

2.3 Paineis fotovoltaicos

Os painéis fotovoltaicos foram, inicialmente, desenvolvidos para produzir eletricidade nos satélites artificiais.



Figura 25 – Paineis fotovoltaicos.

Foi nos finais do século XIX, que W. G. Adams e R. E. Day detetaram que um material semiconductor exposto à luz originava uma diferença de potencial entre as suas extremidades. E, em 1930, Walter Schottky estabeleceu o fundamento teórico para a produção de **energia elétrica** a partir de **energia solar** num dispositivo chamado **célula fotovoltaica**.

A partir dessa data, assistiu-se a uma evolução do processo fotovoltaico em termos tecnológicos, com a descoberta de novos materiais conversores de energia da radiação em energia elétrica, melhores rendimentos do processo e menores custos de produção.

Hoje, o rendimento deste processo é de cerca de 15 a 20%, e o silício é o material semiconductor que mais se utiliza nas células fotovoltaicas.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser de tamanho variável, de modo que a potência disponível seja adequada à aplicação pretendida.

Quais as aplicações dos painéis fotovoltaicos?

As aplicações das células fotovoltaicas vão desde as calculadoras, às habitações (incluindo eletrificação de lugares isolados), pequenas unidades industriais e satélites.

Questão Resolvida

1. Os painéis fotovoltaicos são utilizados para produzir energia elétrica a partir da energia solar. Suponha que a energia solar total incidente no solo durante um ano por unidade de área, na localidade onde vive, é $1,10 \times 10^{10} \text{ J}\cdot\text{m}^{-2}$.

Calcule a área de painéis fotovoltaicos necessária para um gasto diário médio de eletricidade de $21,0 \text{ kW}\cdot\text{h}$, se instalar na sua casa painéis com um rendimento de $12,5\%$. Apresente todas as etapas de resolução.

Resolução:

1.

$$E_u = 21,0 \times 10^3 \times 3600 \times 365 \text{ J}$$

$$E_u = 2,76 \times 10^{10} \text{ J (1 ano)}$$

$$\eta = \frac{E_u}{E_f} \times 100\% \Leftrightarrow E_f = 2,76 \times 10^{10} / 0,125 \Leftrightarrow E_f = 22,08 \times 10^{10} \text{ J}$$

$$1,10 \times 10^{10} \times A = 22,08 \times 10^{10}, \text{ logo } A = 20,0 \text{ m}^2.$$

Resumo

- A energia da radiação incidente sobre um corpo pode ser absorvida, refletida e transmitida.
- Um corpo negro é aquele que absorve toda a energia, não a refletindo nem a transmitindo.
- Um sistema termodinâmico é um sistema cujo comportamento só pode ser explicado considerando as partículas que o constituem.
- A Lei de Stefan-Boltzmann mostra que a potência emitida por um corpo é dada por $P = e \sigma A T^4$.
- A Lei do Deslocamento de Wien estabelece que o comprimento de onda a que se verifica o máximo da potência da radiação emitida pelos corpos pode ser determinado por

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

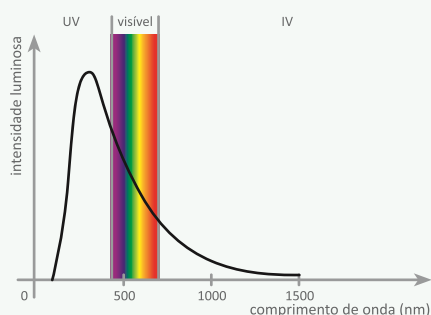
- A Lei Zero da Termodinâmica estabelece que se dois sistemas estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, também estão em equilíbrio térmico entre si.
- O albedo da Terra é cerca de 30% , que corresponde à radiação que reflete.

Questões para Resolver

1. Classifique em verdadeiras ou falsas as afirmações seguintes:

- A. Os corpos que são bons absorsores são também bons refletores.
- B. Os corpos brancos são maus absorsores de radiação mas podem apresentar emissividade 1.
- C. O chocolate é envolvido em papel prateado que reflete a radiação, impedindo que amoleça.
- D. Só as superfícies iluminadas é que emitem radiação.

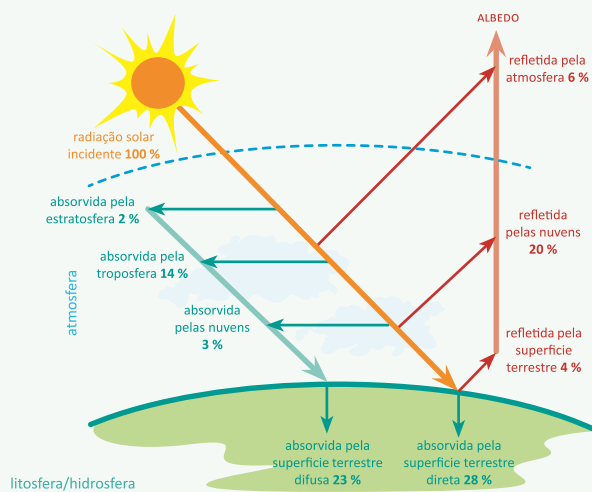
2. As estrelas são muitas vezes classificadas pela sua cor. O gráfico representa a intensidade da radiação emitida por uma estrela, a determinada temperatura, em função do comprimento de onda.



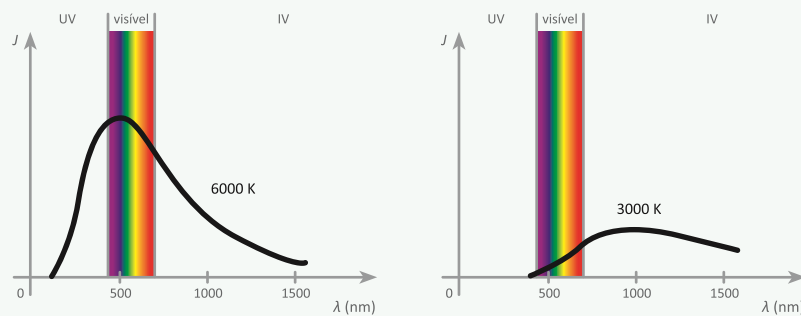
2.1. Indique a cor da radiação visível emitida com maior intensidade pela estrela.

2.2. Calcule, no Sistema Internacional, a temperatura da estrela para a qual é máxima a potência irradiada, sabendo que essa temperatura corresponde a um comprimento de onda de 290 nm e que $\lambda_{max} T = 2,898 \times 10^{-3} \text{ m}\cdot\text{K}$.

3. Na figura representa-se, de um modo aproximado, o que sucede à radiação solar quando incide no planeta Terra. O valor médio da energia solar por unidade de tempo e área que incide no planeta é de $1370 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.



- 3.1. Em que camada da atmosfera existe maior absorção de energia?
- 3.2. Identifique três contribuições para a albedo da Terra.
- 3.3. Determine a energia total absorvida por um terreno retangular de dimensões 20 m × 30 m durante uma hora.
4. Duas estrelas X e Y, consideradas emissores ideais, têm temperaturas superficiais de 6000 K e 3000 K, respetivamente, como se esquematiza na figura.

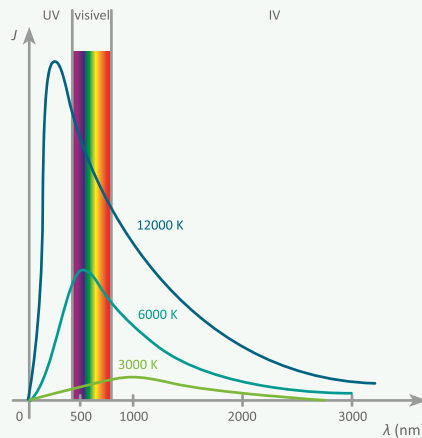


O máximo da radiação emitida pela estrela X ocorre para $\lambda_{max}(X) = 483 \text{ nm}$ e o seu raio é, aproximadamente igual ao do Sol ($R_{sol} = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$).

Recorde que a área de uma superfície esférica de raio r é $A = 4 \pi r^2$.

- 4.1. Calcule a potência da radiação emitida pela estrela X.
- 4.2. Relacione os comprimentos de onda correspondentes ao máximo da radiação emitida pelas estrelas Y e X.
- 4.3. Será possível a estrela Y, estrela mais fria, emitir a mesma potência de radiação que a estrela X, mais quente? Justifique.

5. Considere o espectro de emissão térmica representado na figura.



Classifique em verdadeiras ou falsas as afirmações seguintes:

- A.** Quanto maior a temperatura, maior a potência irradiada e maior o comprimento de onda da radiação emitida.
- B.** À temperatura de 6000 K, o corpo emite, preferencialmente, radiação de comprimento de onda de 5×10^{-8} m.
- C.** Quanto maior for a temperatura, maior é a frequência da radiação emitida.
- D.** Um corpo a temperatura superior a 12000 K emite, preferencialmente, radiação UV.
- E.** O corpo humano emite radiação IV com comprimento de onda inferior a 7×10^{-7} m.

6. Um painel fotovoltaico de 40 m^2 recebe radiação de 100 W por unidade de área e funciona com o rendimento de 10%. O tempo médio de exposição solar é de 6,5 h por dia.

Determine o valor máximo de energia que se pode consumir ao fim de um dia:

6.1. Em $\text{kW}\cdot\text{h}$.

6.2. Em J.

7. Considere as características dos corpos A, B e C.

I – B tem maior emissividade do que A.

II – A tem maior área do que C.

III – C tem menor emissividade do que A.

IV – A tem área igual à de B.

7.1. Ordene os corpos por ordem crescente de potência irradiada, quando se encontram todos à mesma temperatura.

7.2. Indique, justificando, qual dos corpos atinge maior temperatura, quando iluminado nas mesmas condições.

7.3. Qual dos corpos poderia ser mais facilmente detetado no escuro? Justifique.

A-2 Aquecimento/Arrefecimento de Sistemas

1 Transferência de energia como calor

Quando um sistema, a uma dada temperatura, contacta com outro a temperatura diferente, a sua energia interna varia através da **transferência de energia como calor**, do corpo que está a temperatura mais elevada para o corpo que está a temperatura mais baixa.

Há dois mecanismos de transferência de energia como calor, a condução e a convecção, que serão estudados nesta sub-unidade.

1.1 Dilatação térmica dos sólidos, líquidos e gases

Dilatação térmica é o nome que se dá ao aumento do volume de um corpo que pode ser ocasionado pelo aumento da sua temperatura. Este aumento causa um aumento no grau de agitação das suas moléculas e consequentemente um aumento na distância média entre as mesmas.

A dilatação ocorre de forma mais significativa nos gases, de forma intermédia nos líquidos e de forma menos explícita nos sólidos.

Pode-se afirmar que, nas mesmas condições,

Dilatação nos gases > Dilatação nos líquidos > Dilatação nos sólidos

De que depende a dilatação térmica dos sólidos?

Nos **sólidos**, ao analisar a dilatação numa só direção, por exemplo a variação do comprimento de uma barra, ou do diâmetro de uma esfera ou da aresta de um cubo de um determinado material, está-se a referir a **dilatação linear**.

Verifica-se experimentalmente que a variação de comprimento de uma barra, ΔL , que sofre aquecimento, é diretamente proporcional ao seu comprimento inicial, L_0 , à sua variação de temperatura, $\Delta\theta$, e a um coeficiente, α , que depende do material,

$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta\theta$$

Esta expressão representa a **Lei da Dilatação Linear**.

Pode também ser escrita como:

$$L - L_0 = \alpha L_0 \Delta\theta \Leftrightarrow L = L_0 + \alpha L_0 \Delta\theta \Leftrightarrow L = L_0 (1 + \alpha \Delta\theta)$$

A letra α representa o **coeficiente de dilatação linear** de um material, e exprime-se em K^{-1} ou $^{\circ}C^{-1}$.

A saber:

$\alpha_{\text{chumbo}} = 27 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}C^{-1}$ significa que ocorre uma dilatação de 0,000027 m por cada metro de comprimento e por cada $^{\circ}C$ de variação de temperatura.





Coeficiente de dilatação linear, α ($10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$)			
 Maior Dilatação 	Chumbo: 27	 Menor Dilatação 	Concreto: 12
	Zinco: 26		Vidro comum: 9
	Alumínio: 22		Granito: 8
	Prata: 19		Vidro pirex: 3,2
	Ouro: 15		Porcelana: 3

Tabela 3 – Comparação de coeficientes de dilatação linear.

Analisando a tabela anterior verifica-se que os metais têm valores mais elevados de coeficiente de dilatação linear, sendo portanto as substâncias que mais se dilatam, enquanto materiais como o vidro ou o pirex apresentam dilatação reduzida.

Questões Resolvidas

1. Uma barra apresenta, a $10 \text{ }^\circ\text{C}$, comprimento de 90 m, sendo feita de um material cujo coeficiente linear médio vale $19 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. A barra é aquecida até $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Determine:

1.1. A dilatação ocorrida.

1.2. O comprimento final da barra.

Resolução:

1.1. Pela Lei da Dilatação Linear, $\Delta L = \alpha L_0 \Delta\theta$

Sendo $\Delta\theta = 20 - 10 = 10 \text{ }^\circ\text{C}$, $\alpha = 19 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $L_0 = 90 \text{ m}$, obtém-se

$$\Delta L = 19 \times 10^{-6} \times 90 \times 10 = 1,7 \times 10^{-2} \text{ m}$$

1.2. O comprimento final L , vai ser:

$$L = L_0 + \Delta L \Leftrightarrow L = 9000 + 1,7 \Leftrightarrow L = 9001,7 \text{ cm.}$$

2. Duas barras A e B, de materiais diferentes, apresentam a $0 \text{ }^\circ\text{C}$ comprimentos respetivamente iguais a 75,0 cm e 75,3 cm.

Os coeficientes de dilatação linear dos materiais A e B são, respetivamente $5,4 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ e $2,4 \times 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Calcule a que temperatura devem ser aquecidas para que os seus comprimentos se tornem iguais.

Resolução:

$$2. \text{ Para que } L_A = L_B \Leftrightarrow L_{0A} (1 + \alpha_A \Delta\theta) = L_{0B} (1 + \alpha_B \Delta\theta)$$

$$75,0 \times (1 + 5,4 \times 10^{-5} \theta) = 75,3 \times (1 + 2,4 \times 10^{-5} \theta)$$

$$\theta = 133,8 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Como determinar a dilatação térmica dos líquidos?

Os líquidos, assim como os sólidos, sofrem dilatação ao serem aquecidos.

É importante lembrar que os líquidos não apresentam forma própria, adquirem a forma do recipiente. Sendo assim, não faz sentido estudar dilatação linear ou superficial, mas sim a dilatação volumétrica.

A **dilatação volumétrica de um líquido** rege-se por uma lei idêntica à da dilatação dos sólidos, quando a variação de temperatura não é muito grande.

Assim, a variação do volume ΔV do líquido é diretamente proporcional ao volume inicial V_0 e à variação de temperatura $\Delta\theta$ ocorrida:

$$\Delta V = \gamma V_0 \Delta\theta$$

Onde γ é uma constante de proporcionalidade chamada **coeficiente de dilatação volumétrica** do líquido e expressa-se em $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

A tabela seguinte apresenta o valor do coeficiente de dilatação térmica volumétrica para algumas substâncias líquidas. Quanto maior for o valor do coeficiente de dilatação volumétrico, mais o corpo se dilata para uma mesma variação de temperatura. Os líquidos apresentam coeficientes de dilatação volumétrica maiores que os sólidos. Desta forma, um líquido que preencha totalmente, até à borda, um recipiente sólido, quando aquecido, provocará o transbordamento, pois o líquido dilata-se mais que o sólido.

Material	Coeficiente de dilatação volumétrica, γ ($10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Mercúrio	180
Glicerina	490
Gasolina	950
Benzeno	1060
Álcool etílico	1120
Acetona	1490
Éter etílico	1620

Tabela 4 – Coeficientes de dilatação volumétrica de alguns líquidos.

Como o líquido está depositado num recipiente sólido, que também se dilata, é necessário que a dilatação deste também seja considerada, já que ocorre simultaneamente.

Como ambos se dilatam, a capacidade do recipiente também aumenta e portanto a dilatação observada será uma **dilatação aparente**.

Para medir a dilatação aparente costuma-se utilizar um recipiente cheio até a borda.

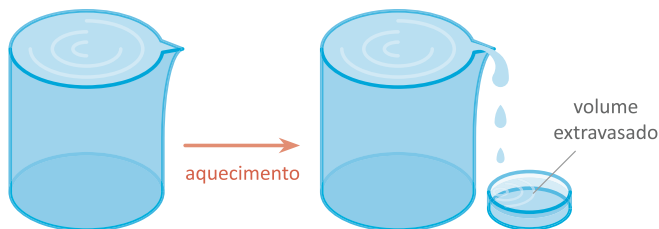


Figura 26 – O líquido dilata-se mais que o recipiente e transborda.

Ao aquecer este sistema, constituído por recipiente e líquido, ambos dilatarão. Como os líquidos normalmente dilatam mais que os sólidos, uma quantidade do líquido será derramada. Esta quantidade mede a **dilatação aparente do líquido**.

A dilatação real do líquido é a soma das dilatações aparente e do recipiente,

$$\Delta V_{real} = \Delta V_{recipiente} + \Delta V_{aparente}$$

Assim, por exemplo, se o recipiente aumentou o seu volume 2 cm^3 ($\Delta V_{recipiente} = 2 \text{ cm}^3$) e o líquido transbordou 3 cm^3 ($\Delta V_{aparente} = 3 \text{ cm}^3$), conclui-se que a dilatação real do líquido foi $\Delta V_{real} = 3 + 2 = 5 \text{ cm}^3$.

Dilatação anómala da água

Porque é que uma garrafa de vidro cheia de água se pode partir no congelador?

A maioria dos líquidos dilatam-se com o aumento da temperatura e contraem-se com a redução da temperatura. No entanto, a água, ao ser aquecida de $0 \text{ }^\circ\text{C}$ a $4 \text{ }^\circ\text{C}$, contrai-se, constituindo uma exceção ao caso geral, e só a partir dessa temperatura começa a dilatar.

Sendo assim, a água atinge um volume mínimo a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ e nesta temperatura a sua densidade é máxima, conforme se ilustra nos gráficos seguintes.

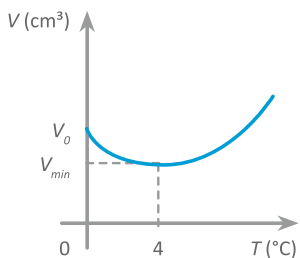


Figura 27 – De 0 a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ o volume da água diminui.

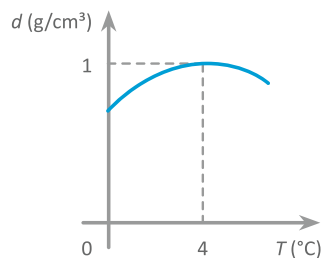
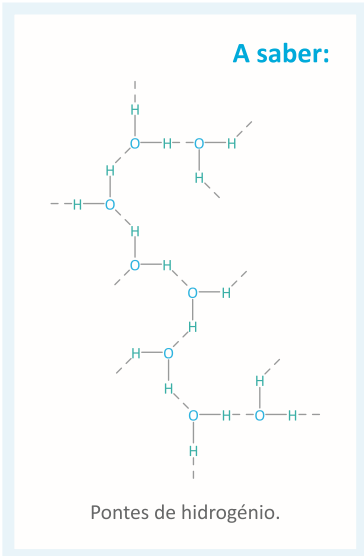


Figura 28 – De 0 a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ a densidade da água aumenta.



Capacidades térmicas mássicas de diferentes materiais

Substância	Capacidade térmica mássica, c ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)
Água	4180
Cortiça	2050
Gelo	2320
Vapor de água	2090
Álcool	2420
Alumínio	910
Mármore	880
Areia de granito	836
Vidro	500
Ferro	470
Aço	460
Mercúrio	140

Tabela 5 – Capacidades térmicas mássicas de materiais.

No estado sólido as ligações intermoleculares efetuam-se do seguinte modo: o átomo de oxigênio, que é muito eletronegativo, de uma molécula de água, une-se aos átomos de hidrogênio de outra molécula através de ligações denominadas pontes de hidrogênio. Em consequência disso, formam-se estruturas onde existem grandes vazios entre as moléculas, aumentando a nível macroscópico o volume de água.

Quando a água é aquecida de 0 °C a 4 °C, as pontes de hidrogênio rompem-se e as moléculas passam a ocupar os vazios existentes, provocando, assim, uma contração. Portanto, no intervalo de 0 °C a 4 °C, ocorre, excecionalmente, uma diminuição de volume. Mas, de 4 °C a 100 °C, a água dilata-se normalmente.

1.2 Capacidade térmica mássica

No dia a dia são muitas as situações que evidenciam o comportamento diferente de cada material quando é aquecido.

Qual a grandeza física que nos indica se um material tem mais ou menos capacidade para aquecer?

A grandeza física que traduz as características térmicas de cada material designa-se por **capacidade térmica mássica, c** .

A capacidade térmica mássica de uma substância é numericamente igual à quantidade de energia que é necessário transferir por unidade de massa para que esta experimente uma variação de temperatura de 1 K (ou de 1 °C).

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}$$

Esta grandeza física, no Sistema Internacional de Unidades, exprime-se em $J/(kg \cdot K)$.

Também é muito usual exprimir-se a capacidade térmica mássica em $cal/(g \cdot ^\circ C)$.

A análise da tabela 5 permite concluir que:

- de um modo geral, os sólidos têm menor capacidade térmica mássica;

- a água, no estado líquido, é dos materiais com maior capacidade térmica mássica;
- a capacidade térmica mássica do gelo, que é água no estado sólido, é cerca de metade do valor do da água líquida.

Se se fornecer a mesma energia à mesma massa de gelo e água líquida, o aumento de temperatura do gelo será cerca do dobro do da água líquida.

A água líquida tem que absorver muito calor para aquecer e também tem que libertar muito calor para arrefecer. É devido a este facto que a água atua como regularizadora do clima e, como tal, junto ao mar as amplitudes térmicas são baixas.

O significado da capacidade térmica mássica é de grande importância, uma vez que possibilita a previsão da quantidade de energia que é transferida por cada unidade de massa, quando a temperatura varia de um grau.

Portanto, quando se fornece energia como calor, Q , a um corpo, se não houver mudança de estado, a variação da sua energia interna é diretamente proporcional à variação da sua temperatura,

$$Q = m c \Delta T$$

Questões Resolvidas

1. Um corpo de massa 300 g é constituído por uma substância de capacidade térmica mássica c igual a $250 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$. Determine:

1.1. O calor que o corpo deve receber para que a sua temperatura varie de 10 °C para 60 °C , sem alteração de volume.

1.2. A temperatura a que fica o corpo, inicialmente a 30 °C , se lhe forem transferidos 1800 J de energia como calor.

Resolução:

1.1. Como $Q = m c \Delta T$, e substituindo $m = 0,300 \text{ kg}$, $c = 250 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{°C}^{-1}$ e $\Delta\theta = 50 \text{ °C}$, vem:

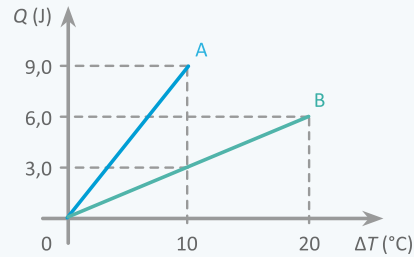
$$Q = 0,300 \times 250 \times 50$$

$$Q = 3750 \text{ J.}$$

1.2. $Q = m c \Delta T \Leftrightarrow 1800 = 0,300 \times 250 \times \Delta T \Leftrightarrow \Delta T = 24 \text{ °C}$

$$T = 24 + 30 = 54 \text{ °C.}$$

2. Na figura mostram-se os gráficos que traduzem a energia recebida como calor por dois corpos, A e B, com iguais massas, em função da variação da temperatura.



2.1. Indique, justificando, qual a relação existente entre as capacidades térmicas mássicas dos materiais de que são feitos os corpos A e B.

2.2. Determine o calor recebido pelo corpo B quando a sua temperatura sofre um aumento de 12 °C.

2.3. Calcule a variação de temperatura experimentada pelo corpo A ao absorver uma quantidade de energia igual ao valor do calor determinado em 2.2.

Resolução:

$$2.1. \frac{c_A}{c_B} = \frac{\frac{Q_A}{m_A \Delta T_A}}{\frac{Q_B}{m_B \Delta T_B}}$$

Usando os pontos A e B do gráfico e fazendo $m_A = m_B$

$$\frac{c_A}{c_B} = \frac{\frac{9,0}{10}}{\frac{6,0}{20}} \Leftrightarrow \frac{c_A}{c_B} = \frac{180}{60} \Leftrightarrow c_A = 3,0 c_B$$

2.2. Como o calor é diretamente proporcional à variação de temperatura, pode-se escrever

$$\frac{6,0}{20} = \frac{Q}{12} \Leftrightarrow Q = 3,6 \text{ J.}$$

$$2.3. \frac{9,0}{10} = \frac{3,6}{\Delta T} \Leftrightarrow \Delta T = 4 \text{ °C.}$$

1.3 Mecanismos de transferência de calor: condução e convecção

Quando dois corpos a diferentes temperaturas são postos em contacto, há transferência de energia do corpo a temperatura mais elevada para o corpo a temperatura mais baixa, até que ficam ambos à mesma temperatura.

Como se processa essa transferência de calor?

A transferência de energia como calor pode ser efetuada através de dois mecanismos, designados por:

- Condução;
- Convecção.

Condução

Quando se aquece uma barra metálica numa das extremidades, passado pouco tempo sentimos que toda a barra aquece. Diz-se que o metal conduziu o calor até à outra extremidade. Os corpúsculos que constituem a matéria, ao receberem energia, agitam-se mais e propagam essa agitação aos outros corpúsculos ao longo de todo o objeto.

Este mecanismo de transferência de energia como calor, chamado **condução térmica** efetua-se **sem transporte de matéria**.

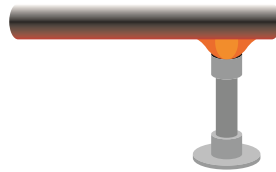


Figura 29 – O calor propaga-se rapidamente ao longo da haste metálica.

Nem todos os sólidos conduzem igualmente o calor e isto pode ser ilustrado na experiência da figura 30.

Mergulhando, em água quente, duas colheres de materiais diferentes, um bom e um mau condutor, verifica-se que a manteiga não derrete com a mesma facilidade em cada uma delas.

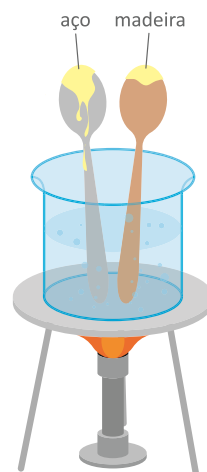


Figura 30 – A manteiga derrete mais facilmente em contacto com a colher de aço.

Convecção

Quando se aquece água numa cafeteira, o líquido próximo da fonte de calor aquece mais rapidamente, torna-se menos denso, e sobe. A água a temperatura mais baixa, mais densa, é obrigada a descer. De seguida aquece e volta a subir e a de cima desce. Formam-se assim, movimentações no líquido, denominadas **correntes de convecção**.

Este modo de transferência de calor ocorre nos **líquidos e gases** e efetua-se com **deslocamento de matéria**.

Há muitas situações reais em que o calor se transfere através de correntes de convecção.

Nas nossas casas, há um contínuo movimento de ar quente para cima e de ar frio para baixo, até uniformizar a temperatura do meio ambiente.

Quando se aquece água numa cafeteira estabelecem-se correntes de convecção, tal como se pode observar na figura 31, que permitem o aquecimento de toda a massa de água.

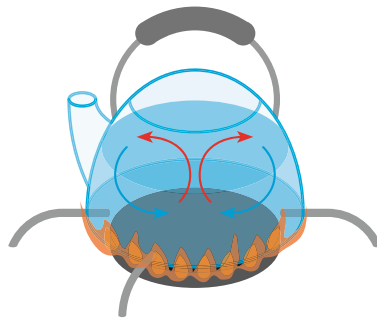


Figura 31 – Correntes de convecção numa cafeteira.

A atmosfera terrestre também é aquecida por correntes de convecção. Estas originam os ventos e regulam o clima do nosso planeta.

Devido à inclinação do eixo de rotação da Terra, as zonas perto do equador recebem as radiações solares com menos inclinação e por isso recebem mais radiação por unidade de área. Nesta região, o ar é mais quente e por isso sobe, originando as correntes de convecção na atmosfera terrestre. Este efeito origina os ventos em torno da Terra e outros fenómenos caraterísticos do clima.

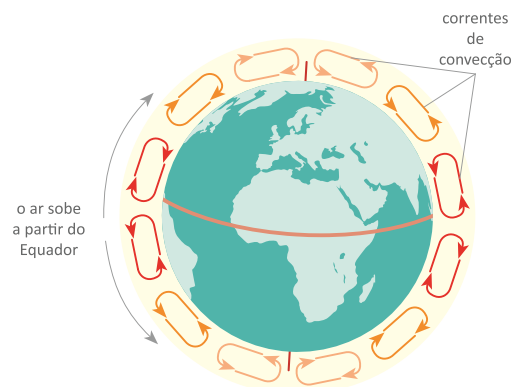


Figura 32 – Correntes de convecção na Terra.

1.4 Materiais condutores e isoladores de calor.

Condutividade térmica

O calor, como já foi referido, não se transfere com a mesma facilidade através de todos os materiais.

Como identificar os bons e os maus condutores?

Existem materiais, como os metais, que por terem eletrões livres, transferem mais rapidamente a energia térmica e são portanto, bons condutores de calor. Porém, outros, como a madeira, fazem-no de modo muito mais lento, são maus condutores, ou seja são isolantes térmicos.

É de esperar, também, que os meios pouco densos, com menor quantidade de partículas, por unidade de volume, conduzam pior e que o vazio não permita, de todo, a condução do calor.

A grandeza física que mede a capacidade que determinados materiais têm para se deixarem atravessar pelo calor é a **condutividade térmica, k_r** . Esta característica dos materiais define-se como sendo a quantidade de calor que atravessa, por segundo, a espessura de 1 m, entre duas superfícies paralelas de área igual a 1 m², quando a diferença de temperatura entre essas superfícies é de 1 K (1 °C).

A análise da tabela 6 permite concluir que:

- os metais são os materiais melhores condutores de calor;
- os sólidos não metálicos têm dificuldade em conduzir o calor. Os materiais como a madeira são maus condutores de calor, são bons isoladores;
- a condução térmica é muito difícil na água ou no ar.

A transferência de calor, por condução, através de um material não depende só da natureza do material, mas também da sua forma.

A energia transferida, como calor por unidade de tempo, $\left(\frac{Q}{\Delta t}\right)$, através de uma superfície, por exemplo, uma parede ou uma barra metálica, depende de vários fatores, e é:

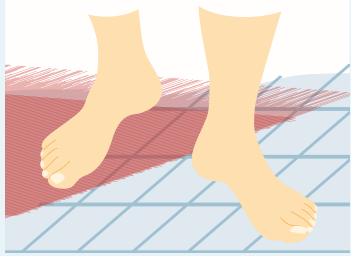
- diretamente proporcional à área da superfície, A ;
- diretamente proporcional à diferença de temperatura entre as suas extremidades, ΔT ;
- inversamente proporcional à espessura da superfície, L .

Material	K_r (W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)
Prata	427
Cobre	398
Alumínio	237
Tungsténio	178
Ferro	80,3
Tijolo	0,4 - 0,8
Água	0,61
Vidro	0,72 - 0,86
Ar	0,026
Madeira (pinho)	0,11 - 0,14
Fibra de vidro	0,046
Poliestireno	0,033
Poliuretano	0,020

Tabela 6 – Condutividade térmica de alguns materiais.

Nota:

A temperatura do tapete parece ser maior que a do azulejo, porque o material de que é feito o tapete é pior «condutor de calor» do que o material de que é feito o azulejo. Passa energia dos pés mais rapidamente para o azulejo do que para o tapete.



A expressão matemática que permite relacionar estas grandezas é:

$$\frac{Q}{\Delta t} = k_r A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

e as unidades destas grandezas no Sistema Internacional, são:

- Energia transferida como calor, por unidade de tempo, $Q/\Delta t$, joule por segundo, J/s;
- Condutividade térmica, k_r , watt por metro e por kelvin, $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$;
- Área, A , metro quadrado, m^2 ;
- Diferença de temperatura, $T_2 - T_1$, kelvin, K;
- Espessura, L , metro, m.

Questão Resolvida

1. Numa habitação existe uma sala com quatro janelas de $0,80 \text{ m}^2$ de área com vidro ($k_r = 0,80 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$), de espessura 4 mm , que está a uma temperatura de $22 \text{ }^\circ\text{C}$, enquanto que no exterior a temperatura é $14 \text{ }^\circ\text{C}$. Determine a potência transmitida por condução através das janelas.

Resolução:

1. Recordando que: $P = \frac{E}{\Delta t}$,

então, a potência transmitida por condução, através das janelas, é dada pela expressão:

$$P = k_r A \frac{T_2 - T_1}{L}$$

A área das 4 janelas é $A = 4 \times 0,80 = 3,2 \text{ m}^2$ e a espessura do vidro é $L = 4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$.

A diferença de temperatura entre o interior e exterior é $\Delta\theta = 22 - 14 = 8 \text{ }^\circ\text{C}$ e em kelvin é $\Delta T = 8 \text{ K}$.

Substituindo na expressão:

$$P = 0,80 \times 3,2 \times \frac{8}{4 \times 10^{-3}} \Leftrightarrow P = 5120 \text{ W.}$$

2 Primeira Lei da Termodinâmica

Como se pode variar a energia interna de um sistema?

Chama-se **Primeira Lei da Termodinâmica** ao Princípio da Conservação de Energia aplicada à Termodinâmica. Neste contexto pode-se afirmar que um sistema não pode criar ou consumir energia, mas apenas armazená-la ou transferi-la ao meio onde se encontra.

Muitos sistemas termodinâmicos não sofrem, a nível macroscópico, variações de energia cinética nem de energia potencial. Na realidade, as transferências de energia para esses sistemas traduzem-se em variações da sua energia interna, devido à interação do sistema com a vizinhança.

A **Primeira Lei da Termodinâmica** traduz portanto, a conservação da energia, realçando os modos como a energia pode ser transferida entre o sistema e a vizinhança. Esta lei pode ser traduzida matematicamente por:

$$\Delta E_i = Q + W + R$$

Ou seja, a variação da energia interna de um sistema termodinâmico é igual à quantidade de energia transferida para a vizinhança ou cedida por ela para o sistema, como calor, Q , trabalho, W , ou radiação, R . Essas quantidades de energia Q , W e R são valores algébricos.

- Quando **entra energia no sistema**, seja como calor, Q , trabalho, W , ou radiação R , os valores são **positivos**, pois fazem aumentar a energia interna do sistema: $\Delta E_i > 0$.
- Quando **sai energia do sistema**, seja como calor, Q , trabalho, W , ou radiação R , os valores são **negativos**, pois fazem diminuir a energia interna do sistema: $\Delta E_i < 0$.

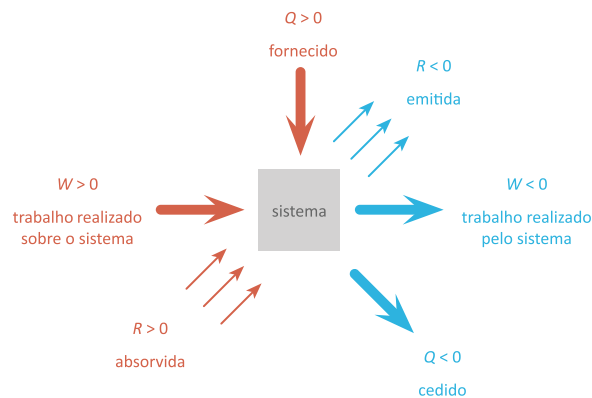


Figura 33 – A energia que entra num sistema é positiva e a que sai é negativa.

A energia interna, E_i , também simbolizada por U , de um sistema isolado é constante, pelo que a variação de energia interna é nula.

$$\Delta E_i = 0, \text{ num sistema isolado.}$$

Questão Resolvida

1. Um gás recebe como calor 50 J e realiza um trabalho sobre o exterior de 12 J. Sabendo que a energia interna inicial do sistema era de 100 J, calcule a energia interna final.

Resolução:

1. Pela Primeira Lei da Termodinâmica

$$\Delta E_i = Q + W + R$$

$$\Delta E_i = 50 - 12$$

$$\Delta E_i = 38 \text{ J}$$

$$\Delta E_i = E_f - E_i \Leftrightarrow 38 = E_f - 100 \Leftrightarrow E_f = 138 \text{ J.}$$

3 Degradação da energia. Segunda Lei da Termodinâmica

Porque é que no Universo (sistema isolado), a quantidade de energia útil nunca aumenta?

Os fenômenos naturais são irreversíveis, porque, de modo espontâneo, apenas se realizam num único sentido. A [Segunda Lei da Termodinâmica](#) expressa essa tendência da natureza de estabelecer um sentido para os processos naturais espontâneos. Existem vários modos de enunciar essa lei.

Uma delas, devida a Rudolph Clausius, diz que:

«É impossível haver transferência espontânea de calor de um objeto frio para outro mais quente».

A consequência é que o sentido natural do fluxo de calor é da temperatura mais alta para a mais baixa, e para que o fluxo seja inverso é necessário que um agente externo realize um trabalho sobre este sistema.

Outra, devida a Lorde Kelvin, diz que:

«É impossível construir uma máquina que, operando em ciclos, converta toda a quantidade de calor recebido em trabalho».

Este enunciado implica que não é possível que um dispositivo térmico tenha um rendimento de 100%. Há sempre uma quantidade de calor que não se transforma em trabalho efetivo. Os processos que ocorrem espontaneamente na Natureza dão-se no sentido da diminuição da energia útil.

Há uma grandeza física associada à qualidade de energia, que é uma variável de estado termodinâmico – a entropia. A [entropia](#) é a medida da desordem do sistema e é tanto maior quanto maior for esta desordem. Em termos energéticos significa que a entropia aumenta com a diminuição da qualidade de energia, atingindo um máximo em condições de equilíbrio.

A **Segunda Lei da Termodinâmica** pode ser expressa em termos de entropia:

Os processos espontâneos, irreversíveis, evoluem no sentido em que há um aumento de entropia.

De acordo com esta lei da Termodinâmica, num sistema fechado, a entropia nunca diminui. Isso significa que, se o sistema está inicialmente num estado de baixa entropia (organizado), tenderá espontaneamente para um estado de entropia máxima (desordem).

Por exemplo, se dois blocos de metal, a diferentes temperaturas, são postos em contacto térmico, a desigual distribuição de temperatura rapidamente dá lugar a um estado de temperatura uniforme à medida que a energia flui do bloco mais quente para o mais frio. Ao atingir esse estado, o sistema fica em equilíbrio.

A Segunda Lei da Termodinâmica, nomeadamente os postulados de Clausius e de Kelvin estabelecem limitações, tanto na transferência de energia como calor entre objetos, como na possibilidade de transformar energia.

Tais factos implicam que apenas possam existir máquinas, em que o seu princípio de funcionamento não viole a Segunda Lei da Termodinâmica.

As **máquinas térmicas** são máquinas capazes de converter calor em trabalho. Funcionam em ciclos e utilizam duas fontes de temperaturas diferentes, uma fonte quente que é de onde recebem calor e uma fonte fria que é para onde o calor que foi rejeitado é direcionado. Não transformam todo o calor em trabalho, ou seja, o rendimento de uma máquina térmica é sempre inferior a 100%.

Por exemplo, na máquina a vapor, um cilindro move-se devido à expansão do gás no seu interior, causada pela energia proveniente do aquecimento de água numa caldeira, que é a fonte de energia como calor ou «fonte de calor». Parte desta energia não é transformada em trabalho, e passa por condução térmica para os arredores da máquina, que é a fonte com temperatura inferior.

O princípio de funcionamento de uma máquina térmica pode ser esquematizado pela figura 34.

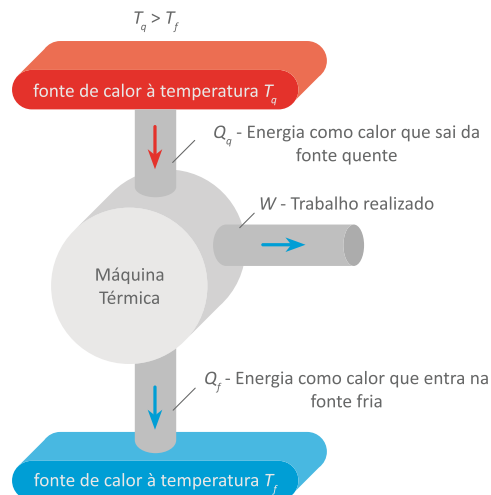


Figura 34 – Esquema de uma máquina térmica.

Deste modo, o trabalho fornecido pela máquina é igual à diferença entre as quantidades de energia trocadas como calor:

$$W = |Q_q| - |Q_f|$$

Um dos principais objetivos de quem constrói uma máquina térmica, é que esta tenha o maior rendimento possível. O **rendimento de uma máquina térmica** normalmente representa-se por η , e define-se como a razão entre o trabalho que a máquina fornece, W , e a energia como calor que sai da fonte quente, Q_q , e sem o qual ela não poderia funcionar.

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_q|}$$
$$\eta = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|}$$
$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|}$$

Como o quociente entre Q_f e Q_q tem um valor que pode estar entre 0 e 1, o rendimento de uma máquina térmica é sempre inferior a 100%. Se o valor de Q_f fosse nulo, isto é, se a máquina não transferisse energia como calor para a fonte fria, o rendimento seria igual a 100%. Não é possível construir máquinas térmicas onde, ciclicamente se transforme toda a energia como calor proveniente da fonte quente, em trabalho, uma vez que tal violaria a Segunda Lei da Termodinâmica.

Questão Resolvida

1. Um motor a vapor realiza um trabalho de 12 kJ quando lhe é fornecida uma quantidade de calor igual a 23 kJ. Determine o rendimento do motor, em percentagem.

Resolução:

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_q|} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{12}{23} \times 100\%$$

$$\eta = 52\%.$$