baseada na sua visão. Os seus olhos são sensíveis à luz de comprimento de onda de 300 nm, entre outros.
- Dado:** $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$
- 3.1.** Calcula a frequência da onda, em Hz.
- 3.2.** Em qual das zonas do espectro eletromagnético, infravermelho, visível ou ultravioleta, se localiza a radiação com a frequência calculada na alínea anterior (consulta a [fig. 30](#) da página 96).

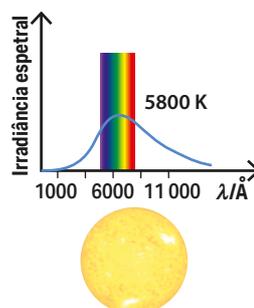
4 A Bellatrix é uma estrela azul pertencente à constelação de Oriente.

Na figura A encontra-se representada a intensidade da radiação emitida por esta estrela, em função do comprimento de onda.

(A)



(B)



- 4.1.** Qual é o comprimento de onda correspondente ao máximo de intensidade? A que zona do espectro eletromagnético corresponde?
- 4.2.** Por que razão esta estrela é azul? Tal significa que ela não emite radiação vermelha ou amarela?
- 4.3.** No caso do Sol (ver figura B), qual é a faixa de comprimentos de onda na proximidade do máximo de intensidade?
- 4.4.** Para corpos à temperatura ambiente, em que faixa de comprimentos de onda se situa o máximo de intensidade?
- 4.5.** Completa o texto seguinte:

O comprimento de onda correspondente ao máximo de intensidade de _____ (1) emitida por um _____ (2) desloca-se para a _____ (3) quando se compara um corpo à temperatura de 300 K e um corpo à temperatura de 5800 K; desloca-se ainda mais para a _____ (4) no caso da estrela Bellatrix, cuja _____ (5) é 18 000 K, aproximadamente.

5 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:

- (A) Um corpo à temperatura ambiente não emite radiação térmica.
- (B) Um corpo é opaco à radiação quando não se deixa atravessar só pela radiação visível.
- (C) Um corpo é transparente a uma radiação quando se deixa atravessar por essa radiação.
- (D) A intensidade da radiação emitida por um corpo depende da temperatura do corpo.

6 Completa, no teu caderno diário, as seguintes frases:

- (A) Ao mesmo tempo que emite, um corpo também ____ (1) ____ radiação eletromagnética da sua ____ (2) ____.
- (B) Se um corpo estiver a uma temperatura superior à da sua vizinhança, a ____ (3) ____ que emite é ____ (4) ____ do que a que absorve da ____ (5) ____, até ser atingido o ____ (6) ____ térmico.
- (C) A baixas temperaturas, a maior taxa de emissão está na faixa do ____ (7) ____; aumentando a ____ (8) ____, gradualmente, o corpo começa, a dada altura, a emitir luz ____ (9) ____.

7 Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:

- (A) O Sol emite radiação, principalmente na zona do visível, enquanto a Terra emite, principalmente, na zona de infravermelho.
- (B) Só os corpos luminosos emitem radiação eletromagnética.
- (C) Todos os corpos absorvem radiação.
- (D) A radiação visível é totalmente absorvida pelas superfícies pretas.
- (E) A irradiância é a radiação emitida pelo corpo.

8 Há corpos que são opacos a radiações de uma determinada frequência, mas transmitem radiações com outras frequências.

- 8.1.** O vidro ou o plástico que envolvem uma estufa são transparentes ou opacos à radiação visível?
- 8.2.** O vidro ou o plástico que envolvem uma estufa são transparentes ou opacos à radiação infravermelha?
- 8.3.** Por que razão se verifica um aquecimento do ambiente no interior de uma estufa?



8.4. Indica a opção que completa corretamente a seguinte frase:

O vidro é...

- (A) transparente a todas as radiações.
- (B) transparente à radiação visível e opaco à radiação IV.
- (C) transparente à radiação visível e à radiação IV.
- (D) opaco à radiação ultravioleta e transparente à radiação IV.

9 Considera dois corpos, A e B, com a mesma área de superfície.

9.1. Se a relação entre a potência da radiação que cada um emite for $P_A = 2 P_B$, as suas irradiâncias relacionam-se pela expressão

- (A) $E_r(A) = E_r(B)$
- (B) $E_r(A) = \frac{1}{2} E_r(B)$
- (C) $E_r(A) = 2 E_r(B)$
- (D) $E_r(A) = 4 E_r(B)$

9.2. A que se refere a grandeza irradiância?

10 Os painéis solares fotovoltaicos são utilizados para produzir energia elétrica a partir da radiação solar incidente.

Supõe que a energia solar incidente por metro quadrado de solo durante um ano, no local onde se pretende instalar um painel fotovoltaico numa casa, é $1,10 \times 10^{10} \text{ J m}^{-2}$.

O consumo médio diário de eletricidade previsto nessa casa é 20 kW h.

- 10.1.** Determina a energia solar total incidente, em média, por dia, por metro quadrado de solo.
- 10.2.** Qual é o consumo médio de eletricidade previsto para a casa, por dia, em unidades SI?
- 10.3.** Qual é a energia solar que o painel deve receber, por dia, para satisfazer as necessidades energéticas da casa, se o seu rendimento for 20%?
- 10.4.** Calcula a área do painel fotovoltaico que deve ser instalado.

11 O conselho executivo de uma escola pretende estudar a hipótese de substituir parcialmente a energia consumida da rede pública por energia proveniente de painéis fotovoltaicos.

Supõe que a energia solar total incidente no solo, durante um ano, na localidade onde se situa a escola, é $1,10 \times 10^{10} \text{ J m}^{-2}$.

Das opções seguintes, seleciona a que corresponde aproximadamente à área necessária de painéis fotovoltaicos para um gasto diário médio de eletricidade de 250 kW h, se se instalarem nessa escola painéis com um rendimento de 25%.

- (A) $0,200 \text{ m}^2$
- (B) 50 m^2
- (C) 119 m^2
- (D) 200 m^2

2.4. Condutividade térmica

A energia não é transferida por calor com a mesma rapidez por todos os materiais. Há materiais que cedem ou recebem energia por calor, por condução, muito rapidamente – são os materiais que designamos por **bons condutores térmicos (Fig. 42)** – e há materiais que, nas mesmas condições, cedem ou recebem energia por calor, por condução, de um modo muito mais lento – são os materiais que designamos por **maus condutores térmicos (Fig. 43)**.



Fig. 42 Os metais são bons condutores térmicos.



Fig. 43 A esferovite é má condutora térmica.

Os **metais** e as **ligas metálicas** são os materiais **melhores condutores térmicos**.

Materiais não metálicos, como a **madeira**, a **esferovite**, a **lã de vidro**, a **cortiça** e a **borracha**, são **maus condutores térmicos**.

Nos **líquidos** e **gases**, a **condução térmica** é **muito lenta**.

Materiais diferentes, com a mesma forma e tamanho e nas mesmas condições, **conduzem a energia por calor com rapidez diferente**. Dizemos que têm **condutividades térmicas diferentes**.

A **condutividade térmica** é uma grandeza física **característica de um material**; relaciona-se com a rapidez com que a energia é transferida por calor através desse material:

- um material com **condutividade térmica elevada** é **bom condutor térmico**;
- um material com **condutividade térmica baixa** é **mau condutor térmico**, ou seja, é bom **isolador térmico**.

A **unidade SI de condutividade térmica** é o **watt por metro kelvin**, $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$.

Consideremos, por exemplo, a **parede exterior de uma casa**, com uma espessura ℓ e área A (Fig. 44). Seja T_2 a temperatura no interior da casa e T_1 a temperatura no exterior.

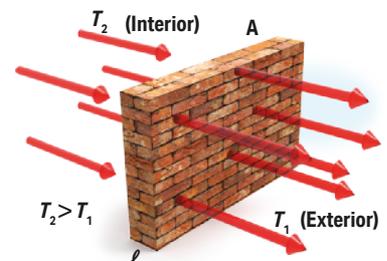
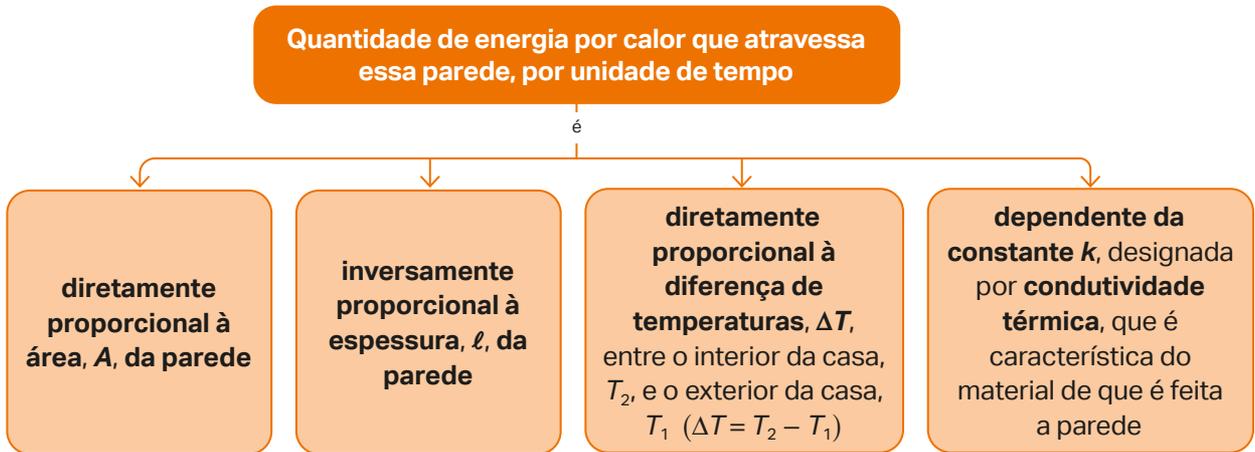


Fig. 44 Parede exterior de uma casa.

Verifica-se que:



A **relação entre estas grandezas** é conhecida por **Lei da Condução Térmica**, que se expressa da seguinte forma:

$$\frac{E}{\Delta t} = k \frac{A}{\ell} \Delta T$$

A **condutividade térmica, k** , é uma grandeza física, característica de um material, que está associada à taxa temporal de transferência de energia por calor, por condução.

Na **Tabela 2** indicam-se os valores da **condutividade térmica de alguns materiais**.

Como podes constatar, a **prata** é o **melhor condutor térmico** entre os metais.

Constatamos também que os metais têm condutividades térmicas elevadas quando comparadas com as dos outros materiais. Alguns desses materiais são usados como isoladores térmicos na construção civil, como é o caso do poliuretano, pelo facto de a sua condutividade térmica ser muito baixa.

Material	Condutividade térmica* ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)	Material	Condutividade térmica* ($\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$)
Prata	427	Gelo	1,6
Cobre	398	Água	0,6
Alumínio	237	Madeira (pinho)	0,11-0,14
Ferro	80	Fibra de vidro	0,046
Vidro	0,7-0,9	Ar	0,026 (a PTN)
Cimento	0,8	Poliuretano	0,020

Tabela 2 * a 25 °C

Exercício resolvido

- 3 Calcule a energia transferida por calor, por metro quadrado, de um cobertor com 1,0 cm de espessura, durante 1 hora, considerando que a temperatura da pele de uma pessoa é 33 °C e a do ambiente é 15 °C.

A condutividade térmica do material do cobertor é $k = 0,034 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Resolução:

3. $A = 1,0 \text{ m}^2$; $\ell = 1,0 \text{ cm} \Leftrightarrow \ell = 1,0 \times 10^{-2} \text{ m}$; $\Delta t = 3600 \text{ s}$; $\theta_2 = 33 \text{ °C}$; $\theta_1 = 15 \text{ °C}$; $\Delta\theta = \Delta T = 18 \text{ K}$; $k = 0,034 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

- **Cálculo da energia transferida por calor, por unidade de tempo** (1 segundo), entre as duas faces do cobertor, aplicando a Lei da Condução Térmica: $\frac{E}{\Delta t} = k \frac{A}{\ell} \Delta T$

Substituindo pelos valores, tem-se: $\frac{E}{\Delta t} = \frac{0,034 \times 1,0}{1,0 \times 10^{-2}} \times 18 \Leftrightarrow \frac{E}{\Delta t} = 61,2 \text{ W}$

- **Cálculo da energia transferida por calor (1 hora):** $E = 61,2 \times 3600 \Leftrightarrow E = 2,2 \times 10^5 \text{ J}$

Vimos que materiais diferentes apresentam condutividades térmicas diferentes. Por exemplo, quando colocamos a mão no **puxador metálico** de uma **porta de madeira** (Fig. 45) e, em seguida, na própria porta, o **puxador parece mais frio**. Embora os dois materiais (metal e madeira) estejam à mesma temperatura – **temperatura ambiente** –, a **sensação de “frio”** que temos ao tocar no puxador **deve-se ao facto de a condutividade térmica do metal ser muito superior à da madeira; o metal cede e recebe energia por calor muito mais rapidamente** do que a madeira.

Existem inúmeras **aplicações** do fenómeno da condução térmica. **Umaz vezes é desejável** que se faça de **forma rápida** (Fig. 46) e **outras vezes é desejável** que se faça de **forma lenta**, isto é, é desejável o **isolamento térmico** (Fig. 47).



Fig. 45 O puxador metálico e a porta de madeira estão à mesma temperatura, mas o puxador dá-nos a sensação de estar mais frio.



Fig. 46 A carne assa mais rapidamente num espeto de metal, pois este tem condutividade térmica elevada.



Fig. 47 A madeira e o gelo, como têm condutividades térmicas muito baixas, são bons isoladores térmicos.

Física em ação

Construção de casas e seu isolamento térmico

Na Antiguidade, o ser humano já se preocupava em **construir** as suas **casas** para **aproveitar a melhor exposição solar**, utilizando os **materiais mais adequados** de que dispunha, de modo a **defender-se dos rigores do clima**. Dependendo da região do Planeta e do poder económico, as casas tinham características diferentes de construção. Mas a principal preocupação era comum a todos: **manter o interior da habitação a uma temperatura adequada, protegendo** os seus moradores do **intenso frio** ou do **calor excessivo**.



O **iglu** – “casa de neve” dos **esquimós** – é um abrigo feito com **neve compactada**, cortada em blocos grandes e maciços, que são dispostos numa espiral ascendente até formar uma cúpula. A sua **forma arredondada** é muito importante, pois a neve que cai sobre eles irá escorregar para os lados, impedindo ou evitando o risco de desabamento devido a um excesso de peso pela sua acumulação sobre o iglu. A temperatura é estável no seu interior, pois **o gelo é um bom isolador** térmico (tem uma condutividade térmica muito baixa).

Já as **cupatas (mucambo ou palhotas)** africanas eram e são feitas de vários materiais da região: **madeira** ou **barro amassado**, cobertas de **colmo** (tipo de caule encontrado na cana-de-açúcar, milho, arroz ou bambu). Estes materiais, maus condutores da energia por calor, mantêm o interior da habitação a uma temperatura mais amena do que a do exterior.



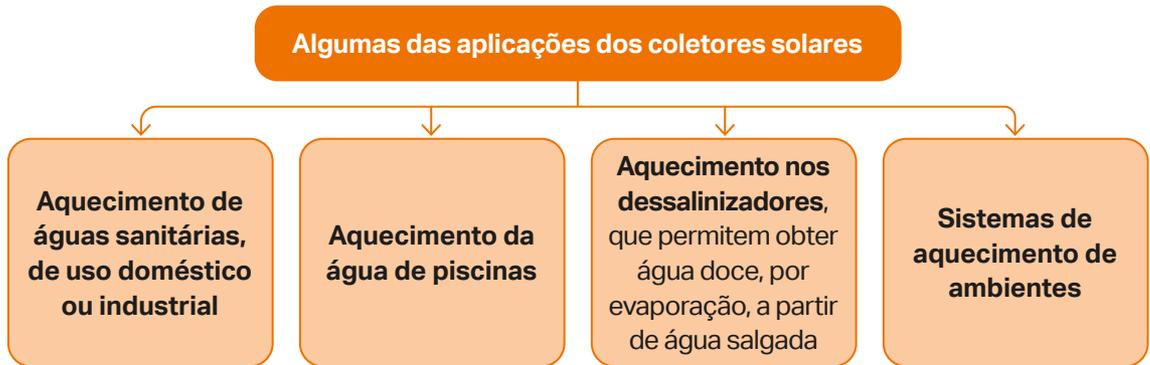
Atualmente, as **técnicas** e os materiais utilizados no **isolamento das nossas casas** são diferentes dos que eram utilizados noutros tempos. Embora o isolamento térmico das casas tenha melhorado muito, **há ainda muitas transferências de energia por calor entre o interior e o exterior**, evitáveis se algumas **medidas** forem tomadas: por exemplo, através de um melhor **isolamento térmico dos telhados, paredes e chão**, da **colocação de vidros duplos** e do cuidado em **calafetar portas e janelas**. Um melhor isolamento consegue-se com **materiais** que há no mercado **com condutividade térmica muito baixa**, o que os torna **bons isoladores térmicos**.



Coletor solar (sistema solar térmico)

Os **coletores solares** são dispositivos que aproveitam a radiação solar para aquecer fluidos que circulam no interior de tubos.

Há **vários tipos de coletores solares**, sendo o coletor solar plano o mais comum (Fig. 48).



Como é constituído um coletor solar plano?

Basicamente, é constituído por:

- uma **caixa com isolamento térmico** (normalmente lã de vidro ou espuma de poliuretano), para minimizar as transferências de energia por calor e proteger o coletor de agentes externos;
- **tubos condutores** em serpentina, que aquecem por **condução**, através dos quais o fluido que se pretende aquecer circula, gerando-se **correntes de convecção**;
- uma **placa coletora**, normalmente de alumínio ou de cobre, pintada de preto fosco, que absorve a radiação solar, à qual estão soldados os tubos condutores por onde circula o fluido que se pretende aquecer;
- uma **cobertura transparente** à radiação solar (de vidro ou acrílico). Como é **transparente à radiação visível que incide** no coletor e **opaca à radiação infravermelha emitida**, origina um **efeito de estufa**.

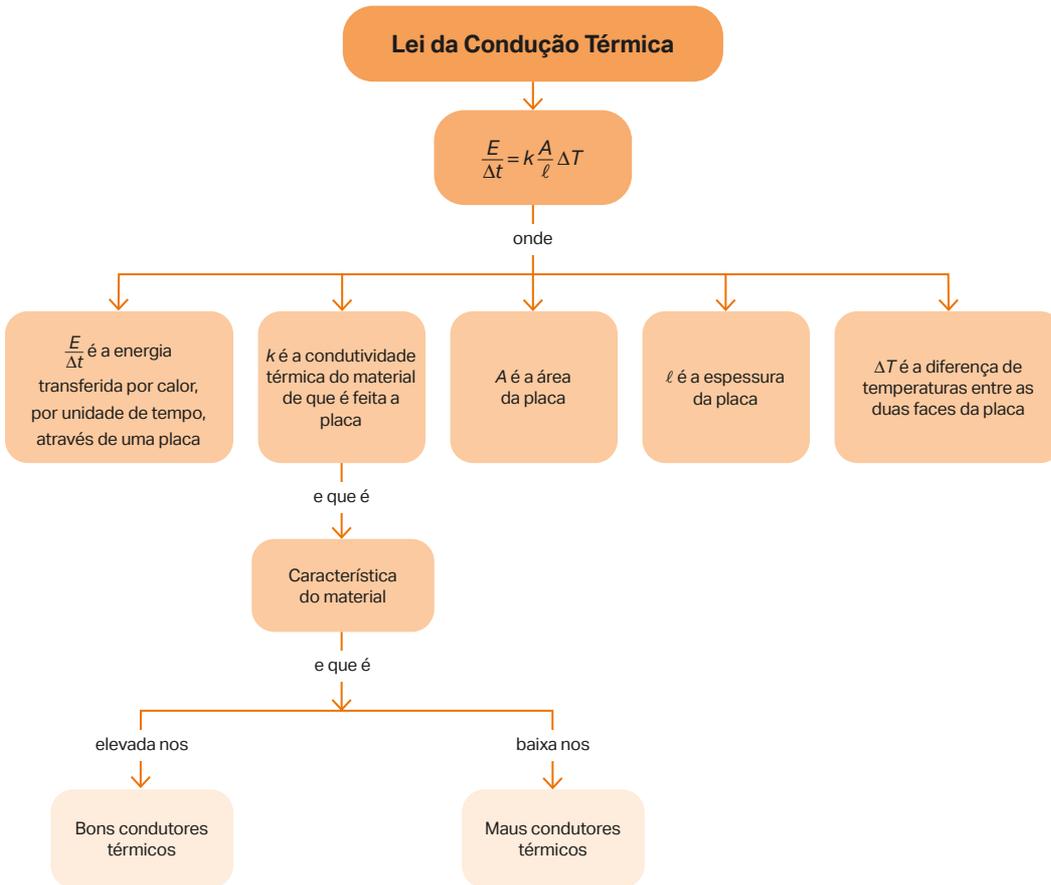
Os **coletores solares** são **instalados nos telhados das casas** e de acordo com a localização geográfica, **de forma a aproveitarem ao máximo a radiação solar**.

A **orientação ideal** para os **coletores solares**, em **Cabo Verde**, é o **sul geográfico**, com um ângulo de inclinação entre 10° e 30°.



Fig. 48 Coletor solar plano.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A quantidade de energia por calor que atravessa uma placa, por unidade de tempo, é:
 - diretamente proporcional à área, A , da placa;
 - inversamente proporcional à espessura, ℓ , da placa;
 - diretamente proporcional à diferença de temperaturas, ΔT , entre os dois lados da placa;
 - depende da constante, k , condutividade térmica, que é característica do material da placa.
- A relação entre as grandezas anteriores, conhecida por **Lei da Condução Térmica**, é:

$$\frac{E}{\Delta t} = k \frac{A}{\ell} \Delta T$$

- Num **coletor solar**, há transferência de energia por **radiação**, **condução** e **convecção**.

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) A energia é transferida por calor com a mesma rapidez na madeira e no cobre.
 - (B) A condução térmica é mais rápida nos líquidos do que nos sólidos.
 - (C) A condutividade térmica é uma característica do material.
 - (D) Um material com condutividade térmica baixa é um material mau condutor térmico.

- 2** Completa, no teu caderno diário, a seguinte frase:

A energia transferida por calor, por unidade de tempo, através de uma placa de um dado material, é (1) proporcional à (2) da placa e à (3) de temperatura entre as duas faces da (4) ; é (5) proporcional à espessura da placa e depende do (6) de que é feita.

- 3** Quando colocamos a mão no puxador metálico de uma porta de madeira e, em seguida, na própria porta, o puxador parece-nos mais frio.

3.1. O puxador metálico e a porta de madeira encontram-se à mesma temperatura ou a temperaturas diferentes?

3.2. Indica a opção que completa corretamente a seguinte frase:

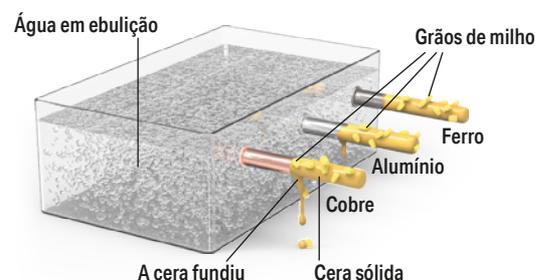
A sensação de “frio” que temos ao tocar no puxador metálico deve-se ao facto de...

- (A) a temperatura do metal ser inferior à da madeira.
- (B) a temperatura do metal ser igual à da madeira.
- (C) a condutividade térmica da madeira ser muito superior à do metal.
- (D) a condutividade térmica do metal ser muito superior à da madeira.

3.3. A que temperatura se encontram os dois materiais?

3.4. Qual dos dois materiais (metal e madeira) cede e recebe energia por calor mais rapidamente?

- 4** Um grupo de alunos pretendeu testar, no laboratório, a condutividade térmica de alguns metais. Para isso, utilizaram três barras cilíndricas desses metais e revestiram-nas de cera numa das extremidades, onde aderiram pequenos grãos de milho.



Em seguida, colocaram as barras, através de orifícios preparados para o efeito, num recipiente com água a ferver.

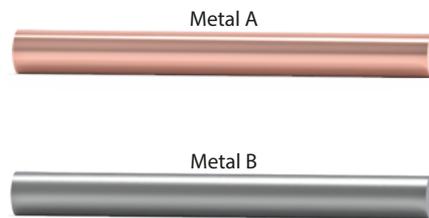
Decorrido algum tempo, observaram a queda dos grãos de milho: primeiro caiu o que estava preso à barra de cobre, e o último a cair foi o que estava preso à barra de ferro.

- 4.1.** Como se processa a transferência de energia por calor através das barras metálicas?
- 4.2.** Relativamente aos metais testados, indica:
- (A) o melhor condutor térmico.
- (B) o que tem condutividade térmica mais elevada.
- 4.3.** Indica os três metais por ordem crescente de condutividades térmicas.

- 5** Uma sala tem uma janela de vidro simples, com 120 cm de largura, 130 cm de altura e 5,0 mm de espessura. A temperatura no interior da sala é 21 °C e a temperatura exterior é 10 °C.

Calcula a energia transferida por calor através do vidro, durante 30 minutos. Considera $k_{\text{vidro}} = 0,80 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

- 6** Na figura encontram-se representadas duas barras de metais diferentes, A e B. Estas barras têm o mesmo comprimento e a mesma área de secção reta.



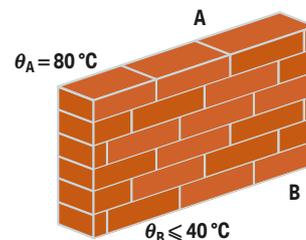
Se a taxa temporal de transferência de energia por calor a que a barra A é sujeita for três vezes superior à taxa a que a barra do metal B é exposta, verifica-se que a diferença de temperatura registada entre as extremidades das duas barras é igual.

Podemos, então, afirmar que a relação entre as condutividades térmicas dos dois metais é:

- (A) $k_A = k_B$ (B) $3 k_A = 3 k_B$ (C) $k_B = \frac{1}{3} k_A$ (D) $k_B = 3 k_A$

Seleciona a opção correta.

- 7** Uma parede de tijolo separa um compartimento A, que se encontra à temperatura de 80 °C e onde se liberta uma taxa de energia por calor, por unidade de área, de 80 W m^{-2} , de um compartimento B, cuja temperatura não deve ultrapassar os 40 °C.



Qual é a espessura mínima da parede?

Dado: $k_{\text{tijolo}} = 0,60 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

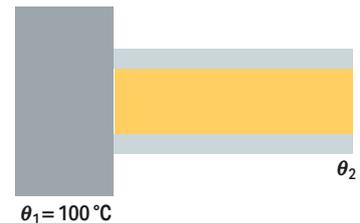
- 8** Uma placa com 5,0 cm de espessura é colocada numa sauna, entre a fornalha que se encontra a 95 °C e o espaço onde ficam as pessoas, à temperatura de 45 °C.

Dados: $k_{\text{cobre}} = 385 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $k_{\text{madeira}} = 0,15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$; $k_{\text{cerâmica}} = 29 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

8.1. Calcula a taxa temporal de transferência de energia por calor, por unidade de área, através da placa, no caso de esta ser feita de cobre, de madeira ou de cerâmica.

8.2. Em qual das situações é que uma pessoa que está na sauna sentirá uma sensação mais desagradável ao tocar na placa?

- 9** Uma barra de comprimento 0,50 m encontra-se encastrada numa superfície, havendo uma taxa de transferência de energia ao longo da barra de 50 W m^{-2} . A temperatura da barra junto à extremidade encastrada é 100 °C e as superfícies superior e inferior encontram-se isoladas termicamente.



Calcula a temperatura θ_2 na extremidade livre da barra, no caso de o material da barra ser:

9.1. cobre;

Dado: $k_{\text{cobre}} = 385 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

9.2. tijolo.

Dado: $k_{\text{tijolo}} = 0,60 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$

- 10** Os coletores solares térmicos são dispositivos que permitem aproveitar o efeito térmico da radiação que nos chega do Sol.

Pretende-se instalar um sistema solar térmico com coletores orientados de modo que neles seja absorvida, por cada metro quadrado e em condições atmosféricas adequadas, radiação de energia média diária de $6,0 \times 10^7 \text{ J}$.

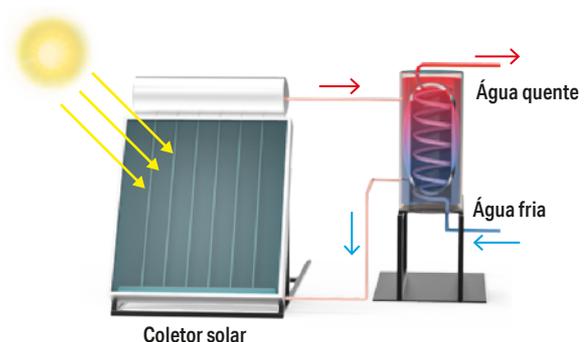
O sistema destina-se a

aquecer a água de um depósito de água numa habitação.

A energia média diária necessária ao aquecimento desejado é $7,2 \times 10^8 \text{ J}$

Calcula a área de coletores que devem ser instalados, para se obter a energia média diária necessária ao aquecimento dessa água.

Considera que o rendimento dos coletores é 100%.



2.5. Capacidade térmica mássica e variação de entalpia

Quando se transfere energia por calor a um corpo, normalmente, a sua temperatura aumenta (Fig. 49), podendo inclusivamente acontecer que o material de que é feito o corpo mude de estado físico (Fig. 50).



Fig. 49 Ferro ao rubro devido ao aquecimento a que foi submetido.



Fig. 50 Ferro fundido devido ao aquecimento intenso a que foi submetido.

Transferência de energia por calor, sem mudança de estado físico

Quando se transfere energia por calor a um corpo, sem que ocorra mudança do estado físico, a **temperatura aumenta**.

Capacidade térmica mássica

A expressão matemática que permite calcular a **energia transferida por calor** (cedida ou recebida) **por um corpo** (a pressão constante e quando não há mudança de estado físico) é a seguinte:

$$E = m c \Delta T$$

Diagram illustrating the equation $E = m c \Delta T$ with labels for each variable:

- E**: Energia transferida por calor por um corpo
- m**: Massa do corpo
- c**: Capacidade térmica mássica: grandeza física que depende do material de que é feito o corpo.
- ΔT** : (ou $\Delta\theta$) Variação de temperatura do corpo

A **energia transferida por calor** (cedida ou recebida) **por um corpo**, quando não há mudança de estado físico, é diretamente proporcional à massa do corpo, à capacidade térmica mássica do material de que é feito o corpo e à variação de temperatura.

O gráfico $E = f(\Delta T)$ (Fig. 51) é uma linha reta que passa pela origem, o que traduz a proporcionalidade direta entre estas grandezas. O declive da reta é igual ao produto $m c$.

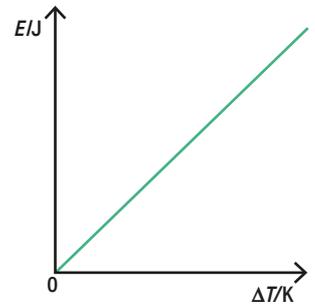


Fig. 51 A energia, E , e a variação de temperatura, ΔT , são diretamente proporcionais.

A **capacidade térmica mássica**, c , de um material é uma grandeza física que indica a maior ou menor capacidade de um material para ceder ou absorver energia por calor. Da expressão: $E = m c \Delta T$, obtém-se:

$$c = \frac{E}{m \Delta T}$$

A **capacidade térmica mássica** de um material é a energia transferida por calor, por unidade de massa do material, para que a sua temperatura varie 1°C (ou 1 K).

A **unidade SI** de **capacidade térmica mássica** é o $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ou $\text{J kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$ (pois, se $\Delta T = 1\text{ K}$, também é $\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$).

Por exemplo, a 25°C , as **capacidades térmicas mássicas** da **água** e da **glicerina** são, respetivamente:

$$c_{\text{água}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{°C}^{-1} \text{ e } c_{\text{glicerina}} = 2,42 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{°C}^{-1}$$

Tal significa que, nas mesmas condições, é necessário **fornecer mais energia por calor a 1 kg de água** (Fig. 52A) do que a 1 kg de glicerina (Fig. 52B), para que as suas temperaturas se elevem 1°C ($\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$).

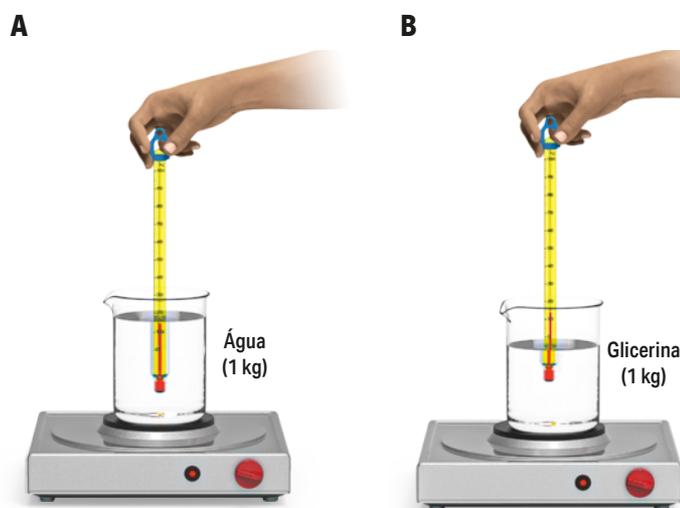


Fig. 52 Nas mesmas condições, é necessário fornecer mais energia por calor a 1 kg de água do que a igual massa de glicerina, para que as suas temperaturas se elevem 1°C .

A **capacidade térmica mássica depende** da natureza do **material** que constitui o corpo (sistema). Embora seja característica do material, a capacidade térmica mássica varia, em geral, com a **temperatura** e o **estado físico** em que o material se encontra.

Por exemplo:

$$c_{\text{água}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (a } 25 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

e

$$c_{\text{gelo}} = 2,1 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (de } -10 \text{ } ^\circ\text{C a } 0 \text{ } ^\circ\text{C)}$$

o que significa que, para **elevar 1 °C** a temperatura de **1 kg de água**, a energia por calor que é necessário fornecer-lhe é aproximadamente o **dobro da energia** por calor que é necessário fornecer a **1 kg de gelo**, para lhe causar a mesma elevação de temperatura (**Fig. 53**).

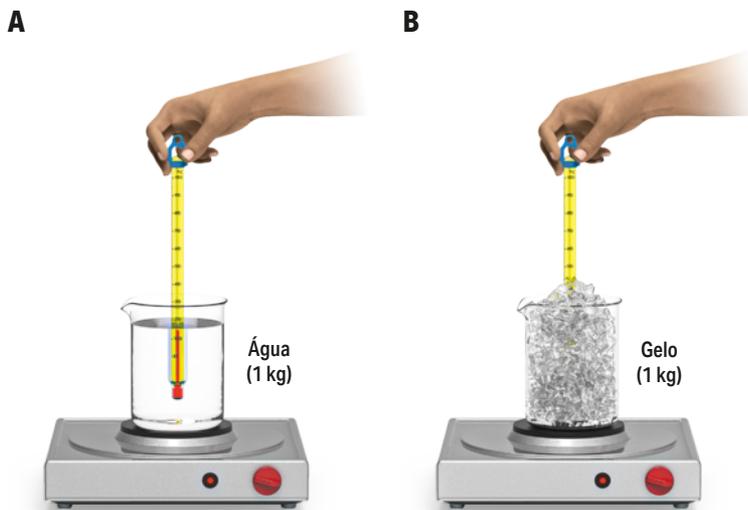


Fig. 53 Nas mesmas condições, é necessário fornecer, aproximadamente, o dobro da energia por calor a 1 kg de água do que a igual massa de gelo, para que as suas temperaturas se elevem 1 °C.

Na **Tabela 3** indicam-se as **capacidades térmicas mássicas de alguns materiais** (isentos de impurezas e de composição conhecida).

Material	Capacidade térmica mássica* (J kg ⁻¹ K ⁻¹)	Material	Capacidade térmica mássica* (J kg ⁻¹ K ⁻¹)
Alumínio	900	Etanol	2300
Ferro	443	Água	4180
Cobre	385	Gelo (– 10 °C–0 °C)	2100
Chumbo	159	Azeite	2000
Glicerina	2420	Ar (atmosférico)	993

Tabela 3 * a 25 °C

Exercício resolvido

- 4 Misturaram-se 500 g de água quente, à temperatura de 71 °C, com 1,0 kg de água mais fria, à temperatura de 15 °C. Admitindo que não houve “perdas” de energia e que $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, calcula:
- 4.1 a capacidade térmica mássica, c , da água, em unidades SI.
- 4.2 a temperatura final da mistura.
- 4.3 a energia que foi transferida, por calor, da água quente para a água fria.

Resolução:

4. Água quente: $m_1 = 500 \text{ g} \Leftrightarrow m_1 = 500 \times 10^{-3} \text{ kg}$;

$$\theta_1 = 71 \text{ } ^\circ\text{C} \Leftrightarrow T_1 = 71 + 273,15 \Leftrightarrow T_1 = 344,15 \text{ K} \approx 344 \text{ K}$$

Água mais fria: $m_2 = 1,0 \text{ kg}$; $\theta_2 = 15 \text{ } ^\circ\text{C} \Leftrightarrow T_2 = 15 + 273,15 \Leftrightarrow T_2 = 288,15 \text{ K} \approx 288 \text{ K}$

- 4.1. Para exprimirmos a capacidade térmica mássica, c , em unidades SI ($\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$), podemos recorrer à expressão: $E = m c \Delta T \Leftrightarrow c = \frac{E}{m \Delta T}$

Como $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$, tem-se:

$$c = \frac{4,18 \text{ J}}{1 \text{ g} \times 1 \text{ } ^\circ\text{C}} \Leftrightarrow c = \frac{4,18 \text{ J}}{1 \times 10^{-3} \text{ kg} \times 1 \text{ K}} \Leftrightarrow c = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

- 4.2. Como admitimos que não há “perdas” de energia, o valor da energia recebida pela água fria (E_2) é igual ao valor da energia cedida pela água quente ($|E_1|$). A água que aquece ($\Delta T_2 > 0$) recebe energia (portanto, $E_2 > 0$) e a água que arrefece ($\Delta T_1 < 0$) cede energia (portanto, $E_1 < 0$).

Sendo $E_2 = |E_1|$ e como $E = m c \Delta T$, tem-se:

$$m_2 \times c \times \Delta T_2 = -m_1 \times c \times \Delta T_1 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 1,0 \times 4,18 \times 10^3 \times (T_f - 288) = -500 \times 10^{-3} \times 4,18 \times 10^3 \times (T_f - 344) \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T_f - 288 = -0,500 \times (T_f - 344) \Leftrightarrow T_f - 288 = -0,500 T_f + 172 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow T_f + 0,500 T_f = 288 + 172 \Leftrightarrow 1,5 T_f = 460 \Leftrightarrow T_f = 307 \text{ K (34 } ^\circ\text{C)}$$

- 4.3. A energia que foi transferida por calor da água quente para a água fria é dada pela expressão: $E_2 = m c \Delta T_2$.

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$E_2 = 1,0 \times 4,18 \times 10^3 \times (T_f - T_i) \Leftrightarrow E_2 = 1,0 \times 4,18 \times 10^3 \times (307 - 288) \Leftrightarrow E_2 = 7,94 \times 10^4 \text{ J}$$

Capacidade térmica mássica e fenómenos do quotidiano

O comportamento térmico de um material está, como vimos, relacionado com a sua capacidade térmica mássica. Assim:

- se a capacidade térmica mássica for elevada, a energia por calor envolvida no aquecimento e arrefecimento desse material é elevada;
- se a capacidade térmica mássica for baixa, a energia por calor envolvida no aquecimento e arrefecimento desse material é baixa.

Exemplos

- **Porque será que, no verão, a areia, por vezes, esqualda e a água do mar não (Fig. 54)?**

Se considerarmos massas iguais de areia e de água do mar, aquecidas pela radiação solar nas mesmas condições e durante o mesmo tempo, a **elevação de temperatura da areia é muito maior do que a da água do mar**, pois a **capacidade térmica mássica da areia é muito menor do que a capacidade térmica mássica da água**. Este facto faz com que a **mesma energia transferida** provoque uma **menor elevação de temperatura** da água do mar do que a que se verifica com a areia.

- **Porque será que os climas marítimos são mais amenos do que os climas continentais (Fig. 55)?**



Fig. 54 Num dia de verão, a areia esqualda e a água do mar não.

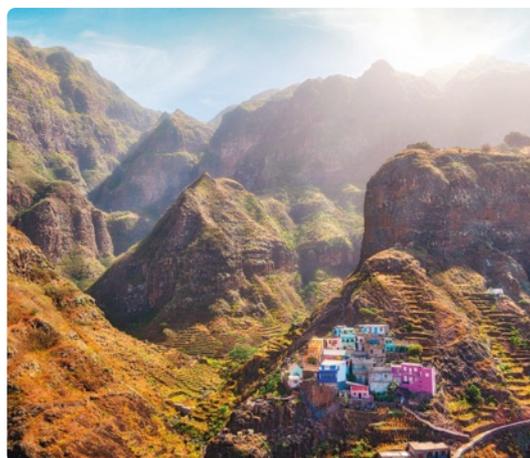


Fig. 55 O clima das regiões montanhosas não é tão ameno como o das regiões marítimas; as amplitudes térmicas são maiores.

Se compararmos a capacidade térmica mássica da água com a de outros materiais (ver **Tabela 3** da página 121), verificamos que a água tem uma capacidade térmica mássica muito mais elevada.

Isso faz com que a **água do mar armazene grande quantidade de energia** por calor **durante o dia** e **liberte grande quantidade de energia** por calor **durante a noite**, aquecendo o ar das vizinhanças.

Uma **pequena diminuição de temperatura da água do mar**, que representa uma grande massa de água, é suficiente para que a energia libertada por calor aqueça suficientemente uma grande massa de ar sobre essa água e as regiões costeiras, devido às **correntes de convecção** que se criam, **fazendo com que não haja grandes amplitudes térmicas**.

A água tem um efeito regulador do clima devido ao valor elevado da sua capacidade térmica mássica.

Transferência de energia por calor, com mudança de estado físico

Quando se transfere energia por calor, a pressão constante, a um corpo, enquanto ocorre mudança de estado físico da substância que o constitui (Fig. 56), a temperatura não varia.

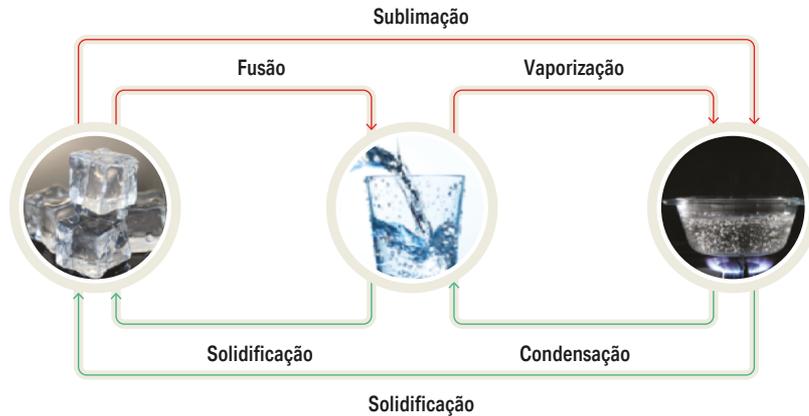


Fig. 56 Mudanças de estado físico.

Por exemplo, durante a fusão de uma substância, a energia fornecida é utilizada para alterar as ligações entre as partículas e não para aumentar a sua agitação. Logo, a temperatura permanece constante. Continuando a aquecer a substância, após a mudança de estado físico, a agitação das partículas aumenta e a temperatura sobe.

Na mudança de estado físico de uma substância, a pressão constante, a temperatura permanece constante.

Os gráficos das figuras 57 e 58 traduzem a variação da temperatura durante o tempo de aquecimento, à pressão atmosférica normal, de uma amostra de água (substância), inicialmente no estado sólido, e de uma amostra de água salgada (mistura), também inicialmente no estado sólido, quando a energia fornecida por unidade de tempo é a mesma.

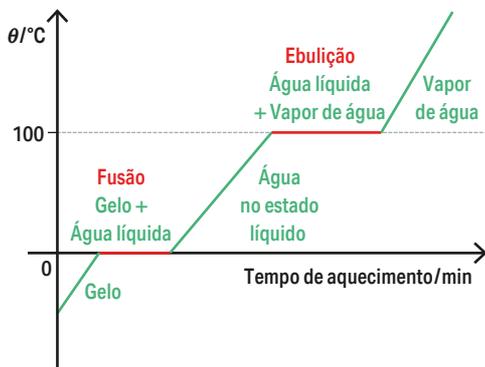


Fig. 57 Durante a fusão e a ebulição da água (substância), a pressão constante, a temperatura não varia.

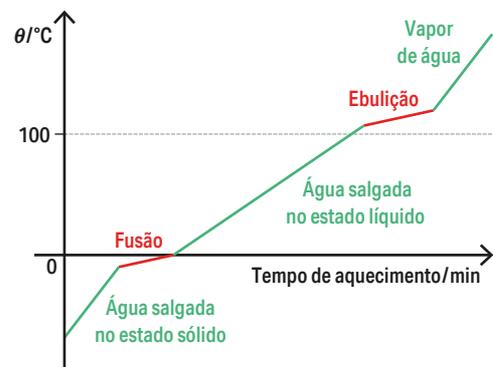


Fig. 58 Durante a fusão e a ebulição da água salgada (mistura), a pressão constante, a temperatura varia.

Como se pode verificar por análise do gráfico da **figura 57**, durante a **fusão e a ebulição da água** (substância), a pressão constante, a **temperatura não varia**.

A **temperatura de fusão da água**, à pressão atmosférica normal, é **0 °C** e a **temperatura de ebulição da água** é **100 °C**. Estas temperaturas designam-se por **ponto de fusão** e **ponto de ebulição**, respetivamente.

Por análise do gráfico da **figura 58**, verifica-se que, **durante a fusão e a ebulição da água salgada** (mistura), **a temperatura não se mantém constante**.

O que se passa com a água salgada passa-se com os outros materiais que não são substâncias puras.

Variação de entalpia mássica de fusão

Para que ocorra, por exemplo, a **fusão do gelo**, temos de lhe fornecer energia por calor. **Logo que o gelo entra em fusão**, o que ocorre à temperatura de 0 °C e à pressão atmosférica normal, a temperatura mantém-se constante (**Fig. 59**), apesar de se continuar a fornecer energia. Esta energia está a ser utilizada apenas para quebrar as ligações entre as moléculas. Logo que a água passa toda ao estado líquido, a temperatura sobe, pois a energia fornecida passa a ser usada para aumentar a agitação das moléculas.

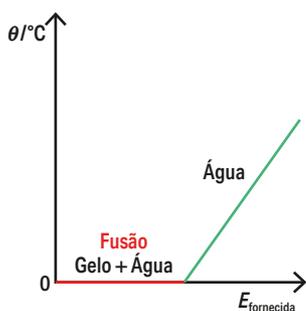


Fig. 59 Durante a fusão do gelo, a pressão constante, a temperatura permanece constante.

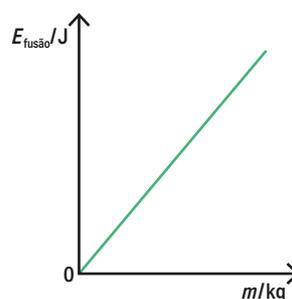


Fig. 60 A energia de fusão, $E_{\text{fusão}}$, é diretamente proporcional à massa, m , de substância.

Durante a fusão do gelo, a energia fornecida por calor é utilizada para quebrar ligações entre as moléculas da água no estado sólido (gelo) e não para elevar a sua temperatura.

À energia que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para que passe do estado sólido ao estado líquido chama-se **variação de entalpia mássica de fusão**, $\Delta H_{\text{fusão}}$.

Assim, **a energia, E , que é necessário fornecer** (por calor) a uma certa massa, m , de gelo (a 0 °C) para que passe toda ao estado líquido (ainda a 0 °C) é dada por:

$$E_{\text{fusão}} = m \Delta H_{\text{fusão}} \quad (1)$$

Como se trata de uma energia fornecida ao gelo, **a variação de entalpia mássica de fusão é positiva**, isto é, $\Delta H_{\text{fusão}} > 0$. Se fosse uma **solidificação**, a variação de entalpia mássica seria negativa, isto é, $\Delta H_{\text{solidificação}} < 0$.

A unidade SI de variação de entalpia mássica de fusão é o **joule por quilograma, J kg^{-1}** .

Sendo $\Delta H_{\text{fusão}}$ **característica da substância**, a expressão (1) mostra que a energia necessária para a fusão de uma substância é diretamente proporcional à sua massa (**Fig. 60**).

No caso do gelo, $\Delta H_{\text{fusão}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$, o que significa dizer que é necessário fornecer $3,34 \times 10^5 \text{ J}$ de energia por calor para fundir completamente 1,0 kg de gelo, a 0°C .

A **variação de entalpia mássica de fusão**, $\Delta H_{\text{fusão}}$, é a energia que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para que, depois de atingida a temperatura de fusão, ocorra a fusão completa.

Exercício resolvido

- 5 Considera um bloco de gelo, de massa 500 g, à temperatura de -6°C e à pressão atmosférica normal.

$$c_{\text{gelo}} = 2,1 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}; c_{\text{água}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\text{e } \Delta H_{\text{fusão do gelo}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$$

Calcula a energia:

- 5.1 que é necessário fornecer por calor para que o bloco de gelo comece a fundir.
 5.2 fornecida por calor durante a fusão do bloco de gelo.
 5.3 que é necessário fornecer por calor para elevar a temperatura da água de 0°C até 15°C .

Resolução:

5. $m = 500 \text{ g} \Leftrightarrow m = 0,500 \text{ kg}; \theta_i = -6^\circ\text{C}; \theta_f = 15^\circ\text{C}$
 5.1. Para calcular a **energia que é necessário fornecer ao bloco de gelo para que ele comece a fundir**, a 0°C , uma vez que a pressão atmosférica é a normal, vamos utilizar a expressão:

$$E_1 = m \times c_{\text{gelo}} \times \Delta T_1$$

Sendo $\Delta\theta_1 = \theta_{\text{fusão}} - \theta_{\text{inicial}} \Rightarrow \Delta\theta_1 = 0^\circ\text{C} - (-6^\circ\text{C}) \Leftrightarrow \Delta\theta_1 = 6^\circ\text{C} \Leftrightarrow \Delta T_1 = 6 \text{ K}$,

substituindo pelos valores na expressão, tem-se:

$$E_1 = 0,500 \times 2,1 \times 10^3 \times 6 \Leftrightarrow E_1 = 6,3 \times 10^3 \text{ J}$$

Como $E_1 > 0$, esta energia é recebida pelo gelo (sistema); a sua energia interna aumenta.

- 5.2. Para calcular a **energia fornecida por calor durante a fusão de todo o bloco de gelo**, utiliza-se:

$$E_{\text{fusão}} = m \Delta H_{\text{fusão}}$$

Substituindo pelos valores na expressão, tem-se:

$$E_2 = 0,500 \times 3,34 \times 10^5 \Leftrightarrow E_2 = 1,67 \times 10^5 \text{ J}$$

Esta energia E_2 é utilizada para quebrar as ligações entre as moléculas de água (no gelo).

- 5.3. Para calcular a **energia fornecida por calor para elevar a temperatura da água de 0°C até 15°C** , utiliza-se: $E_3 = m \times c_{\text{água}} \times \Delta T_3$

sendo $\Delta\theta_3 = \theta_{\text{final}} - \theta_{\text{fusão}} \Rightarrow \Delta\theta_3 = 15^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C} \Leftrightarrow \Delta\theta_3 = 15^\circ\text{C} \Leftrightarrow \Delta T_3 = 15 \text{ K}$

Substituindo pelos valores, tem-se: $E_3 = 0,500 \times 4,18 \times 10^3 \times 15 \Leftrightarrow E_3 = 3,14 \times 10^4 \text{ J}$

Como $E_3 > 0$, esta energia é recebida pela água (sistema); a sua energia interna aumenta.

Variação de entalpia mássica de vaporização

Continuando com o exemplo da água, analisemos o que se passa quando ocorre a sua **vaporização**, à pressão atmosférica normal.

Se fornecermos energia por calor à água líquida, enquanto esta não entrar em ebulição, a sua temperatura aumenta (**Fig. 61**), pois a agitação das moléculas aumenta. **Logo que a água entra em ebulição**, o que ocorre à temperatura de 100 °C, a temperatura mantém-se constante, apesar de se continuar a fornecer energia. Enquanto houver água para passar do estado líquido ao estado gasoso, a temperatura permanece constante. A energia fornecida está a ser apenas utilizada para alterar as interações entre as moléculas, levando a um afastamento médio entre elas muito maior e a uma maior desorganização.

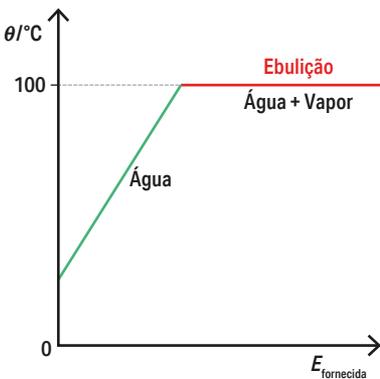


Fig. 61 Durante a ebulição da água, a pressão constante, a temperatura permanece constante.

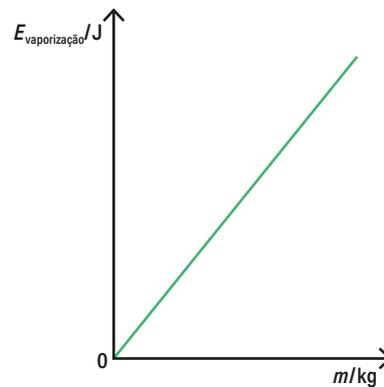


Fig. 62 A energia de vaporização, $E_{\text{vaporização}}$, é diretamente proporcional à massa, m , da substância.

Durante a ebulição da água, a energia fornecida por calor é utilizada para alterar as interações entre as moléculas da água e não para elevar a sua temperatura.

À energia que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para que passe do estado líquido ao estado gasoso chama-se **variação de entalpia mássica de vaporização**, $\Delta H_{\text{vaporização}}$.

Assim, **a energia, E , que é necessário fornecer** (por calor) a uma certa massa, m , de água (a 100 °C), para que passe toda ao estado gasoso (ainda a 100 °C), é dada pela expressão:

$$E_{\text{vaporização}} = m \Delta H_{\text{vaporização}} \quad (2)$$

Como se trata de uma energia fornecida à água, **a variação de entalpia mássica de vaporização é positiva**, isto é, $\Delta H_{\text{vaporização}} > 0$.

Sendo $\Delta H_{\text{vaporização}}$ **característica da substância**, a expressão (2) mostra que a energia necessária à vaporização de uma substância é diretamente proporcional à sua massa (**Fig. 62**).

No caso da água, é $\Delta H_{\text{vaporização}} = 2,26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$, o que significa dizer que é necessário fornecer $2,26 \times 10^6 \text{ J}$ de energia por calor a $1,0 \text{ kg}$ de água, a 100 °C , para que passe na totalidade ao estado gasoso.

A **variação de entalpia mássica de vaporização**, $\Delta H_{\text{vaporização}}$, é a energia que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para que, depois de atingida a temperatura de ebulição, passe na totalidade ao estado gasoso.

Exercício resolvido

- 6 Considera 100 g de vapor de água, à temperatura de 100 °C e à pressão atmosférica normal.

$$c_{\text{água líquida}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ °C}^{-1} \text{ e } \Delta H_{\text{vaporização da água}} = 2,26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1}$$

Calcula a energia:

- 6.1 cedida pelo vapor de água à vizinhança durante a sua condensação.
6.2 total cedida pelo vapor de água à vizinhança no seu arrefecimento de 100 °C até 20 °C .

Resolução:

6. $m = 100 \text{ g} \Leftrightarrow m = 0,100 \text{ kg}$; $\theta_i = 100 \text{ °C}$; $\theta_f = 20 \text{ °C}$

$$\Delta H_{\text{condensação}} = -2,26 \times 10^6 \text{ J kg}^{-1} \text{ (é simétrica de } \Delta H_{\text{vaporização}} \text{)}$$

- 6.1. À pressão atmosférica normal, o vapor de água condensa a 100 °C , temperatura a que já se encontra. Para calcular **a energia transferida por calor**, usamos a expressão:

$$E_{\text{condensação}} = m \Delta H_{\text{condensação}}$$

Substituindo pelos valores na expressão, tem-se:

$$E_1 = 0,100 \times (-2,26 \times 10^6) \Leftrightarrow E_1 = -2,26 \times 10^5 \text{ J}$$

E_1 é negativo, o que significa que, durante a condensação, é cedida energia por calor à vizinhança. A energia cedida pelo vapor de água à vizinhança, durante a condensação, é **$2,26 \times 10^5 \text{ J}$** .

- 6.2. Como durante a condensação do vapor de água a temperatura se mantém constante nos 100 °C , vamos ter, agora, de calcular **a energia cedida pela água líquida, a 100 °C , até atingir a temperatura de 20 °C** . Para isso, vamos utilizar a expressão:

$$E_2 = m \times c_{\text{água}} \times \Delta T$$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$E_2 = 0,100 \times 4,18 \times 10^3 \times (\theta_f - \theta_i) \Leftrightarrow E_2 = 4,18 \times 10^2 \times (20 \text{ °C} - 100 \text{ °C}) \Leftrightarrow \\ \Leftrightarrow E_2 = -3,34 \times 10^4 \text{ J} \text{ (} E_2 < 0, \text{ pois é uma energia cedida)}$$

Cálculo da energia total transferida pelo vapor de água à vizinhança:

$$E = E_1 + E_2$$

Substituindo pelos valores, tem-se:

$$E = -2,26 \times 10^5 + (-3,34 \times 10^4) \Leftrightarrow E = -2,59 \times 10^5 \text{ J}$$

A energia total cedida pelo vapor de água à vizinhança, no seu arrefecimento de 100 °C até 20 °C , é **$2,59 \times 10^5 \text{ J}$** .

Atividade Laboratorial 2: Capacidade térmica mássica

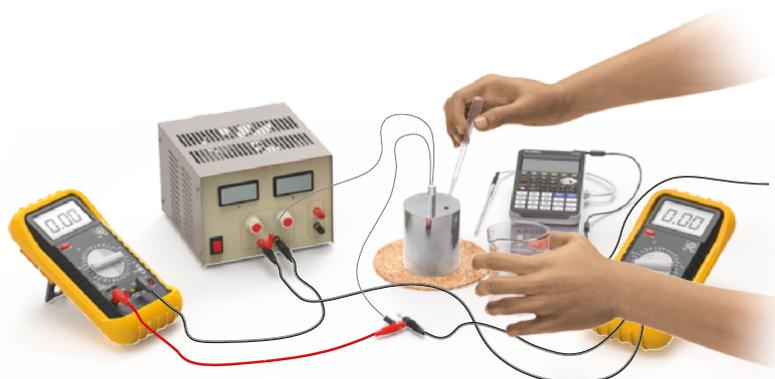
Material e equipamento por grupo de trabalho

- Conjunto de blocos calorimétricos de metais e/ou ligas metálicas diferentes
- Resistência de aquecimento
- Termómetro ou sensor de temperatura
- Fonte de alimentação (0-12 V)
- Amperímetro
- Voltímetro
- Balança
- Cronómetro
- Fios de ligação e crocodilos
- Interruptor
- Glicerina e pipeta de Pasteur



Antes de começar, tem em atenção que...

- O **voltímetro** deve estar **ligado** aos **terminais da resistência de aquecimento**.
- Deves **analisar as escalas dos aparelhos de medida** que vão ser utilizados e **registar** as respetivas **incertezas absolutas de leitura**.
- Deves **ter em atenção o alcance e a sensibilidade dos aparelhos de medida**.
- Deves fazer uma **previsão da evolução da temperatura** do metal ou liga metálica, no intervalo de tempo em que a resistência está ligada e imediatamente após ser desligada.
- Deves **analisar fatores que contribuem para minimizar as perdas de energia**.
- Deves **medir a massa de cada bloco calorimétrico** antes de fechar o circuito.



- Antes de fechares o circuito, deves também **colocar um pouco de glicerina nos orifícios de cada bloco**, para melhorar o contacto térmico, quer com a resistência quer com o termómetro ou sensor de temperatura.
- A **resistência deve ser ligada num curto intervalo de tempo**, para diminuir as perdas de energia.
- A resistência elétrica não deve estar ligada à corrente elétrica fora dos blocos, pois pode fundir.
- É necessário **deixar arrefecer** os blocos calorimétricos, a resistência elétrica de aquecimento e o termómetro ou sensor de temperatura **antes de iniciares a experiência com outro bloco calorimétrico**.
- Deves exprimir as medidas com o **número correto de algarismos significativos**.
- O **resultado de uma medição direta** deve ser expresso em função do **valor mais provável e da incerteza absoluta ou da incerteza relativa**.
- Para **construïres o gráfico da variação da temperatura, ΔT , de um material, em função da energia fornecida, E** (energia transferida por calor para o bloco), deves **recorrer à calculadora gráfica** (ou equivalente).
- Deves **manipular com cuidado e correção todo o equipamento**.
- Deves **cumprir as regras gerais de conduta no laboratório**.

Registos a efetuar

Registos:

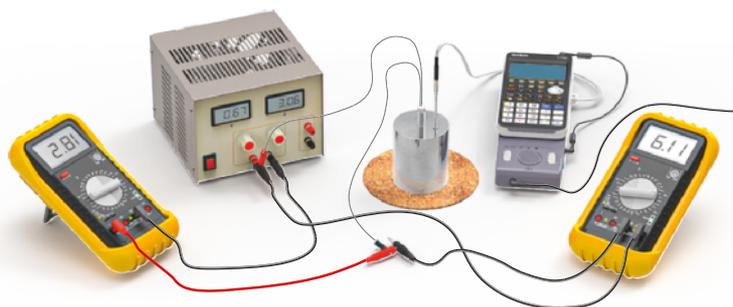
$$m_{\text{cilindro}} = \frac{\quad}{\quad} \pm \frac{\quad}{\quad}$$

$$\theta_{\text{inicial}} = \frac{\quad}{\quad} \pm \frac{\quad}{\quad}$$

$\Delta t / s$	$\theta / ^\circ C$	$\Delta T / K$	U / V	I / A	$E = UI \Delta t$ E / J

Procedimento experimental

- Monta, corretamente, o circuito, de acordo com a figura.



- Os blocos calorimétricos devem ser colocados sobre material isolante, como, por exemplo, cortiça.
- Utiliza os instrumentos de medida adequados à realização da experiência.

- Regista a sensibilidade de cada aparelho de medida e as incertezas absolutas de leitura.
- Mede a massa do bloco calorimétrico.
- Coloca um pouco de glicerina no interior dos dois orifícios do bloco calorimétrico, para melhorar o contacto térmico, quer com a resistência quer com o termómetro ou sensor de temperatura.
- Introduce no bloco calorimétrico a resistência de aquecimento.
- Introduce, no outro orifício do bloco calorimétrico, um termómetro ou um sensor de temperatura.
- Constroi, no teu caderno diário, uma tabela semelhante à que se apresenta, na qual deves registar as medições diretas que vais fazer (ver **Registos a efetuar**).
- Antes de ligares o circuito, verifica se o mesmo se encontra devidamente montado.
- Lê e regista a temperatura inicial do bloco.
- Liga o circuito e ajusta, na fonte de alimentação, a tensão elétrica, de forma a ter uma tensão de cerca de 10 V nos terminais da resistência elétrica de aquecimento.
- Faz leituras de temperatura de minuto a minuto, durante cerca de 10 minutos, e regista-as na tabela que construiste.
- Desliga o circuito, utilizando o interruptor, e, ainda durante algum tempo após o ter desligado, continua a fazer leituras de temperatura a cada minuto, até que a elevação de temperatura atingida pelo bloco seja máxima (temperatura final), e regista-as na tabela que construiste.
- Regista também, a cada a minuto, os valores da tensão elétrica nos terminais da resistência e da corrente elétrica no circuito.
- Repete todos os passos da experiência anterior, utilizando, agora, outro bloco calorimétrico.

Exploração dos resultados

- Constroi e interpreta o **gráfico da variação da temperatura, ΔT , de um material em função da energia fornecida, E** (energia transferida por calor para o bloco).
- Traça a **reta que melhor se ajusta** aos dados experimentais e obtém a sua **equação**.
- **Determina a capacidade térmica mássica do material** a partir do declive da reta de ajuste.
- **Compara os valores** da capacidade térmica mássica, **obtidos experimentalmente, com os valores tabelados**.
- **Avalia a exatidão do resultado** a partir do **erro percentual**.
- Indica **possíveis causas de erros** durante a realização do trabalho laboratorial.
- Explicita **cuidados a ter quando se repete** a experiência.
- Elabora um **relatório** sobre o trabalho laboratorial que realizaste.

Atividade Laboratorial 3: Balanço energético de uma mistura de água (líquida) e gelo e determinação da entalpia de fusão do gelo

Material e equipamento por grupo de trabalho

- Recipiente isolante
- 2 termómetros ou sensores de temperatura
- Balança
- Gobelés
- Tina
- Vareta de vidro
- Pinça metálica
- Água quente
- Cubos de gelo
- Papel absorvente
- Cronómetro



Antes de começar, tem em atenção que...

- Deves **analisar as escalas dos aparelhos de medida** que vão ser utilizados e **registar** as respetivas **incertezas absolutas de leitura**.
- Deves **verificar o alcance e a sensibilidade dos aparelhos de medida**.
- Deves **analisar que fatores** contribuem para **minimizar a dissipação de energia** durante a realização da atividade.
- Deves **colocar o gelo a utilizar** (fragmentado) **numa tina com água**, algum tempo antes de realizar a experiência, para que, deste modo, a temperatura no interior do gelo, em contacto com a água, se aproxime mais da temperatura de 0 °C.
- Deves **ler e registar a temperatura inicial** da água.
- Deves **agitar** sempre e com cuidado **o recipiente isolante** para uniformizar a temperatura no seu interior.
- Deves exprimir as medidas com o **número correto de algarismos significativos**.
- O **resultado de uma medição direta** deve ser expresso em função do **valor mais provável e da incerteza absoluta ou da incerteza relativa**.
- Deves **manipular com cuidado e correção todo o equipamento**.
- Deves **cumprir as regras gerais de conduta no laboratório**.

Registos a efetuar

Mistura de duas massas de água

Registos:

$$m_{\text{água 1}} = \text{---} \pm \text{---} \quad \theta_{\text{água 1}} = \text{---} \pm \text{---}$$

$$m_{\text{água 2}} = \text{---} \pm \text{---} \quad \theta_{\text{água 2}} = \text{---} \pm \text{---}$$

$$\theta_{\text{final (previsto)}} = \text{---} \pm \text{---} \quad \theta_{\text{final (experimental)}} = \text{---} \pm \text{---}$$

Mistura de água e gelo

Registos:

$$m_{\text{água}} = \text{---} \pm \text{---} \quad \theta_{\text{água (inicial)}} = \text{---} \pm \text{---} \quad m_{\text{gelo}} = \text{---} \pm \text{---} \quad \theta_{\text{gelo (inicial)}} = \text{---} \pm \text{---}$$

t / s					
$\Delta\theta / ^\circ\text{C}$					

Procedimento experimental

Mistura de duas massas de água

- Utiliza os instrumentos de medida adequados à realização da experiência.
- Regista, no teu caderno diário, a sensibilidade de cada aparelho de medida e as incertezas absolutas de leitura.
- Coloca em dois gobelés, com isolantes térmicos, diferentes massas de água (por exemplo, 100 g e 150 g), a temperaturas diferentes (por exemplo, uma à temperatura ambiente e a outra de 15 °C a 20 °C acima).



- Regista os valores das massas de água e as respetivas temperaturas.
- Prevê a temperatura final da mistura.
- Adiciona as massas de água, mede a temperatura de equilíbrio e compara-a com a previsão efetuada.

Mistura de água e gelo

- Constroi, no teu caderno diário, uma tabela semelhante à que se apresenta, onde deves registar as medições diretas que vais efetuar (ver **Registos a efetuar**).
- Coloca um recipiente isolante, com a respetiva tampa, na balança.
- Adiciona, a esse recipiente, cerca de 120 g de água a uma temperatura de 15 °C a 20 °C acima da temperatura ambiente.
- Fecha, devidamente, o recipiente com a tampa.
- Introduce no recipiente isolante, através de um orifício na tampa, o termómetro ou sensor de temperatura.
- Liga o sensor de temperatura digital ou o sensor EasyTemp à calculadora gráfica (Casio, TI-nSpire ou TI-84 Plus).
- Proceda da seguinte forma, de acordo com a tua calculadora gráfica:

Casio

- Liga a calculadora e o analisador de dados.
- No menu, seleciona E-CON2.
- Seleciona a opção F1: Setup EA 200.
- Seleciona a opção ADvance (F2).
- Seleciona a opção [1]: Chanel e **EXE**.
- Seleciona F1 CASIO.
- Seleciona Temperatura **EXE** e seleciona °C **EXE**.
- Pressiona **EXE** para voltar ao "Advanced Setup".
- Seleciona a opção [2]: Sample e seleciona:
 - Mode: Normal
 - Interval: F1 0,2 **EXE**
 - Number: F1 1000 **EXE**
 - Warm-up: Auto **EXE**
- Verifica se o sensor está selecionado e se o cabo está bem ligado à calculadora.
- Seleciona START (F1), pressiona **EXE** e aguarda.
- Quando terminar a recolha de dados, é apresentado no ecrã da calculadora o respetivo gráfico.
- Observa o gráfico que surge no ecrã da calculadora.



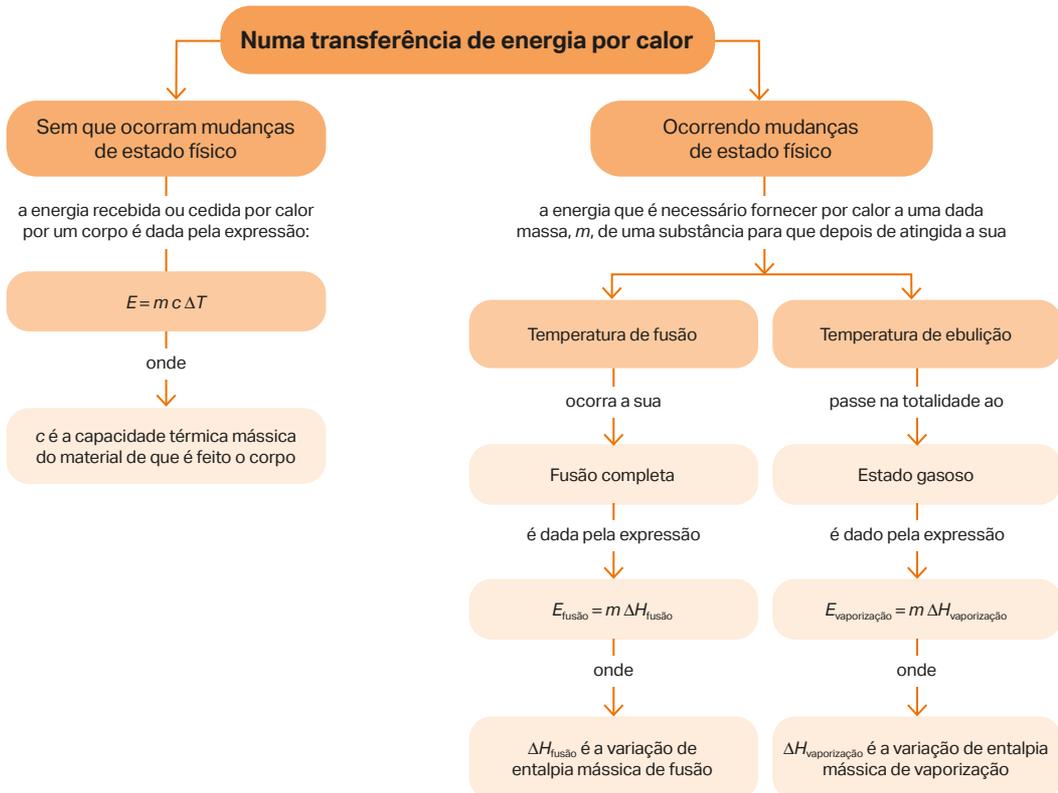
TI-84 Plus

- Liga a calculadora.
 - Se não abrir de imediato o programa, clica em Apps 3:EasyData.
 - No ecrã da calculadora, clica em:
 - Setup 1:Temp ENTER Units 1:1C2 OK
 - Start OK
 - Espera pela recolha de dados.
 - Quando terminar, clica no ecrã em Stop.
 - Observa o gráfico que surge no ecrã da calculadora.
- 
- De seguida, seleciona no ecrã da calculadora PLOTS 1:Temp (C) vsTime ENTER.
 - Lê e regista a temperatura inicial da água, θ_i .
 - Coloca o gelo a utilizar (fragmentado) numa tina com água algum tempo antes de realizares a experiência.
 - Mede a temperatura da mistura da tina até que atinja, aproximadamente, 0°C .
 - Retira, com uma pinça, cerca de 20 g de gelo. Mede, na balança, a massa total do gelo e regista o seu valor.
 - Coloca esse gelo muito rapidamente no interior do recipiente isolante e tapa-o de imediato.
 - Agita sempre com cuidado o recipiente isolante e regista a temperatura, em função do tempo, até esta estabilizar.

Exploração dos resultados

- Prevê a **temperatura final da mistura** das duas massas de água a temperaturas diferentes e compara com o valor obtido experimentalmente.
- Estabelece **balanços energéticos**, aplicando a Lei da Conservação da Energia.
- Interpreta o **sinal positivo ou negativo da variação da energia interna** do sistema.
- Traça o gráfico da temperatura, em função do tempo, para a mistura de água e gelo.
- Determina a **entalpia mássica de fusão** do gelo.
- **Avalia a exatidão do resultado** a partir do **erro percentual**.
- Indica **possíveis causas de erros** durante a realização do trabalho laboratorial.
- Elabora um **relatório** sobre o trabalho laboratorial que realizaste.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **energia transferida por calor, quando não há mudança de estado físico**, é diretamente proporcional à massa do corpo, à capacidade térmica mássica do material de que é feito o corpo e à variação de temperatura do corpo.

$$E = m c \Delta T$$

- A **capacidade térmica mássica de um material, c** , é a energia transferida por calor por unidade de massa desse material para que a sua temperatura varie 1 °C (ou 1 K).
- A **variação de entalpia mássica de fusão, $\Delta H_{\text{fusão}}$** , é a energia que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para que, atingida a temperatura de fusão, ocorra a fusão completa.

$$E_{\text{fusão}} = m \Delta H_{\text{fusão}}$$

- A **variação de entalpia mássica de vaporização, $\Delta H_{\text{vaporização}}$** , é a energia que é necessário fornecer à unidade de massa de uma substância para que, atingida a sua temperatura de ebulição, passe na totalidade ao estado gasoso.

$$E_{\text{vaporização}} = m \Delta H_{\text{vaporização}}$$

Exercícios de aplicação

- 1** Considera duas amostras, A e B, de uma mesma substância, de massas m_A e m_B , respetivamente, sendo $m_A = 2 m_B$.

Se for fornecida a mesma energia às duas, qual das opções corresponde à relação entre as variações de temperatura sofridas pelas amostras?

(A) $\Delta T_A = \frac{1}{2} \Delta T_B$

(B) $\Delta T_A = 2 \Delta T_B$

(C) $\Delta T_A = \Delta T_B$

(D) $\Delta T_A = - \Delta T_B$

- 2** Um corpo de massa 300 g é feito de um material de capacidade térmica mássica $0,40 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

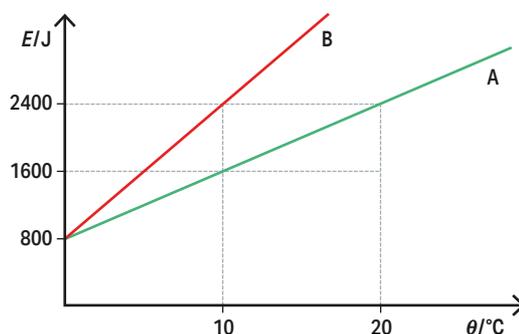
Determina:

- 2.1.** a energia por calor, expressa em joules, que o corpo deve receber para que a sua temperatura aumente $30 \text{ }^\circ\text{C}$.

Dado: $1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J}$

- 2.2.** a energia por calor, expressa em joules, que o corpo deve ceder para que a sua temperatura diminua $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 3** A figura apresenta o gráfico da energia absorvida por dois corpos, A e B, em função da temperatura.



- 3.1.** Calcula, para cada um dos corpos com a massa de 100 g cada um, a capacidade térmica mássica dos materiais que os constituem.

- 3.2.** Indica a opção que corresponde à expressão que traduz o declive das retas representadas na figura.

(A) $\frac{1}{m c}$

(B) $m c$

(C) $\frac{m}{c}$

(D) $\frac{c}{m}$

- 3.3.** Calcula a energia cedida por calor por cada um dos corpos para a vizinhança, se forem arrefecidos de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ para $0 \text{ }^\circ\text{C}$.

- 4** Considera diversas amostras puras de líquidos, todas inicialmente a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, que sofrem um processo de arrefecimento até atingirem a temperatura ambiente.

A energia cedida por cada uma dessas amostras será tanto maior quanto...

- (A) menor for a massa da amostra e menor for a capacidade térmica mássica do líquido.
- (B) maior for a massa da amostra e maior for a capacidade térmica mássica do líquido.
- (C) maior for a massa da amostra e menor for a capacidade térmica mássica do líquido.
- (D) menor for a massa da amostra e maior for a capacidade térmica mássica do líquido.

Selecione a opção correta.

- 5** Considera 100 g de glicerina, à temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Sabendo que foi aquecida até $40\text{ }^{\circ}\text{C}$, calcula:

- 5.1.** a energia por calor que foi necessário fornecer-lhe.
- 5.2.** o tempo de aquecimento se a energia fornecida por minuto for $43,5\text{ cal}$.

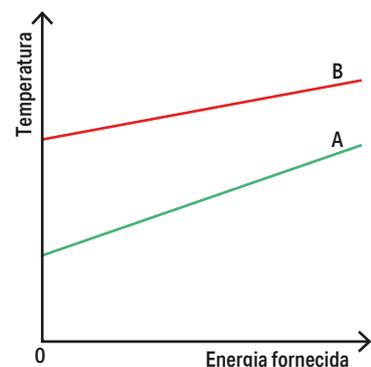
Dados: $1\text{ cal} = 4,18\text{ J}$; $c_{\text{glicerina}} = 2,42 \times 10^3\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$

- 6** A figura representa o esboço do gráfico da temperatura de dois corpos, A e B, com a mesma massa, aquecidos nas mesmas condições, em função da energia por calor que lhes foi fornecida.

Comparando as variações de temperatura dos dois corpos, em função da energia que lhes foi fornecida, podemos concluir que:

- (A) Para uma mesma energia fornecida, o aumento de temperatura de B foi superior ao de A.
- (B) Para uma mesma energia fornecida, o aumento de temperatura do corpo A é maior do que o do corpo B, porque a capacidade térmica mássica do material do corpo A é menor.
- (C) A massa e a capacidade térmica mássica do material do corpo A são maiores do que a massa e a capacidade térmica mássica do material do corpo B.

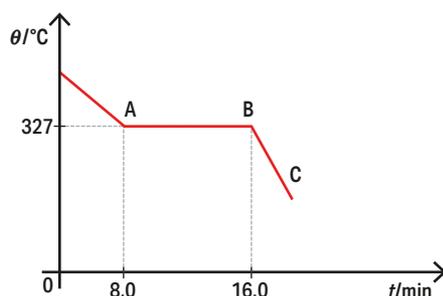
Selecione a opção correta.



- 7 Calcula a energia que é necessário fornecer a 1,0 kg de gelo, à temperatura de 0 °C e à pressão normal, para que ele funda.

A variação de entalpia mássica de fusão do gelo, à pressão normal, é $\Delta H_{\text{fusão do gelo}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$.

- 8 A figura representa o esboço do gráfico da temperatura em função do tempo, durante o arrefecimento de 100 g de uma substância que funde a 327 °C.



8.1. Em que estado físico se encontra a substância nos ramos AB e BC?

8.2. Se no ramo AB a substância ceder à vizinhança energia por calor, à razão de 0,8 kJ por minuto, qual será a sua variação de entalpia de fusão?

- 9 Uma resistência de aquecimento, de potência 250 W, é colocada num gobelé com gelo, a 0 °C.

A variação de entalpia mássica de fusão do gelo, à pressão normal, é $\Delta H_{\text{fusão do gelo}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$.

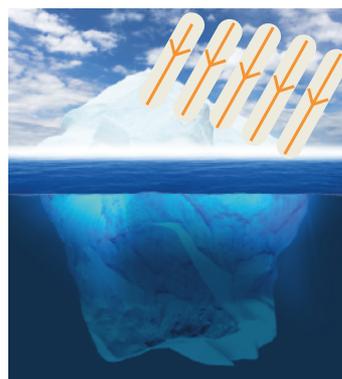
Calcula a massa de gelo que funde se a resistência de aquecimento estiver ligada durante 20 s.

- 10 Um icebergue tem uma massa de $20 \times 10^3 \text{ kg}$ e a face onde incidem perpendicularmente os raios solares tem uma área de, aproximadamente, $8,0 \text{ m}^2$.

No local onde se encontra o icebergue há, no máximo, 30 dias com uma duração máxima de exposição solar de 4,0 horas. Nesses períodos, a energia solar incidente na face exposta do icebergue é 1200 W m^{-2} .

Será que o icebergue chega a fundir completamente? Justifica.

Dado: $\Delta H_{\text{fusão do gelo}} = 3,33 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$



- 11** Dentro de um calorímetro, onde se encontram 2,0 kg de água à temperatura de 20 °C, é lançado um objeto de ferro proveniente de um forno à temperatura de 200 °C.

Qual deverá ser a massa do objeto para assegurar que a temperatura de equilíbrio do sistema *objeto + água* seja de 50 °C?

Dado: $c_{\text{ferro}} = 500 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

- 12** Um bloco de gelo, à temperatura de 0 °C, foi colocado em 400 g de água, à temperatura de 25 °C, num recipiente de capacidade térmica desprezável e termicamente isolado.

O equilíbrio estabeleceu-se à temperatura de 18 °C.

Dados: $c_{\text{água}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $\Delta H_{\text{fusão do gelo}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$

- 12.1.** Calcula a energia por calor cedida pela água, até atingir a temperatura de equilíbrio térmico [18 °C].
- 12.2.** Sendo um sistema termicamente isolado, em que é utilizada a energia cedida pela água?
- 12.3.** Determina a massa inicial do bloco de gelo a partir do balanço energético.

- 13** Num recipiente (calorímetro) que continha 200 g de água líquida e 100 g de gelo, ambos à temperatura de 0 °C e à pressão atmosférica normal, introduziu-se uma resistência de aquecimento de 100 W de potência.

Considera desprezáveis as trocas de energia por calor com o exterior bem como as capacidades térmicas mássicas do calorímetro e da resistência de aquecimento.

Dados: $\Delta H_{\text{fusão do gelo}} = 3,34 \times 10^5 \text{ J kg}^{-1}$; $c_{\text{água}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

- 13.1.** Determina o tempo mínimo que se deve ter ligada a resistência de aquecimento para que haja só água líquida no recipiente.
- 13.2.** Se a resistência de aquecimento estiver ligada durante 10 minutos, qual será a temperatura final da água?

- 14** Uma pedra, de massa 10 kg e capacidade térmica $3,0 \times 10^4 \text{ J K}^{-1}$, é lançada de uma altura de 50 m a um tanque com 2,0 m³ de água.

Se as trocas de energia por calor com o exterior (ar e paredes do tanque) forem consideradas desprezáveis, qual será a variação de temperatura da água do tanque?

Dado: $\rho_{\text{água}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

2.6. Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica

A Termodinâmica é o ramo da Física que não só trata de calor, mas também das relações entre energia, trabalho e temperatura em sistemas físicos. Historicamente, o seu desenvolvimento foi impulsionado pela necessidade de aumentar a eficiência das primeiras máquinas a vapor, durante a Revolução Industrial, no século XVIII. Mais tarde, no século XIX, o trabalho do cientista francês Sadi Carnot, conhecido como o “pai da Termodinâmica”, forneceu as bases teóricas para a Termodinâmica, descrevendo a máquina térmica ideal e o limite da eficiência de conversão de calor em trabalho.

Hoje, as leis da Termodinâmica são consideradas fundamentais, ao descreverem a troca de energia entre sistemas e o sentido dos processos envolvidos.

Primeira Lei da Termodinâmica

Vimos que a **transferência de energia** entre um sistema e a sua vizinhança se pode fazer através de **trabalho** e/ou por **calor**. Representando a energia interna por U , a **variação da energia interna**, ΔU , de um sistema não isolado, é igual à soma da **energia transferida por calor**, Q , com a **energia transferida por trabalho**, W .

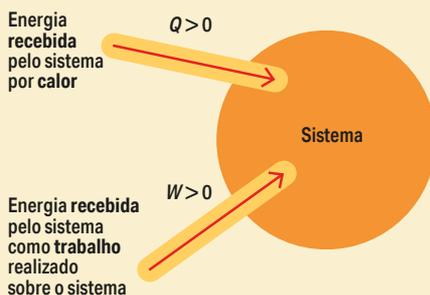
$$\Delta U = Q + W$$

Esta expressão traduz a **Primeira Lei da Termodinâmica** ou **Lei da Conservação da Energia** aplicada a sistemas termodinâmicos.

Quando se aplica esta expressão, pressupõe-se a seguinte convenção:

A **energia recebida** por um sistema é **positiva**:

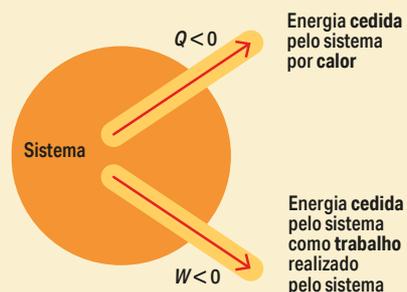
- $Q > 0$ – o sistema recebe energia por calor da vizinhança;
- $W > 0$ – o sistema recebe energia da vizinhança **como trabalho** realizado sobre o sistema.



Quando é transferida energia para um sistema como trabalho, W , e/ou por calor, Q , a **energia interna do sistema aumenta** ($\Delta U > 0$).

A **energia cedida** por um sistema é **negativa**:

- $Q < 0$ – o sistema cede energia por calor à vizinhança;
- $W < 0$ – o sistema cede energia à vizinhança **como trabalho** realizado pelo sistema.



Quando é transferida energia de um sistema para a vizinhança como trabalho, W , e/ou por calor, Q , a **energia interna do sistema diminui** ($\Delta U < 0$).

Os **sistemas não isolados** podem **transferir energia** através de calor e/ou de trabalho. **Trocas de calor e de trabalho** são, portanto, processos de transferência de energia entre um sistema e a sua vizinhança.

Pode acontecer que, por exemplo, a **energia recebida** por um sistema, por calor, seja **igual** à **energia cedida** pelo sistema à vizinhança como trabalho ou vice-versa. Neste caso, a **variação da energia interna** do sistema é **nula**, $\Delta U = 0$, **apesar de o sistema não ser isolado**.

Primeira Lei da Termodinâmica – a variação da energia interna, ΔU , de um sistema não isolado é igual à soma da energia transferida por calor, Q , com a energia transferida como trabalho, W .

$$\Delta U = Q + W$$

Há **transferência de energia por calor**, por exemplo, quando se aquece água num disco elétrico ou um alimento num forno micro-ondas.

Há **transferência de energia como trabalho**, por exemplo, quando temos um **gás num recipiente fechado, munido de êmbolo móvel** (Fig. 63), levando a uma variação do volume do gás. Assim:

- **quando o volume do gás diminui** (na compressão), há **trabalho realizado pela vizinhança sobre o sistema** ($W > 0$); se este estiver termicamente isolado, a sua **energia interna aumenta**;
- **quando o volume do gás aumenta** (na descompressão), há **trabalho realizado pelo sistema sobre a vizinhança** ($W < 0$); se este estiver termicamente isolado, a sua **energia interna diminui**.

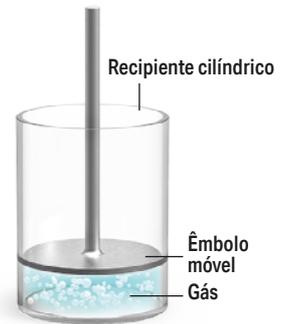


Fig. 63 Recipiente cilíndrico com êmbolo móvel.

É isto que ocorre no caso, que nos é familiar, de uma **seringa com ar**.

Quando comprimimos o ar, a força que exercemos na compressão realiza trabalho sobre o sistema; há um **aumento da energia interna do sistema**.



Ar dentro de uma seringa a ser comprimido.

Quando largamos o êmbolo da seringa, o sistema realiza trabalho sobre o nosso dedo, fazendo **diminuir a energia interna do sistema**.



Ar dentro da seringa a ser descomprimido.

Exercício resolvido

- 7 Transferiu-se para um sistema 400 J de energia por calor. Por sua vez, o sistema realizou um trabalho de 120 J.

Determina a variação da energia interna do sistema.

Resolução:

7. Como, por convenção, a energia que se fornece a um sistema é positiva (+) e a energia transferida do sistema para a vizinhança é negativa (–), tem-se: $Q = 400 \text{ J}$ e $W = -120 \text{ J}$.

De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, é:

$$\Delta U = Q + W \Rightarrow \Delta U = 400 + (-120) \Leftrightarrow \Delta U = 280 \text{ J}$$

A energia interna do sistema **aumentou 280 J**.

Consideremos, agora, um **sistema termicamente isolado**, em que não haja realização de trabalho. Neste caso, a **energia interna, U** , do sistema é **constante**, pois o sistema não cede nem recebe energia do exterior, nem por calor nem como trabalho. O facto de a energia interna de um sistema isolado ser constante não significa que, no interior do sistema, não ocorram transformações de um tipo de energia noutro tipo de energia.

Num sistema em que não há trocas de energia sob a forma de calor, Q , e/ou de trabalho, W , a energia interna mantém-se constante.

Exercício resolvido

- 8 Uma garrafa-termo é um recipiente mau condutor térmico. Considera que não há transferência de energia por calor do interior para o exterior da garrafa e vice-versa ($Q = 0$). Se colocarmos um pouco de líquido no seu interior e agitarmos vigorosamente, verifica-se que a temperatura do líquido aumenta.
- 8.1 Como explicas este aumento de temperatura do líquido?
- 8.2 Como varia, durante a agitação, a energia interna do líquido?

Resolução:

- 8.1. O aumento de temperatura do líquido deve-se à energia que o sistema recebeu como trabalho. A energia cinética média das partículas aumentou e, conseqüentemente, a temperatura do líquido.
- 8.2. Neste caso, apesar de o sistema ser considerado termicamente isolado, como há realização de trabalho, há variação da energia interna do líquido.



Segunda Lei da Termodinâmica

Vimos que a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece a conservação da energia em qualquer transformação. No entanto, nada nos diz sobre o sentido em que ocorrem espontaneamente os processos termodinâmicos.

Como sabemos, **quando colocamos em contacto dois corpos que se encontram a temperaturas diferentes**, o processo que ocorre espontaneamente é o da transferência de energia por calor do corpo a temperatura mais elevada para o corpo a temperatura mais baixa.

O **processo inverso**, ou seja, a transferência de energia por calor do corpo a temperatura mais baixa para o corpo a temperatura mais elevada **não ocorre espontaneamente**, mesmo que tal não contrarie a Primeira Lei da Termodinâmica.

Por exemplo, se aquecermos num disco elétrico (Fig. 64) cubos de gelo (colocados num gobelé), a água líquida obtida não volta espontaneamente a formar cubos de gelo, pois tal significaria a transferência de energia por calor da água para o disco elétrico. Portanto, a **transferência de energia por calor do disco elétrico para os cubos de gelo é irreversível**.



Fig. 64 Aquecimento de cubos de gelo colocados no gobelé.

Outros exemplos de processos irreversíveis:

Na **figura 65A** está representado um **recipiente isolado do exterior e dividido em duas partes por uma parede**; no lado 1 está um gás e o lado 2 encontra-se vazio. Ao retirar-se a parede separadora, o gás acaba, ao fim de algum tempo, por se distribuir uniformemente por todo o recipiente (**Fig. 65B**).

O **processo inverso**, ou seja, o que levaria o gás a voltar todo de novo para o lado 1, também **não ocorre espontaneamente**.

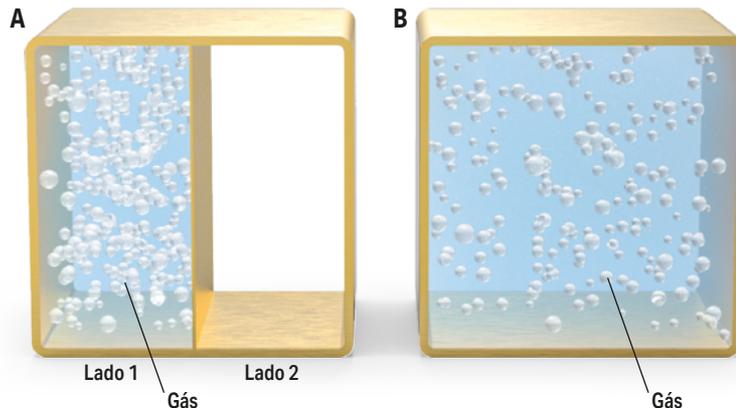


Fig. 65 Expansão livre de um gás; ao retirar-se a parede separadora, o gás expande-se, ocupando todo o recipiente.

Observemos, agora, a **figura 66**. Quando um **corpo é lançado**, com uma certa velocidade, **numa superfície horizontal**, as forças de atrito levam à diminuição da sua energia cinética e à degradação de energia por calor nas superfícies em contacto.



Fig. 66 Movimento de um corpo, numa superfície horizontal, com atrito.

Isto significa que houve uma transferência de energia do corpo para a superfície de contacto, aumentando a agitação das suas partículas.

O **processo inverso** significaria recuperar essa energia distribuída pelas muitas partículas em movimento desordenado e "canalizá-la" para o corpo, até este recuperar a energia cinética que tinha inicialmente. Este processo inverso também não é possível. Assim, **na presença de atrito**, o movimento deste corpo é um **processo irreversível**.

Também a passagem de corrente elétrica num condutor leva à libertação de energia por calor nesse condutor (efeito Joule). A energia elétrica fornecida pelo gerador é utilizada para o movimento organizado das cargas elétricas ao longo do condutor, as quais transferem energia para as partículas do condutor. **Este processo é também irreversível**. De facto, se a passagem de corrente elétrica leva à libertação de energia por calor no condutor, extrair energia por calor do condutor não produz uma corrente elétrica. Mais uma vez, seria necessário retirar energia distribuída pelas muitas partículas do condutor e "canalizá-la" de forma a obter um movimento organizado de cargas elétricas.

Recordemos, agora, a **experiência de Joule**, ilustrada na **figura 67**.

O dispositivo montado permite a conversão de trabalho realizado pela força da gravidade em calor cedido ao líquido. No entanto, retirar energia por calor ao líquido não levará ao movimento das pás em sentido contrário, fazendo subir os pesos; ou seja, **o processo inverso de conversão integral de calor em trabalho não ocorre**.

Para que tal acontecesse, era preciso extrair energia distribuída pelas muitas partículas do líquido, em movimento desordenado, e "canalizá-la" de forma a ser transferida na totalidade como trabalho no deslocamento (macroscópico) dos pesos.

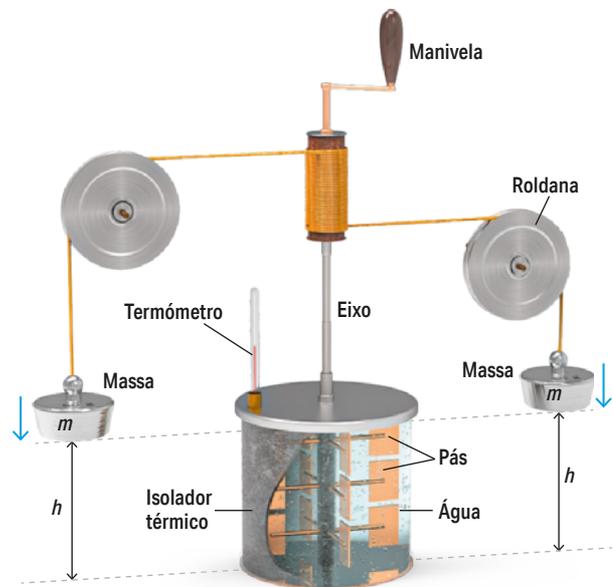


Fig. 67 A experiência de Joule é um exemplo de conversão de trabalho em calor.

Este exemplo ilustra um resultado mais geral da Termodinâmica, que foi apresentado por Kelvin, tendo ficado conhecido por **Postulado de Kelvin**.

Embora seja **impossível dispor de uma máquina térmica ideal** que converta integralmente energia por calor em trabalho, veremos que **é possível converter em trabalho parte do calor fornecido por uma fonte**, cedendo a restante energia por calor a uma outra fonte a temperatura mais baixa.

O que têm em comum todos os processos atrás analisados?

São **processos irreversíveis**, já que os processos inversos não ocorrem na Natureza. Esta constatação tem que ver com a **Segunda Lei da Termodinâmica**.

É a Segunda Lei da Termodinâmica que indica como evoluem espontaneamente os sistemas. A evolução espontânea é sempre no sentido da degradação da energia.

Na **Natureza, sempre que ocorre um processo espontâneo, há diminuição de energia útil**.

A energia, na Natureza, mantém-se constante, mas está continuamente a degradar-se em formas que tornam mais difícil o seu uso para a produção de trabalho.

Segunda Lei da Termodinâmica – os processos que ocorrem espontaneamente na Natureza dão-se sempre no sentido da diminuição da energia útil.

Física em ação

Entropia e Segunda Lei da Termodinâmica

Para descrever o sentido em que ocorrem os processos termodinâmicos, pode recorrer-se a uma grandeza física chamada **entropia**, que significa “em transformação”.

A entropia é uma medida do número de estados microscópicos compatíveis com um estado macroscópico do sistema termodinâmico. O enunciado mais geral da Segunda Lei da Termodinâmica afirma que a **entropia do Universo** (sistema + vizinhança) nunca diminui.

A entropia do Universo aumenta nos processos irreversíveis (inverter esses processos levaria a uma diminuição da entropia do Universo e, por isso, os processos inversos são impossíveis) e mantém-se nos processos reversíveis.

Os processos reversíveis são aqueles em que a entropia do Universo se mantém. São, contudo, **processos ideais**; basta existir atrito para introduzir irreversibilidade nos processos reais.

Máquinas térmicas e rendimento

Para pôr em movimento um automóvel de combustão, liga-se o seu motor (Fig. 68). O motor vai, de modo cíclico, utilizar a **energia por calor** produzida na câmara de combustão, como resultado da ignição da mistura de ar e combustível, para provocar o movimento de um êmbolo, realizando, assim, **trabalho mecânico**.



As **máquinas térmicas** produzem trabalho à custa da transferência de energia por calor.

Na realidade, no motor de um automóvel de combustão, a energia por calor é produzida na câmara de combustão, a uma temperatura mais alta, mas uma parte desse calor é cedido ao ambiente através dos gases de escape.

Fig. 68 O motor de um automóvel de combustão é um exemplo de uma máquina térmica.

De acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, num processo cíclico, o calor transferido de uma única fonte **não pode ser integralmente utilizado para a realização de trabalho mecânico** (Fig. 69).

O modo de funcionamento de uma **máquina térmica**, como o motor de combustão de um automóvel, está esquematizado na **figura 70**.

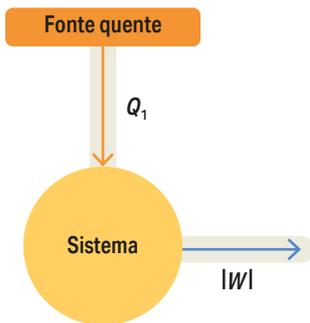


Fig. 69 Não pode haver conversão integral de calor em trabalho. Este **processo é impossível**.

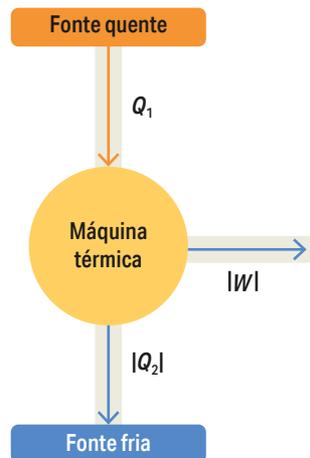


Fig. 70 Esquema do modo de funcionamento de uma máquina térmica.

Durante um ciclo do seu funcionamento, a **máquina térmica recebe energia por calor, Q_1** , da fonte a **temperatura mais alta, T_1** , designada por **fonte quente**, **realizando trabalho mecânico, $|W|$** , e **cedendo energia por calor, $|Q_2|$** , a outra fonte a **temperatura mais baixa, T_2** , designada por **fonte fria**.

Como, **ao fim de um ciclo**, a máquina volta ao seu estado inicial, **a variação da sua energia interna é zero**.

Por outro lado, de acordo com a convenção de sinais que utilizamos (ver página 141), verifica-se que:

$$Q_1 > 0, \quad Q_2 < 0, \quad W < 0$$

Aplicando a Primeira Lei da Termodinâmica, podemos estabelecer o **balanço energético numa máquina térmica**:

$$0 = Q_1 + Q_2 + W \Leftrightarrow Q_1 = -Q_2 - W \Rightarrow Q_1 = |Q_2| + |W|$$

A energia transferida por calor da fonte quente é igual à energia cedida por calor à fonte fria mais o trabalho mecânico realizado.

No caso de um **motor de combustão**, a câmara de combustão, que se encontra a uma temperatura mais alta, é a **fonte quente**, enquanto o ambiente, que se encontra a temperatura mais baixa, e para onde é transferido calor através dos gases de escape, constitui a **fonte fria**.

O **rendimento de uma máquina térmica**, η , é igual à razão entre o trabalho realizado pela máquina, $|W|$, e a energia por calor, Q_1 , que a máquina recebe da fonte quente:

$$\eta = \frac{|W|}{Q_1} \Leftrightarrow \eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \Leftrightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

O **rendimento de uma máquina térmica**, η , expresso em percentagem, é:

$$\eta (\%) = \frac{|W|}{Q_1} \times 100$$

Como, de acordo com o Postulado de Kelvin, Q_2 nunca pode ser zero, **o rendimento de uma máquina térmica é sempre inferior a 100%**.

Exercícios resolvidos

- 9 Durante um ciclo de funcionamento, uma máquina térmica extrai 1000 J da fonte quente e fornece 850 J à fonte fria.
- 9.1 Qual é o trabalho que a máquina realiza durante um ciclo?
- 9.2 Qual é o rendimento desta máquina, expresso em percentagem?

Resolução:

9.1. Sendo $|W| = Q_1 - |Q_2|$, tem-se, substituindo pelos valores, $|W| = 1000 - 850 \Leftrightarrow |W| = 150 \text{ J}$.

9.2. Como $\eta (\%) = \frac{|W|}{Q_1} \times 100$, tem-se, substituindo pelos valores:

$$\eta (\%) = \frac{150}{1000} \times 100 \Leftrightarrow \eta (\%) = 15\%$$

O **rendimento da máquina térmica é 15%**.

- 10 Uma máquina térmica, com rendimento de 20%, realiza um trabalho de 3000 J por minuto.
- 10.1 Qual é a energia recebida por calor, por minuto, da fonte quente?
- 10.2 Qual é a energia cedida por calor à fonte fria, no mesmo intervalo de tempo?

Resolução:

10. $\Delta t = 1 \text{ min}; |W| = 3000 \text{ J} \Leftrightarrow |W| = 3,0 \times 10^3 \text{ J}$

- 10.1. Como $\eta(\%) = \frac{|W|}{Q_1} \times 100$ e designando por Q_1 a **energia recebida por calor, por minuto**, da fonte quente, tem-se, substituindo pelos valores:

$$20 = \frac{|W|}{Q_1} \times 100 \Leftrightarrow 0,20 = \frac{3000}{Q_1} \Leftrightarrow Q_1 = \frac{3000}{0,20} \Leftrightarrow Q_1 = 15\,000 \text{ J} \Leftrightarrow Q_1 = 15 \times 10^3 \text{ J}$$

- 10.2. Sendo $|Q_2| = Q_1 - |W|$, em que $|Q_2|$ é a **energia cedida por calor à fonte fria, no mesmo intervalo de tempo**, tem-se, substituindo pelos valores:

$$|Q_2| = 15 \times 10^3 - 3,0 \times 10^3 \Leftrightarrow |Q_2| = 12 \times 10^3 \text{ J}$$

Física em ação

Máquina a vapor

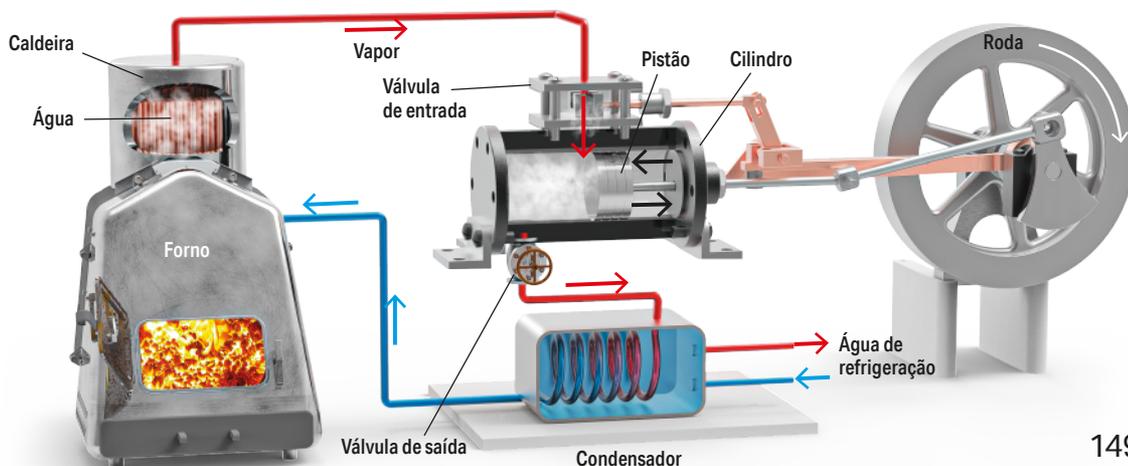
Antes do desenvolvimento dos motores de combustão interna, as máquinas térmicas em uso eram variantes da máquina a vapor desenvolvida por Watt, a qual teve um papel determinante na **Revolução Industrial**. Na figura encontra-se esquematizada uma máquina a vapor.

O vapor de água produzido na caldeira entra no cilindro através da válvula de entrada e vai fazer mover o pistão e a roda que a ele se encontram ligados. Quando se fecha a válvula de entrada e se abre a válvula de saída, o vapor abandona o cilindro (fazendo mover o pistão em sentido contrário).

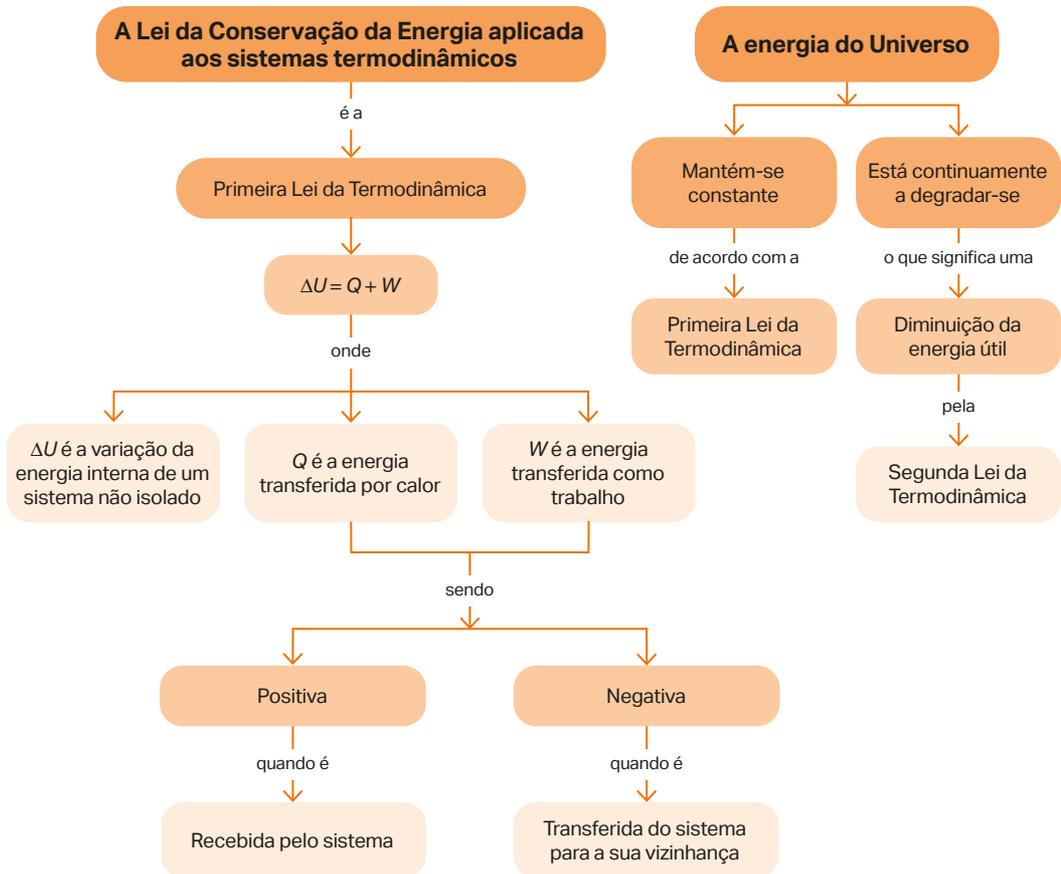
Passa para uma câmara onde arrefece e sofre condensação, voltando a ser encaminhado para a caldeira.

Ao contrário do motor de combustão interna, em que a queima do combustível ocorre dentro da câmara onde se move o êmbolo, na máquina a vapor, a combustão do carvão ocorre na caldeira, a qual se encontra separada do cilindro em que está o pistão.

Como consequência, as perdas de energia no transporte do vapor e da água líquida ao longo do percurso são consideráveis, o que leva a que o rendimento de uma máquina a vapor seja normalmente bastante inferior ao de um motor de combustão interna.



Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- **Primeira Lei da Termodinâmica** – a variação da energia interna, ΔU , de um sistema não isolado é igual à soma da energia transferida por calor, Q , com a energia transferida como trabalho, W :

$$\Delta U = Q + W$$

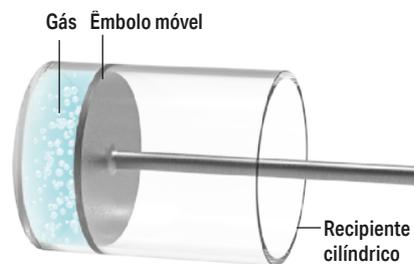
- **Formas de enunciar a Segunda Lei da Termodinâmica:**
 - Um processo que só consista na cedência de energia por calor de um corpo a temperatura mais baixa para outro a temperatura mais elevada é impossível.
 - Nenhum sistema termodinâmico que funcione ciclicamente pode transferir energia por calor de uma única fonte transformando-a integralmente em trabalho.
 - No Universo, há uma contínua diminuição de energia útil.
- O **rendimento de uma máquina térmica**, η , é definido como a razão entre o trabalho realizado pela máquina, $|W|$, e a energia por calor, Q_1 , que a máquina recebe da fonte quente.

$$\eta (\%) = \frac{|W|}{Q_1} \times 100$$

Exercícios de aplicação

- 1** Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) Os sistemas não isolados podem transferir energia entre si por calor e/ou por trabalho.
 - (B) A energia que é transferida de um sistema para a sua vizinhança é negativa.
 - (C) Pode transferir-se energia por calor através de radiação.
 - (D) Quando o volume de um sistema diminui, há trabalho realizado pelo sistema sobre a vizinhança.
 - (E) Se um sistema é isolado, não ocorrem transformações de energia no interior do sistema.

- 2** Um gás está contido num recipiente cilíndrico, com êmbolo móvel, isolado termicamente do exterior. No êmbolo foi realizada uma força que fez comprimir o gás dentro do recipiente.



O trabalho realizado pela força foi 350 J.

Considera desprezáveis as trocas de energia por radiação.

Indica a opção correta.

- (A) A energia interna e a temperatura do gás não variaram.
 - (B) A energia interna do gás aumenta 350 J, sem variação de temperatura.
 - (C) A energia interna do gás aumenta 350 J e o gás aquece.
 - (D) A energia interna do gás diminui 350 J e o gás aquece.
- 3** Um sistema gasoso, num determinado processo, realiza trabalho de 300 J. Sabendo que a energia interna do sistema aumenta 200 J, calcula o calor cedido (ou recebido) pelo sistema durante esse processo. Considera desprezáveis as trocas de energia por radiação.
- 4** Transferiu-se para um sistema 500 J de energia por calor. Por sua vez, o sistema realizou um trabalho de 220 J.
- 4.1.** Faz um esquema do que acontece no sistema no que diz respeito às trocas de energia.
 - 4.2.** Determina a variação da energia interna do sistema.
 - 4.3.** Qual deverá ser a energia por calor, Q' , transferida para o sistema se este realizar um trabalho de 220 J, mantendo constante a sua energia interna?
 - 4.4.** Completa a frase de forma a torná-la cientificamente correta.

De acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica, a variação da energia

_____ (1) de um sistema é igual à soma da energia transferida por

_____ (2) com a energia transferida como _____ (3).

- 9** Indica os processos irreversíveis.
- (A) Compressão muito lenta de um gás numa seringa, à temperatura ambiente e sem atrito.
- (B) Compressão muito lenta de um gás numa seringa, à temperatura ambiente e com atrito.
- (C) Transferência de energia por calor de um corpo deslocado do interior de uma casa aquecida para o exterior, a uma temperatura de 5 °C.
- 10** Classifica de verdadeiras (V) ou falsas (F) cada uma das seguintes afirmações:
- (A) Quando se desliga uma máquina de lavar a roupa, ao fim de algum tempo, o tambor deixa de girar. A energia cinética do tambor diminui e, portanto, não há conservação da energia.
- (B) Numa sala fechada, com muitos computadores a funcionar, a temperatura da sala aumenta. A energia libertada para o ar da sala é uma energia útil.
- (C) Quando se coloca um alimento no congelador, a – 10 °C, há energia por calor transferida do alimento para o congelador e libertação de energia por calor na vizinhança do frigorífico.
- (D) Um recipiente, que se encontra a uma determinada temperatura, tem dois compartimentos separados por uma membrana; num dos compartimentos, existe oxigénio e, no outro, nitrogénio. Se a membrana se romper, o sistema evolui de forma irreversível.
- 11** Quando uma maçã cai ao chão, perde grande parte da sua energia mecânica inicial. A colisão com o solo é um processo irreversível.
Explica esta afirmação com base na Segunda Lei da Termodinâmica.
- 12** Associa corretamente os elementos das duas colunas.

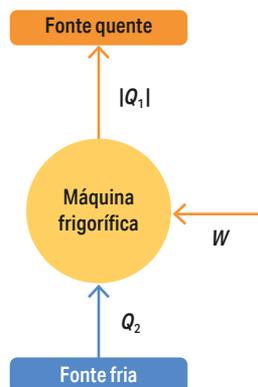
Coluna A	Coluna B
(A) Um sistema absorve uma energia por calor de 500 cal e, ao mesmo tempo, realiza um trabalho de 200 J.	(I) $\Delta U = - 2,00 \text{ kJ}$
(B) Um sistema absorve uma energia de 200 cal e, ao mesmo tempo, é realizado sobre ele um trabalho de 400 J.	(II) $\Delta U = 1,89 \text{ kJ}$
(C) Um sistema cede à vizinhança uma energia de 2000 J sem realização de trabalho.	(III) $\Delta U = 1,24 \text{ kJ}$

- 13** A cada ciclo, uma máquina térmica extrai 15 kJ de calor da fonte quente e cede 12 kJ de calor à fonte fria. O rendimento dessa máquina é:
- (A) 25% (B) 50% (C) 20% (D) 80%

- 14** Na figura está representado o diagrama que traduz o balanço energético de uma máquina térmica a funcionar em sentido inverso.

Uma máquina, como a esquematizada no diagrama, que recebe trabalho do exterior, extrai calor da fonte fria e cede calor à fonte quente é uma máquina frigorífica.

Considera o congelador de um frigorífico em que, para manter os alimentos à temperatura pretendida, é preciso retirar-lhe 300 cal por segundo.



Sendo a potência do motor de 100 W, qual é a quantidade de calor libertada para o exterior ao fim de 1 minuto?

- 15** Uma máquina térmica tem um rendimento de 35% e realiza um trabalho de 4500 J por minuto.
- 15.1.** Faz um esquema do que acontece no sistema no que diz respeito às trocas de energia.
- 15.2.** Qual é a energia transferida por calor, por minuto, da fonte quente?
- 15.3.** Qual é a energia transferida por calor à fonte fria, no mesmo intervalo de tempo?
- 16** Considera duas máquinas térmicas, A e B. A máquina térmica A produz 200 J de trabalho e extrai 500 J de energia por calor da fonte quente, durante um ciclo. A máquina térmica B produz 100 J de trabalho e cede 150 J à fonte fria. Selecciona a opção correta.
- (A) A máquina A tem maior rendimento do que a máquina B.
 (B) A máquina A tem menor rendimento do que a máquina B.
 (C) As máquinas A e B têm rendimentos iguais.

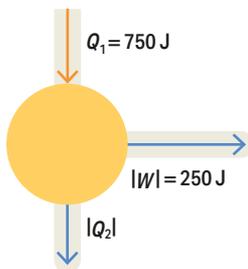
- 17** Durante um minuto, um motor realiza um trabalho de $1,2 \times 10^5 \text{ J}$ e lança para o exterior, através dos gases de escape, uma energia por calor correspondente a 75% do trabalho realizado.

Indica a opção correta para o rendimento deste motor.

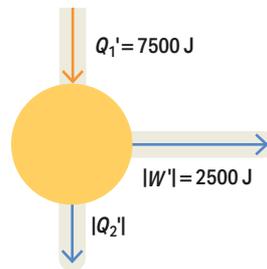
- (A) 25% (B) 30% (C) 57% (D) 75%

- 18** Num intervalo de 10 s, a máquina térmica A extrai 750 J da fonte quente e produz 250 J de trabalho, enquanto a máquina térmica B extrai 7500 J da fonte quente e produz 2500 J de trabalho.

(A)



(B)



Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) as afirmações seguintes.

- (A) A máquina B tem maior rendimento porque produz mais trabalho no mesmo intervalo de tempo.
 (B) A máquina A tem maior rendimento porque cede menos energia por calor à fonte fria.
 (C) As máquinas A e B têm o mesmo rendimento.
 (D) A potência útil da máquina B é maior do que a da máquina A.
- 19** Quando uma bomba, inicialmente em repouso, explode, os seus fragmentos adquirem energia cinética.

Classifica de verdadeira (V) ou falsa (F) as afirmações seguintes.

- (A) Como a energia cinética do sistema aumenta, isso significa que a energia do universo aumentou.
 (B) A bomba deve ser tratada como um sistema termodinâmico.
 (C) Se se juntarem todos os fragmentos, pode reconstituir-se a bomba; portanto, a explosão da bomba é um processo reversível.
 (D) Depois de um fragmento, ainda incandescente, se despenhar e imobilizar no solo, a sua energia mecânica mantém-se constante bem como a sua energia interna.

Soluções

TEMA 1

Página 25

- (A) F. (B) F. (C) V. (D) V. (E) V.
- (A)
- (A) $1 \text{ kA} = 1000 \text{ A}$
(B) $0,001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$
(C) $0,000\,002 \text{ A} = 2 \mu\text{A}$
(D) $5 \mu\text{A} = 0,005 \text{ mA}$
(E) $3 \text{ mA} = 0,000\,003 \text{ kA}$
(F) $2 \text{ kA} = 2\,000\,000\,000 \mu\text{A}$
- $R = 4,5 \Omega$
- $I = 1,6 \text{ A}$

Página 26

- $I = 3,0 \times 10^{-6} \text{ A} \Leftrightarrow I = 3,0 \mu\text{A}$
- (B) e (C).
- É maior no condutor B, pois, sendo $I = \frac{q}{\Delta t}$, se $I_B > I_A \Rightarrow |q_B| > |q_A|$, num mesmo intervalo de tempo.
- $q_A = 0,150 \text{ C}$ e $q_B = 0,300 \text{ C}$.
- $N = 1,9 \times 10^{18}$ eletrões
- $q_A = 18 \text{ C}$
 $q_B = 36 \text{ C}$

Página 27

- (C)
- A afirmação é verdadeira.
- $R_A = 2,0 \Omega$; $R_B = 6,0 \Omega$
- Os condutores A e B.
- Condutor B.
- $U = 8,0 \text{ V}$

Página 28

- $R = 40 \Omega$
- $I = 0,30 \text{ A}$
- $U_{AD} = 1,5 \text{ V}$
- $I = 0 \text{ A}$.
- $U = 0 \text{ V}$.
- $R = 3,0 \Omega$
- Um ohmímetro.
- (A)

Página 29

- (E)
- (D)
- (D)
- (A) Prata, cobre, alumínio, ferro, manganina e constantan.
(B) Vidro, porcelana, baquelite e borracha.
- Aumenta.
- Aumenta.

Página 38

- (A) F. (B) F. (C) V. (D) V. (E) V.
- Mantém-se a mesma.
- $I = 15 \text{ A}$
- $U_{R_2} = 90 \text{ V}$
- $U_{R_2} = 6,0 \text{ V}$
- $U_{R_1} = 3,0 \text{ V}$
- $R_1 = 5,0 \Omega$
- $U_{AB} = U_{R_1} + U_{R_2}$
- $I_{R_1} = I_{R_2}$

Página 39

- X – voltímetro; Y – amperímetro.
- $U_{R_1} = U_{R_2} = 4,5 \text{ V}$
- $I = 0 \text{ A}$
- $I = 0,18 \text{ A}$
- A corrente elétrica num circuito em série é igual em qualquer secção do circuito. Assim, se em R_1 é $I = 0,18 \text{ A}$, o aparelho Y (amperímetro) mede $0,18 \text{ A}$.
- $U_{CD} = 30 \text{ V}$
- $U_{R_1} = 30 \text{ V}$
- $R_1 = 5,0 \Omega$
- $U_1 = 36 \text{ V}$
- A tensão elétrica nos terminais desta associação é 36 V .
- $I_2 = 3,0 \text{ A}$

Página 40

- $I_2 = 0,60 \text{ A}$
- $I_1 = 1,2 \text{ A}$
- $I = 1,8 \text{ A}$
- (1) igual; (2) resistências; (3) menor.
- (A)
- $\begin{cases} I_2 = 2,0 \text{ A} \\ I_3 = 3,0 \text{ A} \end{cases}$
- $U_{BC} = 120 \text{ V}$
- $U_{AC} = 220 \text{ V}$
- $U_{CF} = 9,0 \text{ V}$
- $U_{AF} = 0 \text{ V}$
- $U_{CD} = 3,0 \text{ V}$
- $U_{CE} = 6,0 \text{ V}$

Página 41

- A corrente elétrica é a mesma, pois trata-se de um circuito em série.
- A corrente elétrica é a mesma.
- (A) 8; (B) 3; (C) 4; (D) 8.
- O aparelho representado pela letra Z é um voltímetro.
- O aparelho representado pela letra Z mede a tensão elétrica ou diferença de potencial elétrico.
- As lâmpadas que brilham menos são as lâmpadas L_2 e L_3 .

- 12.4.** A lâmpada que brilha mais é L_4 .
- 12.5.** (A) L_2 , L_3 e L_4 passam a ter o mesmo brilho.
 (B) L_1 e L_4 passam a ter o mesmo brilho.
 (C) L_1 e L_4 passam a ter o mesmo brilho.
 (D) As lâmpadas não acendem, pois o circuito principal fica aberto.

Página 48

- 1.** (A) V. (B) F. (C) V. (D) F. (E) F.
2. (C)
3.1. $R = 4,0 \Omega$
3.2. $P_d = 9,0 \text{ W}$
4. (1) elétrica; (2) corrente; (3) potência.
 (4) tensão; (5) 230 V; (6) maior; (7) circuito.
5.1. $I = 3,0 \text{ A}$
5.2. $U = 6,0 \text{ V}$

Página 49

- 6.1.** À energia dissipada por calor.
6.2. À energia cinética e à energia dissipada por calor.
6.3. Efeito Joule.
7. (A) V. (B) V. (C) V. (D) F.
8.1. $R = 3,75 \Omega$
8.2. $E_d = 7,2 \times 10^3 \text{ J}$
9.1. $U = 10 \text{ V}$
9.2. $P = 5,0 \text{ W}$
9.3. (B)

Página 50

- 10.** (D)
11. (A)
12.1. $I = 2,00 \text{ A}$
12.2. $\ell = 5,2 \times 10^2 \text{ m}$

Página 61

- 1.** (A) F. (B) V. (C) V. (D) F.

TEMA 2

Página 80

- 1.** (A) V. (B) V. (C) F. (D) F.
2. (A) F.
3. (A) (1) propriedade; (2) equilíbrio.
 (B) (3) térmico; (4) temperatura;
 (C) (5) energia; (6) temperatura.
4.1. A esfera de ferro vai transferir energia para a água.
4.2. Significa que não troca energia por calor com a vizinhança.
4.3. A energia é igual.
4.4. Lei da Conservação da Energia.

Página 81

- 5.** (B)
6.1. $T_A = T_B$.
6.2. $T_A = T_C$.
6.3. (1) terceiro; (2) térmico.

- 2.** (C)
3.1. (B)
3.2. (A)
3.3. (C)
4.1. $I = 0,060 \text{ A}$ (60 mA)
4.2. $U = 5,9 \text{ V}$

Página 62

- 5.** (A), (D) e (E)
6.1. $U = 4,0 \text{ V}$
6.2. $r = 1,0 \Omega$
6.3. $\varepsilon = 4,2 \text{ V}$
7.1. $I = 0,67 \text{ A}$
7.2. $P_d = 9,0 \text{ W}$
7.3. $E_d = 1,1 \times 10^3 \text{ J}$
8.1. $I = 10,0 \text{ A}$
8.2. $U = \varepsilon = 30 \text{ V}$
8.3. $U = 20 \text{ V}$
8.4. $P_{d\text{total}} = 200 \text{ W}$
8.5. $P_u = 200 \text{ W}$
8.6. $P_g = 300 \text{ W}$

Página 63

- 9.1.** $\varepsilon = 8,0 \text{ V}$
9.2. $r = 1,0 \Omega$
9.3. $R = 1,7 \Omega$
9.4. $U = 8,0 - 1,0 I$ (SI)
9.5. $P_u = 12 \text{ W}$
10. (C)
11.1. $\varepsilon = 30 \text{ V}$
 $r = 1,0 \Omega$
11.2. $U_{R_2} = 15 \text{ V}$
11.3. $I_3 = 1,5 \text{ A}$
11.4. $P_{d_g} = 9,0 \text{ W}$

Página 82

- 7.** (A) V. (B) F. (C) V. (D) V. (E) F.
8.1. $T_{\text{mínima}} = 294 \text{ K}$
 $T_{\text{máxima}} = 302 \text{ K}$.
8.2. $\Delta\theta = 18 \text{ }^\circ\text{C}$
 $\Delta T = 18 \text{ K}$

Página 83

- 9.1.** $T = 273,15 \text{ K}$
9.2. $\theta = -273,15 \text{ }^\circ\text{C}$
9.3. $\theta = 100 \text{ }^\circ\text{C}$
9.4. $T = 0 \text{ K}$
9.5. $T = 373,15 \text{ K}$
10. (1) 327 K; (2) $-173 \text{ }^\circ\text{C}$; (3) 193 K.
11. $\theta_A = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
 $T_B = 293,15 \text{ K}$

Soluções

Página 92

1. (A) F. (B) F. (C) F. (D) V. (E) V.
2. (A)
3. (C)
4. (A) F. (B) V. (C) F. (D) F.

Página 93

5. (C)
6. (A) – (II); (B) – (III); (C) – (I); (D) – (II).
7. (A) V. (B) V. (C) F. (D) V. (E) F.

Página 94

8. I. Tem-se uma sensação de "calor", mas suportável. Há transferência de energia, sob a forma de radiação, do disco elétrico para a mão. Há também energia transferida por condução através do ar, mas, como os gases em geral, este é mau condutor de calor.
II. Sente-se uma forte sensação de "calor", que leva a retirar rapidamente a mão. O metal de que é feito o tacho é um bom condutor de calor; portanto, a energia transferida por condução é elevada.
III. É possível pegar no tacho pelas pegadas isoladas, uma vez que a energia transferida por condução através destas é reduzida.

- 9.1. Por condução.
- 9.2. A água que aquece primeiro é a que se encontra em contacto com o fundo da panela.
- 9.3. (A) (1) maior; (2) menos; (3) sobe; (4) mais.
(B) (5) energia; (6) arrefecendo; (7) aquecendo.
10. (B)

Página 95

11. (A) F. (B) F. (C) F. (D) V. (E) V.
12. (A) Convecção.
(B) Condução e convecção.
(C) Condução e convecção.
(D) Condução.
13. (B)
14. Na condução, a energia é transferida por choques de partícula a partícula, sem haver deslocamento de matéria; na convecção, a transferência de energia por calor ocorre devido ao movimento da matéria – criação de correntes de convecção nos fluidos devido a diferenças de densidade das partes mais quentes e mais frias do fluido. Conclui-se, assim, que as transferências de energia por calor (condução e convecção) necessitam de um meio material e, por isso, dependem das propriedades da matéria onde ocorrem.
15. (D)

Página 106

- 1.1. Radiação infravermelha, visível, ultravioleta e raios X.
- 1.2. Reflexão das ondas eletromagnéticas pela superfície metálica do avião.
2. (B)

3.1. $f = 1,0 \times 10^{15}$ Hz

3.2. Na zona da radiação ultravioleta.

Página 107

- 4.1. $\lambda = 3500 \times 10^{-10}$ m, na zona do ultravioleta.
- 4.2. Dos comprimentos de onda da radiação visível, o azul é aquele que corresponde a uma maior intensidade, como se pode ver na figura. A estrela emite radiação no vermelho e no amarelo, mas com menor intensidade; por isso, a cor da estrela é azul.
- 4.3. No caso do Sol, o máximo da intensidade ocorre na faixa de comprimentos de onda da radiação visível.
- 4.4. O máximo de intensidade situa-se na faixa dos infravermelhos.
- 4.5. (1) radiação; (2) corpo; (3) esquerda; (4) esquerda; (5) temperatura.
5. (A) F. (B) F. (C) V. (D) V.

Página 108

6. (A) (1) absorve; (2) vizinhança.
(B) (3) radiação; (4) maior; (5) vizinhança; (6) equilíbrio.
(C) (7) infravermelho; (8) temperatura; (9) visível.
7. (A) V. (B) F. (C) V. (D) V. (E) F.
- 8.1. São transparentes.
- 8.2. São opacos.
- 8.3. Porque o vidro ou o plástico que a envolve é opaco à radiação infravermelha (IV).

Página 109

- 8.4. (B)
- 9.1. (C)
- 9.2. À energia da radiação, por unidade de área e por unidade de tempo.
- 10.1. $E_{\text{incidente por m}^2/\text{dia}} = 3,0 \times 10^7 \text{ J m}^{-2}$
- 10.2. $E_{\text{consumido/dia}} = 7,2 \times 10^7 \text{ J}$
- 10.3. $E_{\text{a receber pelo painel}} = 3,6 \times 10^8 \text{ J}$
- 10.4. $A_{\text{painel}} = 12 \text{ m}^2$
11. (C)

Página 116

1. (A) F. (B) F. (C) V. (D) V.
2. (1) diretamente; (2) área; (3) diferença; (4) placa; (5) inversamente; (6) material.
- 3.1. Encontram-se à mesma temperatura.
- 3.2. (D)
- 3.3. Os dois materiais encontram-se à temperatura ambiente.
- 3.4. O metal.

Página 117

- 4.1. Por condução.
- 4.2. (A) Cobre; (B) Cobre.
- 4.3. Ferro, alumínio e cobre.
5. $E = 4,9 \times 10^6 \text{ J}$
6. (C)

7. $\ell = 0,30 \text{ m}$

A espessura mínima deverá ser de 30 cm.

Página 118

8.1. Se a placa for de cobre, é: $\frac{E}{\Delta t A} = 3,85 \times 10^5 \text{ W m}^{-2}$

Se a placa for de madeira, é: $\frac{E}{\Delta t A} = 1,5 \times 10^2 \text{ W m}^{-2}$

Se a placa for de cerâmica, é: $\frac{E}{\Delta t A} = 2,9 \times 10^4 \text{ W m}^{-2}$

8.2. A sensação mais desagradável será com a placa de cobre, pois a taxa de transferência de energia por calor para a mão será muito maior.

9.1. $\theta_2 = 99,94 \text{ }^\circ\text{C}$

9.2. $\theta_2 = 58 \text{ }^\circ\text{C}$

10. $A_{\text{coletores}} = 12 \text{ m}^2$

Página 137

1. (A)

2.1. $E = 1,5 \times 10^4 \text{ J}$ ($E > 0$, pois o corpo tem de receber energia para que a sua temperatura aumente).

2.2. $E = -5,1 \times 10^3 \text{ J}$ ($E < 0$, pois o corpo tem de perder energia para que a sua temperatura diminua).

3.1. $c_A = 800 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 $c_B = 1600 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$

3.2. (B)

3.3. Como se pode ver no gráfico, o corpo A cede 800 J e o corpo B cede 1600 J.

Página 138

4. (B)

5.1. $E = 7,3 \times 10^3 \text{ J}$

5.2. $\Delta t = 2,4 \times 10^3 \text{ s}$ ($\Delta t \approx 40 \text{ min}$)

6. (B)

Página 139

7. $E = 3,34 \times 10^5 \text{ J}$

8.1. No ramo AB coexistem os estados sólido e líquido e, no ramo BC, a substância está no estado sólido.

8.2. $\Delta H_{\text{fusão}} = 6,4 \times 10^4 \text{ J kg}^{-1}$

9. $m = 1,5 \times 10^{-2} \text{ kg}$

10. $E_{\text{incidente}} = 4,1 \times 10^9 \text{ J}$

Logo, como este valor é inferior à energia necessária para a fusão, o icebergue não irá fundir completamente.

Página 140

11. $m_{\text{objeto}} = 3,3 \text{ kg}$

12.1. $E = -1,17 \times 10^4 \text{ J}$

A energia cedida pela água foi $1,17 \times 10^4 \text{ J}$.

12.2. Na fusão do gelo e no aquecimento da água resultante da fusão, de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ até $18 \text{ }^\circ\text{C}$.

12.3. $m = 2,9 \times 10^{-2} \text{ kg}$

13.1. $\Delta t = 334 \text{ s}$
 ($\Delta t \approx 5,6 \text{ min}$)

13.2. $\theta_f = 21,3 \text{ }^\circ\text{C}$

14. $\Delta\theta = 6,0 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}$

Página 151

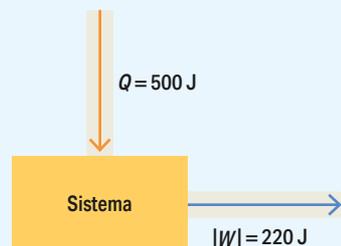
1. (A) V. (B) V. (C) V. (D) F. (E) F.

2. (C)

3. $Q = 500 \text{ J}$

O sistema recebeu 500 J durante esse processo.

4.1.



4.2. $\Delta U = 280 \text{ J}$

4.3. $Q' = 220 \text{ J}$

4.4. (1) interna; (2) calor; (3) trabalho.

Página 152

5. I. V. II. V. III. V. IV. V.

6. (B)

7. (D)

8. $U_f = 150 \text{ J}$

Página 153

9. (B) e (C).

10. (A) F. (B) F. (C) V. (D) V.

11. Quando uma maçã cai no chão, parte da energia mecânica é convertida em energia interna da maçã e da vizinhança. Essa energia é dissipada, não havendo forma de a voltar a converter em energia mecânica. Mesmo que a maçã ressalte, nunca atinge a altura de partida.

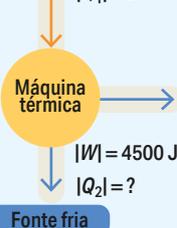
12. (A) – (II); (B) – (III); (C) – (I).

Página 154

13. (C)

14. $|Q_1| = 8,1 \times 10^4 \text{ J}$

15.1. Fonte quente
 $|Q_1| = ?$



15.2. $Q_1 = 1,3 \times 10^4 \text{ J}$

15.3. $|Q_2| = 8,5 \times 10^3 \text{ J}$

16. (C)

Página 155

17. (C)

18. (A) F. (B) F. (C) V. (D) V.

19. (A) F. (B) V. (C) F. (D) F.

Física e Química

Componente de Química

11.º ano



Ministério
da Educação

Este livro foi aprovado pelo Ministério da Educação
para utilização obrigatória nas escolas



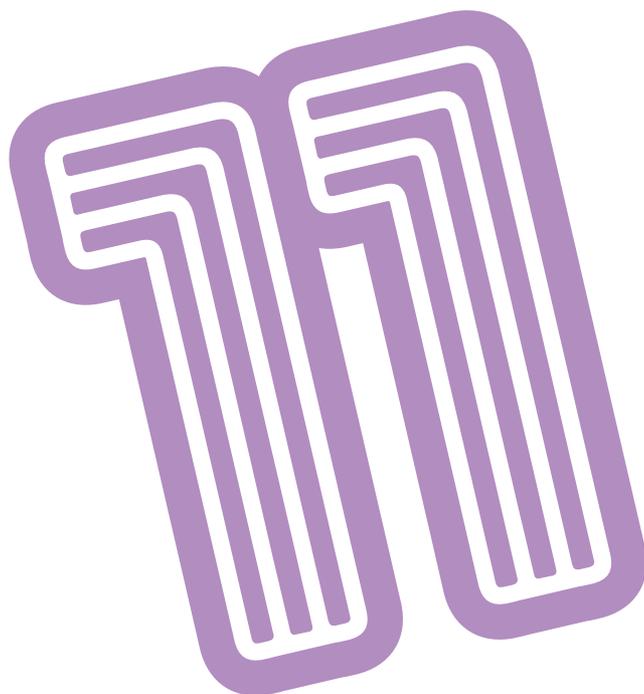
Manual Digital na app
EV Smart Book e em
www.escolavirtual.cv



Física e Química

Componente de Química

11.º ano



Manual **Revisto**

O presente manual foi revisto e validado pela Universidade de Cabo Verde.

Explora o teu manual digital



<https://escolavirtual.cv>

Acesso e condições de utilização em
www.escolavirtual.cv



Ministério
da Educação

Podes também aceder ao teu livro através da **app EV Smart Book**



Conhece o teu manual

Separador

Subtemas

Fotografia relacionada com o tema

Objetivos de aprendizagens

Mapa de conceitos

Exercícios de aplicação

Síntese dos conteúdos aprendidos

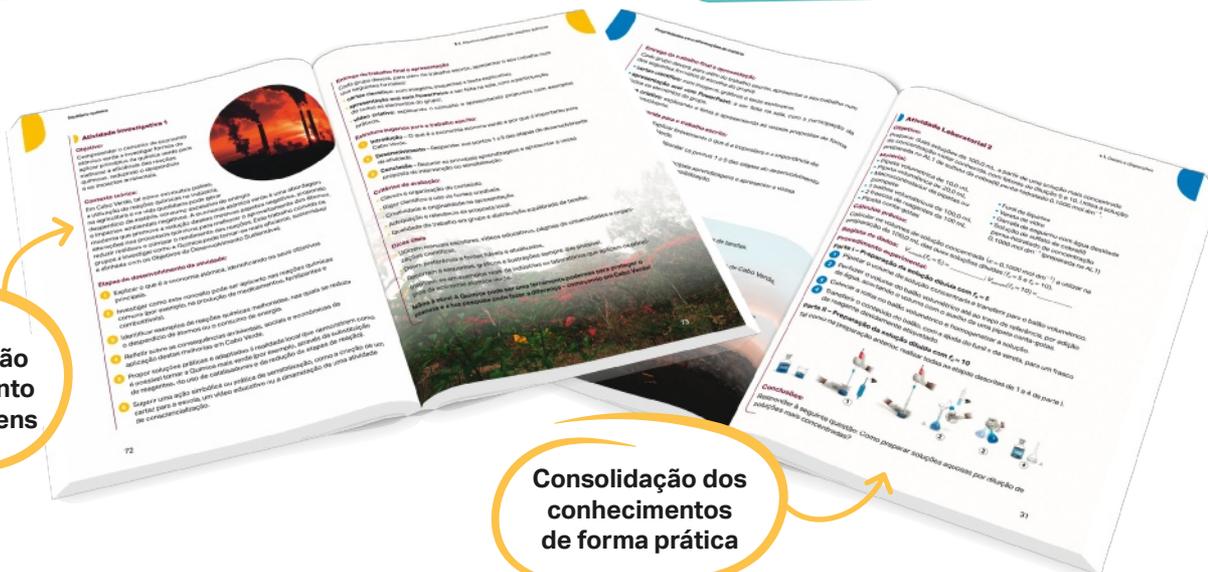
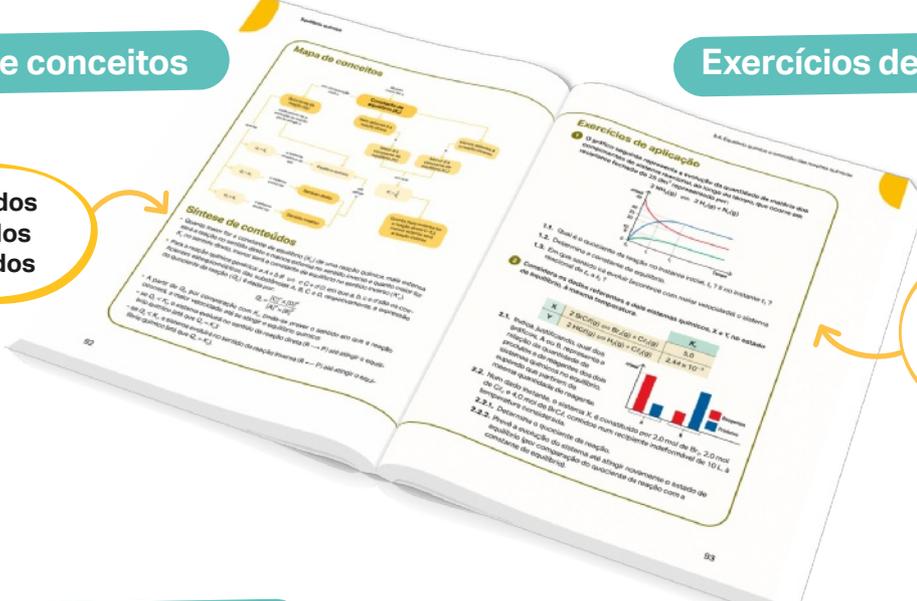
Questões de verificação de aprendizagens

Atividade Investigativa

Atividade Laboratorial

Contextualização e aprofundamento das aprendizagens

Consolidação dos conhecimentos de forma prática



Componente de Química

Teste diagnóstico 4

1

Propriedades e transformações da matéria 6

Ponto de partida 8

1.1. Gases e dispersões 10

2

Equilíbrio químico 34

Ponto de partida 36

2.1. Aspectos quantitativos das reações químicas 38

2.2. Equilíbrio químico e extensão das reações químicas 76

Anexos 110

Soluções 111

Teste diagnóstico

1. Considera uma amostra de glicose, $C_6H_{12}O_6$, de massa 15,0 g.

1.1. Calcula a massa molar da glicose.

.....

1.2. Determina a quantidade em mole de glicose presente na amostra.

.....

2. Considera a seguinte informação presente num rótulo de um refrigerante.

Uma porção de 200 mL (1 copo) contém



% Valores diários com base numa dieta de 2000 kcal.

(*) Valor diário para açúcares não estabelecido.

2.1. Determina a concentração mássica de sódio nesta solução em g/L.

.....

2.2. Determina a concentração molar de sódio nesta solução.

.....

2.3. Das seguintes opções, seleciona a expressão que permite calcular a percentagem em massa de açúcar presente no refrigerante.

Dados: $V_{\text{solução}} \approx V_{\text{água}}$ e $\rho_{H_2O} = 1,00 \text{ g cm}^{-3}$.

(A) $\%(m/m) = \frac{21}{21 + 15 + 200} \times 100\%$

(B) $\%(m/m) = \frac{21 \times 10^{-3}}{21 + 15 \times 10^{-3} + 200} \times 100\%$

(C) $\%(m/m) = \frac{21}{21 + 15 \times 10^{-3} + 200} \times 100\%$

(D) $\%(m/m) = \frac{21}{21 + 15 + 200 \times 10^{-3}} \times 100\%$

.....

3. Considera a reação de combustão de 64,20 g de metano, CH_4 , de acordo com a equação química seguinte:



3.1. Qual é a quantidade de dióxigénio necessária para ocorrer a combustão completa do metano?

.....

3.2. Determina a massa de dióxigénio necessária para fazer a combustão completa do metano.

.....

3.3. Quais são as quantidades de dióxido de carbono e de água que se formam após a combustão completa do metano?

.....

4. Recorda alguns conceitos fundamentais sobre gases e dispersões e responde às próximas questões.

4.1. Classifica, justificando, as seguintes misturas como soluções, coloides ou suspensões.

4.1.1. Ar atmosférico.

.....

4.1.2. Leite.

.....

4.1.3. Água barrenta.

.....

4.1.4. Água engarrafada.

.....

4.2. Como evolui a energia cinética das partículas de um gás em aquecimento? Explica com base na teoria cinética dos gases.

.....

4.3. Um perfume é libertado numa sala. Passado algum tempo, deteta-se o seu cheiro em toda a sala.

4.3.1. Como se denomina este fenómeno?

.....

4.3.2. Explica-o com base no movimento das partículas de um gás.

.....

4.4. Indica duas propriedades dos gases e relaciona-as com o comportamento das suas partículas.

.....

FIM

Item	1.1.	1.2.	2.1.	2.2.	2.3.	3.1.	3.2.	3.3.	4.1.	4.2.	4.3.	4.4.
Cotação (valores)	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	2,5	2,5	2,5	2,0	1,5	1,5	1,5

1



Propriedades e transformações da matéria

1.1. Gases e dispersões

Subtema 1.1. Gases e dispersões

- Compreender o conceito de volume molar de gases a partir da Lei de Avogadro.
- Resolver problemas envolvendo os conceitos de massa, massa molar, fração molar, volume molar e massa volúmica de gases, explicando as estratégias de resolução.
- Resolver problemas envolvendo cálculos numéricos sobre a composição quantitativa de soluções aquosas e gasosas, exprimindo-a nas principais unidades, explicando as estratégias de resolução.
- Atividade Laboratorial – Soluções a partir de solutos sólidos.
- Atividade Laboratorial – Diluição de soluções.

1 Propriedades e transformações da matéria

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidos os conceitos-chave inerentes ao estudo das propriedades dos gases, do volume molar, da massa volúmica, da fração molar e da composição quantitativa de soluções aquosas e gasosas.
- Ao longo deste tema vais perceber a importância da Química no estudo...



... das substâncias gasosas incolores que constituem o ar à tua volta, ajudando a compreender por que razão gases diferentes, nas mesmas condições de pressão e temperatura, ocupam o mesmo volume.

... da composição de soluções que usas todos os dias, como a água engarrafada ou o soro fisiológico, e como calcular a quantidade exata de substâncias que essas soluções contêm.



... das leis que governam os gases, como a de Avogadro, e como essas leis explicam fenômenos que vão desde o enchimento de um balão até à combustão de combustíveis em motores.

... lógico e quantitativo da matéria, desenvolvendo competências de raciocínio e de resolução de problemas que são úteis dentro e fora da sala de aula, inclusive na construção de um futuro profissional!

Vamos começar o estudo?

1.1. Gases e dispersões

Volume molar, massa volúmica e fração molar

No 10.º ano estudámos já a estrutura e algumas propriedades dos gases. Neste tema iremos estudar mais características da matéria no estado gasoso.

Lei de Avogadro e volume molar

Vimos, no 9.º ano, que:

- o número de Avogadro ($6,022 \times 10^{23}$) permitiu definir uma unidade extremamente útil para os químicos – a mole;
- a massa molar é a massa de uma mole de substância – representa-se pelo símbolo M e exprime-se, usualmente, em gramas por mole (g/mol ou g mol^{-1});
- foi atribuída a designação de número de Avogadro em homenagem ao cientista Amedeo Avogadro, que formulou, em 1811, aquela que hoje é conhecida como Lei de Avogadro:

Lei de Avogadro – Volumes iguais de gases iguais ou diferentes nas mesmas condições de pressão e temperatura, contêm o mesmo número de unidades estruturais (moléculas ou átomos, no caso de um gás monoatômico).

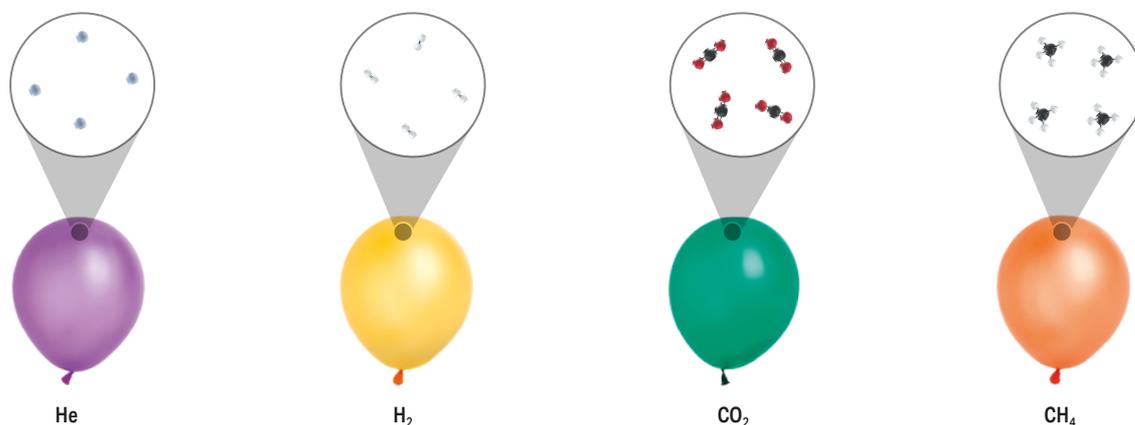


Fig. 1 Volumes iguais de gases iguais ou diferentes, nas mesmas condições de pressão e temperatura, contêm sempre o mesmo número de unidades estruturais. Nota que, no estado gasoso, a distância entre as unidades estruturais é tão grande que podemos desprezar o tamanho (maior ou menor) dessas partículas.

O **volume molar** de um gás, cujo símbolo é V_m , é o volume ocupado por uma mole desse gás em determinadas condições de pressão e temperatura.

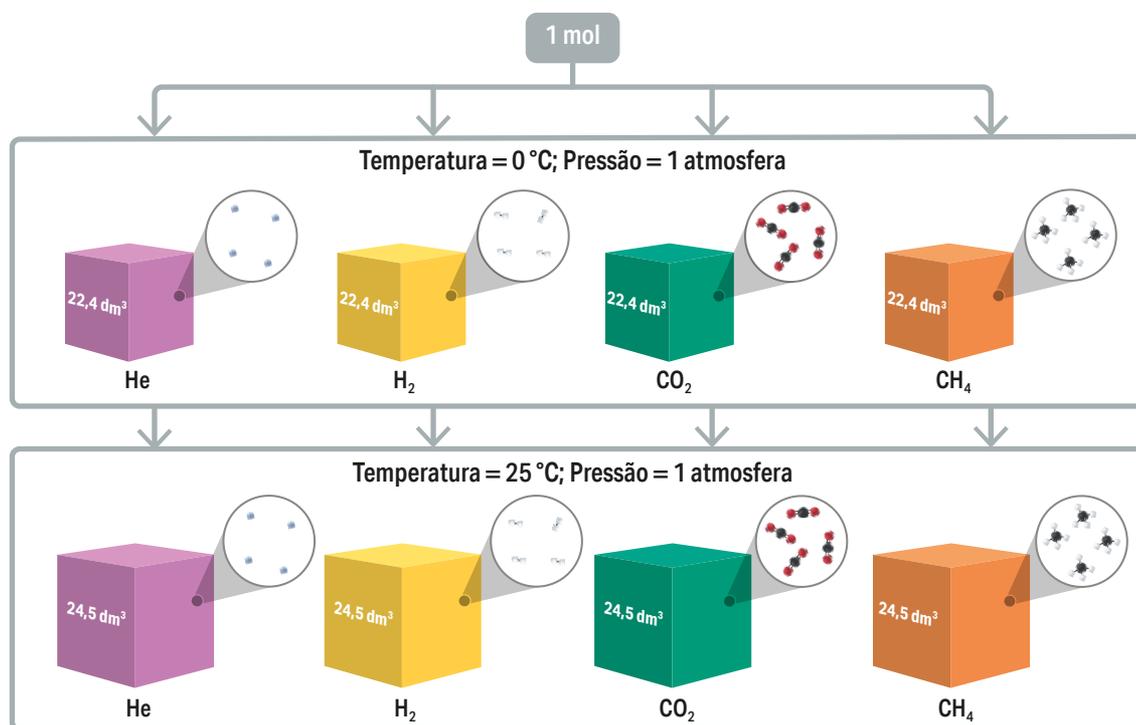


Fig. 2 A mesma quantidade de matéria de uma amostra gasosa, medida nas mesmas condições de pressão e temperatura, apresenta o mesmo volume. O volume do gás não depende da unidade estrutural que o constitui.

A **figura 2** evidencia que, por exemplo:

- a 0 °C e 1 atm, o volume ocupado por 1 mol de qualquer gás é sempre 22,4 dm³;
- a 25 °C e 1 atm, o volume ocupado por 1 mol de qualquer gás é sempre 24,5 dm³.

$$V_m(0\text{ °C}; 1\text{ atm}) = 22,4\text{ dm}^3\text{ mol}^{-1}$$

$$V_m(25\text{ °C}; 1\text{ atm}) = 24,5\text{ dm}^3\text{ mol}^{-1}$$

Ao conhecermos o volume molar de um gás em condições específicas de pressão e temperatura, é possível calcular o volume ocupado por qualquer quantidade de matéria desse gás, ou de outro, sob as mesmas condições.

Por exemplo, qual seria o volume ocupado por 2 mol de dinitrogénio (N₂) à temperatura de 0 °C e pressão de 1 atm?

$$V = 2\text{ mol} \times 22,4\text{ dm}^3\text{ mol}^{-1} = 44,8\text{ dm}^3$$

E qual será, por exemplo, a quantidade de amoníaco (NH₃) presente em 12,25 dm³ deste gás à temperatura de 25 °C e pressão de 1 atm?

$$n = \frac{12,25\text{ dm}^3}{24,5\text{ dm}^3\text{ mol}^{-1}} = 0,500\text{ mol}$$

Generalizando:

A relação entre a quantidade de matéria (n) de um gás, o seu volume (V) e o volume molar (V_m), em determinadas condições de pressão e temperatura, pode ser traduzida através da expressão:

$$n = \frac{V}{V_m}$$

Quantidade de matéria (mol)

Volume (usual: dm^3 ; SI: m^3)

Volume molar (usual: $\text{dm}^3 \text{mol}^{-1}$; SI: $\text{m}^3 \text{mol}^{-1}$)

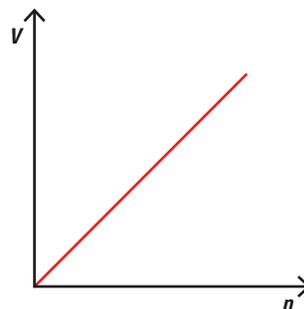


Fig. 3 Volume ocupado por um gás em função da sua quantidade de matéria. O declive do gráfico representa o volume molar do gás, nas condições de pressão e temperatura consideradas.

Assim, nas mesmas condições de pressão e temperatura, quanto maior for a quantidade de matéria de um gás qualquer, maior será o volume por ele ocupado. O gráfico da **figura 3** evidencia a proporcionalidade direta entre estas duas grandezas.

Exercício resolvido

- 1 Num reservatório de gás butano, de capacidade 500 dm^3 , depois da evaporação de todo o butano líquido, restaram 1296 g de um hidrocarboneto, no estado gasoso, à temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e à pressão de 1 atm .
 - 1.1 Calcula a quantidade de matéria de gás presente no reservatório.
 - 1.2 Determina a massa molar do hidrocarboneto presente no reservatório e comprova que pode ser o butano, C_4H_{10} .

Resolução:

- 1.1. Atendendo a que o gás se encontra à temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ e à pressão de 1 atm , $V_m = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$.

$$\text{Logo: } n = \frac{V}{V_m} = \frac{500 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 22,3 \text{ mol}$$

- 1.2. Relacionando a massa do hidrocarboneto presente no reservatório com a quantidade de matéria correspondente, vem: $n = \frac{m}{M} \Rightarrow M = \frac{m}{n} = \frac{1296 \text{ g}}{22,3 \text{ mol}} = 58,1 \text{ g mol}^{-1}$.

$$M_r(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 4 \times A_r(\text{C}) + 10 \times A_r(\text{H}) = 4 \times 12,01 + 10 \times 1,01 \approx 58,1 \Rightarrow M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 58,1 \text{ g mol}^{-1}$$

Dado que a massa molar do gás contido no reservatório é igual à massa molar do butano, comprova-se que este gás é o butano.

Volume molar e massa volúmica

É possível relacionar a massa volúmica (ou densidade) de um gás (ρ) com a sua massa molar (M) e o volume molar (V_m) através da expressão:

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow \rho = \frac{n \times M}{n \times V_m} \Leftrightarrow \rho = \frac{M}{V_m}$$

$m = n \times M$
 $V = n \times V_m$

Massa molar (usual: g mol^{-1})
 Massa volúmica (usual: g dm^{-3})
 Volume molar (usual: $\text{dm}^3 \text{ mol}^{-1}$)

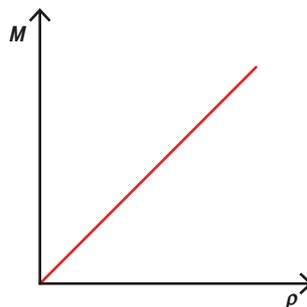


Fig. 4 Massa molar de um gás em função da sua massa volúmica. O declive do gráfico representa o volume molar do gás, nas condições de pressão e temperatura consideradas.

Assim, nas mesmas condições de pressão e temperatura, quanto maior for a massa molar de um gás, maior será a sua densidade. O gráfico da **figura 4** demonstra a relação direta entre essas duas grandezas.

Exercício resolvido

- 2** Na tabela apresentam-se os valores do volume ocupado por duas amostras gasosas, nas mesmas condições de pressão e temperatura.

	Amostra 1	Amostra 2
Substância	CO ₂	O ₂
m/g	88,02	48,00
V/dm^3	44,8	33,6

- 2.1** Calcula o volume molar de cada uma das amostras consideradas. O que podes concluir?
- 2.2** Determina a massa volúmica das duas amostras gasosas e indica como se relaciona esta propriedade física com a massa molar das mesmas.

Resolução:

- 2.1.** Cálculo da quantidade de matéria:

$$n(\text{CO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{88,02 \text{ g}}{44,01 \text{ g mol}^{-1}} = 2,000 \text{ mol}; \quad n(\text{O}_2) = \frac{m}{M} = \frac{48,00 \text{ g}}{32,00 \text{ g mol}^{-1}} = 1,500 \text{ mol}$$

O volume molar de uma substância é obtido por:

$$V_m(\text{CO}_2) = \frac{V}{n} = \frac{44,8 \text{ dm}^3}{2,000 \text{ mol}} = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}; \quad V_m(\text{O}_2) = \frac{V}{n} = \frac{33,6 \text{ dm}^3}{1,500 \text{ mol}} = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

Pode concluir-se que duas amostras de substâncias diferentes, que se encontram nas mesmas condições de pressão e temperatura, apresentam o mesmo volume molar.

2.2. A massa volúmica de cada amostra gasosa é obtida por:

$$\rho(\text{CO}_2) = \frac{m}{V} = \frac{88,02 \text{ g}}{44,8 \text{ dm}^3} = 1,96 \text{ g dm}^{-3}; \quad \rho(\text{O}_2) = \frac{m}{V} = \frac{48,00 \text{ g}}{33,6 \text{ dm}^3} = 1,43 \text{ g dm}^{-3}$$

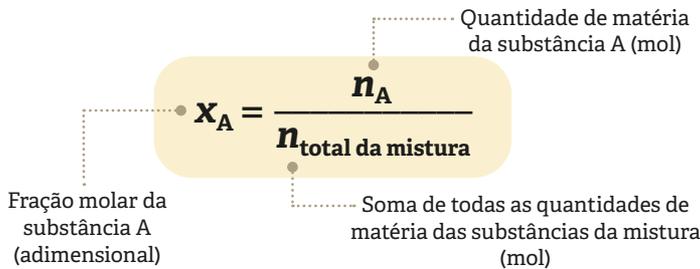
A massa volúmica de cada amostra também se pode obter através de:

$$\rho(\text{CO}_2) = \frac{M}{V_m} = \frac{44,01 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 1,96 \text{ g dm}^{-3}; \quad \rho(\text{O}_2) = \frac{M}{V_m} = \frac{32,00 \text{ g mol}^{-1}}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 1,43 \text{ g dm}^{-3}$$

Nas mesmas condições de pressão e temperatura (e, por isso, mesmo volume molar), quanto maior for a massa molar do gás, maior será a sua massa volúmica (são grandezas diretamente proporcionais).

Fração molar

Numa mistura de substâncias, conhecendo as quantidades de matéria de cada uma delas que a constituem, é possível determinar a fração de cada uma dessas substâncias na mistura.



Numa mistura de substâncias, a **fração molar (x)** da substância A é o quociente entre a quantidade de matéria dessa substância e a quantidade de matéria total de todas as substâncias constituintes da mistura.

Vejamos, por exemplo, a mistura de gases que constituem a amostra caracterizada no gráfico da **figura 5**.

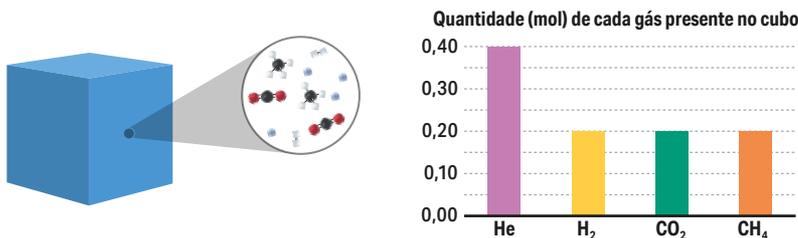
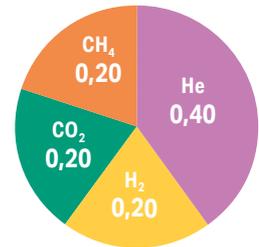


Fig. 5 Fração molar dos componentes de uma mistura de gases.

Fração molar de cada um dos componentes da amostra



Percentagem molar de cada um dos componentes da amostra

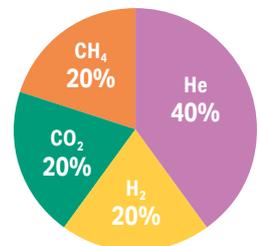


Fig. 6 Fração molar e percentagem molar de cada um dos componentes gasosos da amostra. A soma das frações molares é 1 (100%).

A fração molar de di-hidrogénio nesta mistura de gases será:

$$x_{\text{H}_2} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{He}} + n_{\text{H}_2} + n_{\text{CO}_2} + n_{\text{CH}_4}} \Leftrightarrow x_{\text{H}_2} = \frac{0,20 \text{ mol}}{0,40 \text{ mol} + 0,20 \text{ mol} + 0,20 \text{ mol} + 0,20 \text{ mol}} \Leftrightarrow x_{\text{H}_2} = 0,20$$

Qual é o significado do valor $x_{H_2} = 0,20$ calculado?

Este valor significa que, por cada 1,0 mol de substâncias elementares presentes nesta amostra, 0,20 mol são de di-hidrogénio.

Por outro lado, conhecendo a fração molar de todas as substâncias da mistura exceto uma, e dado que a soma de todas as frações molares deve ser igual a 1 (100%), pode determinar-se este valor através da expressão seguinte:

$$x_A + x_B + x_C + x_D = 1$$

para o caso, por exemplo, de uma mistura constituída por quatro substâncias (A, B, C e D), sendo x_A , x_B , x_C e x_D as frações molares das respetivas substâncias.

Exercício resolvido

- 3 Considera uma mistura gasosa constituída por 1,50 mol de dióxigénio, 2,00 mol de dinitrogénio e uma quantidade de árgon desconhecida, num recipiente indeformável, de capacidade 100 dm³, à temperatura de 0 °C e à pressão de 1 atm.

Substância	O ₂	N ₂	Ar
Quantidade de matéria/mol	1,50	2,00	?

Considerando os dados fornecidos e o facto de o volume molar, nas condições referidas, ser igual a 22,4 dm³ mol⁻¹, determina:

- 3.1 a quantidade de matéria total da mistura gasosa;
 3.2 a quantidade de árgon presente na mistura;
 3.3 a fração molar dos três componentes da mistura considerada.

Resolução:

- 3.1. A quantidade de matéria total da mistura é obtida a partir da relação entre o volume ocupado pela mistura gasosa e o volume molar nas condições referidas.

$$n_{\text{total da mistura}} = \frac{V}{V_m} = \frac{100 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 4,46 \text{ mol}$$

- 3.2. Conhecendo a quantidade de matéria total da mistura e dos restantes componentes, é possível determinar a quantidade de árgon presente na mistura.

$$n_{\text{total da mistura}} = n_{O_2} + n_{N_2} + n_{Ar} \Leftrightarrow n_{Ar} = n_{\text{total da mistura}} - n_{O_2} - n_{N_2} = 4,46 - 1,50 - 2,00 = 0,96 \text{ mol}$$

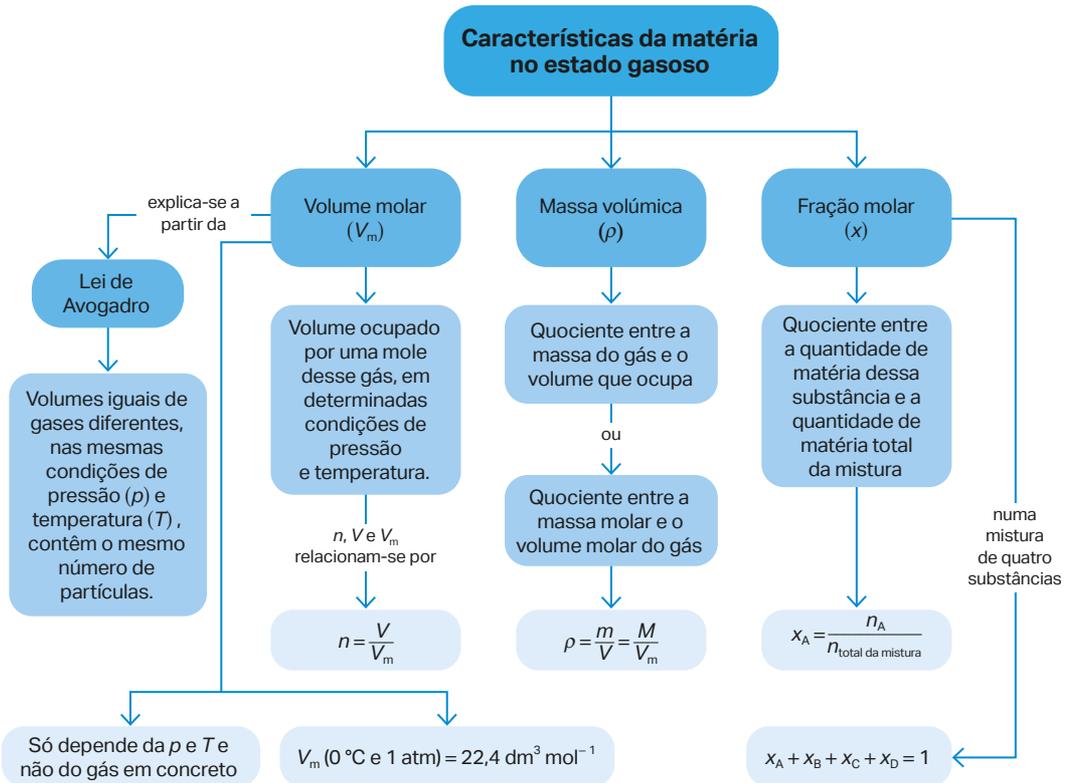
- 3.3. A fração molar de cada componente é obtida pelo quociente entre a sua quantidade de matéria e a quantidade de matéria total presente na mistura.

$$x_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{O_2} + n_{N_2} + n_{Ar}} = \frac{1,50 \text{ mol}}{1,50 \text{ mol} + 2,00 \text{ mol} + 0,96 \text{ mol}} = 0,34$$

$$x_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{O_2} + n_{N_2} + n_{Ar}} = \frac{2,00 \text{ mol}}{1,50 \text{ mol} + 2,00 \text{ mol} + 0,96 \text{ mol}} = 0,45$$

$$\text{Dado que: } x_{O_2} + x_{N_2} + x_{Ar} = 1 \Leftrightarrow x_{Ar} = 1 - x_{O_2} - x_{N_2} = 1 - 0,34 - 0,45 = 0,21$$

Mapa de conceitos



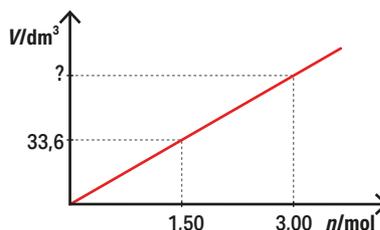
Síntese de conteúdos

- A **Lei de Avogadro** estabelece que volumes iguais de gases diferentes, nas mesmas condições de pressão (p) e temperatura (T), contêm o mesmo número de unidades estruturais.
- O **volume molar** de um gás, cujo símbolo é V_m , é o volume ocupado por uma mole desse gás em determinadas condições de pressão e temperatura.
- À temperatura de 0 °C e à pressão de 1 atmosfera , $V_m = 22,4\text{ dm}^3\text{ mol}^{-1}$.
- A relação entre a quantidade de matéria (n) de um gás, o seu volume (V) e o volume molar (V_m), em determinadas condições de pressão e temperatura, é: $n = \frac{V}{V_m}$.
- A relação entre a massa volúmica (ou densidade) de um gás (ρ) com a sua massa molar (M) e o volume molar (V_m) é dada por: $\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow \rho = \frac{n \times M}{n \times V_m} \Leftrightarrow \rho = \frac{M}{V_m}$.
- Numa mistura de substâncias, a **fração molar** (x) de uma determinada substância é o quociente entre a quantidade de matéria dessa substância e a quantidade de matéria total de todas as substâncias constituintes da mistura. A soma das frações molares de todos os componentes da mistura é igual a 1 (100%).

Exercícios de aplicação

- 1** Tendo em conta a Lei de Avogadro, pode afirmar-se que, nas mesmas condições de pressão e temperatura...
- (A) a mesma quantidade de N_2 e de O_2 ocupa diferentes volumes.
 (B) iguais volumes de N_2 e de O_2 contêm o mesmo número de moléculas.
 (C) iguais volumes de N_2 e de O_2 contêm a mesma massa de substância.
 (D) para iguais volumes de N_2 e de O_2 , o dióxigénio contém menor massa.

- 2** O gráfico representa a variação do volume ocupado por um gás em função da sua quantidade de matéria.



2.1. Calcula o volume molar do gás.

2.2. Determina o volume ocupado por $3,00$ mol deste gás.

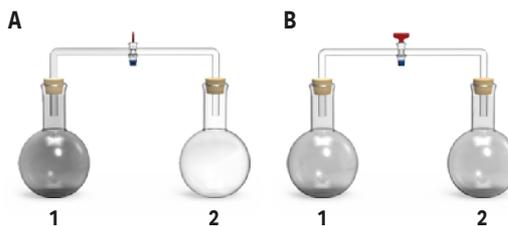
- 3** Considera uma amostra de N_2 contida num balão indeformável com $4,0 \text{ dm}^3$ de capacidade, à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atm . Calcula a massa de N_2 contida no balão e a massa volúmica deste gás.

- 4** Um recipiente indeformável, de volume V , contém $140,1 \text{ g}$ de di-hidrogénio, medido à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atm .

4.1. Determina o volume V ocupado por este gás.

4.2. Calcula a massa volúmica do gás, apresentando o resultado nas unidades g dm^{-3} .

- 5** A figura representa dois balões, 1 e 2, de volume 500 mL , ligados através de um tubo de vidro, munido de uma torneira. Na situação A, a torneira encontra-se fechada, o balão 1 contém $2,23 \times 10^{-2} \text{ mol}$ de CO_2 , à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atm , e o balão 2 contém $0,025 \text{ mol}$ de O_2 . Na situação B, abriu-se a torneira.



5.1. Relativamente à situação A:

5.1.1. calcula a massa volúmica do CO_2 presente no balão 1;

5.1.2. o O_2 no balão 2 pode encontrar-se à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atm ?

5.2. Determina a fração molar dos dois gases na situação B.

Composição quantitativa de soluções

No 9.º ano, foram estudados conceitos como a **concentração mássica**, a **concentração molar** e a **percentagem em massa** como formas de caracterizar a composição quantitativa de uma solução aquosa. Na secção anterior, abordou-se também a **fração molar**, uma forma de expressar a relação entre as quantidades dos componentes de uma solução gasosa.

Além de lembrar essas quatro formas de expressar a composição quantitativa de uma solução, serão agora exploradas outras igualmente importantes e frequentemente utilizadas no dia a dia, como a **percentagem em volume** e as **partes por milhão**.

Concentração mássica, c_m

A concentração mássica ou concentração em massa, c_m , de uma solução indica a massa de soluto por unidade de volume de solução.

$$c_m = \frac{m_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}}$$

Diagram illustrating the formula for mass concentration (c_m). The formula is shown in a yellow box. Dotted lines connect the variables to their definitions:

- m_{soluto} is defined as "Massa do soluto (usual: g; SI: kg)".
- $V_{\text{solução}}$ is defined as "Volume de solução (usual: dm³; SI: m³)".
- c_m is defined as "Concentração mássica (usual: g dm⁻³; SI: kg m⁻³)".

A informação apresentada na **figura 7** refere-se a uma água engarrafada comercializada em Cabo Verde.

Nesta água, qual é o ião presente em maior concentração?

Qual é o significado do valor indicado no rótulo relativamente a esse ião?

Bicarbonatos (HCO ₃ ⁻)	8,0 mg/L
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	< 1 mg/L
Cloretos (Cl ⁻)	1,5 mg/L
Magnésio (Mg ²⁺)	< 1 mg/L
Sódio (Na ⁺)	2,5 mg/L
pH	6,8

Fig. 7 Informação existente no rótulo de uma garrafa de água comercializada em Cabo Verde.

Após realizar uma análise comparativa dos valores relativos de cada ião presente na água, foi possível concluir que o ião bicarbonato é aquele que se encontra em maior concentração entre os solutos dissolvidos.

O valor indicado de 8,0 mg/L tem como significado que, em cada litro (ou dm³) desta solução, estão dissolvidos exatamente 8,0 mg de bicarbonato, sendo este o componente maioritário na amostra analisada.



Concentração molar, c

A concentração molar, c , de uma solução indica a quantidade de matéria de soluto por unidade de volume de solução.

$$c = \frac{n_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}}$$

Quantidade de matéria de soluto (mol)

Concentração (usual: mol dm⁻³; SI: mol m⁻³)

Volume de solução (usual: dm³; SI: m³)

A **tabela 1** apresenta informação sobre a concentração de iões sódio na água do oceano Atlântico, que banha as ilhas de Cabo Verde e desempenha um papel crucial na qualidade dos recursos hídricos do arquipélago.

Ião	Sódio (Na ⁺)	Cloreto (Cl ⁻)	Magnésio (Mg ²⁺)	Sulfato (SO ₄ ²⁻)	Cálcio (Ca ²⁺)	Potássio (K ⁺)
Concentração (mol L ⁻¹)	0,47	0,545	0,053	0,028	0,01	0,01

Tabela 1 Concentrações dos principais iões presentes na água do oceano Atlântico, expressas em mol L⁻¹.

Relativamente ao catião sódio, Na⁺, a concentração total média é 0,47 mol dm⁻³.

Qual é o significado deste valor?

Que quantidade de iões sódio existe num copo com 200 mL de água deste mar?

O valor 0,47 mol L⁻¹ (ou mol dm⁻³) significa que, em cada L (ou dm³) de água deste mar (solução), existem 0,47 mol de iões sódio (soluto) dissolvidos.

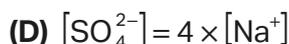
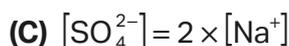
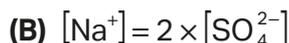
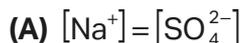
Quanto à quantidade de iões sódio existente em 200 mL de água do oceano Atlântico, esta será:

$$c = \frac{n_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \Leftrightarrow 0,47 \text{ mol dm}^{-3} = \frac{n(\text{Na}^+)}{0,200 \text{ dm}^3} \Leftrightarrow n(\text{Na}^+) = 0,094 \text{ mol de iões Na}^+$$

A realização da Atividade Laboratorial 1, que tem como objetivo principal a preparação cuidadosa de uma solução aquosa utilizando um soluto sólido como base, será uma oportunidade para consolidar, reforçar e expandir conhecimentos teóricos e práticos adquiridos nesta secção.

Exercício resolvido

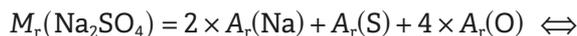
- 4 Preparou-se uma solução aquosa de sulfato de sódio, Na_2SO_4 , dissolvendo-se 3,55 g deste sal em água destilada até completar o volume de 500 mL.
- 4.1 Calcula a concentração mássica da solução preparada.
- 4.2 Determina a concentração molar da solução.
- 4.3 Selecciona a opção que apresenta a relação entre a concentração dos iões constituintes deste sal em solução aquosa.

**Resolução:**

- 4.1. A concentração mássica da solução é calculada a partir do quociente entre a massa de soluto e o volume de solução.

$$c_m = \frac{m_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} = \frac{3,55 \text{ g}}{0,500 \text{ dm}^3} = 7,10 \text{ g dm}^{-3}$$

- 4.2. A concentração molar ou, simplesmente, concentração da solução é obtida pela razão entre a quantidade de matéria de soluto e o volume de solução.



$$\Leftrightarrow M_r = 2 \times 22,99 + 32,06 + 4 \times 16,00 \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow M_r(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,04$$

$$M(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 142,04 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n_{\text{soluto}} = \frac{m_{\text{soluto}}}{M(\text{Na}_2\text{SO}_4)} = \frac{3,55 \text{ g}}{142,04 \text{ g mol}^{-1}} = 2,50 \times 10^{-2} \text{ mol}$$

$$c = \frac{n_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} = \frac{2,50 \times 10^{-2} \text{ mol}}{0,500 \text{ dm}^3} = 5,00 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

4.3. (B)

Em solução aquosa, o sulfato de sódio dissocia-se segundo a seguinte estequiometria:



A estequiometria da dissociação indica que, para cada mol de Na_2SO_4 dissolvido, formam-se 2 mol de iões Na^+ e apenas 1 mol de iões SO_4^{2-} . Assim, a concentração do catião sódio, Na^+ , será o dobro da concentração do anião sulfato, SO_4^{2-} . Este tipo de raciocínio baseia-se nas relações quantitativas entre as espécies químicas numa reação ou processo químico, que é exatamente o que se entende por estequiometria.

Percentagem em massa, $\%(m/m)$

A percentagem em massa de soluto relativamente à massa da mistura, $\%(m/m)$, indica a massa de soluto por cada 100 unidades de massa de solução. É adimensional.

$$\%(m/m) = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solução}}} \times 100\%$$

Massa de soluto

Massa de solução

Percentagem em massa de soluto (adimensional)

Dado que esta grandeza é adimensional, é possível utilizar qualquer unidade de massa, desde que seja a mesma tanto para o soluto quanto para a solução.

O soro fisiológico da **figura 8** é uma solução de água destilada e cloreto de sódio, NaCl , que apresenta uma percentagem em massa de 0,9%.

Qual é o significado deste valor?

Este valor significa que existem 0,9 g de NaCl (soluto) por cada 100 g de soro fisiológico (solução = soluto + solvente) ou que, por exemplo, por cada 100 kg de soro fisiológico (solução) existem 0,9 kg de NaCl (soluto) dissolvido.



Fig. 8 Parte do rótulo de um soro fisiológico.

Percentagem em volume, $\%(V/V)$

A percentagem em volume de soluto, $\%(V/V)$, indica o volume de soluto por cada 100 unidades de volume de solução. É adimensional.

$$\%(V/V) = \frac{V_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \times 100\%$$

Volume de soluto

Volume de solução

Percentagem em volume de soluto (adimensional)

Os rótulos das bebidas alcoólicas contêm informação sobre a percentagem em volume de álcool na bebida, também designado por teor alcoólico.

O rótulo da **figura 9** na página seguinte é relativo ao grogue, uma aguardente tradicional de cana-de-açúcar em Cabo Verde.

Qual é o significado do valor 45% no rótulo da garrafa?

Qual é o volume de álcool ingerido ao beber 50 mL de grogue?

O valor 45% significa que existe 45 mL de álcool (soluto) dissolvido por cada 100 mL desta aguardente (solução).

Quanto ao volume de álcool existente em 50 mL desta bebida alcoólica, este será:

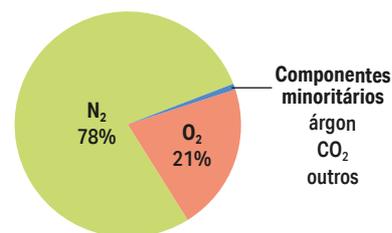
$$\begin{aligned} \%(V/V) &= \frac{V_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \times 100\% \Leftrightarrow 45\% = \frac{V_{\text{soluto}}}{50 \text{ mL}} \times 100\% \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow V_{\text{soluto}} = 22,5 \text{ mL} \end{aligned}$$



Fig.9 Rótulo de uma aguardente tradicional de Cabo Verde.

Exercício resolvido

- 5 O gráfico ao lado apresenta a composição quantitativa da troposfera terrestre, expressa em percentagem volúmica, $\%(V/V)$. A partir da informação do gráfico e sabendo que a massa volúmica do ar, medida à pressão de 1 atmosfera e à temperatura de 0°C , é $\rho = 1,29 \text{ g dm}^{-3}$, determina a percentagem em massa, $\%(m/m)$, de dinitrogénio na troposfera.



Resolução:

5. Da análise do gráfico, pode concluir-se que, por cada 100 dm^3 de ar troposférico, 78 dm^3 correspondem ao volume ocupado por N_2 , nas mesmas condições de p e T .

A partir da expressão do volume molar, medido à pressão de 1 atmosfera e à temperatura de 0°C , é possível determinar a quantidade de N_2 por cada 100 dm^3 de ar troposférico e, relacionando com a massa molar, determinar a massa de N_2 nesse volume.

$$n = \frac{V}{V_m} = \frac{78 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 3,5 \text{ mol}; \quad n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \times M = 3,5 \text{ mol} \times 28,02 \text{ g mol}^{-1} = 98 \text{ g}$$

A massa de ar correspondente aos 100 dm^3 pode ser calculada a partir da expressão:

$$\rho = \frac{m}{V} \Leftrightarrow m = \rho \times V = 1,29 \text{ g dm}^{-3} \times 100 \text{ dm}^3 = 129 \text{ g}$$

Conhecida a massa de N_2 e a massa de ar correspondente ao mesmo volume, é possível calcular a percentagem em massa de N_2 na troposfera terrestre.

$$\%(m/m) = \frac{m_{\text{N}_2}}{m_{\text{ar}}} \times 100\% \Leftrightarrow \%(m/m) = \frac{98 \text{ g}}{129 \text{ g}} \times 100\% = 76\%$$

Partes por milhão, ppm

Quando uma solução é muito diluída é usual optar por apresentar a sua concentração em partes por milhão.

Partes por milhão, ppm, indica a massa, ou o volume, de soluto existente em um milhão (10^6) de unidades de massa, ou de volume, de solução. Utiliza-se quando a concentração do soluto é muito baixa. É adimensional.

$$\text{ppm (m)} = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solução}}} \times 10^6 \text{ ppm (m)}$$

Partes por milhão em massa (adimensional)

Massa de soluto

Massa de solução

$$\text{ppm (V)} = \frac{V_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \times 10^6 \text{ ppm (V)}$$

Partes por milhão em massa (adimensional)

Volume de soluto

Volume de solução

A **tabela 2** apresenta os valores médios das concentrações de nitratos, nitritos e amónio em águas subterrâneas de Cabo Verde, expressos em partes por milhão em massa, ppm(m). Estes dados foram obtidos a partir da análise de 110 amostras com o objetivo de avaliar a qualidade da água subterrânea no país.

Parâmetro	Concentração / ppm(m)
Nitratos	45,0
Nitritos	0,02
Amónio	0,1

Tabela 2 Concentrações de nitratos, nitritos e amónio em águas subterrâneas de Cabo Verde.

Qual é a composição em ppm(m) de amónio, em média, nas águas subterrâneas de Cabo Verde?

Qual é o significado desse valor?

A concentração de amónio nas águas subterrâneas de Cabo Verde é, em média, 0,1 ppm(m). Esse valor indica que, em cada 1 000 000 de unidades de massa (por exemplo, gramas) da amostra de água (solução), existem 0,1 unidades de massa de amónio dissolvido (soluto).

E qual é a composição em % (m / m) de amónio nessas águas?

Sabendo que:

$$\%(m / m) = \frac{m_{\text{solute}}}{m_{\text{solução}}} \times 100\% \quad \text{e} \quad \text{ppm}(m) = \frac{m_{\text{solute}}}{m_{\text{solução}}} \times 10^6 \text{ ppm}(m)$$

$$\text{ppm}(m) = \left(\frac{m_{\text{solute}}}{m_{\text{solução}}} \times 10^2 \right) \times 10^4 \Rightarrow \text{ppm}(m) = \%(m / m) \times 10^4$$

Assim:

$$\%(m / m)_{\text{amónio}} = \frac{\text{ppm}(m)}{10^4} = \frac{0,1}{10^4} = 0,000 01\% = 1 \times 10^{-5}\%$$

Fração molar, x

A fração molar, x , de um soluto A é o quociente entre a quantidade de matéria desse soluto e a quantidade de matéria total presente na solução (soluto(s) e solvente). É adimensional.

$$x_{\text{solute A}} = \frac{n_{\text{solute A}}}{n_{\text{total da solução}}}$$

Quantidade de matéria do soluto A (mol)

Fração molar do soluto A (adimensional)

Somatório das quantidades de matéria dos componentes da solução (mol)

A soma das frações molares dos diferentes componentes da solução é igual a 1:

$$x_{\text{solute A}} + x_{\text{solute B}} + \dots + x_{\text{solvente}} = 1$$

O diagrama seguinte resume as diferentes formas de exprimir a composição quantitativa de soluções que estudámos até agora.



Exercício resolvido

- 6 Considera uma amostra de ar, composta por dinitrogénio e dióxigénio, cuja preparação resultou da mistura de N_2 contido num balão de $11,0 \text{ dm}^3$ com O_2 contido num balão de $3,0 \text{ dm}^3$, ambos medidos à pressão de 1 atmosfera e à temperatura de 0°C .
- 6.1 Calcula as quantidades de dinitrogénio e de dióxigénio usadas na preparação da mistura.
- 6.2 Determina a fração molar do dinitrogénio na mistura.
- 6.3 Determina a fração molar do dióxigénio por dois métodos diferentes (usar as duas expressões destacadas na página 24).
- 6.4 Supõe que a mistura era transferida para um balão de capacidade $5,0 \text{ dm}^3$, no qual se injetaram $100 \mu\text{g}$ de hélio. Determina a composição quantitativa de hélio expressa em partes por milhão em massa, ppm(m).

Resolução:

- 6.1. A quantidade de cada componente gasoso pode ser calculada a partir da relação entre o volume ocupado e o respetivo volume molar.

$$n = \frac{V}{V_m}; \quad n_{N_2} = \frac{V_{N_2}}{V_m} = \frac{11,0 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,491 \text{ mol}; \quad n_{O_2} = \frac{V_{O_2}}{V_m} = \frac{3,0 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 0,13 \text{ mol}$$

- 6.2. A fração molar do dinitrogénio na mistura é obtida pelo quociente entre a quantidade de dinitrogénio e a quantidade de matéria total na mistura.

$$x_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{N_2} + n_{O_2}} \Leftrightarrow x_{N_2} = \frac{0,491 \text{ mol}}{0,491 \text{ mol} + 0,13 \text{ mol}} = 0,79$$

- 6.3. **Método 1** – Igual ao usado na alínea anterior:

A fração molar do dióxigénio na mistura é obtida pelo quociente entre a quantidade de dióxigénio e a quantidade de matéria total na mistura.

$$x_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{N_2} + n_{O_2}} \Leftrightarrow x_{O_2} = \frac{0,13 \text{ mol}}{0,491 \text{ mol} + 0,13 \text{ mol}} = 0,21$$

Método 2 – Atendendo a que a soma das frações molares de todos os componentes da mistura é igual a 1, a fração molar do dióxigénio pode ser obtida pela relação:

$$x_{N_2} + x_{O_2} = 1 \Leftrightarrow x_{O_2} = 1 - x_{N_2} = 1 - 0,79 = 0,21$$

- 6.4. A composição quantitativa de um componente de uma mistura expressa em ppm(m) é obtida pelo quociente entre a massa desse componente e a massa total da mistura multiplicada por 10^6 .

$$m_{\text{He}} = 100 \mu\text{g} = 100 \times 10^{-6} \text{ g} = 1,00 \times 10^{-4} \text{ g}$$

$$m_{N_2} = n_{N_2} \times M_{N_2} = 0,491 \text{ mol} \times 28,02 \text{ g mol}^{-1} = 13,8 \text{ g}$$

$$m_{O_2} = n_{O_2} \times M_{O_2} = 0,13 \text{ mol} \times 32,00 \text{ g mol}^{-1} = 4,2 \text{ g}$$

$$\text{ppm}(m) = \frac{m_{\text{He}}}{m_{N_2} + m_{O_2} + m_{\text{He}}} \times 10^6 \text{ ppm}(m) = \frac{1,00 \times 10^{-4} \text{ g}}{13,8 \text{ g} + 4,2 \text{ g} + 1,00 \times 10^{-4} \text{ g}} \times 10^6 \text{ ppm}(m) = 5,6 \text{ ppm}(m)$$

Atividade Laboratorial 1

Objetivo:

Preparar 100,0 mL de uma solução aquosa de sulfato de cobre(II) penta-hidratado de concentração $0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$.

Material:

- Vareta de vidro
- Espátula
- Gobelé de 100 mL
- Balão volumétrico de 100,0 mL
- Funil de líquidos
- Frasco de reagente de 100 mL
- Pipeta conta-gotas
- Garrafa de esguicho com água destilada
- Sulfato de cobre(II) penta-hidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) (Nota de segurança: nocivo se ingerido, irritante para os olhos e pele e perigoso para o ambiente aquático; usar luvas, óculos de proteção e bata de laboratório)
- Balança de precisão com sensibilidade 0,001 g

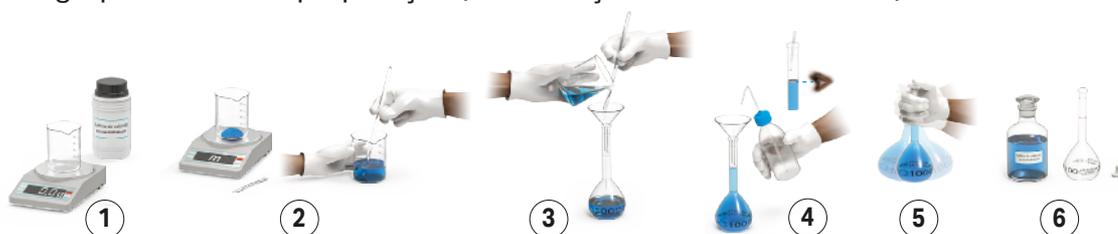
Cálculos prévios:

Calcular a massa de sulfato de cobre(II) penta-hidratado necessária para preparar a solução.

Registo de dados: $m(\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}) = \underline{\hspace{2cm}}$

Procedimento experimental:

- 1 Colocar o gobelé limpo e seco na balança e fazer a TARA.
- 2 Colocar, com a espátula, o sólido no gobelé (massa calculada). Com a ajuda de uma vareta, dissolver o sólido no gobelé com um volume suficiente de água.
- 3 Transferir o conteúdo do gobelé para um balão volumétrico de 100,0 mL, lavando com água destilada o gobelé e a vareta de modo a arrastar todo o soluto para o balão volumétrico.
- 4 Adicionar água até à marca do balão volumétrico com a pipeta conta-gotas.
- 5 Colocar a rolha no balão volumétrico e agitar para homogeneizar a solução.
- 6 Transferir a solução para um frasco, com a ajuda do funil e da vareta, e colocar um rótulo com a identificação da solução, a concentração, a identificação do grupo e a data de preparação (esta solução será usada na AL2).



Conclusões:

Responder à seguinte questão: *Como preparar uma solução aquosa de concentração rigorosa a partir de um soluto sólido?*

Diluição de soluções aquosas

Frequentemente, não é conveniente utilizar um produto, seja ele alimentar, de limpeza, medicamento ou reagente químico, na concentração em que é comercializado, sendo necessário realizar diluições.

Para diluir uma solução adiciona-se mais solvente, sem alterar a quantidade de soluto, o que provoca uma diminuição da sua concentração.

Na preparação de um refresco, seguindo as instruções do rótulo de uma embalagem de sumo concentrado, deve-se misturar uma parte do sumo com quatro partes iguais de água.

Por exemplo, para preparar 1 L de refresco, utilizam-se 200 mL de sumo de laranja concentrado e 800 mL de água. Durante o processo de diluição, a quantidade de solutos, como açúcar e corante, permanece constante, enquanto o volume do solvente (água) aumenta.

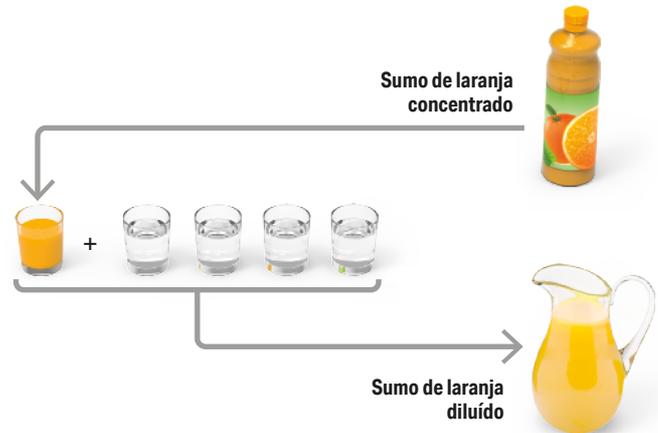


Fig. 10 Esquema da diluição de sumo de laranja concentrado.

Nesta solução, a quantidade de soluto mantém-se constante:

$$n_{\text{inicial}}(\text{soluto}) = n_{\text{final}}(\text{soluto})$$

Sabendo que $c = \frac{n}{V} \Leftrightarrow n = c \times V$, substituindo, tem-se a seguinte fórmula de cálculo:

$$c_{\text{inicial}} \times V_{\text{inicial}} = c_{\text{final}} \times V_{\text{final}}$$

Neste exemplo, observou-se que o volume da solução aumentou cinco vezes, passando de 200 mL para 1000 mL. Isso significa que a solução final (refresco) ficou cinco vezes menos concentrada (ou mais diluída) do que a solução inicial (sumo concentrado de laranja).

Este fator "cinco vezes" é designado por **fator de diluição**.

O **fator de diluição** (f_d) é a relação entre a concentração inicial e a concentração final da solução ou entre o volume final e o volume inicial da mesma solução:

$$f_d = \frac{c_i}{c_f} \quad \text{ou} \quad f_d = \frac{V_f}{V_i}$$

Exercício resolvido

- 7 Consultando o rótulo de um balão volumétrico que contém 1 L de uma solução aquosa de cloreto de potássio, verifica-se que esta apresenta uma concentração de $3,0 \text{ mol dm}^{-3}$. Pretende-se, a partir desta solução, preparar 25,0 mL de uma nova solução de concentração $1,0 \text{ mol dm}^{-3}$.
- 7.1 Determina o fator de diluição.
- 7.2 Indica o significado do valor calculado na alínea anterior.
- 7.3 Calcula o volume da solução concentrada que é necessário usar para preparar a solução diluída.
- 7.4 Qual é o volume de água adicionado ao volume inicial de solução concentrada?

Resolução:

- 7.1. O fator de diluição pode ser calculado pela relação entre as concentrações da solução concentrada e da solução diluída.

$$f_d = \frac{c_i}{c_f} = \frac{3,0 \text{ mol dm}^{-3}}{1,0 \text{ mol dm}^{-3}} = 3$$

- 7.2. O valor encontrado na alínea anterior significa que a concentração da solução diluída é três vezes inferior à da solução concentrada.

7.3. Método 1:

Numa diluição, a quantidade de soluto presente na solução preparada é igual à presente no volume de solução concentrada a utilizar.

$$n_i(\text{soluto}) = n_f(\text{soluto}) \Leftrightarrow c_i \times V_i = c_f \times V_f \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow 3,0 \text{ mol dm}^{-3} \times V_i = 1,0 \text{ mol dm}^{-3} \times 25,0 \text{ mL} \Leftrightarrow V_i = 8,3 \text{ mL}$$

Método 2:

$$f_d = \frac{V_f}{V_i} \Leftrightarrow 3 = \frac{25,0 \text{ mL}}{V_i} \Leftrightarrow V_i = \frac{25,0 \text{ mL}}{3} = 8,3 \text{ mL}$$

- 7.4. $V_f = V_i + V_{\text{água adicionada}} \Leftrightarrow$

$$\Leftrightarrow V_{\text{água adicionada}} = V_f - V_i = 25,0 \text{ mL} - 8,3 \text{ mL} = 16,7 \text{ mL}$$



Atividade Investigativa 1

Objetivo:

Realizar um trabalho de pesquisa em grupo intitulado *A troposfera e a poluição atmosférica: um olhar para o céu de Cabo Verde* que investigue a composição da troposfera e os impactos da poluição atmosférica, com foco especial nos gases com efeito de estufa, propondo medidas viáveis e contextualizadas para o país.

Contexto teórico:

A troposfera é a camada mais próxima da superfície terrestre e onde ocorre toda a vida e a maior parte dos fenómenos meteorológicos. Em Cabo Verde, um país insular e vulnerável às alterações climáticas, é fundamental compreender como a qualidade do ar que respiramos está a mudar e como isso pode afetar a saúde humana, os ecossistemas e o clima local. Este trabalho convida os grupos a explorar a composição da troposfera, a identificar os principais poluentes atmosféricos e, por fim, a propor soluções concretas para tornar o nosso ambiente mais limpo e sustentável.



Exemplo de um aterro sanitário na ilha de Santiago.

Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Identificar e descrever a composição da troposfera terrestre, incluindo os principais gases que a constituem.
- 2 Listar os principais gases poluentes encontrados na troposfera, explicando a sua origem e os seus efeitos sobre a saúde, o ambiente e o clima.
- 3 Destacar os gases com efeito de estufa (como, por exemplo, o dióxido de carbono, o metano e os óxidos de azoto), explicando como contribuem para o aquecimento global.
- 4 Investigar as principais fontes de poluição atmosférica em Cabo Verde, incluindo atividades humanas (como, por exemplo, os transportes, a queima de resíduos e as centrais energéticas).
- 5 Sugerir alternativas locais para reduzir a emissão desses poluentes, considerando as possibilidades tecnológicas, económicas e sociais do país.
- 6 Propor uma ação simbólica ou prática de sensibilização (como, por exemplo, a criação de cartazes ou de vídeos curtos, uma campanha de informação na escola ou a limpeza simbólica de um espaço local).

Entrega do trabalho final e apresentação

Cada grupo deverá, para além do trabalho escrito, apresentar o seu trabalho num dos seguintes formatos (à escolha do grupo):

- **cartaz científico:** com imagens, gráficos e texto explicativo.
- **apresentação oral com PowerPoint:** a ser feita na sala, com a participação de todos os elementos do grupo.
- **vídeo criativo:** explicando o tema e apresentando as vossas propostas de forma clara e envolvente.

Estrutura sugerida para o trabalho escrito:

- 1 **Introdução** – Explicar brevemente o que é a troposfera e a importância do tema para Cabo Verde.
- 2 **Desenvolvimento** – Abordar os pontos 1 a 5 das *etapas do desenvolvimento da atividade*.
- 3 **Conclusão** – Resumir as principais aprendizagens e apresentar a vossa proposta de intervenção ou sensibilização.

CrITÉRIOS de avaliação:

- Clareza e organização do conteúdo.
- Rigor científico e uso de fontes credíveis.
- Criatividade e originalidade na apresentação.
- Adequação e relevância da proposta local.
- Qualidade do trabalho em grupo e distribuição equilibrada de tarefas.

Dicas Úteis

- Utilizem manuais escolares, *sites* científicos, relatórios ambientais de Cabo Verde e dados oficiais de organismos como a Direção Nacional do Ambiente, a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANAS), o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) e o Portal do Clima (<https://portaldoclima.gov.cv>), entre outros.
- Privilegiem uma linguagem clara e objetiva.
- Ilustrem os dados com gráficos, imagens e esquemas, sempre que possível.

Mãos à obra! A ciência ao serviço do ambiente começa com o vosso olhar crítico e as vossas ideias para mudar o mundo – começando por Cabo Verde!

Atividade Laboratorial 2

Objetivo:

Preparar duas soluções de 100,0 mL, a partir de uma solução mais concentrada de concentração molar conhecida, com fatores de diluição 5 e 10. Utiliza a solução preparada na AL1 de sulfato de cobre(II) penta-hidratado $0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$.

Material:

- Pipeta volumétrica de 10,0 mL
- Pipeta volumétrica de 20,0 mL
- Macrocontrolador de pipetas ou pompete
- 2 balões volumétricos de 100,0 mL
- 2 frascos de reagentes de 100 mL
- Pipeta conta-gotas
- Funil de líquidos
- Vareta de vidro
- Garrafa de esguicho com água destilada
- Solução de sulfato de cobre(II) penta-hidratado de concentração $0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$ (preparada na AL1)

Cálculos prévios:

Calcular os volumes de solução concentrada ($c = 0,1000 \text{ mol dm}^{-3}$) a utilizar na preparação de 100,0 mL das duas soluções diluídas ($f_d = 5$ e $f_d = 10$).

Registo de dados: $V_{\text{solução}}(f_d = 5) = \underline{\hspace{2cm}}$; $V_{\text{solução}}(f_d = 10) = \underline{\hspace{2cm}}$

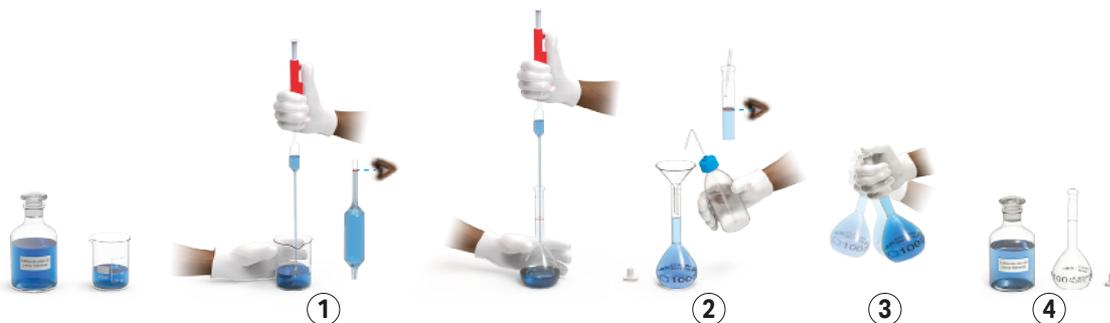
Procedimento experimental:

Parte I – Preparação da solução diluída com $f_d = 5$

- 1 Pipetar o volume de solução concentrada e transferir para o balão volumétrico.
- 2 Perfazer o volume do balão volumétrico até ao traço de referência, por adição de água, acertando o volume com o auxílio de uma pipeta conta-gotas.
- 3 Colocar a rolha no balão volumétrico e homogeneizar a solução.
- 4 Transferir o conteúdo do balão, com a ajuda do funil e da vareta, para um frasco de reagente devidamente etiquetado.

Parte II – Preparação da solução diluída com $f_d = 10$

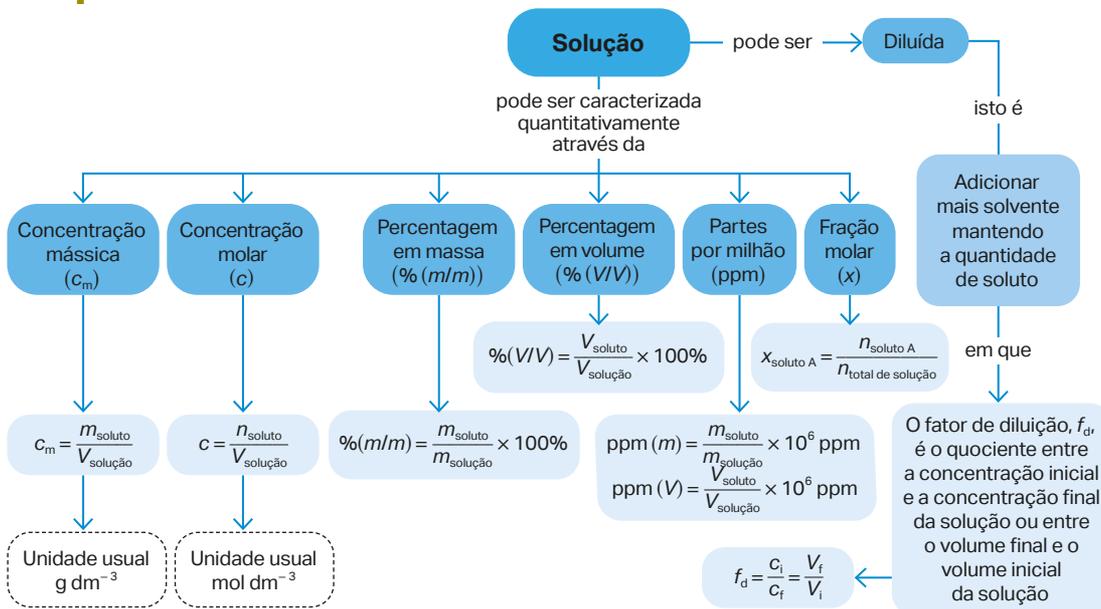
Tal como na preparação anterior, realizar todas as etapas descritas de 1 a 4 da parte I.



Conclusões:

Responder à seguinte questão: *Como preparar soluções aquosas por diluição de soluções mais concentradas?*

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A composição quantitativa de uma solução representa-se por várias grandezas:
 - A **concentração mássica, c_m** , indica a massa de soluto por unidade de volume de solução.

$$c_m = \frac{m_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \quad \text{A unidade usual é } \text{g dm}^{-3}.$$

- A **concentração molar** ou **concentração, c** , indica a quantidade de matéria de soluto por unidade de volume de solução.

$$c = \frac{n_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \quad \text{A unidade usual é } \text{mol dm}^{-3}.$$

- A **percentagem em massa, $\%(m/m)$** , e **em volume, $\%(V/V)$** , indica a massa ou volume de soluto por cada 100 unidades de massa ou volume de solução.

$$\%(m/m) = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solução}}} \times 100\% \quad \text{ou} \quad \%(V/V) = \frac{V_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \times 100\% \quad \text{É adimensional.}$$

- Partes por milhão, ppm**, indica a massa, ou o volume, de soluto existente em um milhão (10^6) de unidades de massa, ou de volume, de solução.

$$\text{ppm}(m) = \frac{m_{\text{soluto}}}{m_{\text{solução}}} \times 10^6 \text{ ppm}(m) \quad \text{ou} \quad \text{ppm}(V) = \frac{V_{\text{soluto}}}{V_{\text{solução}}} \times 10^6 \text{ ppm}(V) \quad \text{É adimensional.}$$

- A **fração molar, x** , de um soluto A é o quociente entre a quantidade de matéria desse soluto e a quantidade de matéria total presente na solução (soluto(s) e solvente).

$$x_{\text{soluto A}} = \frac{n_{\text{soluto A}}}{n_{\text{total da solução}}} \quad x_{\text{soluto A}} + x_{\text{soluto B}} + \dots + x_{\text{solvente}} = 1 \quad \text{É adimensional.}$$

- Numa diluição, a quantidade de soluto mantém-se constante.

$$n_{\text{inicial}}(\text{soluto}) = n_{\text{final}}(\text{soluto}) \Leftrightarrow c_{\text{inicial}} \times V_{\text{inicial}} = c_{\text{final}} \times V_{\text{final}}$$

- O **fator de diluição, f_d** , é o quociente entre a concentração inicial e a final da solução ou entre o volume final e o inicial da mesma solução. $f_d = \frac{c_i}{c_f}$ ou $f_d = \frac{V_f}{V_i}$

Exercícios de aplicação

- 1** Os dados na tabela ao lado foram extraídos da análise de água realizado na ilha de Santiago.

Ferro total (Fe)	0,12 mg/L
Nitratos (NO_3^-)	4,5 mg/L
Fluoretos (F^-)	1,0 mg/L
pH	7,2

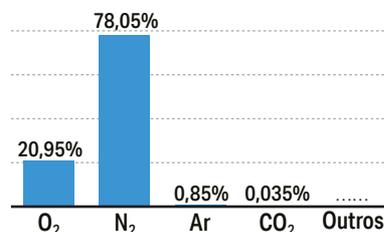
- 1.1.** O que significa o valor 0,12 mg/L?
1.2. Qual é a massa de fluoretos ingerida ao beber 200 mL desta água?

- 2** Considera os dados referentes à preparação das soluções aquosas A e B. Considera $\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 1,0 \text{ g cm}^{-3}$.

Solução	Soluto	$m_{\text{soluto}} / \text{g}$	$V_{\text{solução}} / \text{cm}^3$
A	CuSO_4	20,30	500
B	$\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{ H}_2\text{O}$	20,30	500

- 2.1.** Calcula a concentração da solução A, expressa em mol dm^{-3} .
2.2. Determina a massa de soluto presente em 100 mL de solução A.
2.3. Qual seria a massa de sulfato de cobre(II) anidro necessária para preparar 100 mL de solução de concentração $2,00 \text{ mol dm}^{-3}$?
2.4. Determina a percentagem em massa de sulfato de cobre(II) na solução A. Considera $V_{\text{solução}} \approx V_{\text{água}}$.
2.5. Selecciona a opção que completa corretamente a frase seguinte: Comparada com a solução A, a solução B apresenta concentração mássica e concentração molar.
(A) igual... igual **(B)** maior... menor **(C)** igual... menor **(D)** menor... maior

- 3** Registou-se no gráfico ao lado a composição quantitativa de uma amostra gasosa num recipiente de 100 L, expressa em % (V/V), à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atm.



- 3.1.** Determina a quantidade de dióxigénio presente no recipiente.
3.2. Determina a composição quantitativa de dióxido de carbono, em ppm(V).
3.3. Calcula a fração molar de dinitrogénio.

- 4** Na preparação de uma solução aquosa de nitrato de sódio, NaNO_3 , foram dissolvidos 4,25 g desse soluto em água até completar o volume de 500 mL.

- 4.1.** Comprova que a concentração molar da solução preparada é $0,100 \text{ mol dm}^{-3}$.
4.2. Supõe que foram diluídos 5,00 mL dessa solução num balão volumétrico de 200 mL. Qual é a concentração da nova solução?

2



Subtema 2.1. Aspetos quantitativos das reações químicas

- Interpretar o significado das equações químicas em termos de quantidade de matéria.
- Compreender o conceito de reagente limitante numa reação química.
- Resolver problemas envolvendo a estequiometria de uma reação, incluindo o grau de pureza da amostra, reagente limitante e cálculo do rendimento.
- Atividade Laboratorial – Síntese do ácido acetilsalicílico.
- Comparar reações químicas do ponto de vista da química verde, avaliando as implicações na sustentabilidade social, económica e ambiental.

Equilíbrio químico

2.1. Aspectos quantitativos das reações químicas

2.2. Equilíbrio químico e extensão das reações químicas

Subtema 2.2. Equilíbrio químico e extensão das reações químicas

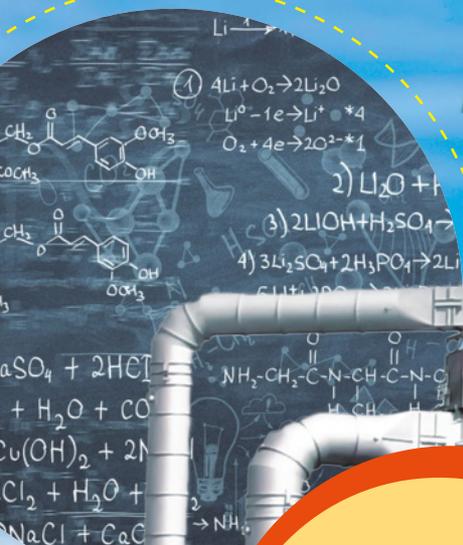
- Resolver problemas envolvendo o conceito de equilíbrio químico em sistemas homogêneos, incluindo a análise de gráficos, a escrita de expressões matemáticas que traduzam a constante de equilíbrio e a relação entre a constante de equilíbrio e a extensão de uma reação, explicando as estratégias de resolução.
- Relacionar as constantes de equilíbrio das reações direta e inversa.
- Prever o sentido da evolução de um sistema químico homogêneo quando o estado de equilíbrio é perturbado (variações de pressão e volume em sistemas gasosos, de temperatura e de concentração de reagentes ou produtos da reação), com base no Princípio de Le Châtelier.
- Prever o sentido da evolução de um sistema químico homogêneo por comparação entre o quociente de reação e a constante de equilíbrio.
- Atividade Laboratorial – Efeito da concentração no equilíbrio químico

2

Equilíbrio químico

Ponto de partida

- Neste tema são introduzidos os conceitos-chave inerentes ao uso de equações químicas como ferramenta para a realização de cálculos estequiométricos, incluindo a determinação de massas e quantidades de reagentes e produtos, a identificação do reagente limitante e o cálculo do rendimento de uma reação química.
- Estudarás também o equilíbrio químico e o Princípio de Le Châtelier, permitindo a previsão da evolução dos sistemas em resposta a perturbações.
- Ao longo deste tema vais perceber a importância da Química no estudo...

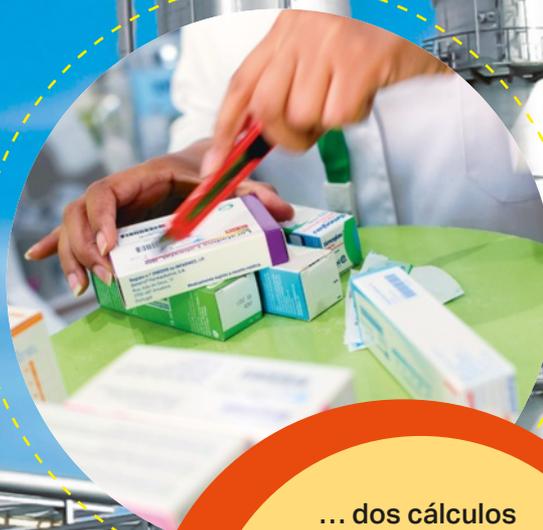


... das equações químicas como ponto de partida para prever quanto produto se obtém e quanto reagente é necessário em qualquer transformação química.

... do rendimento de uma reação – uma forma de comparar o que se deveria obter com o que realmente se obtém, como acontece nas indústrias, laboratórios ou até na cozinha.

... da constante de equilíbrio (K_c), um valor que revela se uma reação favorece mais os produtos ou os reagentes, ajudando a compreender e controlar processos industriais e biológicos.

... de sistemas que atingem o equilíbrio – um estado em que as reações ocorrem nos dois sentidos à mesma velocidade, criando uma ilusão de imobilidade em que tudo continua a acontecer.



... dos cálculos estequiométricos aplicados à produção de substâncias úteis – desde a fabricação de medicamentos até à produção de fertilizantes ou combustíveis.



Vamos começar o estudo?

2.1. Aspectos quantitativos das reações químicas

Reações químicas: equações químicas e relações estequiométricas

História da Química: reações químicas

À semelhança do percurso realizado no estudo da estrutura atômica, também a compreensão das transformações químicas resultou de um longo processo de investigação científica, centrado na explicação dos fenómenos que ocorrem durante a formação de novas substâncias.

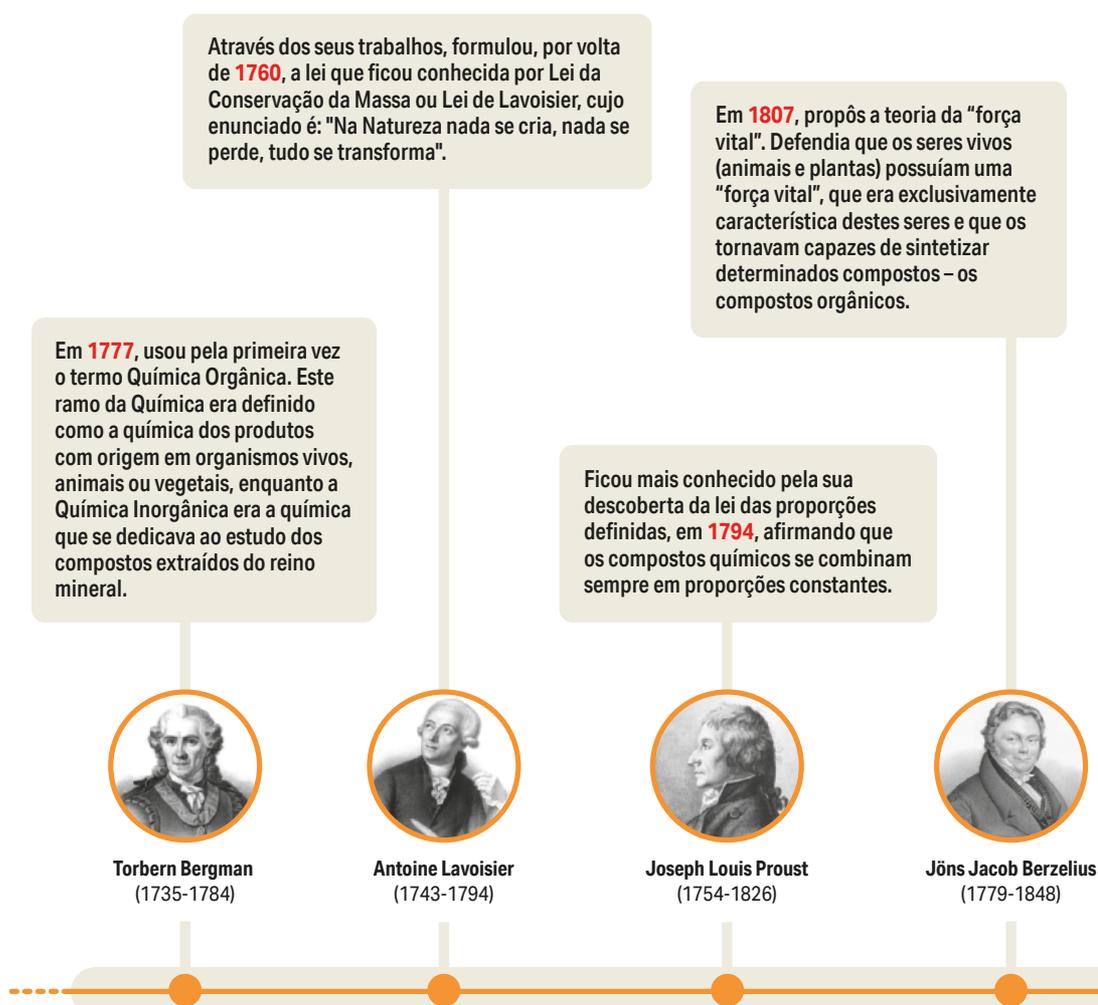
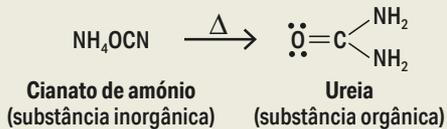


Fig. 1 Alguns cientistas que contribuíram para o conhecimento atual sobre as reações químicas.

A integração de conhecimentos provenientes de diversas áreas do saber permitiu transformar materiais existentes na Natureza em novos produtos, contribuindo para um notável progresso tecnológico e para a melhoria da qualidade de vida das populações.

Este progresso permitiu, entre outros exemplos, a transformação de matérias-primas naturais em produtos úteis, como tecidos, corantes, metais, adubos, conservantes, medicamentos, materiais de construção e componentes eletrónicos, contribuindo significativamente para o desenvolvimento da agricultura, da indústria, da saúde e da tecnologia.

Em **1828**, pôs em causa a definição de compostos orgânicos defendida por Berzelius. O químico alemão, ao aquecer cianato de amónio, sintetizou laboratorialmente uma substância considerada orgânica, na época, por existir na urina – a ureia.



O processo de Haber-Bosch (por vezes designado simplesmente por processo de Haber) é um procedimento industrial de obtenção de amoníaco a partir de dinitrogénio e di-hidrogénio no estado gasoso. Pelo desenvolvimento deste processo e pela sua industrialização, os químicos alemães Haber e Bosch foram galardoados com o Prémio Nobel da Química, respetivamente, em **1918** e **1931**, reconhecendo a importância desta síntese para a produção de fertilizantes e o desenvolvimento da agricultura moderna.

Tendo em conta a evolução científica realizada nas três décadas anteriores, em **1859**, apresenta uma nova definição de Química Orgânica – ramo da Química que estuda os compostos do elemento carbono.

Ficou conhecido por ter sintetizado a molécula de ácido acetilsalicílico (AAS) em **1887**.

Na década de **30 do século XX**, provocou uma grande revolução na indústria alimentar ao adicionar ao processo uma combinação de sal com minúsculos cristais de nitrito e de nitrato de sódio, conseguindo, assim, ampliar o processo de conservação dos alimentos. Este método, patenteado para a conservação de carnes, ainda é usado hoje.



Friedrich Wöhler
(1800-1882)



August Kekulé
(1829-1896)



Felix Hoffmann
(1868-1946)



Fritz Haber
(1868-1934)



Carl Bosch
(1874-1940)



Lloyd Hall
(1894-1971)

Equilíbrio químico

As reações químicas estão presentes no nosso cotidiano em vários contextos, tais como:

Na combustão dos derivados do petróleo, produzindo energia para cozinhar, para gerar energia elétrica ou para alimentar motores de veículos automóveis e indústrias.



Na produção de alimentos, como derivados do leite, bolos ou pão, através de processos de fermentação e da sua conservação, com a adição de conservantes.



Na produção do oxigênio, essencial à vida, através da fotossíntese das plantas verdes.



Na digestão dos alimentos e sua posterior assimilação por parte dos seres vivos.



Na produção de fármacos e sua assimilação pelo organismo, proporcionando-nos maior longevidade e qualidade de vida.



Na produção, por parte da indústria química, de novos produtos e materiais importantes para a sobrevivência e conforto das sociedades atuais.

Equações químicas

Lavoisier descobriu que, durante uma reação química, a massa total dos reagentes é igual à massa total dos produtos de reação, isto é, os átomos dos elementos envolvidos não se criam nem destroem, apenas se ligam entre si de modo diferente, estabelecendo substâncias diferentes.

Numa **reação química**, uma ou mais substâncias iniciais, os **reagentes**, transformam-se numa ou mais substâncias novas, os **produtos da reação**, utilizando o mesmo conjunto de átomos.



Assim, durante uma reação química, as ligações existentes nos reagentes são quebradas, permitindo que os seus átomos se reorganizem e formem novas substâncias – os produtos da reação.

Um exemplo é a combustão do metano, uma reação altamente exotérmica nas condições-padrão, que origina dióxido de carbono e água como produtos.

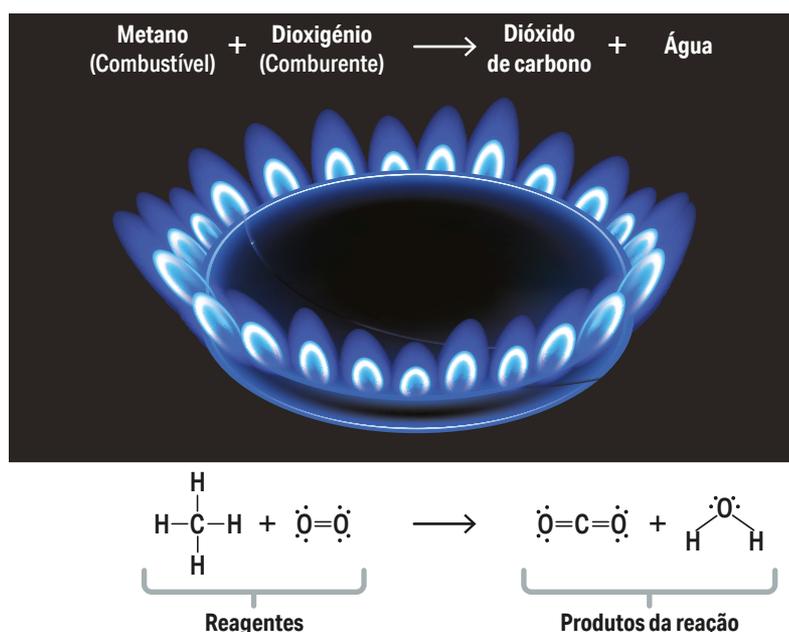


Fig. 2 Representação esquemática dos reagentes e produtos da reação de combustão do metano.

Será que a Lei de Lavoisier se aplica ao esquema representado na figura 2?

Verifica-se que o número de átomos de oxigénio e de hidrogénio nos reagentes é diferente do existente nos produtos, o que implica que a massa total dos reagentes não é igual à massa total dos produtos. Assim, conclui-se que o esquema não representa corretamente a reação de combustão do metano, uma vez que viola o princípio da conservação da massa estabelecido por Lavoisier – o esquema da reação deve ser ajustado.

Este ajuste, designado por acerto da equação química, consiste na colocação de **coeficientes estequiométricos** antes das fórmulas químicas dos reagentes e dos produtos da reação, para garantir que o número de átomos de cada elemento é igual em ambos os lados da equação, assegurando assim a conservação da massa.

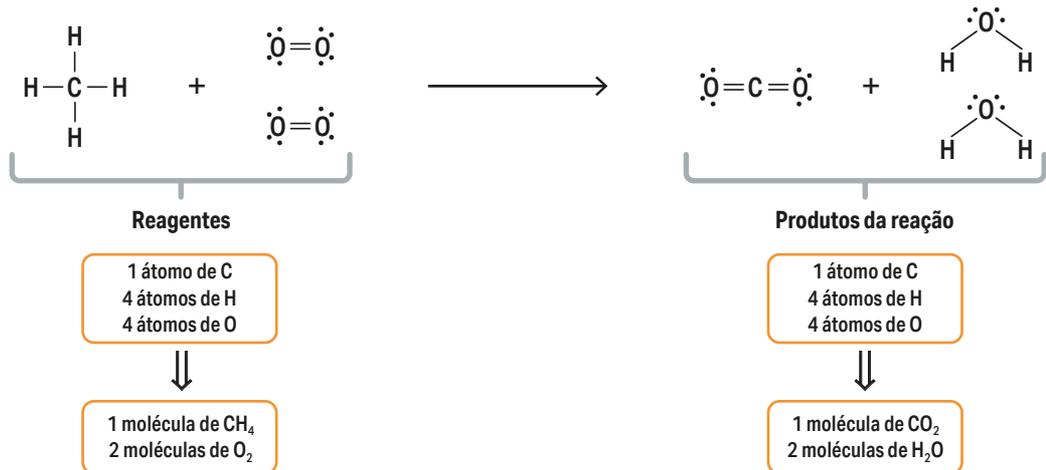
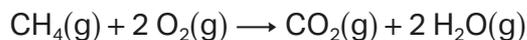


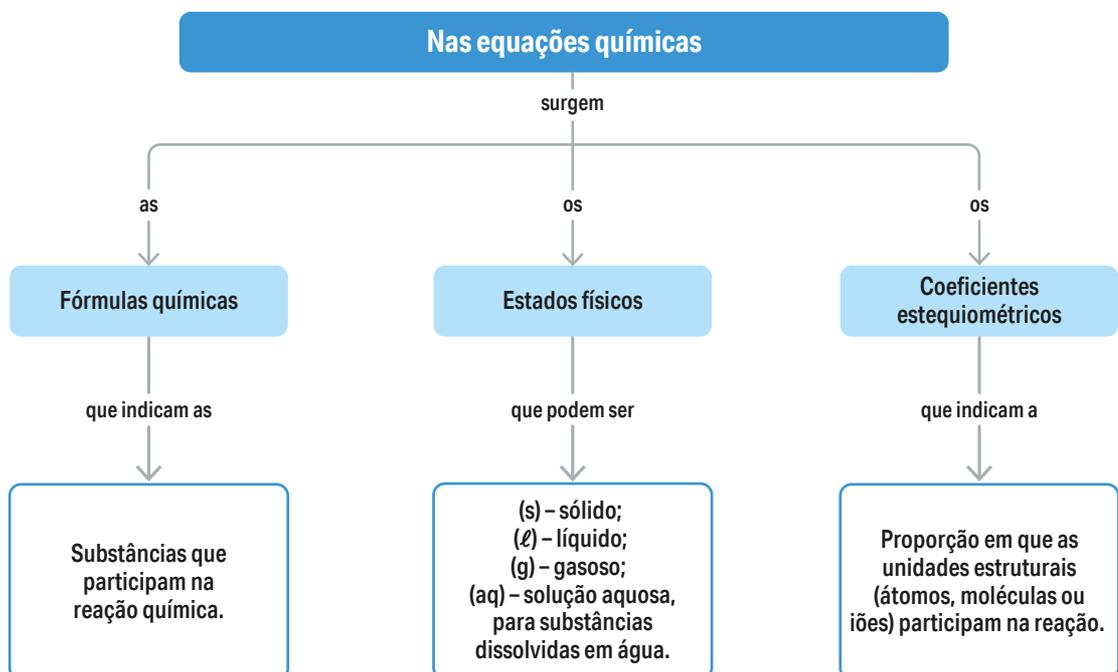
Fig. 3 Representação esquemática da reação de combustão do metano.

Simplificando esta reação pode ser representada por uma **equação química**:



Uma **equação química** é a representação simbólica e abreviada de uma reação química usando fórmulas químicas.

Resumindo:

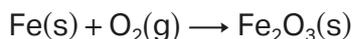


Exercício resolvido

- 1 Quando dois ou mais reagentes originam um único produto, a reação química é designada por reação de síntese. Por outro lado, as reações de decomposição correspondem à formação de dois ou mais produtos a partir de um único reagente.

Acerta os esquemas químicos correspondentes aos seguintes processos:

- 1.1 Síntese do óxido de ferro(III):



- 1.2 Decomposição do bromato de potássio:

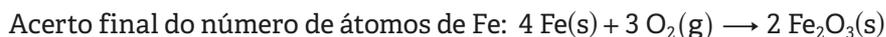


- 1.3 Combustão do etano:



Resolução:

- 1.1. É necessário acertar o número de átomos dos dois elementos: Fe e O.



- 1.2. É necessário acertar o número de átomos de O:

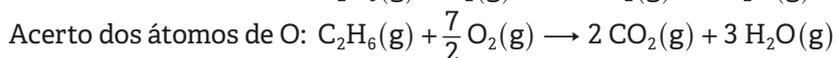
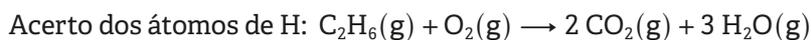
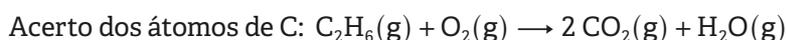


Depois do acerto do número de átomos de O, já será necessário acertar o número de átomos de K e de Br:



- 1.3. É necessário acertar os átomos de todos os elementos (C, H e O).

Dado que os átomos de C e H surgem apenas uma vez em cada lado da equação, deve começar-se pelo acerto destes dois tipos de átomos.

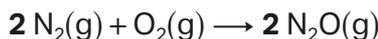


Dado que, normalmente, os coeficientes estequiométricos são apresentados em números inteiros, e não com frações, multiplica-se toda a equação por 2:



Cálculos estequiométricos

Consideremos agora a reação de formação do óxido nitroso, utilizado como analgésico em tratamentos dentários.



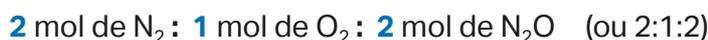
Como interpretar quantitativamente esta equação química?

A interpretação pode ser feita à escala molecular ou à escala molar.

	$2 \text{N}_2(\text{g})$	+	$\text{O}_2(\text{g})$	\rightarrow	$2 \text{N}_2\text{O}(\text{g})$
Nível molecular	2 moléculas de N_2	reage(m) com	1 molécula de O_2	originando	2 moléculas de N_2O
Nível molar	2 mol de N_2		1 mol de O_2		2 mol de N_2O

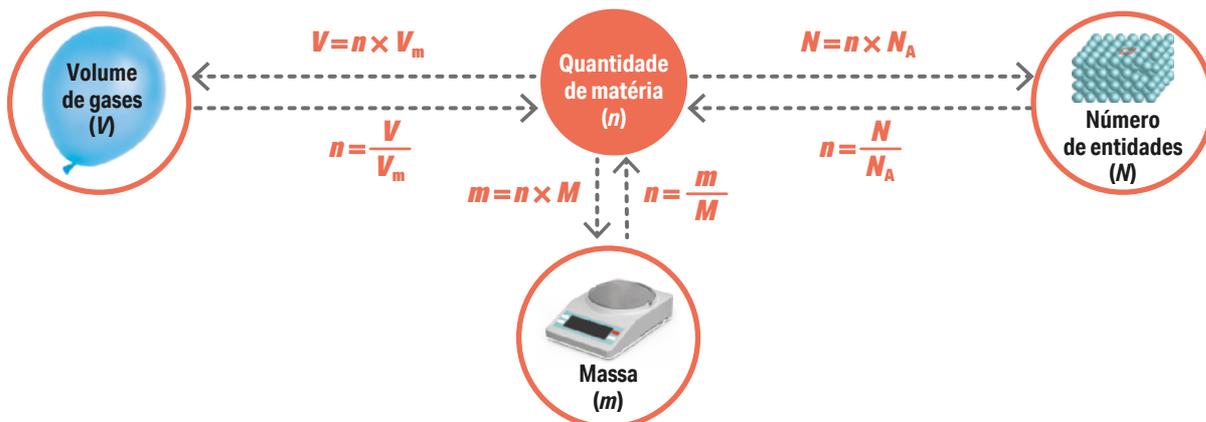
Quadro 1 Interpretação a nível molecular e a nível molar de uma equação química.

Nesta reação, as proporções de combinação de reagentes e de produto (proporções estequiométricas) são:



Os **coeficientes estequiométricos** de uma equação química indicam, em unidades estruturais ou em moles, as proporções de reagentes e de produtos na reação química. Isto é, não indicam as quantidades de reagentes e de produtos da reação, mas apenas a proporção de combinação entre eles.

Uma equação química pode também ser interpretada em termos de massa, número de entidades (átomos, iões ou moléculas) e/ou volume, no caso dos gases. Esta leitura permite estabelecer relações quantitativas entre essas grandezas e a quantidade de matéria envolvida na reação, facilitando a resolução de problemas estequiométricos.



M - Massa molar em g mol^{-1} (unidade usual); N_A - Constante de Avogadro = $6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$; V_m ($p = 1 \text{ atm}$, $T = 0^\circ\text{C}$) = $22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$

Fig. 4 Relação entre quantidade de matéria (n), massa (m), volume de gases (V) e número de entidades (N).

O **quadro 2** apresenta a interpretação da mesma equação química em termos de quantidade de matéria (n), de número de entidades (N), de massa (m) e de volume de gases (V), à pressão de 1 atm e à temperatura de 0 °C.

	2 N₂(g)	+	O₂(g)	→	2 N₂O(g)
Quantidade de matéria (n)	2 mol de N ₂		1 mol de O ₂		2 mol de N ₂ O
Número de entidades (N)	$2 \text{ mol} \times N_A =$ $= 2 \text{ mol} \times 6,022 \times$ $\times 10^{23} \text{ mol}^{-1} =$ $= 12,044 \times 10^{23}$ moléculas de N ₂	reage(m) com	$1 \text{ mol} \times N_A =$ $= 1 \text{ mol} \times 6,022 \times$ $\times 10^{23} \text{ mol}^{-1} =$ $= 6,022 \times 10^{23}$ moléculas de O ₂	originando	$2 \text{ mol} \times N_A =$ $= 2 \text{ mol} \times 6,022 \times$ $\times 10^{23} \text{ mol}^{-1} =$ $= 12,044 \times 10^{23}$ moléculas de N ₂ O
Massa (m)	$2 \text{ mol} \times M(\text{N}_2) =$ $= 2 \text{ mol} \times 28,02 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 56,04 \text{ g}$ de N ₂		$1 \text{ mol} \times M(\text{O}_2) =$ $= 1 \text{ mol} \times 32,00 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 32,00 \text{ g}$ de O ₂		$2 \text{ mol} \times M(\text{N}_2\text{O}) =$ $= 2 \text{ mol} \times 44,02 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 88,04 \text{ g}$ de N ₂ O
Volume (V) $p = 1 \text{ atm}$ $T = 0 \text{ °C}$	$2 \text{ mol} \times V_m =$ $= 2 \text{ mol} \times$ $\times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} =$ $= 44,8 \text{ dm}^3$ de N ₂		$1 \text{ mol} \times V_m =$ $= 1 \text{ mol} \times$ $\times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} =$ $= 22,4 \text{ dm}^3$ de O ₂		$2 \text{ mol} \times V_m =$ $= 2 \text{ mol} \times$ $\times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} =$ $= 44,8 \text{ dm}^3$ de N ₂ O

Quadro 2 Leitura de uma equação química em termos de quantidade de matéria, de número de entidades, de massa e de volume de gases, à temperatura de 0 °C e à pressão de 1 atm. Verifica-se a Lei de Lavoisier: massa total dos reagentes: 56,04 g + 32,00 g = 88,04 g; massa total dos produtos da reação: 88,04 g.

Uma das principais tarefas dos químicos, tanto no laboratório como na indústria química, consiste na determinação das quantidades de reagentes e/ou produtos envolvidos numa reação química, isto é, o cálculo estequiométrico.

A **Lei de Proust**, quando aplicada a uma equação química, afirma que a proporção com que os reagentes se consomem e a proporção com que os produtos se formam é constante, de acordo com a relação estequiométrica expressa na equação química.

Recorrendo às leis de Lavoisier e de Proust, é possível determinar a quantidade de matéria, o número de entidades, a massa e/ou o volume de um dado reagente ou produto da reação, com base na equação química que traduz a reação.

Os **cálculos estequiométricos** são realizados a partir das relações estabelecidas com base nos coeficientes estequiométricos das equações químicas, podendo estabelecer-se em quantidade de matéria, número de entidades, massa e/ou volume, no caso dos gases.

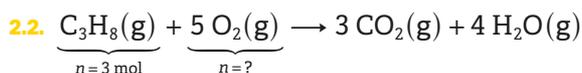
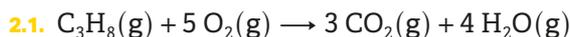
O exemplo apresentado abaixo demonstra as principais etapas a seguir na resolução de cálculos estequiométricos.

Exemplo	
Determina o volume de amoníaco, medido à temperatura de 0 °C e à pressão de 1 atm, que se pode obter a partir da reação completa de 560 g de dinitrogénio com uma quantidade suficiente de di-hidrogénio.	
Etapas	Resolução
1 Escrever a equação química devidamente acertada.	Equação química de síntese do amoníaco: $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$
2 Selecionar do enunciado os dados relativos às substâncias em estudo.	$\begin{array}{ccccccc} \text{N}_2(\text{g}) & + & 3 \text{H}_2(\text{g}) & \rightarrow & 2 \text{NH}_3(\text{g}) & & \\ m = 560 \text{ g} & & & & & & V = ? \end{array}$
3 Realizar os cálculos estequiométricos.	<p>Cálculo da quantidade de N_2:</p> $M(\text{N}_2) = 28,02 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} = \frac{560 \text{ g}}{28,02 \text{ g mol}^{-1}} = 19,98 \text{ mol de } \text{N}_2$ <p>Cálculo da quantidade de NH_3, a partir da estequiometria da reação:</p> $\begin{array}{l} 1 \text{ mol de } \text{N}_2 \quad \text{---} \quad 2 \text{ mol de } \text{NH}_3 \\ 19,98 \text{ mol de } \text{N}_2 \quad \text{---} \quad n \text{ mol de } \text{NH}_3 \end{array}$ $n = \frac{19,98 \text{ mol} \times 2 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 39,96 \text{ mol de } \text{NH}_3$ <p>Determinação do volume de NH_3, relacionando com o volume molar:</p> $V_m (\rho = 1 \text{ atm} ; T = 0 \text{ }^\circ\text{C}) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ $n = \frac{V}{V_m} \Leftrightarrow V = n \times V_m \Leftrightarrow$ $\Leftrightarrow V = 39,96 \text{ mol} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \Leftrightarrow$ $\Leftrightarrow V = 895 \text{ dm}^3 \text{ de } \text{NH}_3$ <p style="text-align: center;">Ou</p> <p>Da leitura da equação química:</p> <p>Se 1 mol de N_2 [(1 mol \times 28,02 g mol⁻¹) g] dá origem a 2 mol de NH_3 [(2 mol \times 22,4 dm³ mol⁻¹) dm³], então 560 g de N_2 darão origem a V dm³ de NH_3:</p> $\begin{array}{l} 1 \times 28,02 \text{ g de } \text{N}_2 \quad \text{---} \quad 2 \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ de } \text{NH}_3 \\ 560 \text{ g de } \text{N}_2 \quad \text{---} \quad V \text{ dm}^3 \text{ de } \text{NH}_3 \end{array}$ $V = \frac{560 \text{ g} \times 44,8 \text{ dm}^3}{28,02 \text{ g}} = 895 \text{ dm}^3 \text{ de } \text{NH}_3$

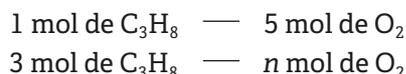
Exercício resolvido

- 2 O gás propano, C_3H_8 , é frequentemente utilizado como combustível em fogões domésticos. Durante a sua combustão, o propano atua como combustível e o dióxigênio, O_2 , como comburente, originando a libertação de dióxido de carbono, CO_2 , e vapor de água, H_2O , para a atmosfera.
- 2.1 Escreve a equação química que traduz a reação de combustão do propano.
- 2.2 Determina a quantidade de O_2 consumida a partir da reação completa de 3 mol de propano.
- 2.3 Determina a massa de CO_2 que se pode obter a partir da combustão completa de 150 g de combustível.
- 2.4 Determina o volume de CO_2 libertado, à pressão de 1 atm e à temperatura de $0^\circ C$, durante a reação completa de 10,0 mol de comburente.

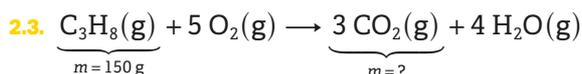
Resolução:



Da estequiometria da reação:



$$n = \frac{3 \text{ mol} \times 5 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 15 \text{ mol de } O_2$$



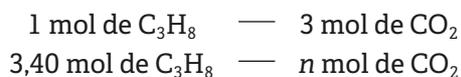
$$M_r(C_3H_8) = 3 \times A_r(C) + 8 \times A_r(H) = 3 \times 12,01 + 8 \times 1,01 = 44,11 \Rightarrow M(C_3H_8) = 44,11 \text{ g mol}^{-1}$$

$$M_r(CO_2) = 1 \times A_r(C) + 2 \times A_r(O) = 1 \times 12,01 + 2 \times 16,00 = 44,01 \Rightarrow M(CO_2) = 44,01 \text{ g mol}^{-1}$$

Conversão da massa de propano em quantidade de matéria:

$$n = \frac{m}{M} = \frac{150 \text{ g}}{44,11 \text{ g mol}^{-1}} = 3,40 \text{ mol de } C_3H_8$$

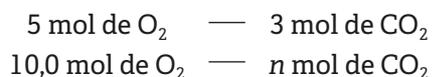
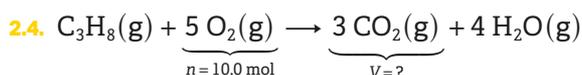
Da estequiometria da reação:



$$n = \frac{3,40 \text{ mol} \times 3 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 10,2 \text{ mol de } CO_2$$

Conversão da quantidade de dióxido de carbono em massa:

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \times M \Leftrightarrow m = 10,2 \text{ mol} \times 44,01 \text{ g mol}^{-1} = 449 \text{ g de } CO_2$$

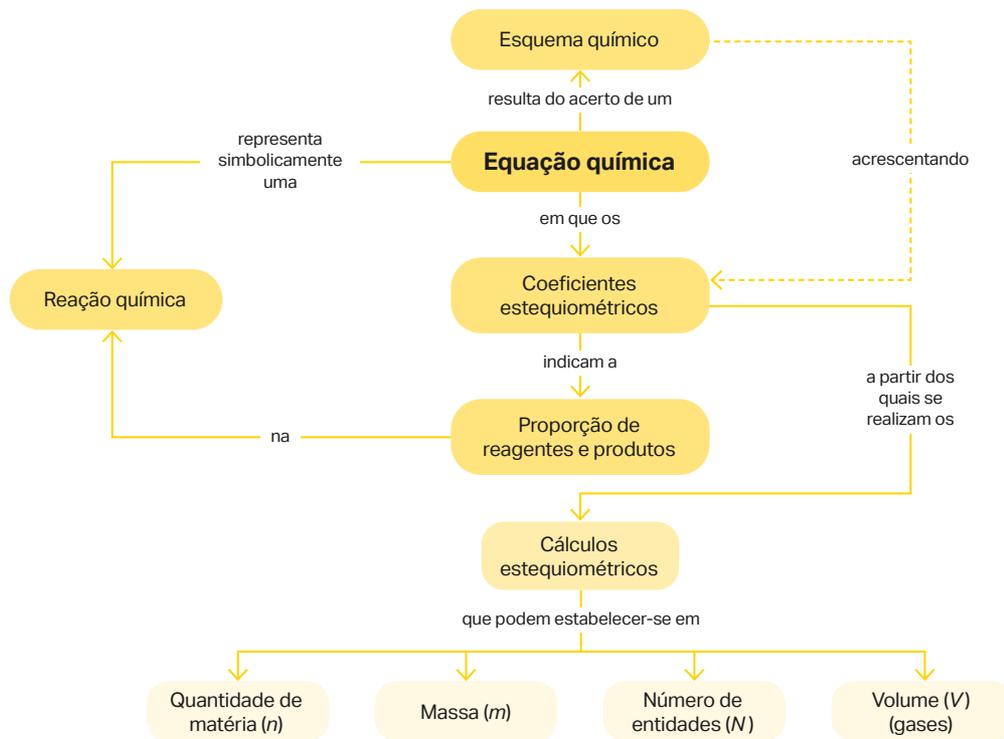


$$n = \frac{10,0 \text{ mol} \times 3 \text{ mol}}{5 \text{ mol}} = 6,00 \text{ mol de } CO_2$$

Dado que, nestas condições de pressão e temperatura, $V_m = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$

$$n = \frac{V}{V_m} \Leftrightarrow V = n \times V_m \Leftrightarrow V = 6,00 \text{ mol} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} = 134 \text{ dm}^3 \text{ de } CO_2$$

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Numa **reação química**, uma ou mais substâncias iniciais, os **reagentes**, transformam-se numa ou mais substâncias novas, os **produtos da reação**, utilizando o mesmo conjunto de átomos.

Reagentes \rightarrow Produtos da reação

- Uma equação química é a representação simbólica e abreviada de uma reação química recorrendo a fórmulas químicas.
- Acertar um esquema químico, transformando-o numa equação química, consiste em igualar o número total de átomos de cada elemento no primeiro (reagentes) e no segundo (produtos) membros da equação.
- Os **coeficientes estequiométricos** de uma equação química indicam as proporções de reagentes e de produtos na reação química.
- Aplicando as leis de Lavoisier e de Proust, é possível determinar a quantidade de matéria, o número de entidades, a massa e/ou o volume de um reagente ou produto a partir da equação que traduz a reação química.
- Os **cálculos estequiométricos** são realizados a partir das relações estabelecidas com base nos coeficientes estequiométricos das equações químicas, podendo estabelecer-se em quantidade de matéria, número de entidades, massa e/ou o volume, no caso dos gases.

Reagente limitante e reagente em excesso

Na indústria química, é frequente utilizar um ou mais reagentes em excesso, com o objetivo de garantir o consumo total do reagente mais dispendioso ou mais difícil de recuperar.

Um exemplo desta estratégia é o processo industrial Haber-Bosch de síntese do amoníaco, representado pela seguinte equação química:



A produção industrial de amoníaco, como acontece em grandes unidades químicas através do processo Haber-Bosch, é típica de países com acesso a grandes reservas de gás natural ou de hidrogénio barato, o que não é o caso de Cabo Verde. Neste caso, o amoníaco necessário para a produção de, por exemplo, fertilizantes e produtos de limpeza é importado.

Fig. 5 Indústria de amoníaco e ureia.

No **quadro 3** estão referidas as proporções estequiométricas em que os reagentes são consumidos e o produto da reação se forma (situação I).

Situação I	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3 \text{H}_2(\text{g})$	→	$2 \text{NH}_3(\text{g})$
Quantidade de matéria (n)	1 mol de N_2		3 mol de H_2		2 mol de NH_3
Massa (m)	$1 \text{ mol} \times M(\text{N}_2) =$ $= 1 \text{ mol} \times 28,02 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 28,02 \text{ g de } \text{N}_2$		$3 \text{ mol} \times M(\text{H}_2) =$ $= 3 \text{ mol} \times 2,02 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 6,06 \text{ g de } \text{H}_2$		$2 \text{ mol} \times M(\text{NH}_3) =$ $= 2 \text{ mol} \times 17,04 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 34,08 \text{ g de } \text{NH}_3$

Quadro 3 Situação I: proporções estequiométricas da reação de síntese do amoníaco a partir do dinitrogénio e do di-hidrogénio.

A proporção estequiométrica desta reação, em termos de quantidade de matéria, é 1 : 3 : 2, correspondendo à relação entre o dinitrogénio, N_2 , o di-hidrogénio, H_2 , e o amoníaco, NH_3 , respetivamente.

Esta proporção estequiométrica 1 : 3 : 2 significa que, numa reação completa (que termina quando pelo menos um dos reagentes se esgota), a reação entre 2 mol ($2 \times 28,02 \text{ g} = 56,04 \text{ g}$) de N_2 exigiria exatamente 6 mol (12,1 g) de H_2 para que, no final, nenhum reagente permanecesse em excesso (situação II).

Situação II	$\text{N}_2(\text{g})$	+	$3 \text{ H}_2(\text{g})$	→	$2 \text{ NH}_3(\text{g})$
Quantidade de matéria (n)	2 mol de N_2		6 mol de H_2		4 mol de NH_3
Massa (m)	$2 \text{ mol} \times M(\text{N}_2) = 2 \text{ mol} \times 28,02 \text{ g mol}^{-1} = 56,04 \text{ g de } \text{N}_2$		$6 \text{ mol} \times M(\text{H}_2) = 6 \text{ mol} \times 2,02 \text{ g mol}^{-1} = 12,1 \text{ g de } \text{H}_2$		$4 \text{ mol} \times M(\text{NH}_3) = 4 \text{ mol} \times 17,04 \text{ g mol}^{-1} = 68,16 \text{ g de } \text{NH}_3$

Quadro 4 Situação II: multiplicação por 2 da quantidade de matéria de cada um dos reagentes e produto da reação de síntese do amoníaco.

No entanto, nos processos industriais, é essencial garantir o consumo completo do reagente mais dispendioso, neste caso, o H_2 . Para isso, usa-se um excesso do reagente mais barato, neste caso, o N_2 .

Vejamos, agora, uma nova situação (situação III): com o objetivo de obter 8 mol de NH_3 , reagiu-se 6 mol de N_2 com 12 mol de H_2 .

Será que, no final da reação, ambos os reagentes são totalmente consumidos? Ou haverá um reagente em excesso?

O **quadro 5** apresenta um resumo comparativo das três situações anteriormente analisadas.

Situação	$1 \text{ N}_2(\text{g})$			+	$3 \text{ H}_2(\text{g})$			→	$2 \text{ NH}_3(\text{g})$	
	Antes do início da reação	Reage(m)	Final da reação		Antes do início da reação	Reage(m)	Final da reação		Antes do início da reação	Final da reação
I	1 mol $\times 2$	1 mol	0	$\times 2$	3 mol	3 mol	0		0 $\times 2$	2 mol
II	2 mol	2 mol $\times 4$	0		6 mol $\times 4$	6 mol	0		0	4 mol $\times 4$
III	6 mol	4 mol $6 - 4$	2 mol		12 mol	12 mol	0		0	8 mol

Quadro 5 Resumo dos dados relativos às situações I, II e III abordadas.

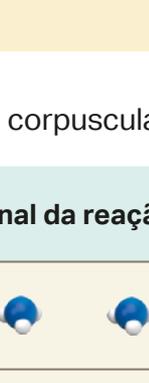
Verifica-se assim que, como a quantidade de N_2 disponível é superior à necessária, quando se esgota o H_2 , ficando 2 mol de N_2 por reagir, ou seja, em excesso.

Neste exemplo de reação completa na situação III, o H_2 é o reagente limitante, uma vez que determina a quantidade máxima de produto formado (neste caso, NH_3). Por sua vez, o N_2 é o reagente em excesso, pois permanece parcialmente por reagir no final do processo.

O **reagente limitante** determina ou limita a quantidade de produto que se pode formar numa reação química.

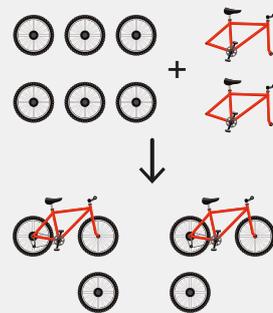
Os **reagentes em excesso** numa reação química são aqueles que estão presentes em quantidades superiores às necessárias para reagir com a quantidade de reagente limitante.

O **quadro 6** ilustra simbolicamente, a nível corpuscular, as três situações estudadas.

Situação	Antes do início da reação	Final da reação
I		
II		
III		

Quadro 6 Representações simbólicas das reações químicas relativas às situações I, II e III, em termos de número de moléculas. As esferas brancas representam simbolicamente átomos de H e as azuis, átomos de N. Em I e II, a proporção estequiométrica foi cumprida (não há reagente em excesso) e em III há excesso de N_2 (H_2 é o reagente limitante).

A Química traça analogias com o quotidiano: imagina que queremos montar bicicletas com 2 quadros e 6 rodas. Quantas bicicletas são possíveis montar?



Apenas 2 bicicletas, dado que o componente limitante seria o quadro e o componente em excesso seriam as rodas.

Para identificar o reagente limitante numa reação química, isto é, o reagente que se encontra em menor quantidade relativa, é possível recorrer a um procedimento mais rápido.

O reagente limitante de uma reação é o que apresenta um menor quociente entre a sua quantidade de matéria e o respetivo coeficiente estequiométrico apresentado na equação química que traduz a reação.

Continuando com o exemplo da síntese do amoníaco, e partindo de uma situação concreta, a identificação do reagente limitante deve seguir as etapas a seguir descritas.

Exemplo

Num determinado ensaio, com o objetivo de sintetizar NH_3 , adicionaram-se 168 g de N_2 a 112 dm^3 de H_2 , medidos à temperatura de 0°C e à pressão de 1 atmosfera. Verifica que o H_2 é o reagente limitante desta reação.

Etapas	Resolução
1 Escrever a equação química devidamente acertada.	Equação química de síntese do amoníaco: $\text{N}_2(\text{g}) + 3 \text{H}_2(\text{g}) \rightarrow 2 \text{NH}_3(\text{g})$
2 Transformar os dados relativos a todos os reagentes em quantidade de matéria.	Cálculo da conversão da massa de N_2 em quantidade de matéria: $M(\text{N}_2) = 28,02 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} = \frac{168 \text{ g}}{28,02 \text{ g mol}^{-1}} = 6,00 \text{ mol de } \text{N}_2$ Cálculo da conversão do volume de H_2 em quantidade de matéria: $V_m(p = 1 \text{ atm}; T = 0^\circ\text{C}) = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$ $n = \frac{V}{V_m} = \frac{112 \text{ dm}^3}{22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}} = 5,00 \text{ mol de } \text{H}_2$
3 Dividir a quantidade de matéria obtida na etapa 2 de cada um dos reagentes pelos seus respetivos coeficientes estequiométricos apresentados na equação química.	$\frac{\text{quantidade de matéria } (n)}{\text{coeficiente estequiométrico (c.e.)}}$ $\frac{n(\text{N}_2)}{\text{c.e.}(\text{N}_2)} \qquad \frac{n(\text{H}_2)}{\text{c.e.}(\text{H}_2)}$ $\frac{6,00 \text{ mol de } \text{N}_2}{1 \text{ mol de } \text{N}_2} = 6,00 \qquad \frac{5,00 \text{ mol de } \text{H}_2}{3 \text{ mol de } \text{H}_2} = 1,70$
4 O menor valor obtido na etapa 3 corresponde ao do reagente limitante.	Comparação dos valores e identificação do reagente limitante: $6,00 > 1,70 \Rightarrow \text{H}_2$ é o reagente limitante

No exemplo apresentado acima, qual foi a quantidade do reagente em excesso que efetivamente reagiu?

A quantidade do reagente em excesso, N_2 , que reagiu determina-se através de um cálculo estequiométrico com a quantidade de reagente limitante, H_2 .

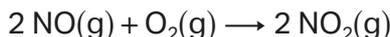
Assim, pela estequiometria da reação:

$$\frac{1 \text{ mol de } \text{N}_2}{3 \text{ mol de } \text{H}_2} = \frac{n \text{ mol de } \text{N}_2}{5,00 \text{ mol de } \text{H}_2} \Leftrightarrow n = \frac{1 \text{ mol} \times 5,00 \text{ mol}}{3 \text{ mol}} = 1,67 \text{ mol de } \text{N}_2$$

No final da reação, das 6,00 mol de N_2 disponíveis, apenas reagiu 1,67 mol.

Exercício resolvido

- 3 A equação química seguinte traduz a reação de formação do dióxido de nitrogénio a partir da reação entre o monóxido de nitrogénio e o dióxigénio.



Num determinado ensaio, 90,0 g de NO reagiram com 2,00 mol de O₂.

- 3.1 Identifica o reagente limitante desta reação.
- 3.2 Determina a massa do reagente em excesso que permaneceu por reagir, assumindo que o reagente limitante foi totalmente consumido.

Resolução:

- 3.1. Cálculo da conversão da massa de NO em quantidade de matéria:

$$M(\text{NO}) = 30,01 \text{ g mol}^{-1}; n = \frac{m}{M} = \frac{90,0 \text{ g}}{30,01 \text{ g mol}^{-1}} = 3,00 \text{ mol de NO}$$

Divisão entre a quantidade de matéria (n) e o respetivo coeficiente estequiométrico (c.e.):

$$\frac{n(\text{NO})}{\text{c.e.}(\text{NO})} \qquad \frac{n(\text{O}_2)}{\text{c.e.}(\text{O}_2)}$$

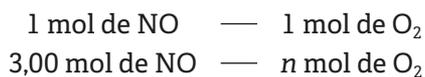
$$\frac{3,00 \text{ mol de NO}}{2 \text{ mol de NO}} = 1,50 \qquad \frac{2,00 \text{ mol de O}_2}{1 \text{ mol de O}_2} = 2,00$$

Comparação dos valores e identificação do reagente limitante:

Como $1,50 < 2,00 \Rightarrow$ NO é o reagente limitante e O₂ é o reagente em excesso.

- 3.2. Cálculo da quantidade de O₂ que se consumiu:

Pela estequiometria da reação:



$$n = \frac{3,00 \text{ mol} \times 1 \text{ mol}}{2 \text{ mol}} = 1,50 \text{ mol de O}_2$$

Quantidade de O₂ que ficou por reagir:

$$n_{\text{em excesso}} = n_{\text{inicial}} - n_{\text{que reagiu}} \Leftrightarrow n_{\text{em excesso}} = 2,00 \text{ mol} - 1,50 \text{ mol} = 0,50 \text{ mol}$$

Conversão da quantidade de matéria em massa:

$$M(\text{O}_2) = 32,00 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \times M \Leftrightarrow m = 0,50 \text{ mol} \times 32,00 \text{ g mol}^{-1} = 16 \text{ g de O}_2$$

Assim, ficaram por reagir, no final da reação, 16 g de O₂.

Como o **reagente limitante** é aquele que **determina a quantidade máxima de produto** que pode ser formada numa reação química, é o **reagente a considerar nos cálculos estequiométricos**.

Para o cálculo da quantidade de matéria de produtos da reação, através de um cálculo estequiométrico, deve considerar-se o reagente limitante da reação.

Assim, a **primeira etapa** a considerar no **cálculo estequiométrico** para a determinação da **quantidade de produto(s) formado(s)** é a **identificação do reagente limitante**.

Para ilustrar esta situação, utilizaremos um processo de grande relevância na indústria química: a produção de ácido sulfúrico. A última etapa deste processo corresponde à reação entre o trióxido de enxofre, SO_3 , e a água, H_2O , representada pela seguinte equação química:



Cabo Verde não possui unidades industriais dedicadas à produção de ácido sulfúrico, importando este composto químico para colmatar as suas necessidades industriais e comerciais.

Fig. 6 Indústria de ácido sulfúrico.

Uma vez que a água é muito mais barata do que o SO_3 , é habitual utilizar-se um excesso de água para garantir o aproveitamento total do SO_3 neste processo.

Como se calcula a quantidade de produto formado, partindo das quantidades iniciais de cada reagente?

O exemplo da página seguinte, relativo à produção industrial de ácido sulfúrico, descreve as etapas necessárias para responder a esta questão, evidenciando claramente a metodologia utilizada nos cálculos estequiométricos.

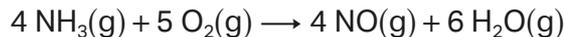
Exemplo

Qual é a massa de ácido sulfúrico obtida a partir da reação completa entre o trióxido de enxofre e a água, supondo que foi usada 1,0 tonelada de cada um dos reagentes?

Etapas	Resolução
<p>1 Escrever a equação química devidamente acertada.</p>	<p>Escrita da equação química: $\text{SO}_3(\text{g}) + \text{H}_2\text{O}(\ell) \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4(\text{aq})$</p>
<p>2 Transformar os dados relativos a todos os reagentes em quantidade de matéria.</p>	<p>Cálculo da conversão da massa de SO_3 em quantidade de matéria: $M(\text{SO}_3) = 80,06 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} = \frac{1,0 \times 10^6 \text{ g}}{80,06 \text{ g mol}^{-1}} = 1,25 \times 10^4 \text{ mol de SO}_3$ <p>Cálculo da conversão da massa de H_2O em quantidade de matéria: $M(\text{H}_2\text{O}) = 18,02 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} = \frac{1,0 \times 10^6 \text{ g}}{18,02 \text{ g mol}^{-1}} = 5,55 \times 10^4 \text{ mol de H}_2\text{O}$</p> </p>
<p>3 Realizar os cálculos necessários para a identificação do reagente limitante.</p>	<p>Divisão da quantidade de matéria (n) pelo coeficiente estequiométrico (c.e.):</p> $\frac{n(\text{SO}_3)}{\text{c.e.}(\text{SO}_3)} \quad \frac{n(\text{H}_2\text{O})}{\text{c.e.}(\text{H}_2\text{O})}$ $\frac{1,25 \times 10^4 \text{ mol de SO}_3}{1 \text{ mol de SO}_3} = 1,25 \times 10^4$ $\frac{5,55 \times 10^4 \text{ mol de H}_2\text{O}}{1 \text{ mol de H}_2\text{O}} = 5,55 \times 10^4$ <p>Comparação dos valores e identificação do reagente limitante: $1,25 \times 10^4 < 5,55 \times 10^4 \Rightarrow \text{SO}_3$ é o reagente limitante.</p>
<p>4 Realizar o cálculo estequiométrico com o reagente limitante.</p>	<p>Da estequiometria da reação:</p> $1 \text{ mol de SO}_3 \quad \text{---} \quad 1 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4$ $1,25 \times 10^4 \text{ mol de SO}_3 \quad \text{---} \quad n \text{ mol de H}_2\text{SO}_4$ $n = \frac{1,25 \times 10^4 \text{ mol} \times 1 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 1,25 \times 10^4 \text{ mol de H}_2\text{SO}_4$
<p>5 Converter o valor da quantidade de matéria do produto na grandeza solicitada.</p>	<p>Cálculo da conversão da quantidade de H_2SO_4 em massa: $M(\text{H}_2\text{SO}_4) = 98,08 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} \Leftrightarrow m = n \times M = 1,25 \times 10^4 \text{ mol} \times 98,08 \text{ g mol}^{-1} =$ $= 1,23 \times 10^6 \text{ g} \approx 1,2 \times 10^6 \text{ g de H}_2\text{SO}_4$</p>

Exercício resolvido

- 4 A reação química entre o amoníaco e o dioxigénio origina monóxido de nitrogénio e vapor de água, conforme representado na seguinte equação química:



Num determinado ensaio, foram introduzidos numa câmara de reação 85,0 g de amoníaco e 7,00 mol de dioxigénio.

Considerando a reação completa, calcula, no final da reação, o volume de monóxido de nitrogénio produzido, medido à temperatura de 0 °C e à pressão de 1 atm.

Resolução:

4. Será necessário inicialmente verificar qual é o reagente limitante, dado que, para o cálculo estequiométrico a realizar, deve considerar-se esse reagente.

Cálculo da conversão da massa de NH_3 em quantidade de matéria:

$$M(\text{NH}_3) = 17,04 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{85,0 \text{ g}}{17,04 \text{ g mol}^{-1}} = 4,988 \text{ mol de NH}_3$$

Identificação do reagente limitante:

$$\frac{n(\text{NH}_3)}{\text{c.e.}(\text{NH}_3)} \qquad \frac{n(\text{O}_2)}{\text{c.e.}(\text{O}_2)}$$

$$\frac{4,988 \text{ mol de NH}_3}{4 \text{ mol de NH}_3} = 1,247 \qquad \frac{7,00 \text{ mol de O}_2}{5 \text{ mol de O}_2} = 1,40$$

Como $1,247 < 1,40 \Rightarrow \text{NH}_3$ é o reagente limitante e O_2 é o reagente em excesso.

Da estequiometria da reação:

$$\begin{array}{l} 4 \text{ mol de NH}_3 \quad \text{—} \quad 4 \text{ mol de NO} \\ 4,988 \text{ mol de NH}_3 \quad \text{—} \quad n \text{ mol de NO} \end{array}$$

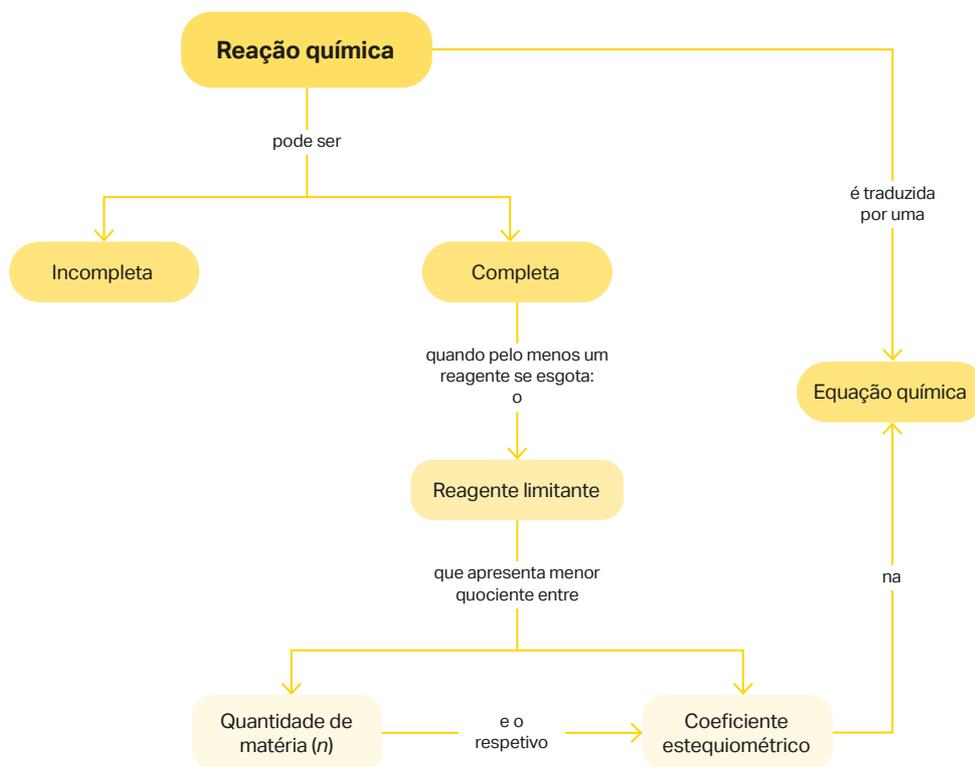
$$n = \frac{4,988 \text{ mol} \times 4 \text{ mol}}{4 \text{ mol}} = 4,988 \text{ mol de NO}$$

Cálculo da conversão da quantidade de NO em volume:

$$V_m = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$$

$$n = \frac{V}{V_m} \Leftrightarrow V = n \times V_m \Leftrightarrow V = 4,988 \text{ mol} \times 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \Leftrightarrow V = 112 \text{ dm}^3$$

Mapa de conceitos

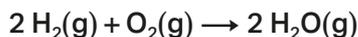


Síntese de conteúdos

- Os reagentes e produtos de uma reação nem sempre se encontram nas quantidades e proporções estequiométricas previstas na equação química.
- A reação é completa quando pelo menos um dos reagentes (o reagente limitante) se esgota, determinando o final da reação.
- O **reagente limitante** determina ou limita a quantidade de produto que se pode formar numa reação química, dado que a quantidade máxima do produto formado depende da quantidade inicial deste reagente.
- Os **reagentes em excesso** numa reação química são aqueles que estão presentes em quantidades superiores às necessárias para reagir com a quantidade de reagente limitante.
- O reagente limitante de uma reação é o que apresenta um menor quociente entre a sua quantidade de matéria e o respetivo coeficiente estequiométrico apresentado na equação química que traduz a reação.
- Para o cálculo da quantidade de matéria de produtos da reação, através de um cálculo estequiométrico, deve considerar-se o reagente limitante da reação.

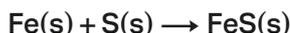
Exercícios de aplicação

- 1** Num laboratório escolar, reagem 2,0 mol de di-hidrogénio com 1,0 mol de dióxigénio para formar água, segundo a equação:



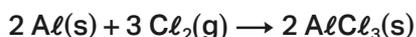
Qual é o reagente limitante?

- (A) Di-hidrógenio
 (B) Dióxigénio
 (C) Água
 (D) Nenhum; ambos reagem totalmente.
- 2** Numa reação, 4,0 mol de ferro reagem com 3,0 mol de enxofre para formar sulfureto de ferro, segundo a seguinte equação:



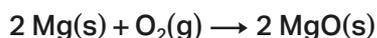
Qual é a quantidade de matéria de FeS formada?

- (A) 3,0 mol
 (B) 4,0 mol
 (C) 7,0 mol
 (D) 1,0 mol
- 3** Numa reação entre alumínio e dicloro para formar tricloreto de alumínio, a equação química acertada é:



Se forem utilizados 5,4 g de Al e 10,0 g de Cl₂:

- 3.1.** indique o reagente limitante;
3.2. calcule a massa de reagente que ficou por reagir.
- 4** Num laboratório, um técnico mistura 12,0 g de magnésio com 8,5 g de dióxigénio, formando óxido de magnésio, MgO, segundo a equação:



- 4.1.** Identifica o reagente limitante.
4.2. Calcula a massa de óxido de magnésio formada.
4.3. Determina o volume de dióxigénio, O₂, restante, à pressão de 1 atm e à temperatura de 0 °C.

Rendimento das reações químicas

Nas secções anteriores, foi assumido, nos cálculos de previsão das quantidades de produto obtido, que as **quantidades reais** coincidem com as **quantidades teóricas** previstas pela **estequiometria da reação**. No entanto, **na prática**, na maioria dos processos, essa correspondência **não se verifica**: os valores teóricos são, em geral, **superiores** aos valores reais obtidos.

Esta diferença pode resultar de vários fatores, entre os quais se destacam:

1. **Ocorrência de reações reversíveis** (reações incompletas), nas quais os produtos formados podem reagir entre si, regenerando os reagentes.
2. **Existência de reações secundárias**, que conduzem à formação de produtos indesejados e reduzem a quantidade de produto pretendido.
3. **Perdas de produto** durante as operações de transferência e manuseamento no processo reacional.
4. **Dificuldade em isolar ou recolher totalmente o produto** do meio reacional.

Para avaliar a “**eficiência**” de uma reação, aspeto particularmente relevante para a indústria química, **comparam-se a quantidade teórica de produto previsto com a quantidade efetivamente obtida, determinando assim o rendimento da reação**.

O **rendimento de uma reação química** (η) é o quociente entre a quantidade de produto obtido e a quantidade de produto teórico (previsto), de acordo com o cálculo estequiométrico efetuado com o reagente limitante:

$$\eta (\%) = \frac{n_{\text{produto obtido}}}{n_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$$

rendimento (adimensional) quantidade de produto obtido (mol) quantidade de produto previsto (mol)

O rendimento também pode ser calculado usando:

Massa (m)

$$\eta = \frac{m_{\text{produto obtido}}}{m_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$$

Volume (V) – caso dos gases

$$\eta = \frac{V_{\text{produto obtido}}}{V_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$$

Para exemplificar o cálculo do rendimento de uma reação química, usaremos o processo industrial de produção de titânio metálico, um metal leve e amplamente utilizado na indústria aeroespacial e na construção civil. O titânio metálico é produzido através da redução de tetracloreto de titânio, TiCl_4 com magnésio fundido representa-se pela seguinte equação química:



Fig. 7 Museu da Ciência de Glasgow, Escócia. As suas paredes são revestidas a titânio.

Exemplo

Numa determinada operação industrial, com o objetivo de produzir o metal titânio, fizeram-se reagir 3,5 toneladas de TiCl_4 com 1,0 tonelada de Mg fundido. Determina o rendimento deste processo químico, admitindo que a massa de titânio obtida foi 700 kg.

Etapas	Resolução
<p>1 Averiguar a existência (ou não) de reagente limitante, dado existir mais do que um reagente.</p>	<p>Cálculo da conversão das massas de TiCl_4 e de Mg em quantidade de matéria:</p> $M(\text{TiCl}_4) = 189,67 \text{ g mol}^{-1}; M(\text{Mg}) = 24,31 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} = \frac{3,5 \times 10^6 \text{ g}}{189,67 \text{ g mol}^{-1}} = 1,84 \times 10^4 \text{ mol de TiCl}_4$ $n = \frac{m}{M} = \frac{1,0 \times 10^6 \text{ g}}{24,31 \text{ g mol}^{-1}} = 4,11 \times 10^4 \text{ mol de Mg}$ <p>Identificação do reagente limitante:</p> $\frac{1,84 \times 10^4 \text{ mol de TiCl}_4}{1 \text{ mol de TiCl}_4} = 1,84 \times 10^4$ $\frac{4,11 \times 10^4 \text{ mol de Mg}}{2 \text{ mol de Mg}} = 2,06 \times 10^4$ <p>$1,84 \times 10^4 < 2,06 \times 10^4 \Rightarrow \text{TiCl}_4$ é o reagente limitante</p>
<p>2 Determinar a quantidade de matéria prevista do produto, a partir do cálculo estequiométrico, partindo do reagente limitante.</p>	<p>Cálculo da quantidade de Ti, caso a reação ocorresse em condições ideais (quantidade prevista/teórica), pela estequiometria da reação:</p> $1 \text{ mol de TiCl}_4 \quad \text{---} \quad 1 \text{ mol de Ti}$ $1,84 \times 10^4 \text{ mol de TiCl}_4 \quad \text{---} \quad n \text{ mol de Ti}$ $n = 1,84 \times 10^4 \text{ mol de Ti}$
<p>3 Determinar o rendimento da reação química (cálculo da percentagem de produto da reação obtido face ao previsto, se fosse obtido em condições ideais).</p>	<p>Cálculo da conversão da massa de Ti em quantidade de matéria:</p> $M(\text{Ti}) = 47,87 \text{ g mol}^{-1}$ $n = \frac{m}{M} = \frac{7,00 \times 10^5 \text{ g}}{47,87 \text{ g mol}^{-1}} = 1,46 \times 10^4 \text{ mol de Ti}$ <p>Cálculo do rendimento da reação:</p> $\eta(\%) = \frac{n_{\text{produto obtido}}}{n_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$ $= \frac{1,46 \times 10^4 \text{ mol de Ti}}{1,84 \times 10^4 \text{ mol de Ti}} \times 100\% = 79,3\% \approx 79\%$ <p>Apenas se obteve 79% do produto que seria obtido em condições ideais</p>

Exercício resolvido

- 5 Considere a reação entre difluoreto de cálcio, CaF_2 , e ácido sulfúrico, H_2SO_4 , que permite, em determinadas condições, a produção de ácido fluorídrico, HF, de acordo com a seguinte equação química:



Num determinado processo industrial, foram utilizados 5,0 kg de CaF_2 , contendo 20% de impurezas inertes e um excesso de H_2SO_4 .

- 5.1 Determina a quantidade de reagente limitante puro utilizado no processo.
- 5.2 Calcula a quantidade de HF que seria possível produzir se as condições de fabrico e de recolha de produtos permitissem um rendimento de 85%.

Resolução:

- 5.1. Cálculo da massa do reagente CaF_2 puro:

Se a amostra de CaF_2 apresenta 20% de impurezas, apresenta 80% deste reagente puro. Isto significa que:

100 kg da amostra reagente — 80 kg de CaF_2 puro
 5,0 kg da amostra reagente — m kg de CaF_2 puro

$$m = \frac{5,0 \text{ kg} \times 80 \text{ kg}}{100 \text{ kg}} = 4,0 \text{ kg de } \text{CaF}_2 \text{ puro}$$

Cálculo da conversão da massa de CaF_2 puro em quantidade de matéria:

$$M(\text{CaF}_2) = 78,08 \text{ g mol}^{-1}$$

$$n = \frac{m}{M} = \frac{4,0 \times 10^3 \text{ g}}{78,08 \text{ g mol}^{-1}} = 51,2 \text{ mol de } \text{CaF}_2$$

- 5.2. Cálculo da quantidade de HF prevista caso o rendimento fosse 100% (cálculo da relação estequiométrica com o reagente limitante). Pela estequiometria da reação:

1 mol de CaF_2 — 2 mol de HF
 51,2 mol de CaF_2 — n mol de HF

$$n = \frac{51,2 \text{ mol} \times 2 \text{ mol}}{1 \text{ mol}} = 1,02 \times 10^2 \text{ mol de HF}$$

Cálculo da quantidade de HF realmente produzida, considerando o rendimento da reação de apenas 85%:

$$\eta = \frac{n_{\text{produto obtido}}}{n_{\text{produto previsto}}} \times 100\% \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow n_{\text{obtido}} = \frac{85}{100} \times 1,02 \times 10^2 \text{ mol} \Leftrightarrow$$

$$\Leftrightarrow n_{\text{obtido}} = 86,7 \text{ mol} \approx 86,7 \text{ mol de HF}$$

Atividade Laboratorial 3

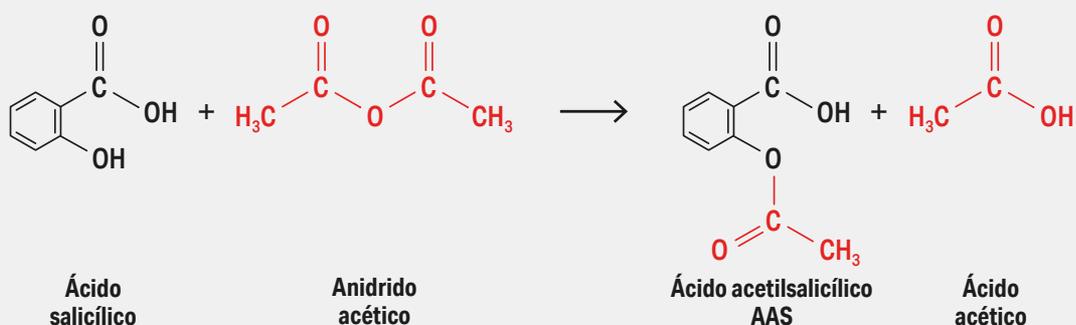
Objetivo:

Determinar, experimentalmente, o rendimento na síntese do ácido acetilsalicílico (AAS), avaliando os resultados obtidos.

Contexto teórico:

Informação 1 – Características da reação de síntese do AAS

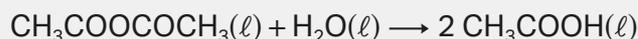
O ácido acetilsalicílico (AAS) é sintetizado por reação entre o ácido salicílico e o anidrido acético, de acordo com a seguinte equação química:



Durante a reação, forma-se também ácido acético (ácido etanoico) como subproduto, detetável pelo cheiro característico a vinagre.

Nesta síntese, o ácido salicílico atua como reagente limitante.

No final da reação, para garantir a remoção do excesso de anidrido acético, adiciona-se água, convertendo-o em ácido acético, segundo a reação:



A reação de síntese do AAS à temperatura ambiente é muito lenta. Para aumentar a velocidade da reação, é usual aquecer o sistema reacional e utilizar um catalisador, o ácido sulfúrico concentrado.

No contexto da síntese industrial de compostos orgânicos, os rendimentos inferiores a 60% são considerados pouco convenientes, entre 60% e 80% são aceitáveis/bons, entre 80% e 90% são muito bons e superiores a 90% são excelentes.

Relativamente à síntese do AAS em ensaios laboratoriais escolares, nas condições experimentais a utilizar (nomeadamente, de temperatura e tempo), o rendimento esperado é cerca de 60%.

Informação 2 – Dados relativos aos reagentes e ao produto da reação

	Ácido salicílico (AS)	Anidrido acético (AA)	Ácido acetilsalicílico (AAS)
Massa molar/g mol ⁻¹	138,13	102,10	180,17
Massa volúmica/g mL ⁻¹	—	1,08	—
Solubilidade em água	Pouco solúvel em água fria. Solúvel em água quente.	Solúvel. Reage rapidamente com a água, formando o ácido acético.	Muito pouco solúvel em água fria. Solúvel em água quente. Muito solúvel em etanol.
Pictogramas de perigo			
Ponto de fusão/°C	159	-73	135

Questões prévias:

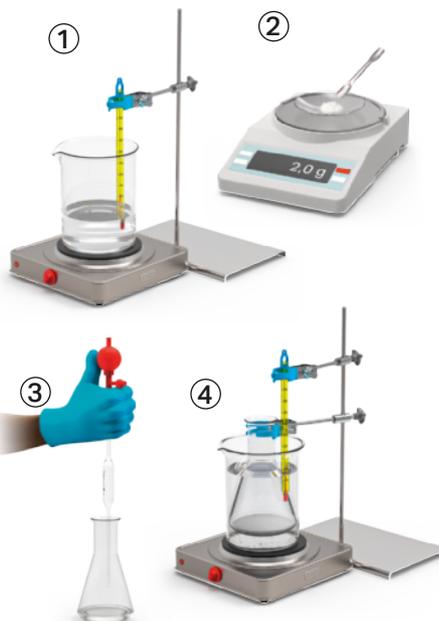
- Escreve a equação química que traduz a reação de síntese do ácido acetilsalicílico, usando as fórmulas moleculares dos reagentes e produtos da reação.
- Indica os perigos associados e os cuidados a ter no manuseamento das substâncias caracterizadas na informação 2 e no manuseamento dos materiais e equipamentos relativos ao aquecimento em banho-maria.
- Explica, de forma sucinta, como se poderá:
 - comprovar que o ácido salicílico é o reagente limitante;
 - calcular o rendimento da reação.

Material:

- Vidro de relógio (Ø 8-10 cm)
- Espátula
- Vareta de vidro
- 2 gobelés de 500 mL
- Balão de Erlenmeyer de 100 mL
- Proveta de 10 mL
- Proveta de 50 mL
- Pipeta de 5 mL
- Pipeta conta-gotas
- Pompete ou macrocontrolador
- Balança de precisão
- Papel de filtro
- Equipamento para filtração a vácuo
- Placa de aquecimento
- Termómetro (- 10-110 °C)
- Suporte universal com garra e noz
- Ácido salicílico
- Anidrido acético ($\rho = 1,08 \text{ g mL}^{-1}$)
- Garrafa de esguicho com água destilada
- Água destilada gelada
- Gelo
- Ácido sulfúrico concentrado (96%)

Procedimento experimental:**Parte I – Síntese do AAS**

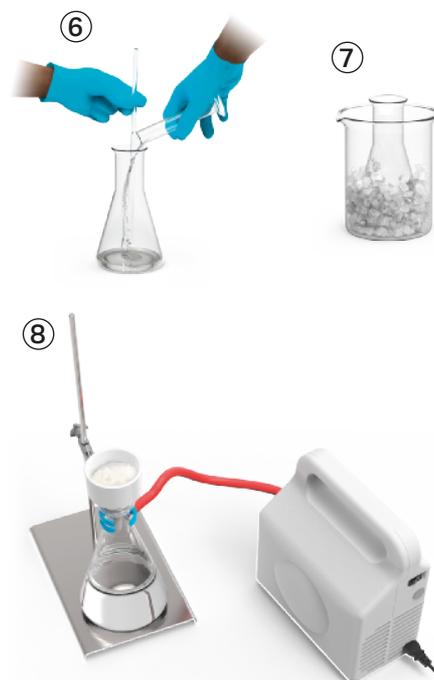
- 1 Para a preparação do banho-maria, medir cerca de 200 mL de água num gobelé de 500 mL e colocá-lo sobre a placa de aquecimento, aquecendo a água até à temperatura de 60 °C (①).
- 2 Com a ajuda do vidro de relógio e da espátula, pesar cerca de 2,0 g de ácido salicílico e transferir para um balão de Erlenmeyer de 100 mL. Registrar o valor dessa massa (②).
- 3 Na *hotte*, medir com uma pipeta 5,0 mL de anidrido acético, verter para o balão de Erlenmeyer e agitar vigorosamente até obter uma mistura homogénea (③).
- 4 Fixar o balão de Erlenmeyer no suporte universal e introduzi-lo no banho-maria (④).
- 5 Adicionar, **muito cuidadosamente**, cinco gotas de ácido sulfúrico concentrado. Agitar suavemente o conteúdo com precaução (observa-se um aumento da temperatura).
- 6 Aquecer durante aproximadamente 10 minutos a uma temperatura constante de cerca de 60 °C, agitando com a vareta de vidro até que a reação cesse.
- 7 Adicionar, **muito cuidadosamente**, 5,0 mL de água destilada, medidos com uma proveta, ao balão de Erlenmeyer, agitando até não ser perceptível a libertação de vapores de ácido acético (⑤).

**Para reflexão – Parte I**

1. Por que razão se procede ao aquecimento?
2. Qual é o papel do ácido sulfúrico concentrado?
3. Sendo o anidrido acético o reagente em excesso, por que razão é importante ser medido com uma pipeta e não com uma proveta?
4. Por que razão é importante manter o termómetro mergulhado no banho-maria durante o período de aquecimento?
5. Qual é a finalidade da adição de água na etapa 7? Como é que é perceptível a libertação de vapores de ácido acético?

Parte II – Cristalização do AAS

- 8 Retirar o balão de Erlenmeyer do banho-maria e adicionar 50 mL de água destilada gelada, medidos com uma proveta (6).
- 9 Colocar o balão de Erlenmeyer no banho de gelo e esperar cerca de 15 minutos sem agitar (para permitir a cristalização adequada). Observar a formação de cristais de ácido acetilsalicílico (7).
- 10 Medir e registar a massa do papel de filtro.
- 11 Filtrar a vácuo os cristais obtidos, lavando-os duas vezes com 5 mL de água gelada (8).
- 12 Medir e registar a massa do vidro de relógio.
- 13 Transferir o papel de filtro com os cristais para o vidro de relógio e deixar secar ao ar, durante um dia, ou na estufa, a 80 °C, durante cerca de 30 minutos.

**Para reflexão – Parte II**

1. Por que razão se utiliza água gelada na etapa 11?
2. Por que não se utiliza etanol para lavar os cristais de AAS?
3. Por que razão se efetua a filtração a vácuo (também chamada filtração a pressão reduzida) e não por gravidade (filtração simples)?

Registo de dados:

Apresentação dos resultados das medições das massas:

Ácido salicílico (m_1/g)	Papel de filtro (m_2/g)	Vidro de relógio (m_3/g)	Vidro de relógio + papel de filtro + cristais obtidos (m_4/g)	Sensibilidade da balança/g

Tratamento de resultados:

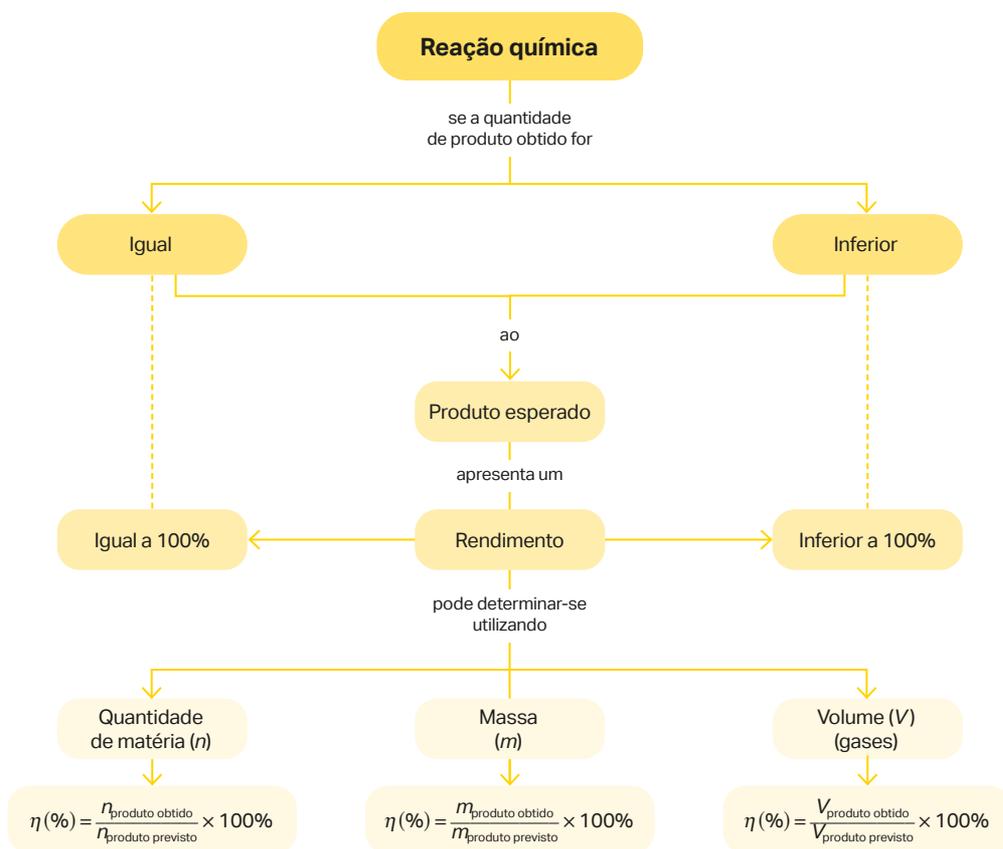
- 1.ª etapa – Calcular a massa do AAS obtido.
- 2.ª etapa – Comprovar que o ácido salicílico é o reagente limitante.
- 3.ª etapa – Calcular o rendimento da reação de síntese do AAS.

Conclusões

Responde às seguintes questões: *Como realizar experimentalmente a síntese do ácido acetilsalicílico? Como determinar o rendimento desta reação?*

Fig. 8 O ácido acetilsalicílico é o princípio ativo do medicamento aspirina®.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- Na prática, os valores teóricos obtidos através do cálculo estequiométrico são, em geral, superiores aos valores reais verificados experimentalmente.
- Para avaliar a eficiência de uma reação química, os químicos comparam a quantidade de produto teórica (prevista) com a quantidade de produto real (obtida), determinando assim o rendimento da reação.
- O **rendimento de uma reação química** (η) é definido como o quociente entre a quantidade de produto obtido e a quantidade de produto teórico prevista, calculada com base no reagente limitante:

$$\eta = \frac{n_{\text{produto obtido}}}{n_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$$

- Em alternativa à quantidade de matéria (n), o rendimento de uma reação pode também ser calculado utilizando a massa (m) ou o volume de gases (V), consoante a natureza dos dados disponíveis:

$$\eta = \frac{m_{\text{produto obtido}}}{m_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{V_{\text{produto obtido}}}{V_{\text{produto previsto}}} \times 100\%$$

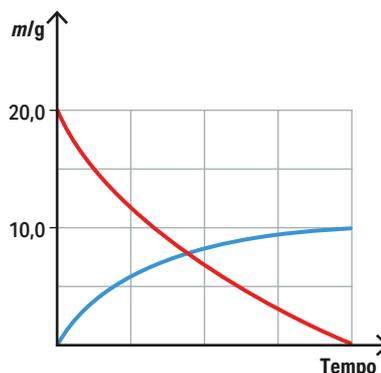
Exercícios de aplicação

- 1** Qual das seguintes afirmações descreve corretamente o conceito de rendimento de uma reação química?
- (A) O rendimento de uma reação química é a razão entre a quantidade de reagentes utilizados e a quantidade de produtos obtidos.
- (B) O rendimento de uma reação química é a razão entre a quantidade de produto obtido experimentalmente e a quantidade de produto teórico previsto, multiplicada por 100%.
- (C) O rendimento de uma reação química é sempre igual a 100%, pois todos os reagentes são convertidos em produtos.
- (D) O rendimento de uma reação química é a diferença entre a quantidade de produto obtido e a quantidade de reagentes utilizados.

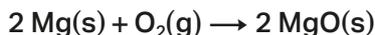
- 2** O gráfico ao lado representa a evolução, ao longo do tempo, da massa de carbonato de cálcio, CaCO_3 , e de óxido de cálcio, CaO , intervenientes na reação de decomposição do CaCO_3 , traduzida pela seguinte equação química:



- 2.1.** Calcula a quantidade teórica de óxido de cálcio que deveria ser formada (caso o processo apresentasse um rendimento de 100%).
- 2.2.** Determina o rendimento da reação.
- 2.3.** Calcula o número de moléculas de dióxido de carbono produzidas na reação.



- 3** Num laboratório, misturaram-se 12,0 g de magnésio, Mg , com 8,0 g de dióxigénio, O_2 , para formar óxido de magnésio, MgO , de acordo com a equação química:



- 3.1.** Determina o reagente limitante.
- 3.2.** Calcula a massa teórica de óxido de magnésio que deveria ser formada.
- 3.3.** Sabendo que foram obtidos 18,5 g de óxido de magnésio, calcula rendimento da reação.

Reações químicas e química verde

A **química verde** (QV) surge em resposta à crescente necessidade de controlar e minimizar os efeitos nocivos da atividade química sobre a sociedade, o ambiente e as futuras gerações. Esta área da Química é impulsionada pela dupla convicção de que esses efeitos nocivos são evitáveis e que o são, precisamente, através da própria Química.

A procura e a utilização de processos e produtos químicos que reduzam a libertação de substâncias nocivas para os seres vivos designa-se por **química verde**.

Enquanto a principal preocupação da química tradicional é a maximização da produção do produto desejado (síntese de produtos com o máximo de rendimento possível), **a química verde concilia quatro objetivos fundamentais:**

- a **minimização da produção de resíduos e da emissão de poluentes** suscetíveis de causar efeitos nocivos;
- a escolha de **reagentes e solventes não tóxicos e processos menos poluentes;**
- a **otimização do uso da energia e opção por energias renováveis;**
- o máximo de reagentes a transformarem-se no produto desejado, evitando desperdícios (opção por processos mais eficientes e mais económicos).

Cabo Verde tem investido em áreas que promovem a sustentabilidade e a proteção ambiental, desenvolvendo iniciativas que refletem os princípios da química verde.

• **Energia renovável:** o país tem apostado ativamente em fontes de energia renovável, como a solar e a eólica, visando reduzir a dependência de combustíveis fósseis e minimizar a pegada de carbono.

• **Gestão de resíduos:** têm sido implementados projetos de gestão e reciclagem de resíduos sólidos para reduzir o impacto ambiental e promover a economia circular.

• **Educação ambiental:** têm sido desenvolvidos programas educativos para sensibilizar a população sobre práticas sustentáveis e a importância da preservação ambiental.



Fig. 9 Objetivos da química verde.

Química

tradicional vs. verde

1

Minimização da quantidade de resíduos

O ibuprofeno é um fármaco anti-inflamatório usado para o tratamento da dor, febre e inflamação. Constitui o princípio ativo de vários medicamentos.

Química tradicional

Produzido e comercializado em quantidades industriais a partir da década de 60 do século XX, a síntese tradicional do ibuprofeno ocorre em seis fases e gera quantidades muito grandes de resíduos, que devem ser separados e eliminados.

Química verde

No início da década de 90 do século XX, foi desenvolvido e industrializado um processo catalítico em três etapas, gerador de uma quantidade muito menor de produtos secundários, recuperáveis e reutilizáveis, não sendo produzido desperdício.

2

Otimização do uso de energia e opção por energias renováveis

O ácido adípico é usado no fabrico do *nylon-6,6*, presente em fibras de carpetes, no reforço de pneus, em componentes de automóveis, etc.

Química tradicional

Reação de síntese do ácido adípico com maior gasto energético e com a produção de N_2O (óxido nitroso), produto tóxico para o ambiente.

Química verde

A síntese do ácido adípico recorrendo à química verde é energeticamente mais eficiente e não produz produtos químicos perigosos para o ambiente.

3 Reagentes não tóxicos e processos menos poluentes

O isocianato é um composto usado na indústria dos polímeros, nomeadamente na produção de poliuretano, que tem várias aplicações comerciais, como, por exemplo, no fabrico de espumas.

Química tradicional

O monómero de uretano é obtido a partir de isocianato, tradicionalmente sintetizado pela ação de fosgénio numa amina. O fosgénio é um gás extremamente tóxico.

Química verde

Por via da química verde, o processo de síntese de uretano usa o dióxido de carbono, gás não tóxico, em substituição do fosgénio.

4 Maximização do número de átomos de reagentes no produto desejado

O propeno é a matéria-prima do polipropileno, usado para produzir, por exemplo, embalagens de plástico.

A eficiência de um processo é tradicionalmente medida pelo seu rendimento, independentemente da quantidade de subprodutos formados. A química verde propõe uma evolução deste conceito, que tenha em conta a redução de resíduos na fonte. Para tal, foi introduzido um novo indicador de eficiência do processo – a economia atómica.

$$\text{e.a.(\%)} = \frac{m_{\text{produto desejado}}}{m_{\text{total reagentes}}} \times 100\%$$

ou

$$\text{e.a.(\%)} = \frac{\text{c.e.} \times M_{\text{produto desejado}}}{\text{c.e.} \times M_{\text{reagente}}} \times 100\%$$

c.e. – coeficiente estequiométrico

Química tradicional



$$\text{e.a.(\%)} = \frac{M(\text{C}_3\text{H}_6)}{M(\text{C}_6\text{H}_{16}\text{N}^+) + M(\text{OH}^-)} \times 100\% \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{e.a.(\%)} = \frac{42,09}{102,23 + 17,01} \times 100\% = 35,30\%$$

Química verde



$$\text{e.a.(\%)} = \frac{M(\text{C}_3\text{H}_6)}{M(\text{C}_3\text{H}_7\text{OH})} \times 100\% \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \text{e.a.(\%)} = \frac{42,09}{60,11} \times 100\% = 70,02\%$$

Atividade Investigativa 1

Objetivo:

Compreender o conceito de economia atômica verde e investigar formas de aplicar princípios da química verde para melhorar a eficiência das reações químicas, reduzindo o desperdício e os impactos ambientais.

Contexto teórico:

Em Cabo Verde, tal como em muitos países, a utilização de reações químicas na indústria, na agricultura e na vida quotidiana pode gerar desperdício de matéria, consumo excessivo de energia e impactos ambientais negativos. A economia atômica verde é uma abordagem moderna que promove a redução desses mesmos aspetos negativos, propondo alterações nos processos químicos para melhorar o aproveitamento dos átomos, reduzir resíduos e otimizar o rendimento das reações. Este trabalho convida os grupos a investigar como a Química pode tornar-se mais eficiente, sustentável e alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.



Etapas do desenvolvimento da atividade:

- 1 Explicar o que é a economia atômica, identificando os seus objetivos principais.
- 2 Investigar como este conceito pode ser aplicado nas reações químicas comuns (por exemplo, na produção de medicamentos, fertilizantes e combustíveis).
- 3 Identificar exemplos de reações químicas melhoradas, nas quais se reduza o desperdício de átomos ou o consumo de energia.
- 4 Refletir sobre as consequências ambientais, sociais e económicas da aplicação destas melhorias em Cabo Verde.
- 5 Propor soluções práticas e adaptadas à realidade local que demonstrem como é possível tornar a Química mais verde (por exemplo, através da substituição de reagentes, do uso de catalisadores e da redução de etapas de reação).
- 6 Sugerir uma ação simbólica ou prática de sensibilização, como a criação de um cartaz para a escola, um vídeo educativo ou a dinamização de uma atividade de consciencialização.

Entrega do trabalho final e apresentação

Cada grupo deverá, para além do trabalho escrito, apresentar o seu trabalho num dos seguintes formatos:

- **cartaz científico:** com imagens, esquemas e texto explicativo.
- **apresentação oral com PowerPoint:** a ser feita na sala, com a participação de todos os elementos do grupo;
- **vídeo criativo:** explicando o conceito e apresentando propostas com exemplos práticos.

Estrutura sugerida para o trabalho escrito:

- 1 **Introdução** – O que é a economia atómica verde e por que é importante para Cabo Verde.
- 2 **Desenvolvimento** – Responder aos pontos 1 a 5 das *etapas do desenvolvimento da atividade*.
- 3 **Conclusão** – Resumir as principais aprendizagens e apresentar a vossa proposta de intervenção ou sensibilização.

Critérios de avaliação:

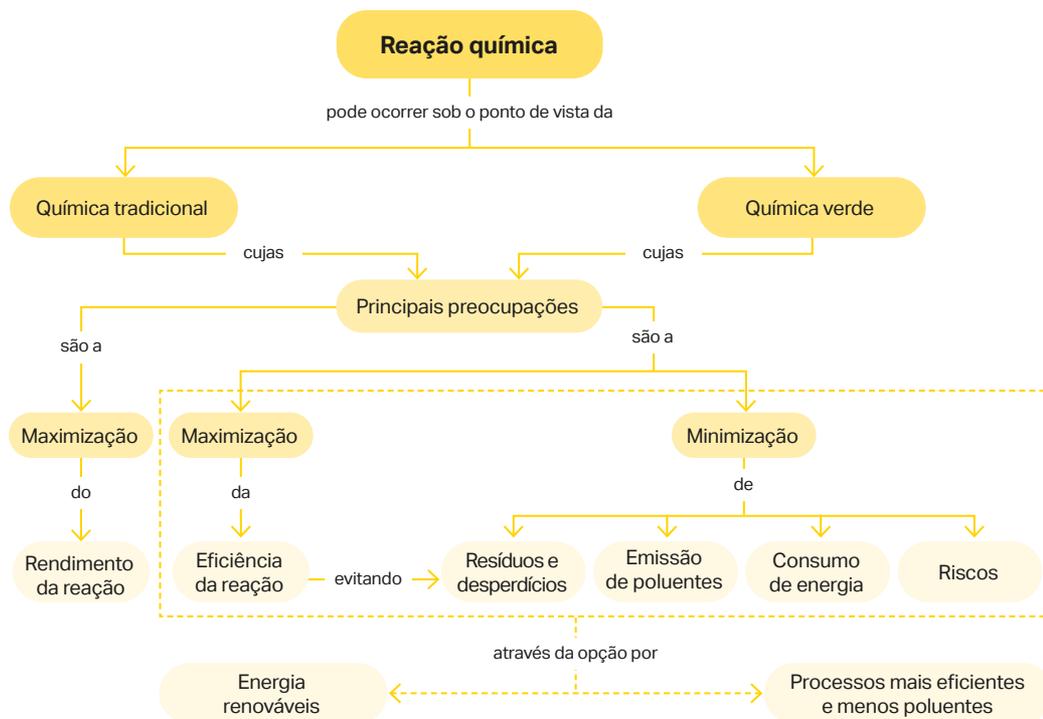
- Clareza e organização do conteúdo.
- Rigor científico e uso de fontes credíveis.
- Criatividade e originalidade na apresentação.
- Adequação e relevância da proposta local.
- Qualidade do trabalho em grupo e distribuição equilibrada de tarefas.

Dicas úteis

- Utilizem manuais escolares, vídeos educativos, páginas de universidades e organizações científicas.
- Deem preferência a fontes fiáveis e atualizadas.
- Recorram a esquemas, gráficos e ilustrações sempre que possível.
- Inspirem-se em exemplos reais de indústrias ou laboratórios que aplicam os princípios da economia atómica verde.

Mãos à obra! A Química pode ser uma ferramenta poderosa para proteger o planeta e a tua pesquisa pode fazer a diferença – começando em Cabo Verde!

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

- A **química verde** consiste na investigação e aplicação de processos e produtos químicos que reduzem ou eliminam a libertação de substâncias nocivas para os seres vivos e para o ambiente.
- A química verde persegue quatro objetivos fundamentais:
 - minimizar a produção de resíduos e a emissão de poluentes com potenciais efeitos nocivos;
 - selecionar reagentes e solventes menos tóxicos e adotar processos menos poluentes;
 - otimizar o uso da energia, privilegiando a utilização de fontes de energia renováveis;
 - maximizar a conversão dos reagentes no produto desejado, evitando desperdícios, através da escolha de processos mais eficientes e económicos.
- Ao comparar reações químicas no âmbito da **química verde** com a **química tradicional**, devem ser considerados os seguintes fatores:
 - a minimização da produção de resíduos;
 - a eficiência energética e a preferência por energias e reagentes renováveis;
 - a redução do impacte ambiental através da escolha de processos menos poluentes;
 - a economia atómica, definida como a razão entre a massa dos átomos incorporados no produto desejado e a massa total de átomos dos reagentes, expressa em percentagem.

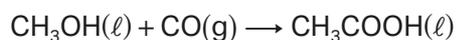
Exercícios de aplicação

1 Qual das seguintes afirmações descreve corretamente o conceito de química verde?

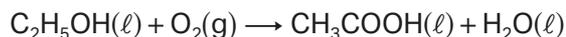
- (A) A química verde busca maximizar a produção de resíduos para garantir a eficiência dos processos químicos.
- (B) A química verde é a área da Química que promove o uso de processos e produtos químicos que minimizam ou eliminam a libertação de substâncias nocivas para os seres vivos e o ambiente.
- (C) A química verde prioriza exclusivamente a maximização do rendimento das reações químicas, sem considerar o impacte ambiental.
- (D) A química verde é a aplicação de processos químicos que utilizam exclusivamente reagentes tóxicos para aumentar a eficiência energética.

2 Considera os seguintes processos de produção de ácido acético (CH_3COOH):

Processo A: Utiliza metanol (CH_3OH) e monóxido de carbono (CO):

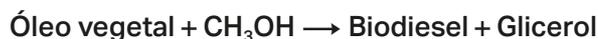


Processo B: Utiliza etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) e dioxigénio (O_2):



- 2.1. Calcula a economia atómica de cada processo, considerando que o único produto desejado é o CH_3COOH .
- 2.2. Explica qual dos processos é mais sustentável do ponto de vista da química verde, considerando a minimização de resíduos e o uso de reagentes renováveis.
- 2.3. Sugere melhorias para o processo menos eficiente alinhadas com os princípios da química verde.

3 A produção de biodiesel pode ser realizada através da transesterificação de óleos vegetais com metanol, formando biodiesel e glicerol como subproduto:



- 3.1. Explica como este processo se alinha com os princípios da química verde.
- 3.2. Discute os impactes ambientais da produção de biodiesel em comparação com combustíveis fósseis.
- 3.3. Sugere formas de melhorar a eficiência energética deste processo, considerando o uso de catalisadores e fontes de energia renováveis.

2.2. Equilíbrio químico e extensão das reações químicas

Equilíbrio químico e constante de equilíbrio

Equilíbrio químico

As reações abordadas no subtema anterior eram reações completas, caracterizadas pelo esgotamento de pelo menos um dos reagentes e por ocorrerem, exclusivamente, no sentido direto, ou seja, dos reagentes para os produtos.

No entanto, na maioria das reações químicas em sistema fechado, nenhum dos reagentes se esgota. A formação do iodeto de hidrogénio a partir do di-hidrogénio e do diiodo exemplifica estas reações.

Reagentes	Produto da reação
$\underbrace{\text{H}_2(\text{g})}_{\text{Incolor}} + \underbrace{\text{I}_2(\text{g})}_{\text{Violeta}}$	$\underbrace{2 \text{HI}(\text{g})}_{\text{Incolor}}$

Quadro 7 Reagentes e produtos da reação de formação do HI(g).

A **figura 10** apresenta a evolução da cor da mistura reacional num sistema fechado, mantido a uma temperatura constante ao longo do tempo (desde o início da reação até deixar de se observar alterações na cor da mistura).



Fig. 10 Evolução da propriedade macroscópica cor, em função do tempo, do sistema reacional constituído pelos reagentes H₂(g) e I₂(g) e o produto da reação HI(g).

Se a reação fosse completa e a quantidade de matéria dos dois reagentes inicialmente fosse a mesma, seria de esperar que no fim da reação o sistema reacional se apresentasse incolor por já não existir diiodo.

Contudo, observa-se apenas um atenuar da cor violeta à medida que a reação progride e, a partir de um determinado momento, a tonalidade permanece constante, indicando a presença de algum diiodo que não reagiu.

Essa situação ocorre porque, instantes após o início da reação, quando se formam algumas moléculas de produto (HI), inicia-se o processo inverso, ocorrendo a formação de moléculas de reagentes (H_2 e I_2) a partir de moléculas de produto (HI).

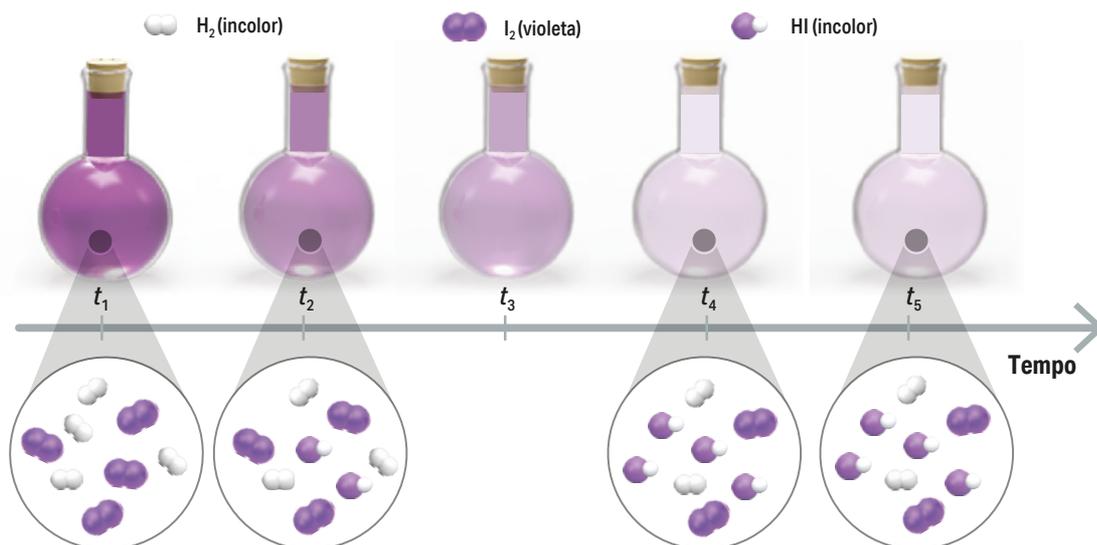
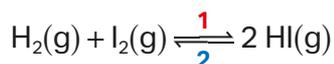


Fig. 11 Evolução da cor ao longo do tempo e representação simbólica molecular do sistema reacional constituído por: $H_2(g)$, $I_2(g)$ e $HI(g)$ em diferentes instantes.

Conclui-se, assim, que esta reação química é incompleta e, por isso, reversível, sendo representada esquematicamente por:



Esta reação ocorre, simultaneamente, em dois sentidos:

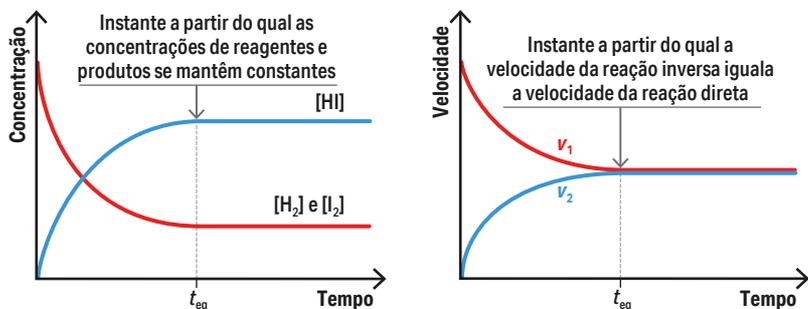
- no sentido da formação dos produtos (sentido **1**) – **reação direta**;
- no sentido da formação dos reagentes (sentido **2**) – **reação inversa**.

Uma **reação química reversível** é caracterizada pela ocorrência simultânea das reações direta e inversa.

A estabilização da cor ao fim de um certo tempo (instante t_4 da **figura 11**) indica que, a partir desse momento, as concentrações de reagentes e produtos permanecem constantes.

Inicialmente, a velocidade da reação direta é máxima, enquanto a da reação inversa é nula. À medida que a reação prossegue, a velocidade da reação direta diminui e a da reação inversa aumenta (**figura 12**).

Uma **reação completa e irreversível** representa-se por uma seta \rightarrow .
Uma **reação incompleta e reversível** representa-se por uma seta dupla (\rightleftharpoons), em que a seta \rightarrow indica o sentido da conversão de reagentes em produtos e a seta \leftarrow corresponde ao sentido da conversão de produtos em reagentes.



[HI] representa a concentração de HI, em mol dm^{-3} .
 [H₂] e [I₂] representam, respetivamente, as concentrações de H₂ e de I₂, em mol dm^{-3} .
 Genericamente: [X] representa a concentração da substância X, em mol dm^{-3} .

Fig. 12 Esboços dos gráficos da evolução da concentração dos reagentes (curva descendente) e produtos (curva ascendente) ao longo do tempo (partindo de concentrações iguais de reagentes) e da evolução da velocidade das reações direta (curva descendente) e inversa (curva ascendente) da reação $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2\text{HI}(\text{g})$.

Quando as velocidades das reações direta e inversa se igualam (as concentrações dos reagentes e produtos permanecem constantes ao longo do tempo), atinge-se um estado de equilíbrio químico (instante t_4 da **figura 11**).

Equilíbrio químico é um estado em que as velocidades das reações direta e inversa são iguais. Neste estado, as concentrações de todos os reagentes e produtos permanecem constantes.

Apesar de ao atingir o estado de equilíbrio químico não haver alterações perceptíveis à escala macroscópica no sistema reacional, como variações de cor, pressão/volume, concentração ou temperatura, a nível molecular as reações direta e inversa continuam a ocorrer com a mesma velocidade. Por isso, o **equilíbrio químico** é considerado **dinâmico**, em contraste com um equilíbrio estático.

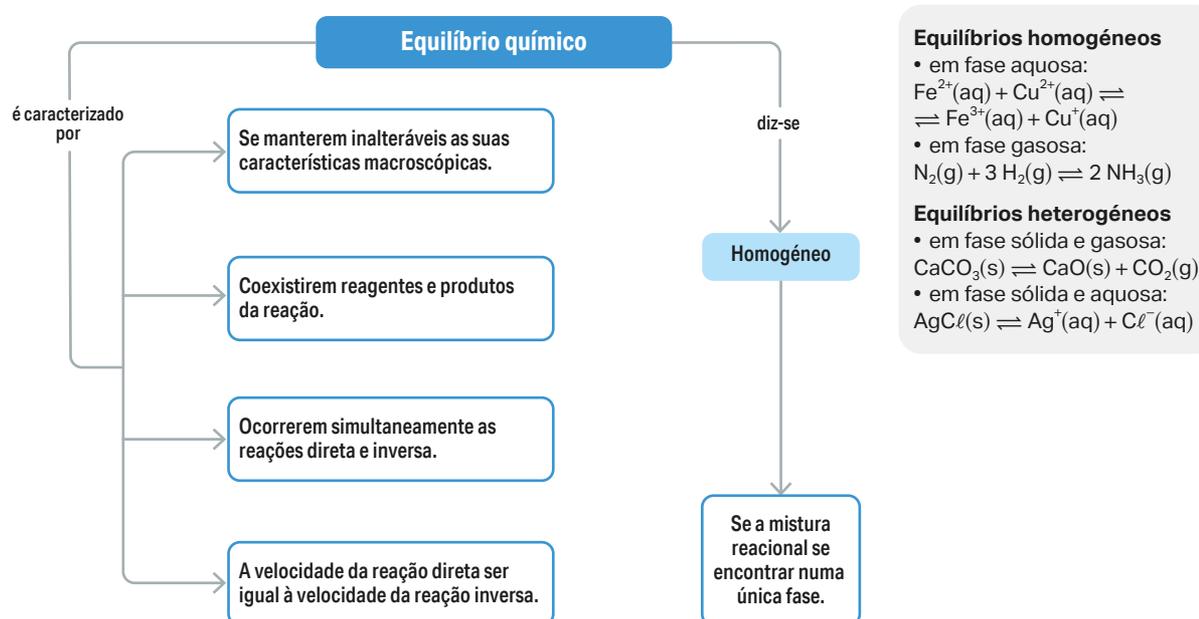
A reação química abordada neste módulo ocorre com reagentes e produtos na mesma fase (gasosa), impedindo a distinção visual entre os componentes da mistura reacional. Por essa razão, este sistema químico é denominado de homogéneo.

Equilíbrio químico homogéneo corresponde a um estado de equilíbrio de uma mistura reacional homogénea, isto é, com:

- todos os reagentes e produtos em fase gasosa;
- ou
- todos os reagentes e produtos em solução.

Fig. 13 O estado de equilíbrio dinâmico é análogo ao de uma pessoa a caminhar no sentido contrário de um tapete rolante: estando em movimento, “parece” que está parada, desde que se desloque à mesma velocidade que a do tapete rolante.

Em síntese:

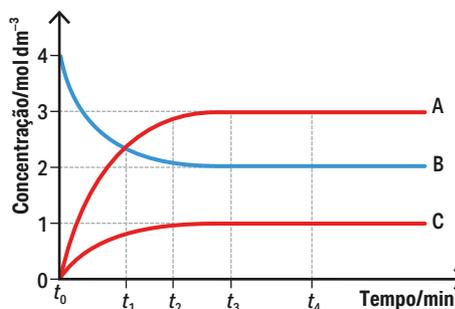


Exercício resolvido

- 6 Num balão de 1 L, à temperatura de 480 °C, o amoníaco, NH_3 , decompõe-se de acordo com a seguinte equação química:



O gráfico ao lado mostra a evolução das concentrações de NH_3 , H_2 e N_2 em reação, ao longo do tempo.



- 6.1 Indica, justificando:
- 6.1.1 qual das curvas representa a evolução da concentração de NH_3 ;
 - 6.1.2 quais das curvas representam a evolução da concentração de H_2 e de N_2 ;
 - 6.1.3 o instante a partir do qual se atingiu o equilíbrio químico.
- 6.2 Indica a concentração do reagente e dos produtos da reação:
- 6.2.1 no início da reação;
 - 6.2.2 no instante a partir do qual se atingiu o equilíbrio químico.
- 6.3 Determina a variação da concentração do reagente e dos produtos de reação desde o início até atingir o equilíbrio químico.
- 6.4 Compara a velocidade das reações direta e inversa:
- 6.4.1 de t_0 a t_3 ;
 - 6.4.2 a partir de t_3 .

Resolução:

6.1.1 A curva B representa a evolução da concentração de NH_3 , dado que, no decorrer da reação, esta substância consome-se para formar os produtos da reação (H_2 e N_2) até se atingir o equilíbrio químico.

6.1.2 As curvas A e C representam a evolução das concentrações dos produtos, porque estes formam-se a partir do consumo do reagente.

A curva A representa a evolução da concentração de H_2 , e a curva C de N_2 , dado que, de acordo com a estequiometria da reação (2 : 3 : 1), a variação da concentração de H_2 deverá ser tripla da de N_2 .

6.1.3 O sistema atingiu o equilíbrio químico a partir do instante t_3 , dado que a partir desse instante as concentrações dos produtos e do reagente deixaram de variar.

6.2.1 e **6.2.2**

Substâncias	$C_i / \text{mol dm}^{-3}$	$C_{\text{eq}} / \text{mol dm}^{-3}$
A – H_2	0	3
B – NH_3	4	2
C – N_2	0	1

6.3.

Substâncias	Variação das concentrações/ mol dm^{-3} $\Delta[\] = [\]_{\text{equilíbrio}} - [\]_{\text{inicial}}$
A – H_2	$\Delta[\text{H}_2] = 3 - 0 = 3 \text{ mol dm}^{-3}$ (aumentou 3 mol dm^{-3})
B – NH_3	$\Delta[\text{NH}_3] = 2 - 4 = -2 \text{ mol dm}^{-3}$ (diminuiu 2 mol dm^{-3})
C – N_2	$\Delta[\text{N}_2] = 1 - 0 = 1 \text{ mol dm}^{-3}$ (aumentou 1 mol dm^{-3})

6.4.1 De t_0 (instante inicial) a t_3 (instante a partir do qual se estabelece o equilíbrio químico), a velocidade da transformação do reagente em produtos (velocidade da reação direta) é superior à velocidade com que os produtos se voltam a transformar no reagente (velocidade da reação inversa).

6.4.2 A partir do instante em que a reação atinge o equilíbrio químico (t_3), a velocidade da reação inversa iguala a velocidade da reação direta.

Em síntese:

		Até se atingir um estado de equilíbrio químico	Após atingir um estado de equilíbrio químico
Concentração	Reagentes	Diminui	Permanecem constantes
	Produtos	Aumenta	
Velocidade da reação	Direta	Diminui	São iguais
	Inversa	Aumenta	

Quadro 8 Variação da concentração e da velocidade da reação no equilíbrio químico.

Constante de equilíbrio

A **tabela 1** mostra alguns resultados experimentais, a 425 °C, relativos ao sistema reacional em estudo, associados a quatro estados de equilíbrio químico.

Estado de equilíbrio químico	Concentrações iniciais/mol dm ⁻³			Concentrações no equilíbrio/mol dm ⁻³			Razão das concentrações no equilíbrio	
	H ₂	I ₂	HI	H ₂	I ₂	HI	$\frac{[\text{HI}]_e}{[\text{H}_2]_e \times [\text{I}_2]_e}$	$\frac{[\text{HI}]_e^2}{[\text{H}_2]_e \times [\text{I}_2]_e}$
1	0,1000	0,1000	0,0000	0,0213	0,0213	0,1573	347	54,5
2	0,2000	0,2000	0,0000	0,0427	0,0427	0,3152	173	54,5
3	0,1000	0,1000	0,1000	0,0320	0,0320	0,2362	231	54,5
4	0,2000	0,2000	0,2000	0,0639	0,0639	0,4717	116	54,5

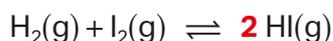
Tabela 1 Tratamento dos resultados experimentais relativos ao sistema reacional $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(\text{g})$, a 425 °C.

A análise dos dados da **tabela 1** permite concluir que:

- as concentrações de equilíbrio variam de acordo com as concentrações iniciais de reagentes e produtos da reação;
- a razão apresentada na penúltima coluna possui valores dispersos;
- a razão apresentada na última coluna tem um valor constante para todos os estados de equilíbrio químico, independentemente das concentrações iniciais de reagentes e produtos:

$$K_c = \frac{[\text{HI}]_e^2}{[\text{H}_2]_e \times [\text{I}_2]_e} = 54,5$$

em que K_c se denomina a constante de equilíbrio da reação reversível:



Analisando este sistema reacional reversível, verifica-se que o expoente **2** associado a [HI] e na expressão matemática é igual ao valor do coeficiente estequiométrico de HI na equação química. Generalizando, para qualquer sistema homogéneo (sistema em que todas as substâncias envolvidas se encontram na mesma fase), fechado e em equilíbrio químico, a uma dada temperatura:



em que **a**, **b**, **c**, e **d** são os coeficientes estequiométricos das substâncias A, B, C e D, respetivamente, a constante de equilíbrio da reação é dada por:

$$K_c = \frac{[\text{C}]_e^c \times [\text{D}]_e^d}{[\text{A}]_e^a \times [\text{B}]_e^b}$$

- K_c é a constante de equilíbrio da reação;
- o índice **c** em K_c refere-se a concentrações, o que indica que as concentrações de reagentes e de produtos se encontram em mol dm⁻³;
- o índice **e** em [...] _e indica que as concentrações se referem ao estado de equilíbrio químico.

Resumindo, a constante de equilíbrio de uma reação, em função das concentrações em mol dm^{-3} , é o quociente entre o produto das concentrações dos produtos da reação e o produto das concentrações dos reagentes, todas elevadas a expoentes iguais aos seus coeficientes estequiométricos na equação química considerada. K_c é adimensional.

- Se $[C]_e^c \times [D]_e^d > [A]_e^a \times [B]_e^b$, a reação é muito extensa no sentido direto $\Rightarrow K_c > 1$.
- Se $[A]_e^a \times [B]_e^b > [C]_e^c \times [D]_e^d$, a reação é pouco extensa no sentido direto $\Rightarrow K_c < 1$.
- Quanto maior for K_c , mais extensa é a reação no sentido direto.

Verificámos já que o valor da constante de equilíbrio de uma reação química, em sistema fechado e à mesma temperatura, não depende das concentrações iniciais de reagentes e produtos. As **tabelas 2 e 3** apresentam os valores das constantes de equilíbrio de dois sistemas reacionais a **diferentes temperaturas**.

	T/K	K_c	Concentrações em equilíbrio/mol dm^{-3}		
			$\text{H}_2(\text{g})$	$\text{Cl}_2(\text{g})$	$\text{HCl}(\text{g})$
Reação exotérmica $\Delta H < 0$ $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HCl}(\text{g})$	300	$3,99 \times 10^{31}$	1,00	1,00	$6,32 \times 10^{15}$
	500	$4,00 \times 10^{18}$	1,00	1,00	$2,00 \times 10^9$
	1000	$5,11 \times 10^8$	1,00	1,00	$2,26 \times 10^4$

Tabela 2 Constante de equilíbrio, a diferentes temperaturas, de uma reação química exotérmica.

	T/K	K_c	Concentrações em equilíbrio/mol dm^{-3}		
			$\text{C}_3\text{H}_6(\text{g})$	$\text{C}_2\text{H}_4(\text{g})$	$\text{C}_4\text{H}_8(\text{g})$
Reação endotérmica $\Delta H > 0$ $2 \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{C}_4\text{H}_8(\text{g})$	300	$5,02 \times 10^{-2}$	1,00	0,224	0,224
	500	$6,20 \times 10^{-2}$	1,00	0,249	0,249
	1000	$7,02 \times 10^{-2}$	1,00	0,265	0,265

Tabela 3 Constante de equilíbrio, a diferentes temperaturas, de uma reação química endotérmica.

Analisando as informações das **tabelas 2 e 3**, conclui-se que:

- a mesma reação química apresenta diferentes valores de constante de equilíbrio para diferentes temperaturas;
- o aumento da temperatura, numa reação exotérmica, provoca uma diminuição da constante de equilíbrio; numa reação endotérmica, provoca um aumento da constante de equilíbrio.

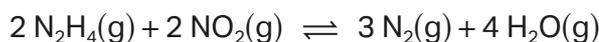
À mesma temperatura, a reação
 (1) $\text{H}_2(\text{g}) + \text{Cl}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HCl}(\text{g})$
 é muito mais extensa no sentido direto do que a reação
 (2) $2 \text{C}_3\text{H}_6(\text{g}) \rightleftharpoons \text{C}_2\text{H}_4(\text{g}) + \text{C}_4\text{H}_8(\text{g})$
 uma vez que $K_c(1) \gg K_c(2)$.

A **constante de equilíbrio** de uma reação química é igual para todos os estados de equilíbrio e (só) depende da temperatura:

- nas **reações exotérmicas**, o aumento da temperatura provoca uma diminuição da extensão da reação no sentido direto (diminuição de K_c);
- nas **reações endotérmicas**, o aumento da temperatura provoca um aumento da extensão da reação no sentido direto (aumento de K_c).

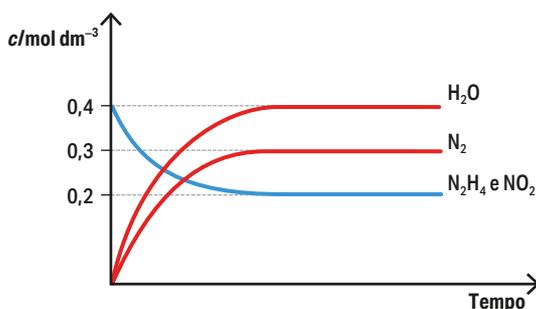
Exercício resolvido

- 7 A equação química seguinte traduz a reação entre a hidrazina (usada como combustível em foguetes), N_2H_4 , e o dióxido de nitrogénio, NO_2 , que liberta uma grande quantidade de energia:



- 7.1 Escreve a expressão que traduz a constante de equilíbrio desta reação.

- 7.2 O gráfico seguinte representa a evolução da concentração de reagentes e produtos da reação química que ocorre em sistema fechado, à temperatura ambiente. Determina a constante de equilíbrio desta reação a essa temperatura e avalia a sua extensão.



- 7.3 Qual é o efeito de uma diminuição da temperatura do sistema reacional em K_c e na extensão da reação?

Resolução:

- 7.1. Da análise da equação química, temos:

$$K_c = \frac{[N_2]_e^3 \times [H_2O]_e^4}{[N_2H_4]_e^2 \times [NO_2]_e^2}$$

- 7.2. Da análise do gráfico, temos, no equilíbrio:

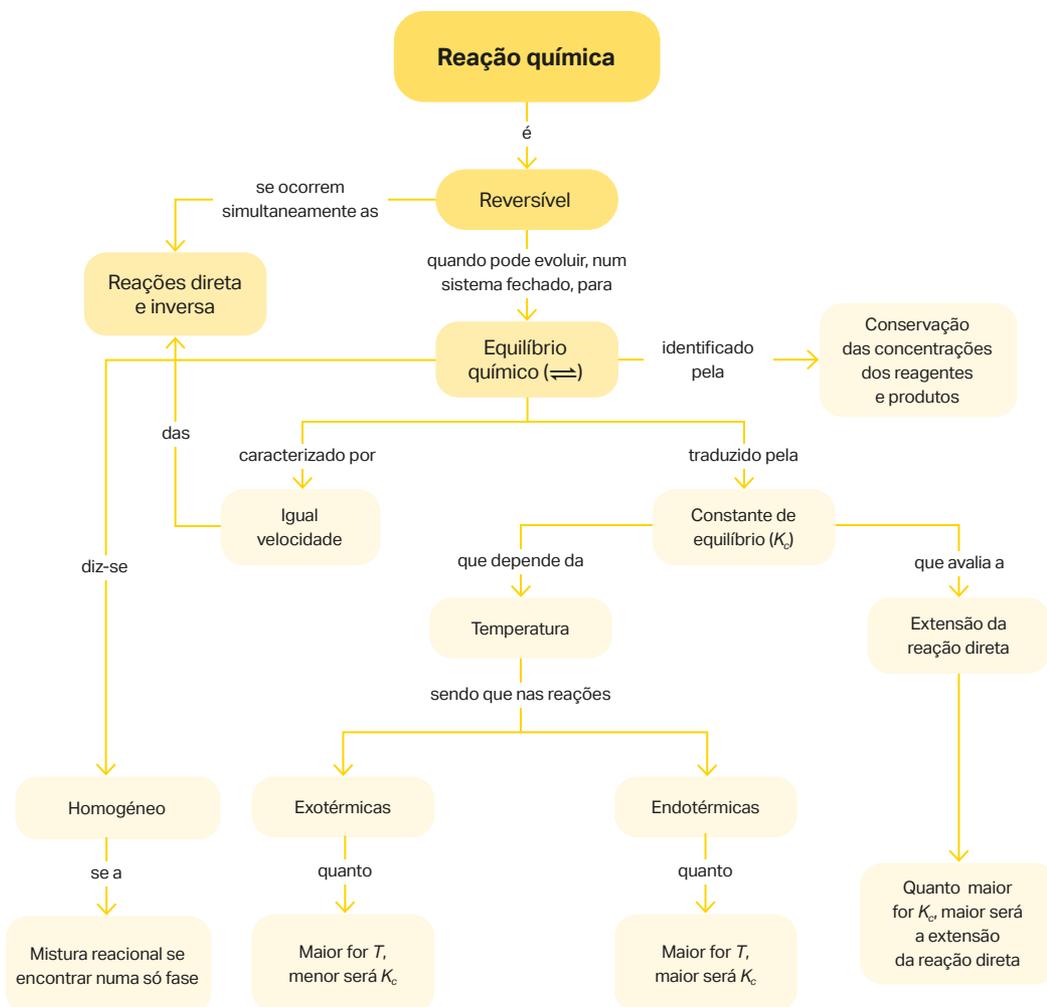
$$[N_2]_e = 0,3 \text{ mol dm}^{-3}; [H_2O]_e = 0,4 \text{ mol dm}^{-3}; [N_2H_4]_e = 0,2 \text{ mol dm}^{-3}; [NO_2]_e = 0,2 \text{ mol dm}^{-3}$$

$$K_c = \frac{(0,3)^3 \times (0,4)^4}{(0,2)^2 \times (0,2)^2} = 0,4$$

Dado que $K_c < 1$, a reação é pouco extensa no sentido direto.

- 7.3. Sendo a reação exoenergética, uma diminuição da temperatura favorece a reação direta (porque K_c aumenta), logo provoca um aumento da extensão da reação direta.

Mapa de conceitos

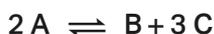


Síntese de conteúdos

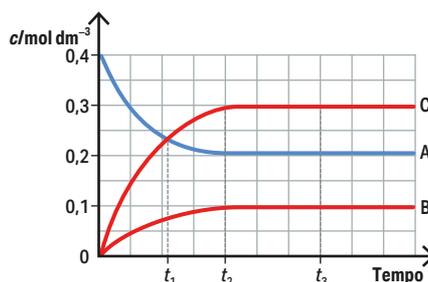
- Numa **reação química reversível** ocorrem as reações direta e inversa simultaneamente.
- O **equilíbrio químico** é atingido quando as velocidades de ambas as reações são iguais e as concentrações de reagentes e de produtos permanecem constantes.
- Num **equilíbrio químico homogéneo**, todos os reagentes e produtos estão na mesma fase (gasosa ou em solução).
- A **constante de equilíbrio (K_c)** é calculada pelo quociente entre o produto das concentrações dos produtos e o produto das concentrações dos reagentes, elevadas aos seus coeficientes estequiométricos.
- K_c é adimensional e depende apenas da temperatura: em reações exotérmicas, o aumento da temperatura diminui K_c , enquanto em reações endotérmicas aumenta K_c .

Exercícios de aplicação

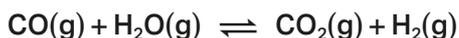
- 1** O gráfico ao lado representa a evolução da concentração de reagentes e produtos de uma reação química homogénea, ao longo do tempo.



- 1.1.** A partir de que instante se pode considerar que o sistema reacional atinge o estado de equilíbrio químico?
- 1.2.** Escreve a expressão que traduz a constante de equilíbrio desta reação.
- 1.3.** Avalia a extensão desta reação no sentido direto



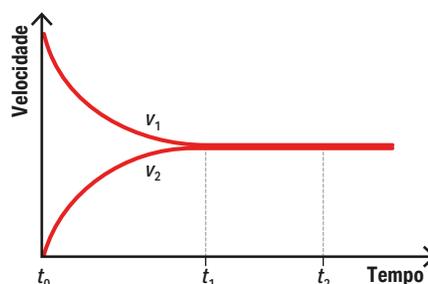
- 2** Considera a reação entre o monóxido de carbono e o vapor de água, representada pela seguinte equação química:



O gráfico ilustra como variam ao longo do tempo as velocidades das reações direta e inversa.

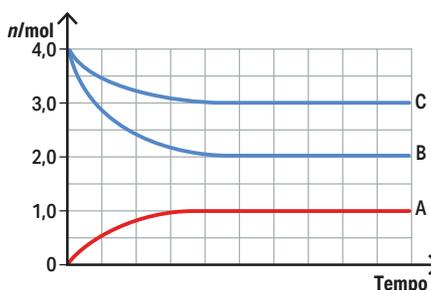
Das seguintes afirmações, seleciona a(s) verdadeira(s).

- (A)** No instante t_0 , as concentrações de CO_2 e de H_2 são máximas.
- (B)** No instante t_1 , as concentrações de reagentes e de produtos são iguais.
- (C)** No instante t_2 , as concentrações de produtos são as mesmas que em t_1 .
- (D)** No instante t_2 , a velocidade de conversão de reagentes em produtos é igual à velocidade de conversão de produtos em reagentes.



- 3** O gráfico ao lado representa a evolução das quantidades dos componentes A, B e C num sistema reacional gasoso, em que apenas os reagentes estavam presentes inicialmente.

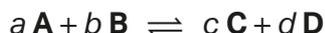
- 3.1.** Identifica os reagentes e os produtos da reação.
- 3.2.** Escreve a equação química que representa o equilíbrio químico em causa e a expressão que traduz a constante de equilíbrio desta reação.
- 3.3.** Sabendo que o sistema se encontra encerrado num recipiente fechado e indeformável de capacidade 10 L, determina a constante de equilíbrio da reação.



Constante de equilíbrio e inversão da equação química

A constante de equilíbrio de uma reação dá informações acerca do grau de conversão de reagentes em produtos ao atingir o equilíbrio químico, indicando a extensão da reação no sentido direto.

Para:



I	K_c muito elevado $K_c \gg 1$	$\Rightarrow [C]_e^c \times [D]_e^d \gg [A]_e^a \times [B]_e^b$	Reação muito mais extensa no sentido direto do que no sentido inverso.
II	$K_c = 1$	$\Rightarrow [C]_e^c \times [D]_e^d = [A]_e^a \times [B]_e^b$	A extensão da reação direta e inversa não é muito diferente.
I	K_c muito baixo $K_c \ll 1$	$\Rightarrow [C]_e^c \times [D]_e^d \ll [A]_e^a \times [B]_e^b$	Reação muito menos extensa no sentido direto do que no sentido inverso.

Quadro 9 Constante de equilíbrio e extensão da reação.

Para uma reação do tipo $a \mathbf{A} \rightleftharpoons b \mathbf{B}$, os gráficos apresentados na **figura 14** ilustram três situações distintas.

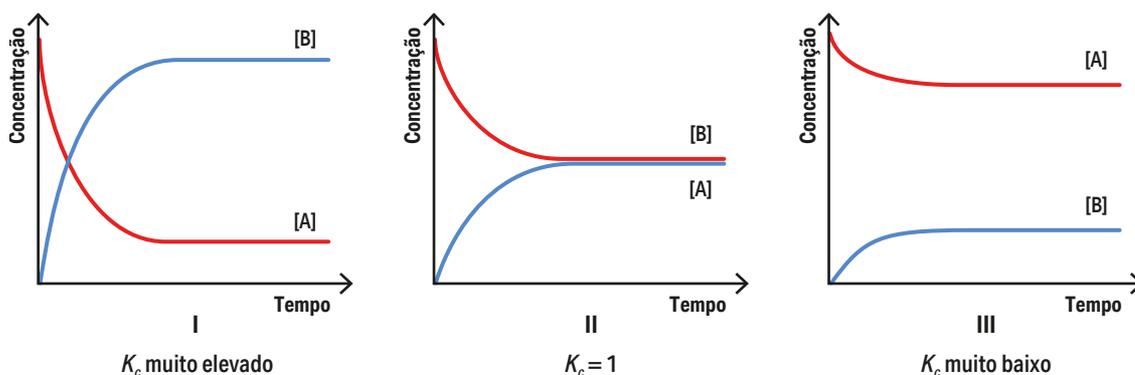


Fig. 14 Esboços dos gráficos da evolução da concentração dos reagentes e produtos da reação ao longo do tempo.

Quanto maior for a constante de equilíbrio de uma reação química, mais extensa é a reação direta (e menos extensa é a reação inversa).

Continuando com o exemplo da reação de síntese do iodeto de hidrogénio apresentado na secção anterior, a partir do di-hidrogénio e do diiodo, a 425 °C, sabe-se que:

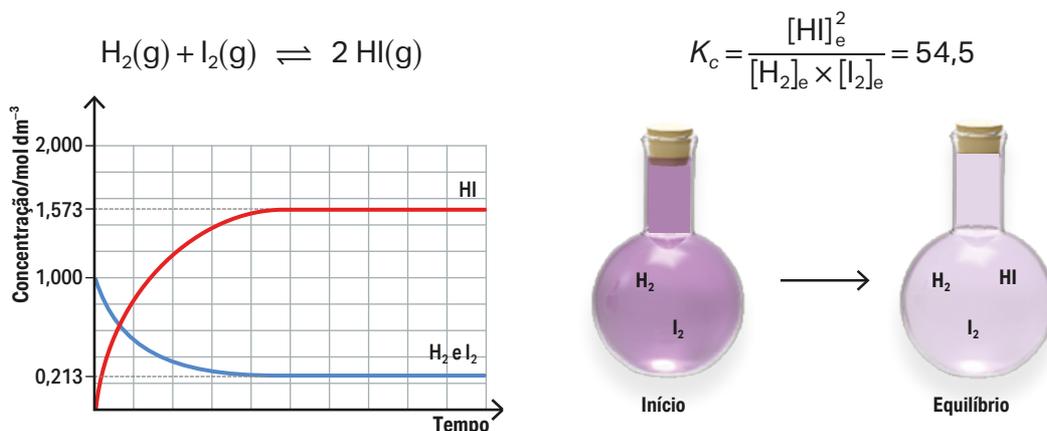


Fig. 15 Evolução da concentração de reagentes e produto da reação: $\text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{HI}(\text{g})$.

Invertendo a escrita desta equação química, temos:

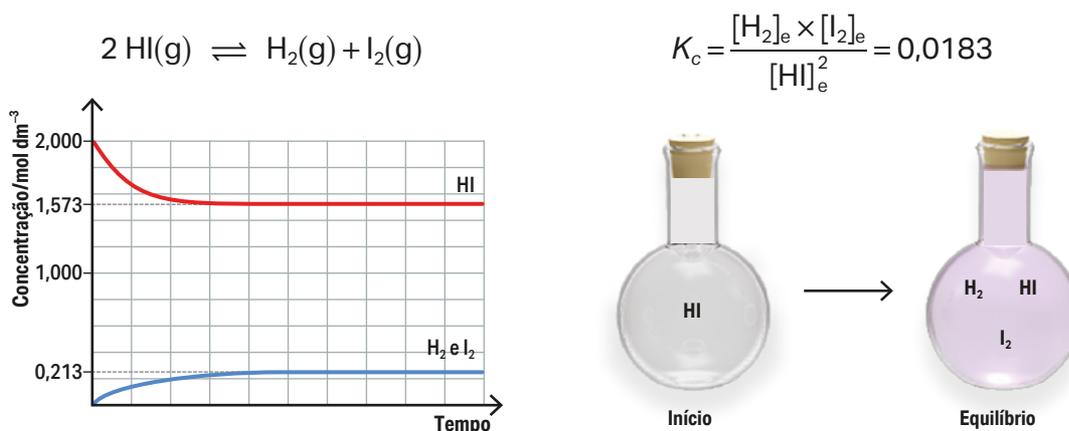


Fig. 16 Evolução da concentração de reagentes e produto da reação: $2 \text{HI}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{H}_2(\text{g}) + \text{I}_2(\text{g})$.

Representando K_c a constante de equilíbrio da reação direta e K'_c o valor da constante de equilíbrio da reação inversa à mesma temperatura, pode concluir-se que:

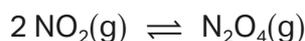
$$K'_c = \frac{1}{K_c}$$

Para o exemplo em estudo: $K'_c = \frac{1}{54,5} = 0,0183$

Quanto maior for a constante de equilíbrio de uma reação química reversível no sentido direto (K_c), menor é a constante de equilíbrio dessa reação no sentido inverso (K'_c), e vice-versa.

Exercício resolvido

- 8 Considera a equação química correspondente a um sistema em equilíbrio, constituído por 0,478 g de NO_2 e uma determinada quantidade de N_2O_4 contidos num recipiente de 500 mL :



À temperatura do sistema, K_c é igual a 100.

- 8.1 Calcula a concentração de N_2O_4 no sistema em equilíbrio químico.
- 8.2 Determina a constante de equilíbrio da reação inversa.
- 8.3 Compara a extensão das reações direta e inversa.
- 8.4 Sabendo que esta reação é exotérmica no sentido direto, compara as constantes de equilíbrio desta reação às temperaturas de 500 K e 1000 K.

Resolução:

- 8.1. Etapa A – Cálculo da concentração de NO_2 no equilíbrio

$$M(\text{NO}_2) = 46,01 \text{ g mol}^{-1}; n = \frac{m}{M} = \frac{0,478 \text{ g}}{46,01 \text{ g mol}^{-1}} = 1,039 \times 10^{-2} \text{ mol de NO}_2$$

$$[\text{NO}_2]_e = \frac{n}{V} = \frac{1,039 \times 10^{-2} \text{ mol}}{0,500 \text{ dm}^3} = 2,08 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

Etapa B – Cálculo da concentração de N_2O_4

Escrevendo a expressão da constante de equilíbrio, vem:

$$K_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]_e}{[\text{NO}_2]_e^2} \Leftrightarrow 100 = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]_e}{(2,08 \times 10^{-2})^2} \Leftrightarrow [\text{N}_2\text{O}_4]_e = 4,33 \times 10^{-2} \text{ mol dm}^{-3}$$

- 8.2. Escrevendo a expressão que relaciona as constantes de equilíbrio das reações direta (K_c) e inversa (K'_c), vem:

$$K'_c = \frac{1}{K_c} = \frac{1}{100} = 1,0 \times 10^{-2}$$

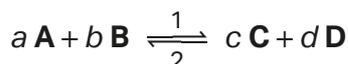
- 8.3. Quanto maior for a constante de equilíbrio, maior será a extensão da reação. Dado que K_c da reação direta (100) é maior do que K'_c da reação inversa ($1,0 \times 10^{-2}$), conclui-se que a reação direta é mais extensa do que a inversa.
- 8.4. Nas reações exotérmicas, o aumento da temperatura provoca uma diminuição da extensão da reação no sentido direto. Assim: $K_c(500 \text{ K}) > K_c(1000 \text{ K})$.

Quociente da reação

Já vimos que a constante de equilíbrio de uma reação química pode ser determinada a partir das concentrações dos reagentes e produtos no estado de equilíbrio.

É possível determinar um quociente semelhante, denominado quociente da reação (Q_c), em qualquer momento, mesmo quando o sistema não está em equilíbrio. Assim como a constante de equilíbrio (K_c), o quociente da reação (Q_c) é adimensional e fornece informações sobre o estado do sistema reacional.

Genericamente:



Constante de equilíbrio	Quociente da reação
$K_c = \frac{[\text{C}]_e^c \times [\text{D}]_e^d}{[\text{A}]_e^a \times [\text{B}]_e^b}$ <p>Aplica-se a um estado de equilíbrio químico.</p>	$Q_c = \frac{[\text{C}] \times [\text{D}]^d}{[\text{A}]^a \times [\text{B}]^b}$ <p>Aplica-se em qualquer instante.</p>

A partir de Q_c , por comparação com K_c , prevê-se o sentido em que a reação ocorrerá a maior velocidade até se atingir o equilíbrio químico. Existem três situações:

$Q_c = K_c$	O sistema está em equilíbrio químico	As concentrações de reagentes e produtos são as concentrações de equilíbrio.	
$Q_c < K_c$	O sistema não está em equilíbrio químico	Existe maior concentração de reagentes e menor concentração de produtos do que as esperadas no equilíbrio.	O sistema evoluirá no sentido da reação direta ($R \rightarrow P$) até atingir o equilíbrio químico (até que $Q_c = K_c$).
$Q_c > K_c$		Existe maior concentração de produtos e menor concentração de reagentes do que as esperadas no equilíbrio.	O sistema evoluirá no sentido da reação inversa ($R \leftarrow P$) até atingir o equilíbrio químico (até que $Q_c = K_c$).

Quadro 10 Comparação entre Q_c e K_c na avaliação da situação de equilíbrio e no sentido da evolução da reação.

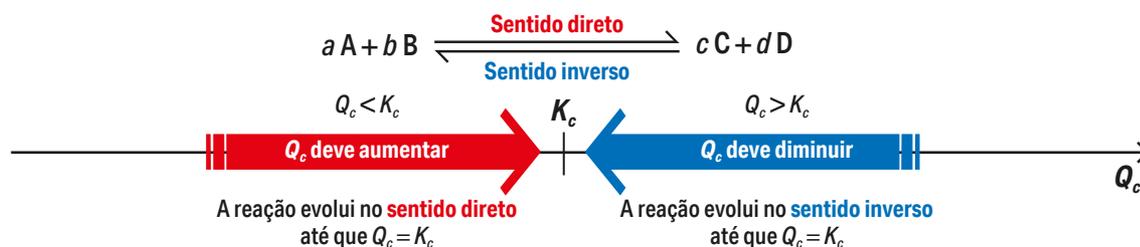
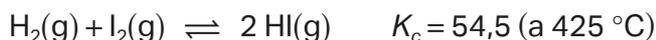


Fig. 17 Sentido da evolução de uma reação química reversível por comparação entre Q_c e K_c . Note-se que K_c é uma constante a uma dada temperatura ao contrário de Q_c , que varia de acordo com as concentrações dos reagentes e dos produtos presentes no sistema reacional.

É importante notar que:

- em todas as reações reversíveis (\rightleftharpoons), ocorrem sempre as reações direta e inversa;
- nas situações de não equilíbrio, uma das reações ocorre a maior velocidade até que o equilíbrio químico seja atingido;
- os termos “evolui/progride/desloca-se no sentido...” significam que a velocidade da reação que ocorre nesse sentido é maior do que a velocidade da reação que ocorre no sentido contrário.

Retomando a reação em estudo:



considera o exemplo de aplicação seguinte:

Exemplo

Como saber se uma mistura reacional, à temperatura de 425 °C, constituída por 1,0 mol dm⁻³ de HI, 0,40 mol dm⁻³ de H₂ e 0,40 mol dm⁻³ de I₂, atingiu o equilíbrio químico?

E como concluir sobre o sentido em que a reação evoluirá até atingir o equilíbrio químico?

Etapas		Resolução
1	Determinar o quociente da reação (Q_c).	$Q_c = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2] \times [\text{I}_2]} \Leftrightarrow Q_c = \frac{1,0^2}{0,40 \times 0,40} = 6,2$
2	Comparação de Q_c e K_c à mesma temperatura, para avaliar se o sistema está em equilíbrio.	Como $Q_c \neq K_c$, o sistema reacional não está em equilíbrio químico.
1	Concluir, a partir da comparação de Q_c e K_c , em que sentido o sistema irá evoluir até atingir o equilíbrio.	Como $Q_c (= 6,2) < K_c (= 54,5)$, Q_c deve aumentar até igualar K_c . O sistema terá de evoluir no sentido do aumento da concentração do produto (HI) e da diminuição das concentrações dos reagentes (H ₂ e I ₂) (sentido da reação direta), até que o equilíbrio químico seja atingido.

Analisando graficamente a situação do exemplo anterior, fica:

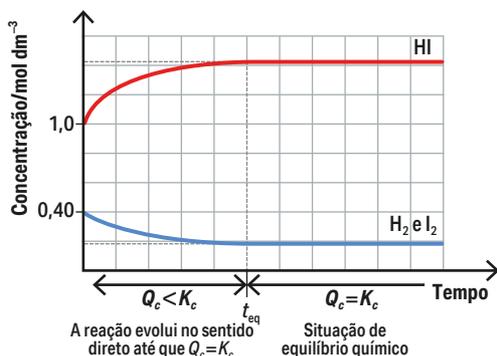
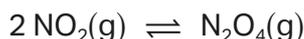


Fig. 18 Comparação de Q_c e K_c e sentido da evolução da reação.

Exercício resolvido

- 9 O $\text{NO}_2(\text{g})$ é um gás de cor vermelho-acastanhada que, em sistema fechado, existe sempre misturado com $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g})$, um gás incolor, devido à reação seguinte:



A constante de equilíbrio desta reação é 0,02 a 277 °C.

Num vaso reacional de 1,0 dm³, estão presentes, num dado instante, 0,30 mol de NO_2 e 0,40 mol de N_2O_4 , a 277 °C.

- 9.1 Verifica se nesse instante o sistema se encontra em equilíbrio químico.
- 9.2 Em que sentido o sistema evoluirá até atingir o estado de equilíbrio químico?
- 9.3 Até atingir o equilíbrio químico, a tonalidade vermelho-acastanhada do sistema reacional ficará mais escura ou mais clara? Justifica a tua resposta.
- 9.4 Compara a extensão das reações direta e inversa.

Resolução:

- 9.1. Para verificar se o sistema reacional se encontra em equilíbrio químico, deverá comparar-se Q_c com K_c , à mesma temperatura.

Cálculos das concentrações do reagente e do produto no instante considerado:

$$[\text{NO}_2] = \frac{n}{V} = \frac{0,30 \text{ mol}}{1,0 \text{ dm}^3} = 0,30 \text{ mol dm}^{-3} \quad [\text{N}_2\text{O}_4] = \frac{n}{V} = \frac{0,40 \text{ mol}}{1,0 \text{ dm}^3} = 0,40 \text{ mol dm}^{-3}$$

Cálculo da constante da reação:

$$Q_c = \frac{[\text{N}_2\text{O}_4]}{[\text{NO}_2]^2} \Leftrightarrow Q_c = \frac{0,40}{(0,30)^2} = 4,4$$

Conclusão: $Q_c \neq K_c$, por isso o sistema não se encontra em equilíbrio químico.

- 9.2. Comparação de Q_c com K_c

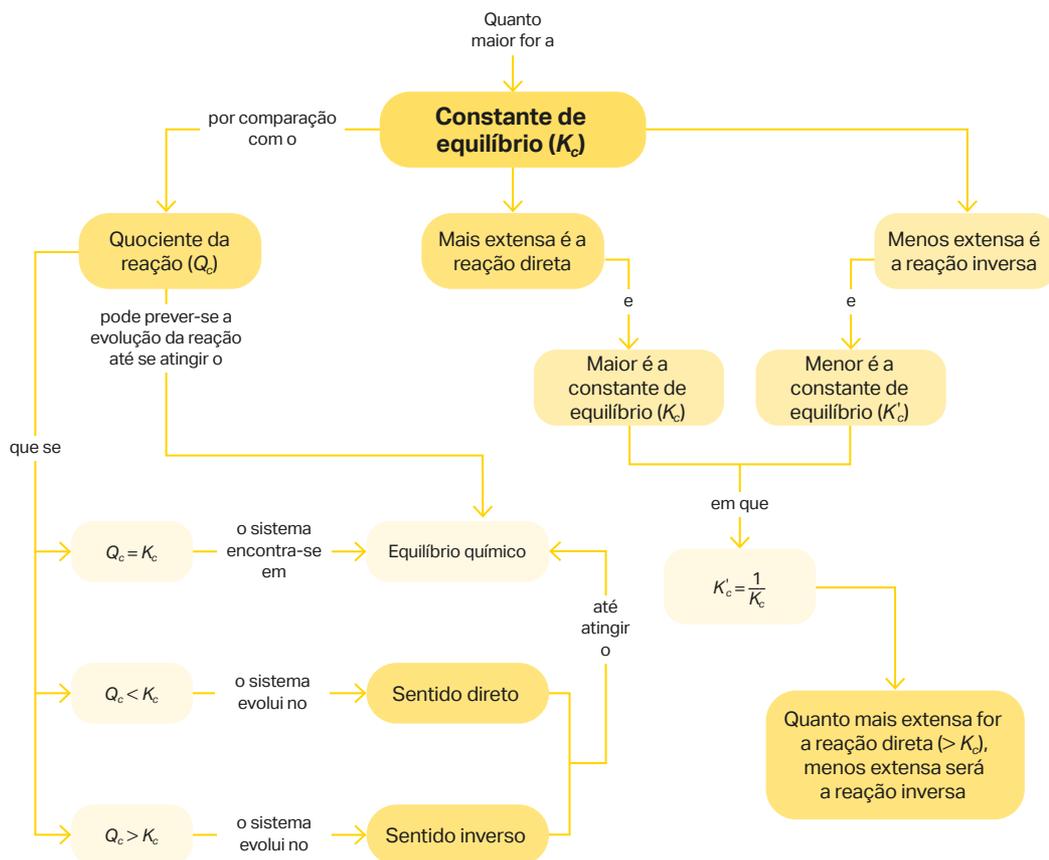
Dado que $Q_c (= 4,4) > K_c (= 0,02)$, a reação não se encontra em equilíbrio químico e, para atingir esse estado de equilíbrio, Q_c deverá diminuir até igualar K_c , ou seja, o sistema terá de evoluir no sentido da diminuição da concentração do produto (N_2O_4) e do aumento da concentração do reagente (NO_2) – a reação inversa é favorecida.

- 9.3. Dado que, para atingir o equilíbrio químico, o sistema evoluirá no sentido da formação de NO_2 , que apresenta uma cor vermelho-acastanhado, esta tonalidade do sistema reacional irá intensificar-se gradualmente até atingir o estado de equilíbrio químico.
- 9.4. Escrevendo a expressão que relaciona as constantes de equilíbrio das reações direta (K_c) e inversa (K'_c), vem:

$$K'_c = \frac{1}{K_c} \Leftrightarrow K'_c = \frac{1}{0,02} = 50$$

Dado que $K'_c (50) > K_c (0,02)$, a reação inversa é mais extensa do que a direta.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

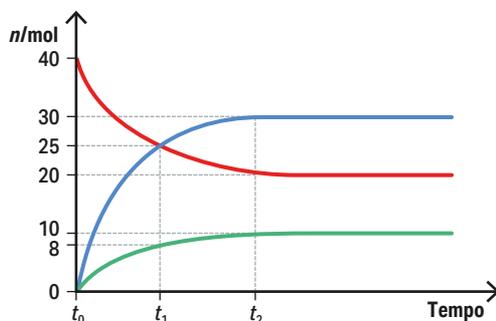
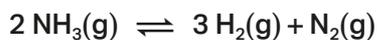
- Quanto maior for a constante de equilíbrio (K_c) de uma reação química, mais extensa será a reação no sentido direto e menos extensa no sentido inverso e quanto maior for K_c no sentido direto, menor será a constante de equilíbrio no sentido inverso (K'_c).
- Para a reação química genérica: $a A + b B \rightleftharpoons c C + d D$, em que a , b , c e d são os coeficientes estequiométricos das substâncias A, B, C e D, respetivamente, a expressão do quociente da reação (Q_c) é dada por:

$$Q_c = \frac{[C]^c \times [D]^d}{[A]^a \times [B]^b}$$

- A partir de Q_c , por comparação com K_c , pode-se prever o sentido em que a reação ocorrerá, a maior velocidade, até se atingir o equilíbrio químico:
 - se $Q_c < K_c$, o sistema evoluirá no sentido da reação direta ($R \rightarrow P$) até atingir o equilíbrio químico (até que $Q_c = K_c$);
 - se $Q_c > K_c$, o sistema evoluirá no sentido da reação inversa ($R \leftarrow P$) até atingir o equilíbrio químico (até que $Q_c = K_c$).

Exercícios de aplicação

- 1 O gráfico seguinte representa a evolução da quantidade de matéria dos componentes do sistema reacional, ao longo do tempo, que ocorre em recipiente fechado de 25 dm^3 representado por:

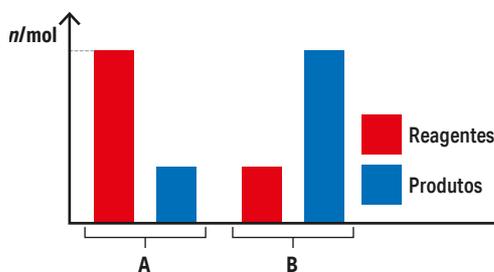


- 1.1. Qual é o quociente da reação no instante inicial, t_0 ? E no instante t_1 ?
- 1.2. Determina a constante de equilíbrio.
- 1.3. Em que sentido irá evoluir (acontece com maior velocidade) o sistema reacional de t_0 a t_2 ?

- 2 Considera os dados referentes a dois sistemas químicos, X e Y, no estado de equilíbrio, à mesma temperatura.

		K_c
X	$2 \text{ BrCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{ Br}_2(\text{g}) + \text{ Cl}_2(\text{g})$	5,0
Y	$2 \text{ HCl}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{ H}_2(\text{g}) + \text{ Cl}_2(\text{g})$	$2,44 \times 10^{-9}$

- 2.1. Indica, justificando, qual dos gráficos, A ou B, representa a relação da quantidade de produtos e de reagentes dos dois sistemas químicos no equilíbrio, supondo que partiram da mesma quantidade de reagente.



- 2.2. Num dado instante, o sistema X, é constituído por 2,0 mol de Br_2 , 2,0 mol de Cl_2 e 4,0 mol de BrCl , contidos num recipiente indeformável de 10 L, à temperatura considerada.
 - 2.2.1. Determina o quociente da reação.
 - 2.2.2. Prevê a evolução do sistema até atingir novamente o estado de equilíbrio (por comparação do quociente da reação com a constante de equilíbrio).

Alteração do estado de equilíbrio

Fatores que afetam o equilíbrio químico

Estudámos nas secções anteriores que as reações químicas reversíveis tendem para um estado de equilíbrio em que:

- as velocidades das reações direta e inversa são iguais;
- as concentrações de reagentes e produtos se mantêm constantes.

O equilíbrio químico, na maioria das reações, é altamente sensível. Pequenas variações na concentração, pressão, volume ou temperatura podem perturbar esse estado, fazendo com que a reação evolua no sentido da formação dos produtos (reação direta) ou no sentido da formação dos reagentes (reação inversa).

Fatores que podem alterar um estado de equilíbrio:

- **concentração** (em sistemas gasosos ou aquosos);
- **pressão** ou **volume** (em sistemas gasosos);
- **temperatura**.

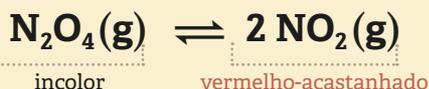
Também vimos que a constante de equilíbrio de uma reação química é influenciada exclusivamente pela temperatura.

Alterações de concentração, pressão ou volume num sistema em equilíbrio químico não alteram a constante de equilíbrio, mas afetam a posição de equilíbrio. A alteração da temperatura afeta a posição de equilíbrio por modificar a constante de equilíbrio.

O químico francês Henri Louis Le Châtelier enunciou, em 1888, o princípio conhecido como Princípio de Le Châtelier, que permite prever a evolução de um sistema inicialmente em equilíbrio quando há variação de algum dos fatores externos que influenciam esse estado de equilíbrio.

Princípio de Le Châtelier – quando, a um sistema em equilíbrio químico, se altera um dos fatores de que depende esse equilíbrio, o sistema evolui no sentido de contrariar essa perturbação.

Analisaremos, a seguir, como cada um desses fatores afeta um sistema reacional em equilíbrio químico, prevendo o sentido da evolução do equilíbrio à luz do Princípio de Le Châtelier, com base num sistema fechado:



Concentração

De acordo com o Princípio de Le Châtelier, a variação na concentração de reagentes ou produtos provoca uma alteração no equilíbrio químico. Quando há adição de um reagente, como o N_2O_4 , o sistema é perturbado, e a reação evolui no sentido de consumir N_2O_4 , promovendo a formação de NO_2 , até que um novo estado de equilíbrio seja alcançado.

O gráfico da **figura 19** evidencia as alterações provocadas no equilíbrio químico da reação em estudo, por aumento da concentração do reagente N_2O_4 .

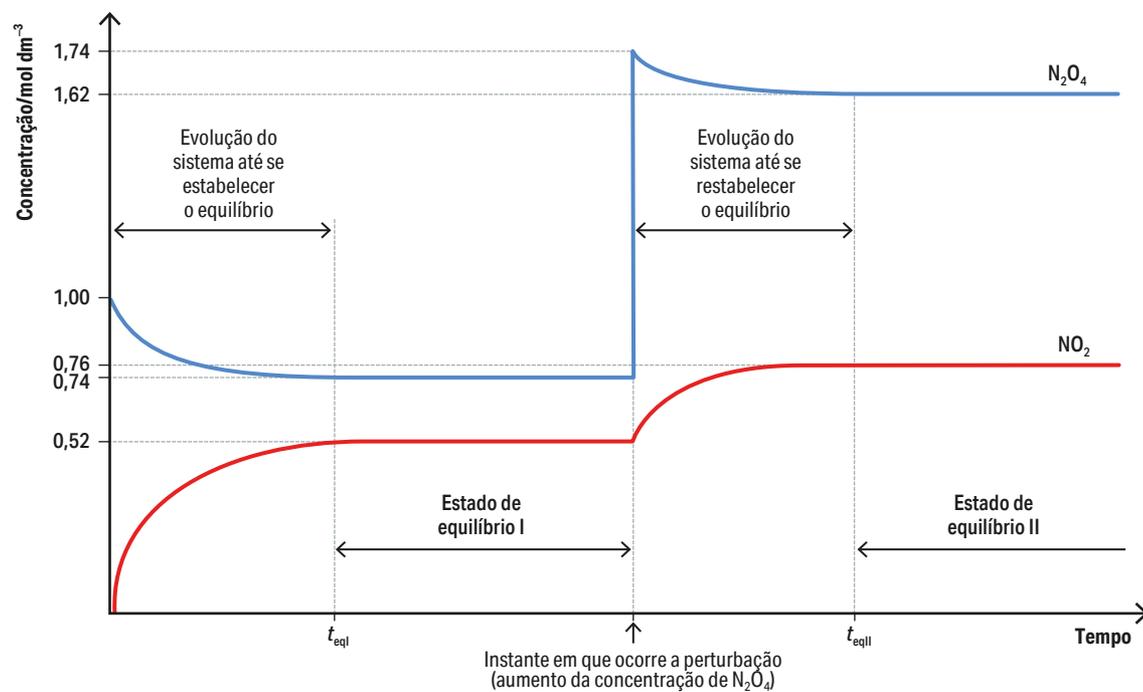
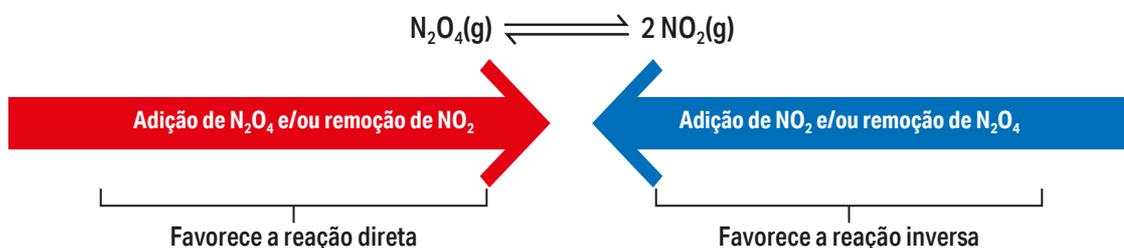


Fig. 19 Variação da concentração do reagente e do produto da reação $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ por aumento da concentração do reagente – análise qualitativa (aplicação do Princípio de Le Châtelier) e quantitativa (cálculo de Q_c e K_c). Depois de atingido o primeiro estado de equilíbrio, o mesmo é perturbado pela adição de 1 mol de N_2O_4 ao sistema reacional fechado de volume 1 L.

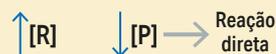
A análise do gráfico da **figura 19** permite concluir que:

- o aumento da concentração de N_2O_4 (a temperatura e volume constantes) favorece a formação de NO_2 . Isso é evidenciado pelo aumento da concentração de NO_2 de $0,52 \text{ mol dm}^3$ para $0,76 \text{ mol dm}^3$, indicando que a reação evoluiu no sentido direto para reduzir a concentração de N_2O_4 previamente aumentada;
- a constante de equilíbrio (K_c) permaneceu inalterada nos dois estados de equilíbrio.

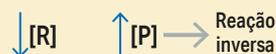
De acordo com o Princípio de Le Châtelier, o aumento da concentração de um reagente favorece a reação direta, enquanto o aumento da concentração de um produto favorece a reação inversa. Além disso, a remoção de parte do reagente ou do produto de um sistema em equilíbrio faz com que o sistema evolua no sentido de compensar essa alteração.



O aumento da concentração de um dos reagentes e/ou a diminuição da concentração de um dos produtos faz evoluir a reação no sentido direto, até atingir um novo estado de equilíbrio.

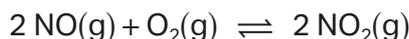


A diminuição da concentração de um dos reagentes e/ou o aumento da concentração de um dos produtos faz evoluir a reação no sentido inverso, até atingir um novo estado de equilíbrio.



Exercício resolvido

- 10 Considera a seguinte equação química que representa um sistema em equilíbrio químico, em recipiente fechado e indeformável:



Recorrendo ao Princípio de Le Châtelier, indica em que sentido evoluirá a reação, até atingir um novo estado de equilíbrio, quando o sistema em equilíbrio for perturbado por:

- 10.1 adição de NO ao sistema;
10.2 adição de NO₂ ao sistema.

Resolução:

- 10.1. Segundo o Princípio de Le Châtelier, quando, a um sistema em equilíbrio, se altera um dos fatores de que depende esse equilíbrio, o sistema evolui no sentido de contrariar essa perturbação. Neste caso, a perturbação causada foi o aumento da concentração de NO. Para evitar o aumento da concentração, o sistema evoluirá de forma a contrariar esse aumento, levando a que alguma da quantidade adicionada diminua, forçando, assim, a evolução da reação no sentido direto até se restabelecer um novo estado de equilíbrio.
- 10.2. De acordo com o Princípio de Le Châtelier, para contrariar a adição deste produto, o sistema, inicialmente em equilíbrio, evoluirá de forma a contrariar essa alteração, levando a que alguma da quantidade adicionada diminua, provocando, assim, a evolução da reação no sentido inverso até se restabelecer um novo estado de equilíbrio.

Atividade Laboratorial 4

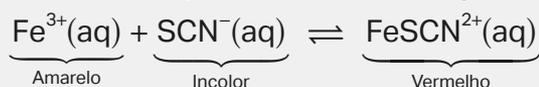
Objetivo:

Investigar alterações de equilíbrios químicos num sistema aquoso por variação da concentração de reagentes e produtos.

Contexto teórico:

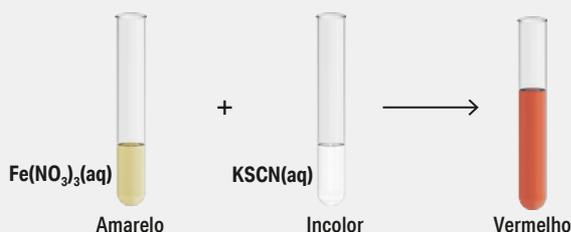
Informação 1 – Características da reação em estudo

Vamos deduzir as deslocações do equilíbrio numa reação com reagentes corados, cuja intensidade da cor depende da concentração.



Nesta reação química, os iões Fe^{3+} e SCN^{-} serão provenientes de soluções aquosas de nitrato de ferro(III), $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, e de tiocianato de potássio, KSCN , previamente preparadas.

A figura evidencia as cores destas soluções de concentração $0,010 \text{ mol dm}^{-3}$ e a cor da solução resultante quando se adiciona o mesmo volume destas duas soluções reagentes.



Informação 2 – Alterações ao estado de equilíbrio

Para estudar o efeito do aumento da concentração dos reagentes no estado de equilíbrio iremos usar soluções aquosas de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ e KSCN . E para estudar o efeito da diminuição de reagentes iremos usar soluções aquosas de hidróxido de sódio, NaOH , e de nitrato de prata, AgNO_3 .

A adição de $\text{NaOH}(\text{aq})$ irá provocar a diminuição da concentração dos iões Fe^{3+} , uma vez que ocorre a formação de um precipitado insolúvel, o hidróxido de ferro(III), $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{s})$.

Por sua vez, a adição de $\text{AgNO}_3(\text{aq})$, ao levar à formação do precipitado $\text{AgSCN}(\text{s})$, irá remover iões SCN^{-} , provocando uma diminuição da sua concentração em solução.

Iremos, assim, realizar quatro ensaios, necessitando, portanto, de quatro amostras de soluções aquosas de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ e KSCN . Para facilitar as observações de mudança de cor, por alteração das concentrações dos reagentes, usaremos ainda uma amostra de controlo (também designada por ensaio em branco). Os ensaios serão realizados em microescala (reduzidas quantidades de reagentes), respeitando um dos princípios da química verde.

Questões prévias:

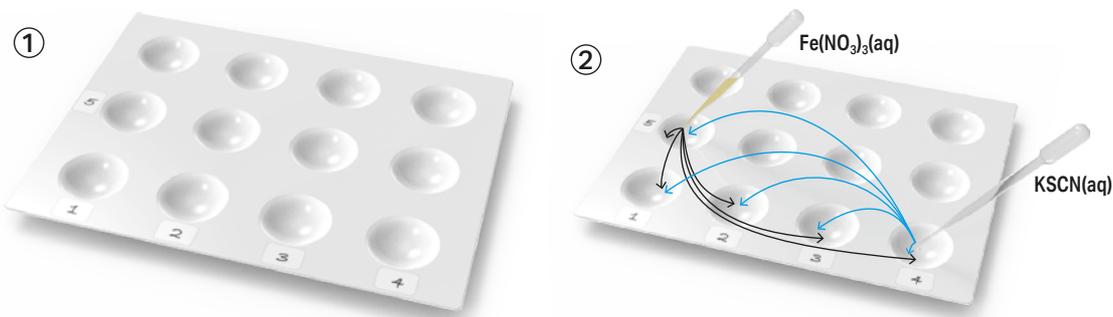
- 1 Escreve as equações químicas que traduzem:
 - 1.1. a dissociação dos sais $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ e KSCN em solução aquosa;
 - 1.2. as reações de formação dos dois precipitados referidos na informação 2.
- 2 Prevê o efeito no equilíbrio e na cor do sistema reacional da adição, ao sistema em equilíbrio químico, de algumas gotas de solução aquosa de:
 - 2.1. $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$; 2.2. KSCN ; 2.3. NaOH ; 2.4. AgNO_3 .
- 3 Selecciona a afirmação que completa corretamente a frase seguinte:
A realização da atividade laboratorial em pequena escala tem o propósito de...
 - (A) minimizar o gasto de reagentes.
 - (B) facilitar a observação das alterações de cor.
 - (C) reduzir a formação de resíduos.
 - (D) minimizar a exposição a substâncias perigosas.
- 4 Pesquisa sobre os efeitos ambientais do ião tiocianato quando presente em elevadas concentrações em ambientes aquáticos. Regista as principais conclusões e discute com o teu grupo.

Material:

- 1 placa de microanálise com 6 ou mais cavidades
- Microvaretas (ou palitos)
- 5 pipetas de Pasteur (ou conta-gotas)
- 2 pipetas graduadas de 5 mL
- Água destilada
- $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ $0,010 \text{ mol dm}^{-3}$
- $\text{KSCN}(\text{aq})$ $0,010 \text{ mol dm}^{-3}$
- $\text{NaOH}(\text{aq})$ $0,010 \text{ mol dm}^{-3}$
- $\text{AgNO}_3(\text{aq})$ $0,010 \text{ mol dm}^{-3}$

Procedimento experimental:**Parte I – Preparação da mistura de soluções em equilíbrio**

- 1 Numerar cinco cavidades da placa de microanálise de 1 a 5 (Ⓛ).
- 2 Colocar em cada uma das cavidades 2 gotas de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3(\text{aq})$ e 2 gotas de $\text{KSCN}(\text{aq})$ (Ⓜ).



3. Agitar com uma microvareta (ou palito) até surgir a cor vermelha prevista. A amostra contida na cavidade 1 será usada como amostra de controlo.

Para reflexão – Parte I

1. A que se deve a cor vermelha observada?
2. Podemos afirmar que o equilíbrio químico foi atingido? Porquê?
3. Que iões estão presentes em cada uma das cavidades?
4. Em que consiste a amostra de controlo? Qual é a sua importância?

Parte II – Estudo do efeito da variação da concentração de reagentes no equilíbrio

4. Ao conteúdo da cavidade 1, adicionar 2 gotas de água destilada.
5. Ao conteúdo da cavidade 2, adicionar 2 gotas da solução aquosa de $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$. Agitar com uma microvareta limpa. Observar e registar a alteração de cor.
6. Ao conteúdo da cavidade 3, adicionar 2 gotas da solução aquosa de KSCN . Agitar com uma microvareta limpa. Observar e registar a alteração de cor.
7. Ao conteúdo da cavidade 4, adicionar 2 gotas da solução aquosa de NaOH . Agitar com uma microvareta limpa. Observar e registar a alteração de cor.
8. Ao conteúdo da cavidade 5, adicionar 2 gotas da solução aquosa de AgNO_3 . Agitar com uma microvareta limpa. Observar e registar a alteração de cor.

Para reflexão – Parte II

1. As cores observadas nas cavidades de 2 a 5 estão de acordo com o previsto?
2. Em que sentido evoluiu o equilíbrio químico inicial nos ensaios efetuados nas cavidades de 2 a 5?
3. Por que razão foi importante usar todas as soluções aquosas com as mesmas concentrações iniciais?
4. Por que razão se adicionaram 2 gotas de água destilada na cavidade 1?

Registo de observações:

Elabora uma tabela em que registes as observações.

Conclusões:

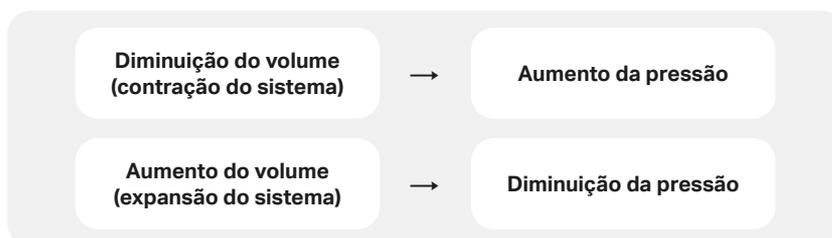
Responde à seguinte questão: *Que alterações se observam no equilíbrio químico relativo à formação do tiocianato de ferro(III), $[\text{FeSCN}]^{2+}$, a partir da reação entre o ião ferro(III), Fe^{3+} , e o ião tiocianato, SCN^- , quando se altera a concentração de um dos reagentes ou do produto?*

Na resposta à questão, aborda os seguintes tópicos:

- explicação da alteração de cor observada em cada sistema reacional, com base no Princípio de Le Châtelier;
- interpretação do efeito da variação da concentração de reagentes e de produto na progressão global da reação, por comparação do quociente da reação com a constante de equilíbrio.

Pressão/volume

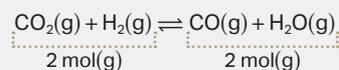
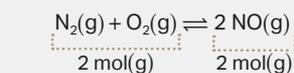
O efeito da variação de pressão é observado exclusivamente em sistemas químicos fechados que contenham componentes gasosos, sejam reagentes ou produtos. Quando o volume do recipiente que abriga a mistura gasosa é reduzido, ocorre um aumento na pressão interna, e vice-versa.



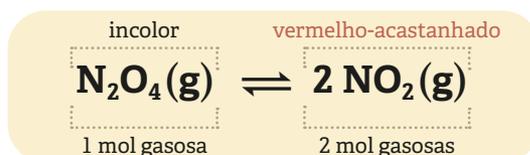
De acordo com o Princípio de Le Châtelier, o aumento da pressão sobre o sistema em equilíbrio forçará este a reagir, evoluindo para um novo estado de equilíbrio, de forma que esta ação externa seja diminuída. Este aumento da pressão do sistema em equilíbrio será diminuído por evolução da reação no sentido do menor número de moles no estado gasoso (menor volume ocupado).

Nos equilíbrios em que o número de moles de reagentes e produtos no estado gasoso for igual, a variação de pressão não afeta o equilíbrio.

Exemplos:



Continuando com o mesmo exemplo:



Por cada mol de N_2O_4 , formam-se 2 mol de NO_2 . Um aumento da pressão favorece o sentido inverso, isto é, a produção de N_2O_4 , diminuindo o rendimento da reação química.

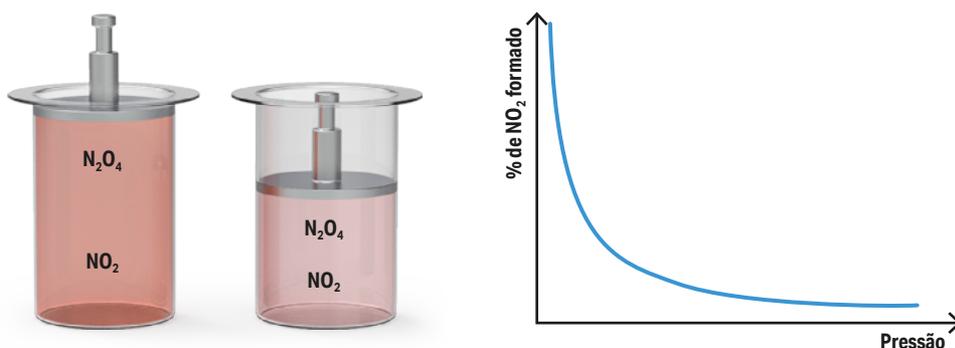


Fig. 20 Efeito do aumento da pressão no equilíbrio químico $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$: evolução da reação no sentido do menor número de moles no estado gasoso (sentido da formação do N_2O_4), aumentando a quantidade de N_2O_4 (incolor).

O gráfico da **figura 21** evidencia o efeito do aumento da pressão (contração do volume) nas concentrações de reagentes e produtos e na constante de equilíbrio, K_c .

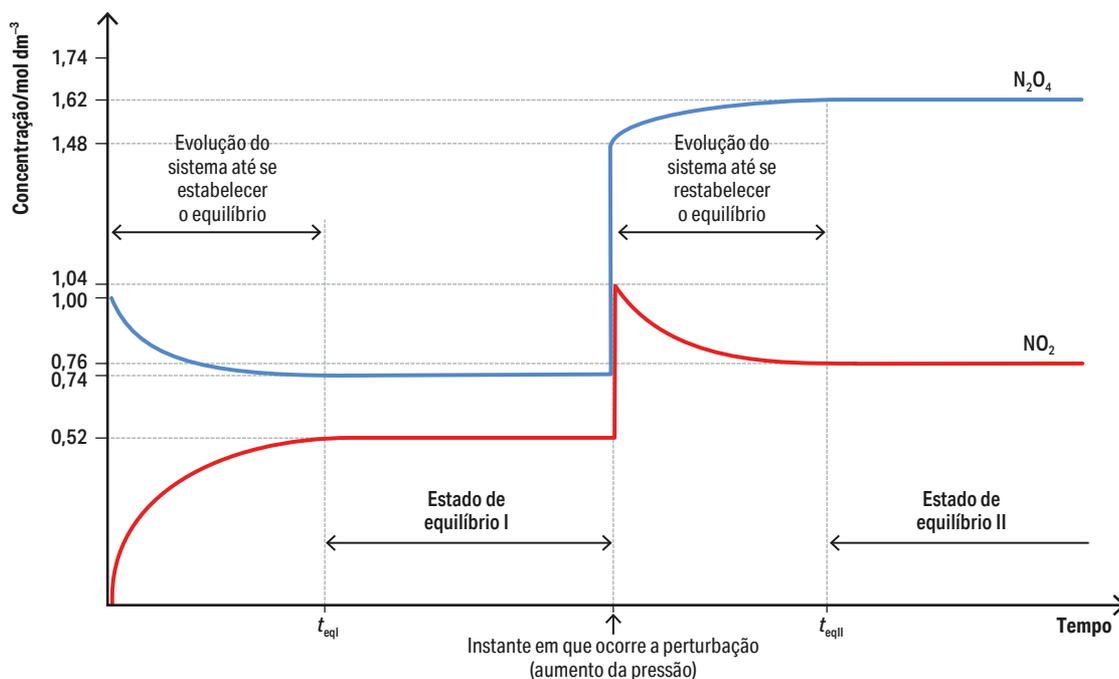
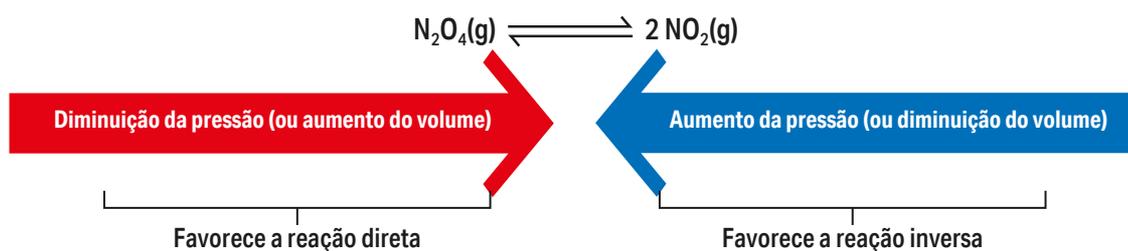


Fig. 21 Efeito do aumento da pressão no equilíbrio químico relativo à reação $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ – a reação evolui no sentido do menor número de moles (sentido da formação do N_2O_4), aumentando a quantidade de NO_2 .

A análise do gráfico da **figura 21** permite concluir que:

- o aumento da pressão (a temperatura constante) favorece a produção de N_2O_4 (a concentração de N_2O_4 aumentou de $0,74 \text{ mol dm}^{-3}$ para $1,47 \text{ mol dm}^{-3}$), fazendo evoluir a reação no sentido do menor número de moles no estado gasoso (sentido inverso);
- a constante de equilíbrio mantém-se constante nos dois estados de equilíbrio (porque a temperatura se mantém constante).

De acordo com o Princípio de Le Châtelier, uma diminuição da pressão sobre o sistema em equilíbrio terá um efeito oposto ao do seu aumento: deslocação do equilíbrio no sentido do maior número de moles no estado gasoso, dado que contraria o efeito da perturbação.



O aumento da pressão (por diminuição de volume) faz evoluir a reação no sentido do menor número de moles no estado gasoso, até atingir um novo estado de equilíbrio.



A diminuição da pressão (por aumento de volume) faz evoluir a reação no sentido do maior número de moles no estado gasoso, até atingir um novo estado de equilíbrio.



Tal como acontece com a **alteração da concentração**, a **alteração da pressão ou do volume** num sistema em equilíbrio pode modificar a posição de equilíbrio, mas **não altera a constante de equilíbrio** da reação (que só depende da temperatura).

Temperatura

Já vimos que:

- a variação da concentração, da pressão ou do volume afeta o estado de equilíbrio de um sistema reacional, mas não altera a constante de equilíbrio;
- a variação da temperatura altera a constante de equilíbrio da reação.

Para avaliar o efeito da variação da temperatura num sistema em equilíbrio químico, importa saber se a reação é endotérmica ($\Delta H > 0$) ou exotérmica ($\Delta H < 0$).

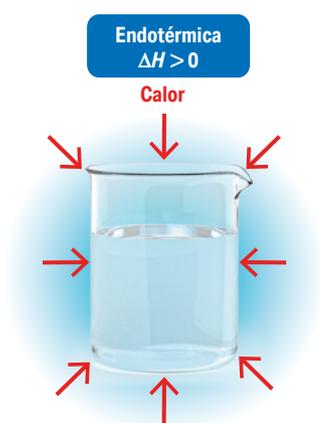
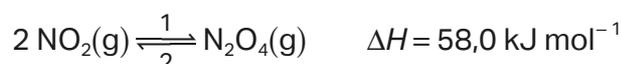


Fig. 22 Uma reação endotérmica absorve calor da vizinhança, em sistema não isolado.



Fig. 23 Uma reação exotérmica liberta calor para a vizinhança, em sistema não isolado.

Continuando com o exemplo da reação:



A reação direta (sentido 1) é endotérmica (absorve energia térmica) e a reação inversa (sentido 2) é, portanto, exotérmica (liberta energia térmica).

O gráfico da **figura 24** evidencia as alterações provocadas no equilíbrio químico relativo a esta reação, por aumento da temperatura, permitindo comprovar a influência da variação da temperatura na extensão da reação química e na constante de equilíbrio.

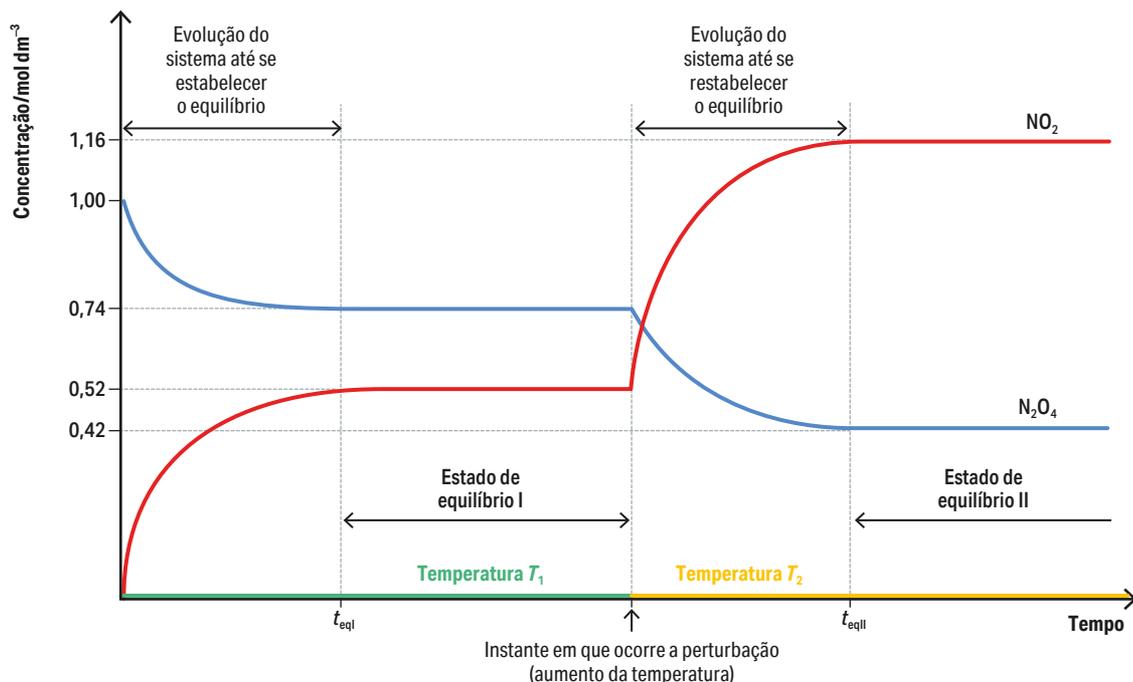
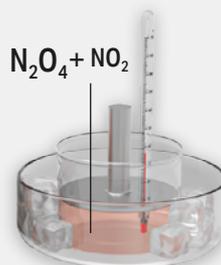


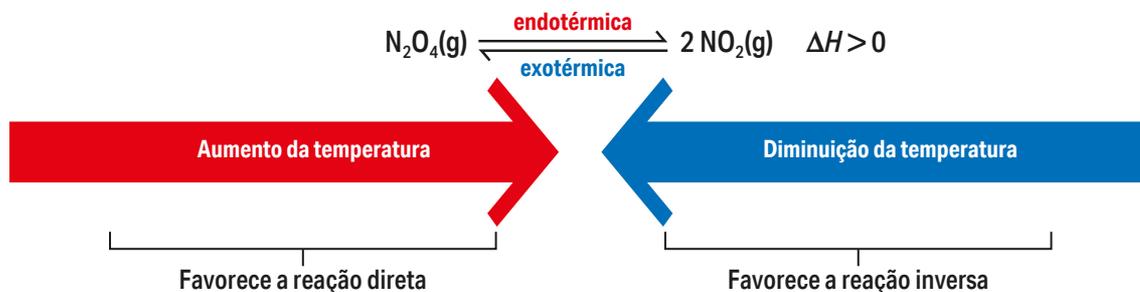
Fig. 24 Efeito do aumento da temperatura no equilíbrio químico relativo à reação $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ – evolução do sistema no sentido da reação endotérmica (sentido da formação do NO_2), aumentando a quantidade de NO_2 .

A análise do gráfico da **figura 24** permite concluir que:

- a constante de equilíbrio foi alterada em consequência da alteração da temperatura do sistema;
- K_c desta reação aumentou com o aumento da temperatura;
- o aumento da temperatura favoreceu a produção de NO_2 (a concentração de NO_2 aumentou de $0,52 \text{ mol dm}^{-3}$ para $1,16 \text{ mol dm}^{-3}$), verificando-se a evolução do sistema no sentido da reação endotérmica (sentido direto), ocorrendo absorção de energia para compensar a perturbação feita (aumento de energia).

A observação do atenuar da cor vermelho-acastanhado com a diminuição da temperatura comprova que a reação $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$ é endotérmica no sentido direto.





Este exemplo mostra que é possível chegar às mesmas conclusões aplicando o Princípio de Le Châtelier: a diminuição da temperatura vai favorecer o equilíbrio no sentido da reação exotérmica (sentido 2), dado que esta liberta parte do calor, atenuando o efeito do arrefecimento.

O aumento da temperatura de um sistema em equilíbrio conduz a um acréscimo de energia e o sistema terá de evoluir no sentido de contrariar esta alteração (diminuição dessa energia), que é o sentido da reação endotérmica, até atingir um novo estado de equilíbrio.



A diminuição da temperatura de um sistema em equilíbrio conduz a um decréscimo de energia e o sistema terá de evoluir no sentido de contrariar esta alteração (aumento dessa energia), que é o sentido da reação exotérmica, até atingir um novo estado de equilíbrio.



A tabela e o gráfico da **figura 25** apresentam alguns K_c em função da temperatura para a reação em estudo.

No caso do equilíbrio:

$2 \text{NO}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{N}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \quad \Delta H < 0$
(reação exotérmica no sentido direto), o aumento da temperatura provoca uma diminuição de K_c .

$T/^\circ\text{C}$	K_c
25	$2,22 \times 10^{30}$
575	$6,67 \times 10^9$
925	$5,57 \times 10^6$
1500	$8,33 \times 10^3$

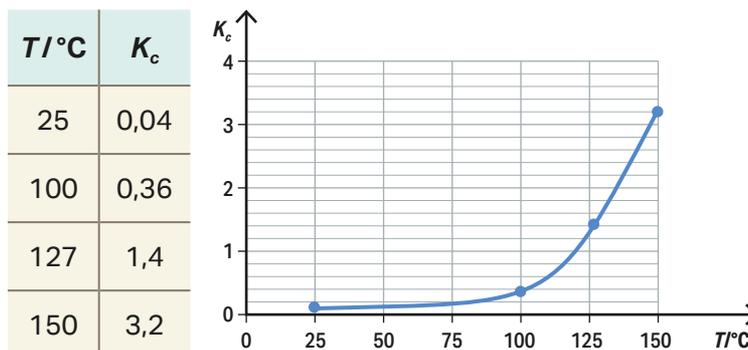
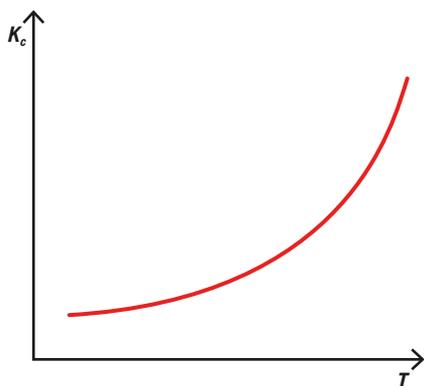


Fig. 25 K_c em função da temperatura para a reação $\text{N}_2\text{O}_4(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{NO}_2(\text{g})$, com $\Delta H = 58,0 \text{ kJ mol}^{-1}$.

Os esboços dos gráficos da **figura 26** ilustram, de um modo geral, a variação de K_c em função da temperatura, no caso das reações endotérmicas e das reações exotérmicas.

Nas reações endotérmicas, K_c aumenta com o aumento da temperatura.



Nas reações exotérmicas, K_c diminui com o aumento da temperatura.

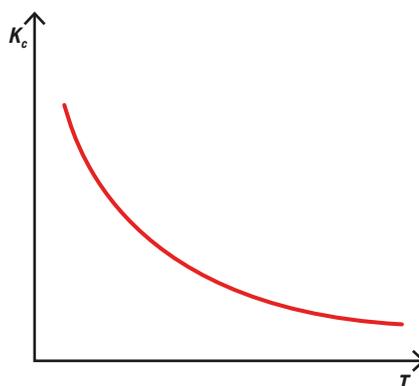


Fig. 26 Variação de K_c em função da temperatura no caso das reações endotérmicas e exotérmicas.

Exercício resolvido

- 11** Considera a produção industrial do ácido sulfúrico, a partir da reação química traduzida por $2 \text{SO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g}) \rightleftharpoons 2 \text{SO}_3(\text{g})$, num recipiente cilíndrico, provido de um êmbolo móvel, e as constantes de equilíbrio (K_c) relativos a uma das etapas de produção industrial do ácido sulfúrico, a diferentes temperaturas.

$T/^\circ\text{C}$	700	900	1100
K_c	401	11	0,9

- 11.1** A reação no sentido da formação do SO_3 é endotérmica ou exotérmica? Justifica.
- 11.2** Indica, aplicando o Princípio de Le Châtelier, o efeito no rendimento da reação, por alteração dos seguintes fatores externos:
- 11.2.1** redução da pressão por aumento de volume;
- 11.2.2** aumento da temperatura do sistema reacional.

Resolução:

- 11.1.** Analisando os dados da tabela, verifica-se que quanto maior é a temperatura, menor é o valor de K_c (menos extensa é a reação) no sentido direto (sentido da formação do SO_3). Dado que se verifica que o aumento da temperatura favorece a produção do reagente (sentido inverso), a reação será exotérmica no sentido direto.

12.2.1 Reduzindo-se a pressão por expansão de volume, o equilíbrio irá deslocar-se, de acordo com o Princípio de Le Châtelier, no sentido de contrariar a alteração feita, isto é, para o lado de maior volume (maior quantidade de matéria de substâncias no estado gasoso).

Dado que a quantidade de matéria de reagentes gasosos é 3 mol (2 + 1) e a de produto 2 mol, o sistema deslocar-se-á no sentido inverso, até atingir um novo estado de equilíbrio.

Sendo este sentido oposto ao da formação do SO_3 , a quantidade deste produto irá, conseqüentemente, diminuir.

O rendimento da reação avalia-se pela quantidade do produto formado, face ao previsto caso o rendimento fosse de 100%:

$$\eta(\%) = \frac{n_{\text{SO}_3 \text{ formado}}}{n_{\text{SO}_3 \text{ previsto}}} \times 100\%$$

Dado que a quantidade do SO_3 irá diminuir, o rendimento da reação também irá diminuir com o aumento da temperatura.

12.2.2 A elevação da temperatura do sistema em equilíbrio, de acordo com o Princípio de Le Châtelier, irá provocar uma reação no sentido de se opor a essa elevação, isto é, no sentido do consumo de calor (reação endotérmica), até atingir um novo estado de equilíbrio.

Dado que a reação é endotérmica no sentido inverso e que é o sentido do gasto do produto, o aumento da temperatura levará a uma diminuição da concentração de SO_3 na mistura reacional e, conseqüentemente, a uma diminuição do rendimento da reação.

Catalisador

A presença de catalisadores numa reação química aumenta a velocidade das reações direta e inversa, mas não altera a posição de equilíbrio químico. Isto é, a adição de um catalisador a um sistema reacional não influencia a constante de equilíbrio nem o rendimento obtido no processo.

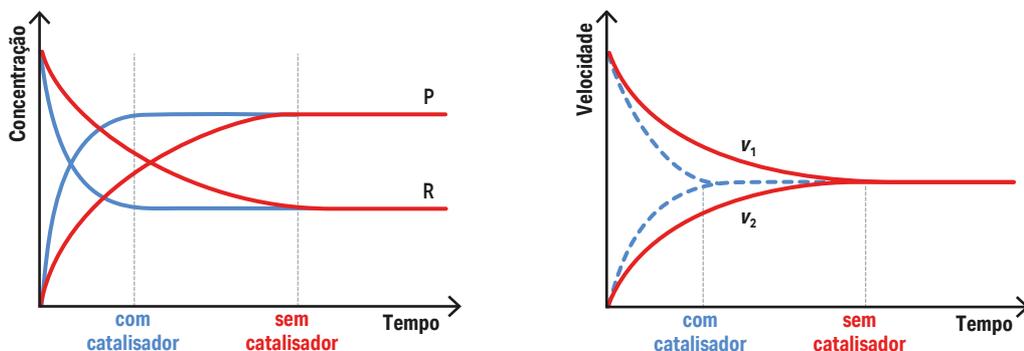


Fig. 27 Esboços dos gráficos da evolução da concentração de reagente e produto e das velocidades das reações direta e inversa com e sem catalisador, para uma reação genérica $A + B \rightleftharpoons C + D$.



Fig. 28 O equilíbrio, na situação II, nas mesmas condições de p e T , é atingido mais rapidamente. Nota que, partindo das mesmas concentrações iniciais, as concentrações no equilíbrio são iguais nas duas situações.

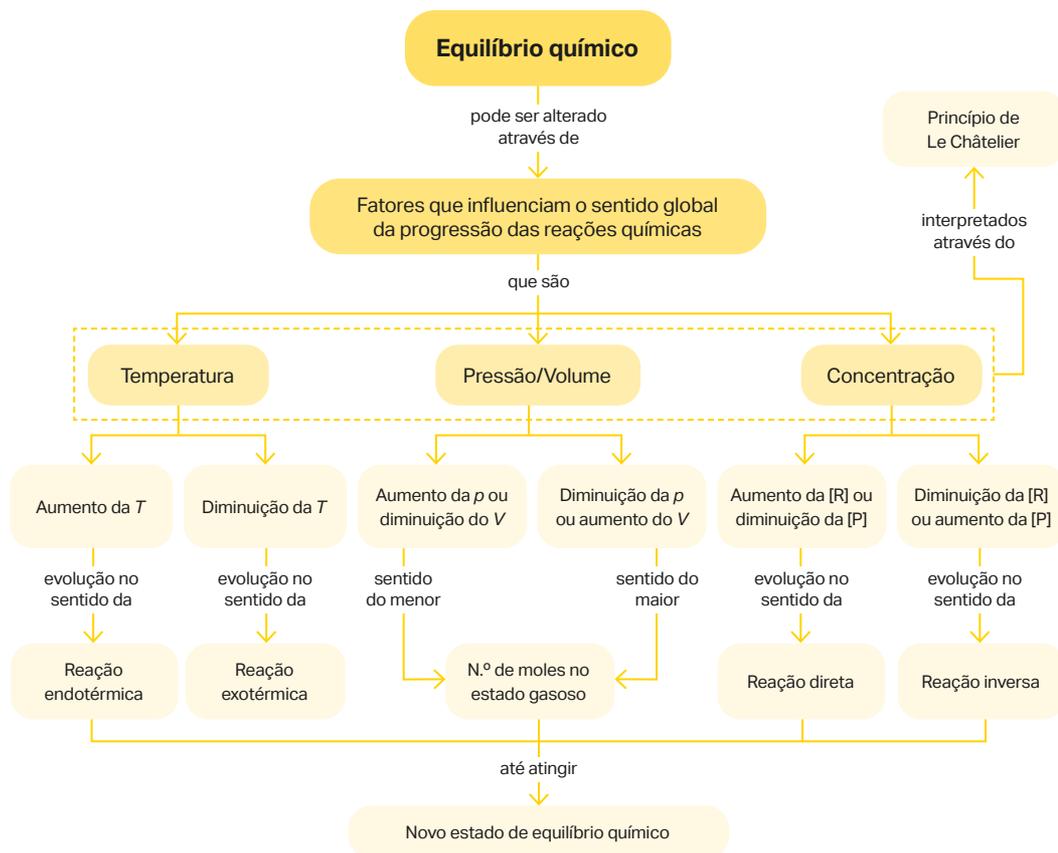
O uso de um catalisador diminui o tempo necessário para o sistema em análise atingir o equilíbrio químico (aumenta a velocidade das reações direta e inversa), mas não altera K_c nem o rendimento da reação.

O **quadro 10** apresenta um resumo dos efeitos da alteração dos fatores de que depende o equilíbrio químico no valor de K_c e no rendimento da reação.

	Perturbação externa	Altera o equilíbrio? Em que sentido?	Altera o valor de K_c ?	Altera o rendimento da reação?
Concentração	Aumento da concentração de um reagente ou diminuição da concentração de um produto	Sim – no sentido da formação dos produtos (direto)	Não	Sim
	Diminuição da concentração de um reagente ou aumento da concentração de um produto	Sim – no sentido da formação dos reagentes (inverso)	Não	Sim
Pressão/Volume	Aumento da pressão ou diminuição do volume do sistema	Sim – no sentido do menor número de moles gasosas	Não	Sim
	Diminuição da pressão ou aumento do volume do sistema	Sim – no sentido do maior número de moles gasosas	Não	Sim
Temperatura	Aumento da temperatura do sistema	Sim – no sentido da reação endotérmica	Sim • aumenta se a reação direta for endotérmica; • diminui se a reação direta for exotérmica.	
	Diminuição da temperatura do sistema	Sim – no sentido da reação exotérmica	Sim • diminui se a reação direta for endotérmica; • aumenta se a reação direta for exotérmica.	
Adição de catalisador(es)		Não	Não	Não

Quadro 11 Efeitos da alteração dos fatores de que depende o equilíbrio químico.

Mapa de conceitos



Síntese de conteúdos

Os fatores que podem alterar o estado de equilíbrio químico incluem **concentração**, **pressão**, **volume** e **temperatura**.

Alterações de concentração, pressão ou volume afetam a posição de equilíbrio, mas não a constante de equilíbrio, enquanto mudanças de temperatura alteram ambas. Segundo o Princípio de Le Châtelier, o sistema reage para contrariar a perturbação:

- **Concentração:** aumentar a concentração dos reagentes ou diminuir a dos produtos favorece o sentido direto; o oposto favorece o sentido inverso.
- **Pressão/Volume:** aumentar a pressão (diminuir volume) favorece o menor número de moles gasosos; diminuir a pressão (aumentar volume) favorece o maior número de moles gasosos.
- **Temperatura:** aumentar a temperatura favorece reações endotérmicas; diminuir a temperatura favorece reações exotérmicas. K_c aumenta com a temperatura em reações endotérmicas e diminui em exotérmicas.
- **Catalisador:** acelera o alcance do equilíbrio sem alterar K_c ou o rendimento da reação.

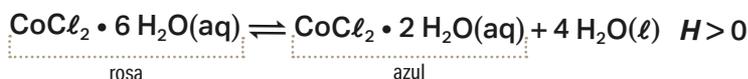
Exercícios de aplicação

- 1 Considera a síntese do amoníaco a partir de dinitrogénio e de di-hidrogénio. Na tabela apresenta-se o rendimento desta, em diferentes condições experimentais.

	Pressão /atm	Temperatura/°C		
		400	500	600
$N_2(g) + 3 H_2(g) \rightleftharpoons 2 NH_3(g)$	200	38,7%	18,9%	8,8%
	300	47,8%	26,0%	12,8%
	400	54,9%	32,2%	16,9%

- 1.1. Com base na informação apresentada, deduz se o processo de síntese do NH_3 é endotérmico ou exotérmico.
- 1.2. Explica a variação do rendimento da síntese do NH_3 com o aumento de temperatura.
- 1.3. Justifica o facto de o processo de síntese do NH_3 apresentar maior rendimento a pressões superiores.

- 2 Um grupo de alunos realizou uma atividade para estudar o efeito da variação da concentração num sistema em equilíbrio químico, dissolvendo cloreto de cobalto(II) hexa-hidratado em água e permitindo que o sistema atingisse o estado de equilíbrio químico.



- 2.1. Indica a cor apresentada pelo sistema reacional passados alguns instantes.
- 2.2. Depois colocaram 10 gotas de solução em duas cavidades de uma placa de microanálise e realizaram os seguintes ensaios:

Cavidade 1	Cavidade 2
Adição de 3 grãos de $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Adição de 5 gotas de água

- 2.2.1. Indica, justificando com base no Princípio de Le Châtelier, a alteração de cor observada em cada uma das cavidades.
- 2.2.2. Foi preparada uma amostra dessa solução num tubo de ensaio que foi colocado num banho de água quente. A cor da solução tornou-se mais azul ou mais rosa? Justifica.

Anexos

Material de laboratório



Picnômetro de sólidos



Picnômetro de líquidos



Pipeta de Pasteur



Gobelé ou copo



Pipeta conta-gotas



Balão de Erlenmeyer ou matraz



Proveta



Balão volumétrico



Garrafa de esguicho



Espátulas



Vidro de relógio



Lamparina de álcool



Cápsula de porcelana



Pompete



Macrocontrolador de pipetas



Balança de precisão



Balança analítica



Pipeta graduada



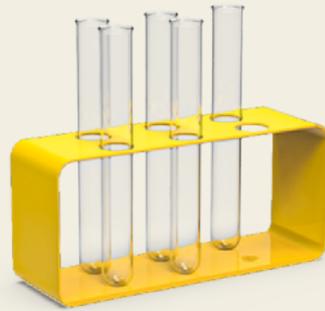
Pipeta volumétrica



Bureta



Frasco de reagentes



Suporte com tubos de ensaio



Termômetro digital



Termômetro analógico



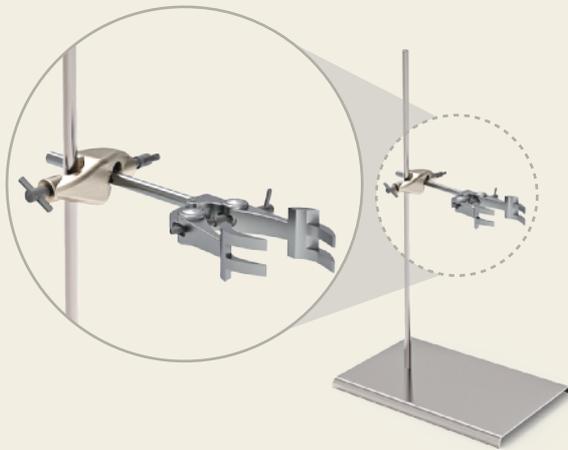
Funil de líquidos



Funil de carga



Manta de aquecimento



Suporte universal com noz e garra



Placa de aquecimento



Colher de combustão



Placa de microanálise



Agitador magnético



Medidor de pH

TESTE DIAGNÓSTICO

Página 4

1.1. $M(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180,18 \text{ g mol}^{-1}$

1.2. $n = 8,32 \times 10^{-2} \text{ mol}$

2.1. $c_m = 0,075 \text{ mg/mL} = 0,075 \text{ g/L}$

2.2. $c = 3,25 \times 10^{-3} \text{ mol/dm}^3$

2.3. (C)

3.1. $n = 8,00 \text{ mol}$

3.2. $m = 256 \text{ g}$

3.3. Pela estequiometria da reação:

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 8,00 \text{ mol}$$

$$n(\text{CO}_2) = 4,00 \text{ mol}$$

4.1.1. Solução, porque é uma mistura homogénea composta por várias substâncias numa só fase.

4.1.2. Coloide, porque é uma mistura heterogénea quando observada ao microscópio.

4.1.3. Suspensão, porque é uma mistura heterogénea a olho nu.

4.1.4. Solução, porque é uma mistura homogénea composta por várias substâncias numa só fase.

4.2. Com o aumento da temperatura, a energia cinética média das partículas de um gás aumenta.

4.3.1. Difusão.

4.3.2. A difusão é a capacidade que as moléculas dos gases (ou átomos, no caso dos gases nobres) têm de se movimentarem espontaneamente através de outro gás.

4.4. As partículas no estado gasoso têm mais liberdade de movimento e têm mais espaços vazios entre elas do que nos restantes estados físicos, facilitando a alta miscibilidade dos gases. Adicionalmente, os gases tendem a ocupar todo o volume do recipiente que os contêm e, dado o espaço vazio existente, são facilmente compressíveis.

TEMA 1

Página 17

1. (B)

2.1. $V_m = \frac{(33,6 - 0,0) \text{ dm}^3}{(1,50 - 0,00) \text{ mol}} = 22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$

2.2. $V = 67,2 \text{ dm}^3$

3. $m = 5,0 \text{ g}$; $\rho = 1,25 \text{ g dm}^{-3}$

4.1. $V = 1,55 \times 10^3 \text{ dm}^3$

4.2. $\rho = 9,02 \times 10^{-2} \text{ g dm}^{-3}$

5.1.1. $\rho = 1,96 \text{ g dm}^{-3}$

5.1.2. $V_m(\text{O}_2) = \frac{0,500 \text{ dm}^3}{0,025 \text{ mol}} = 20 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$

Como o volume molar do dióxigénio é diferente do volume molar a 0°C e 1 atm ($22,4 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1}$), confirma-se que esta amostra não se encontra nas condições referidas.

5.2. $x_{\text{CO}_2} = 0,47$; $x_{\text{O}_2} = 0,53$

Página 33

1.1. O valor $0,12 \text{ mg/L}$ significa que em cada L (ou dm^3) desta água (solução) existem $0,12 \text{ mg}$ de ferro (um dos solutos) dissolvido.

1.2. $m = 200 \times 10^{-3} \text{ mg}$

2.1. $c = 2,54 \times 10^{-1} \text{ mol dm}^{-3}$

2.2. $m_{\text{soluto}} = 4,06 \text{ g}$

2.3. $m = 31,9 \text{ g}$

2.4. $\%(m/m) = \frac{m_{\text{CuSO}_4}}{m_{\text{CuSO}_4} + m_{\text{H}_2\text{O}}} \times 100\% = 3,90\%$

2.5. (C)

3.1. $n(\text{O}_2) = 9,35 \times 10^{-1} \text{ mol}$

3.2. $\text{ppm}_{\text{CO}_2}(\text{V}) = 3,5 \times 10^2 \text{ ppm}(\text{V})$

3.3. $x_{\text{N}_2} = \frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{total}}} = 0,780$

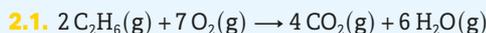
4.1. $c = \frac{n_{\text{NaNO}_3}}{V_{\text{solução}}} = 0,100 \text{ mol dm}^{-3}$

4.2. $c_f = 2,50 \times 10^{-3} \text{ mol dm}^{-3}$

TEMA 2

Página 49

1. (B)



2.2.1. $n(\text{O}_2) = 14 \text{ mol}$

2.2.2. $m(\text{CO}_2) = 352,08 \text{ g}$

3. (A)

4. $V(\text{O}_2) = 28,4 \text{ dm}^3$

5. $x = 196 \text{ g}$

Página 59

1. (D)

2. (A)

3.1. Cl_2 é o reagente limitante.

3.2. $m = 2,86 \text{ g de Al}$

4.1. Mg é o reagente limitante.

4.2. $m(\text{MgO}) = 19,9 \text{ g de MgO}$

4.3. $V(\text{O}_2) = 0,29 \text{ dm}^3$

Página 68

1. (B)

2.1. $n(\text{CaO}) = 0,200 \text{ mol}$

2.2. $\eta = 89,2\%$

2.3. $N = 1,07 \times 10^{23}$ moléculas de CO_2

3.1. Mg é o reagente limitante.

3.2. $m(\text{MgO}) = 19,9 \text{ g}$

3.3. $\eta = 93,0\%$

Página 75

1. (B)

2.1. Processo A: e.a.(%) = 100%
Processo B: e.a.(%) = 76,92%

2.2. O processo A é o mais sustentável, pois apresenta maior economia atômica e menor produção de resíduos.

2.3. Melhorias para o processo B:

- utilizar catalisadores para reduzir a formação de subprodutos;
- otimizar as condições reacionais para reduzir o consumo de etanol ou substituí-lo por solventes mais sustentáveis, como a água, ou solventes de origem biológica

3.1. O processo descrito alinha-se com a química verde das seguintes formas:

- uso de recursos renováveis: o óleo vegetal é uma fonte renovável, ao contrário dos combustíveis fósseis;
- menor impacto ambiental: o biodiesel é biodegradável e emite menos gases poluentes, como dióxido de carbono (CO_2) e óxidos de enxofre (SO_x);
- reaproveitamento de subprodutos: o glicerol, subproduto da reação, pode ser utilizado na indústria farmacêutica, cosmética e alimentar, reduzindo o desperdício;
- eficiência energética: a reação pode ser realizada a baixas temperaturas, economizando energia.

3.2. Impactes ambientais:

- Biodiesel:
 - Vantagens:
 - redução de emissões de CO_2 , contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas;
 - menor emissão de partículas e poluentes atmosféricos, como SO_x e NO_x ;
 - biodegradabilidade, reduzindo o risco de contaminação ambiental em caso de derramamento.
 - Desvantagens:
 - a produção em larga escala pode levar ao desmatamento para cultivo de oleaginosas;
 - uso intensivo de água e fertilizantes no cultivo de plantas para extração de óleo.
- Combustíveis fósseis:
 - Desvantagens:
 - emissão elevada de CO_2 , agravando o efeito estufa;
 - poluição atmosférica devido à libertação de SO_x , NO_x e matéria particulada;
 - contaminação ambiental em caso de derramamento de petróleo.

3.3. Melhorias para a eficiência energética:

- Uso de catalisadores:
 - Implementar catalisadores para acelerar a reação e reduzir o consumo de energia.
- Fontes de energia renováveis:
 - Utilizar energia solar ou eólica para aquecer os reatores durante o processo de transesterificação.
- Reaproveitamento de calor:
 - Incorporar sistemas de recuperação de calor para reutilizar a energia térmica gerada no processo.
- Otimização do processo:
 - Melhorar as condições de reação (temperatura e pressão) para maximizar a conversão de óleo vegetal em biodiesel e minimizar o consumo energético.

Página 85

1.1. Instante t_2 .

$$1.2. K_c = \frac{[\text{B}]_e \times [\text{C}]_e^3}{[\text{A}]_e^2}$$

1.3. Dado que $K_c < 1$, a reação no sentido direto é pouco extensa.

2. (C) e (D).

3.1. Reagentes: B e C; produtos da reação: A.

3.2. $2\text{B}(\text{g}) + \text{C}(\text{g}) \rightleftharpoons \text{A}(\text{g})$

$$K_c = \frac{[\text{A}]_e}{[\text{B}]_e^2 \times [\text{C}]_e}$$

3.3. $K_c = 8,3$

Página 93

1.1. Instante t_0 : $Q_c = 0$

Instante t_1 : $Q_c = 0,3$

1.2. $K_c = 1,1$

1.3. De t_0 a t_2 o sistema irá evoluir no sentido direto, até atingir o equilíbrio químico ($Q_c = K_c$).

2.1. O gráfico A corresponde ao sistema Y e o gráfico B ao sistema X.

2.2.1. $Q_c = 0,25$

2.2.2. Como $Q_c < K_c$, o sistema irá evoluir no sentido direto até atingir o estado de equilíbrio.

Página 109

1.1. O processo de síntese do amoníaco é exotérmico.

1.2. Dado o processo de síntese do amoníaco ser exotérmico, um aumento de temperatura não é favorável à reação direta. Desta forma, para uma dada pressão, quanto maior for a temperatura, menor será o rendimento da síntese do amoníaco.

1.3. Um aumento de pressão favorece a reação no sentido do menor número de moles no estado gasoso (neste caso, no sentido direto). Por isso, para uma dada temperatura, o processo da síntese do amoníaco apresenta maior rendimento a pressões mais elevadas.

2.1. O sistema apresentará uma cor intermédia entre azul e rosa.

2.2.1. Cavidade 1

A adição de grãos de $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ corresponde ao aumento da concentração de reagente ao sistema reacional. De acordo com o Princípio de Le Châtelier, de forma a contrariar essa perturbação, a reação irá evoluir no sentido direto, diminuindo a concentração de reagente (cor rosa) e aumentando a concentração de produtos (entre eles o componente azul). Assim, o sistema torna-se mais azulado.

Cavidade 2

A adição de água ao sistema leva ao aumento da concentração de um dos produtos deste sistema reacional. De acordo com o Princípio de Le Châtelier, a reação irá evoluir no sentido inverso, aumentando a concentração de reagente (rosa) e diminuindo a concentração dos produtos (incluindo o componente que apresenta cor azul). Desta forma, o sistema torna-se menos azul (ou mais rosa).

2.2.2. Dado que a variação de entalpia da reação direta é positiva ($\Delta H > 0$), a reação direta é endotérmica. Assim, um aumento da temperatura favorece a reação direta. Em consequência, o sistema torna-se mais azulado.

Tabela Periódica dos Elementos Químicos

1		Número atômico										Estado físicos a 0°C e 1 atm:										2													
1°		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		16		17		18	
H		He		Li		Be		B		C		N		O		F		Ne		Na		Mg		Al		Si		P		S		Cl		Ar	
1,01		4,00		6,94		9,01		10,81		12,01		14,01		16,00		19,00		20,18		22,99		24,31		26,98		28,09		30,97		32,06		35,45		39,95	
Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento		Elemento	
Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento		Nome do elemento	
Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa		Massa atômica relativa	
Preto – sólido		Preto – sólido		Azul – líquido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido	
Azul – líquido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido	
Cinzento – preparado por síntese		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido	
Vermelho – gasoso		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido	
Preparado por síntese		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido		Preto – sólido	
19	K Potássio	20	Ca Cálcio	21	Sc Escândio	22	Ti Titânio	23	V Vanádio	24	Cr Cromo	25	Mn Manganês	26	Fe Ferro	27	Co Cobalto	28	Ni Níquel	29	Cu Cobre	30	Zn Zinco	31	Ga Gálio	32	Ge Germanio	33	As Arsênio	34	Se Selênio	35	Br Bromo	36	Kr Cripton
37	Rb Rúbio	38	Sr Estrôncio	39	Y Ítrio	40	Zr Zircônio	41	Nb Níobio	42	Mo Molibdênio	43	Tc Tecnécio	44	Ru Rutênio	45	Rh Ródio	46	Pd Paládio	47	Ag Prata	48	Cd Cádmio	49	In Índio	50	Sn Estanho	51	Sb Antimônio	52	Te Telúrio	53	I Iodo	54	Xe Xenon
85,47	Rb	87,62	Sr	88,91	Y	91,22	Zr	92,91	Nb	95,95	Mo	98,91	Tc	101,07	Ru	102,91	Rh	106,42	Pd	107,87	Ag	112,41	Cd	114,82	In	118,71	Sn	121,76	Te	126,90	I	131,29	Xe		
55	Cs Césio	56	Ba Bário	57-71	Lantanídeos	72	Hf Háfio	73	Ta Tântalo	74	W Tungstênio	75	Re Rênio	76	Os Osmio	77	Ir Írídio	78	Pt Platina	79	Au Ouro	80	Hg Mercúrio	81	Tl Tálio	82	Pb Chumbo	83	Bi Bismuto	84	Po Polônio	85	At Astato	86	Rn Radon
132,91	Cs	137,33	Ba	138,91	Lantanídeos	178,49	Hf	180,95	Ta	183,84	W	186,21	Re	190,23	Os	192,22	Ir	195,08	Pt	196,97	Au	200,59	Hg	204,38	Tl	207,2	Pb	208,98	Bi	209	Po	210	At	222	Rn
87	Fr Francio	88	Ra Rádio	89-103	Actinídeos	104	Rf Rutherfordio	105	Db Dúbnio	106	Sg Seabórgio	107	Bh Bóhrnio	108	Hs Hássio	109	Mt Meitnério	110	Ds Darmstácio	111	Rg Roentgênio	112	Cn Copernício	113	Nh Nhônio	114	Fl Fleróvio	115	Mc Moscóvio	116	Lv Livermório	117	Ts Tennesso	118	Og Oganesson
87	Fr	88	Ra	89-103	Actinídeos	104	Rf	105	Db	106	Sg	107	Bh	108	Hs	109	Mt	110	Ds	111	Rg	112	Cn	113	Nh	114	Fl	115	Mc	116	Lv	117	Ts	118	Og
57	La Lantânio	58	Ce Cério	59	Pr Praseodímio	60	Nd Neodímio	61	Pm Promécio	62	Sm Samarítio	63	Eu Európio	64	Gd Gadolínio	65	Tb Térbio	66	Dy Dísprosio	67	Ho Hólmio	68	Er Érbio	69	Tm Tulíio	70	Yb Ítérbio	71	Lu Lutécio						
138,91	La	140,12	Ce	140,91	Pr	144,24	Nd	140,91	Pm	150,36	Sm	151,96	Eu	157,25	Gd	158,93	Tb	162,50	Dy	164,93	Ho	167,26	Er	168,93	Tm	173,05	Yb	174,97	Lu						
89	Ac Actínio	90	Th Tório	91	Pa Protactínio	92	U Urânio	93	Np Neptúlio	94	Pu Plutônio	95	Am Americio	96	Cm Cúrio	97	Bk Berkélio	98	Cf Califórnio	99	Es Einsteinio	100	Fm Fermío	101	Md Mendelévio	102	No Nobelío	103	Lr Lawrêncio						
89	Ac	232,04	Th	231,04	Pa	238,03	U	237,04	Np	244,06	Pu	247,07	Am	251,08	Cm	252,08	Bk	259,10	Cf	265,10	Es	271,10	Fm	277,10	Md	283,10	No	289,10	Lr						