



## Unidade 1 – Energia no quotidiano

### A energia que vem do Sol

A energia recebida e emitida é-o sob a forma de **radiação**. A radiação é outro nome para **ondas electromagnéticas** ou ondas de luz.

Todas as ondas, independentemente da sua natureza, podem ser descritas por três características:

- A **amplitude**,  $A$ , é o afastamento máximo de cada ponto.
- O **comprimento de onda**,  $\lambda$ , é a distância entre dois pontos mais próximos, que se encontram em idênticas condições.

A unidade S.I. para estas duas unidades é o metro (m).

- O **período**,  $T$ , é o tempo de um ciclo completo. A unidade S.I. é o segundo (s).

A radiação, luz, tem um espectro muito vasto. Ele abarca toda a radiação que corresponde às chamadas *ondas de rádio*, até aos raios *gama*. Todas estas radiações são caracterizadas por um parâmetro

chamado **frequência**,  $f$ , cuja unidade SI é o *hertz* (Hz), é definida como o inverso do período:  $f = \frac{1}{T}$ .

### Absorção e emissão de radiação

A radiação que incide num corpo pode ser absorvida, reflectida ou transmitida tal que, de acordo com a **Lei da Conservação da Energia**:

$$\text{energia da radiação incidente} = \text{energia da radiação absorvida} + \text{energia da radiação reflectida} + \text{energia da radiação transmitida}$$

Ou seja:

$$1 = \alpha + \rho + \tau$$

1- **energia da radiação incidente**

$\alpha$ - **energia da radiação absorvida**

$\rho$  - **energia da radiação reflectida**

$\tau$  - **energia da radiação transmitida**

Estas fracções da energia incidente dependem **das propriedades do corpo** em que incide a radiação e da **frequência da radiação incidente**.

Assim, dependendo do material de que o corpo é feito, da sua espessura, textura da superfície, e da sua opacidade, o corpo pode ser ou não reflector de radiação, ou transmissor da mesma.

Um corpo pode absorver grande quantidade de radiação de uma certa frequência e absorver muito pouco de outras.

Todos os corpos emitem radiação, pelo facto de estarem a determinada temperatura, **radiação térmica**. Quanto mais elevada for a temperatura do corpo mais o espectro da radiação por ele emitida é rico em radiação de frequências mais elevadas.

A quantidade de energia emitida por unidade de tempo, por um corpo, **potência emitida**, depende da temperatura do corpo e da sua superfície.

Considera-se que um corpo é um **emissor perfeito**, a que os físicos chamaram **corpo negro**, pois emite, a qualquer temperatura, a quantidade máxima possível de radiação, em todos os comprimentos de onda e absorve toda a radiação que nele incide, não a reflectindo, nem transmitindo, possui um **factor de emissão** ou **emissividade** máximo, pois é o factor que caracteriza a tendência do corpo para emitir, i.e.,  $e = 1$ .

Qualquer superfície pintada de negro constitui uma aproximação de um corpo negro. Para todos os outros corpos, emissores que não são perfeitos,  $0 < e < 1$ .

### Radiação emitida pelos corpos

Todos os corpos radiam energia. **Porquê?** Porque as partículas de um corpo, sejam eles átomos ou moléculas, a uma certa temperatura estão em permanente agitação. Pois, a temperatura do corpo é uma medida (indirecta) da energia cinética média das partículas do corpo.

Sendo assim, sempre que as partículas, átomos ou moléculas, do corpo oscilam, vibram, existe emissão de radiação electromagnética. Todos os corpos emitem **radiação electromagnética** como consequência da agitação térmica das partículas que os constituem.

As frequências e amplitudes das ondas electromagnéticas emitidas dependem das frequências e amplitudes das vibrações das partículas.

### Será que estas partículas vibram todas do mesmo modo?

Não, e por causa disso as ondas electromagnéticas emitidas apresentam **um contínuo de frequências**, ou de comprimentos de onda, não esquecer que  $\lambda = c/f$ , sendo o comprimento de onda e a frequência da radiação, inversamente proporcionais. O espectro correspondente será um **espectro contínuo**.

O gráfico (Fig.1) representa a intensidade da radiação emitida,  $J$ , por unidade de comprimento de onda,  $\lambda$ ,

### radiância espectral.

Existe um comprimento de onda para o qual a intensidade da radiação emitida é máxima, correspondente ao comprimento de onda de 500 nm, tendendo a intensidade da radiação emitida para zero para os comprimentos de onda pequenos e grandes.

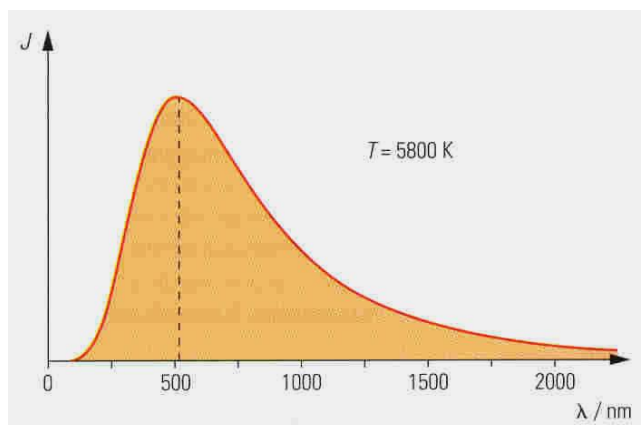


Fig.1

A **intensidade total da radiação térmica**,  $I$ , emitida por um corpo é a energia emitida por unidade de tempo e por unidade de área desse corpo.

Ora, a energia por unidade de tempo é uma potência, pelo que a intensidade é a potência por unidade de área. Assim:

$$\begin{cases} P = I \cdot A \\ E = P \cdot \Delta t \end{cases} \Leftrightarrow E = I \cdot A \cdot \Delta t$$

A intensidade total da radiação emitida é conhecida pelo cálculo da área debaixo do gráfico da fig. 1, e que virá na unidade  $\text{W m}^{-2}$ , podendo ser medida para cada temperatura, obtendo-se a relação entre a intensidade da radiação emitida pelo corpo e a sua temperatura absoluta, isto é:

$$I = \sigma T^4$$

em que  $\sigma$  é uma constante, constante de **Stefan-Boltzmann**, e igual a  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ .

Esta equação traduz a **Lei de Stefan-Boltzmann**:

## "A intensidade da radiação varia com a quarta potência da temperatura absoluta."

O corpo ideal é o **corpo negro**, um corpo que absorve toda a radiação que nele incide e não reflecta nenhuma, sendo por isso mesmo também um emissor perfeito, e a radiação emitida por ele só depende da sua temperatura e não da sua constituição. A **Lei de Stefan-Boltzmann** também pode aparecer na forma:

$$P = \sigma T^4 \cdot A$$

sendo  $P$  a potência da radiação emitida e  $A$  a área do corpo.

### Quais as implicações desta lei?

Um corpo só não irá radiar energia se estiver à temperatura de 0 K, o zero absoluto. Mas essa temperatura não se consegue atingir, é um limite, e, conseqüentemente, todos os corpos radiam energia.

No entanto, o facto de que os corpos aqui considerados não se comportarem como o corpo ideal, o corpo negro, e que a Lei de Stefan-Boltzmann só se verifica para o emissor perfeito. Para descrever corpos reais necessita de uma modificação. Assim:

$$I = e \cdot \sigma T^4 \Leftrightarrow P = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

onde " $e$ " é a **emissividade**, um factor numérico compreendido entre 0 e 1, e que depende da constituição do corpo emissor (0 para o reflector perfeito e 1 para o corpo negro).

Um **bom emissor de radiação é também um bom absorvedor de radiação**.

### O espectro de emissão térmica modifica-se com a alteração da temperatura a que se encontra o corpo. Porquê?

Quanto maior for a temperatura do corpo, maior a agitação das partículas constituintes, aumentando as amplitudes das suas oscilações, bem como as frequências das mesmas.

Se a temperatura diminuir, diminui a agitação das partículas constituintes, diminuindo tanto as amplitudes como as frequências das oscilações.

A figura 2 mostra como varia o espectro da intensidade da radiação emitida por um corpo negro se a temperatura for maior, ou menor, do que a temperatura anteriormente considerada de 5800 K.

Assim:

- Quanto maior for a temperatura, mais energia será emitida por um corpo por unidade de tempo e por unidade de área do corpo. O cálculo dessa energia é efectuado através da área por baixo de cada gráfico. A curva roxa, correspondente a maior temperatura, tem por baixo uma maior área, logo seguida das curvas vermelha e verde.
- A máxima intensidade em cada uma das curvas ocorre para comprimentos de onda da radiação emitida diferentes, e que são tanto maiores quanto menor for a temperatura do corpo.

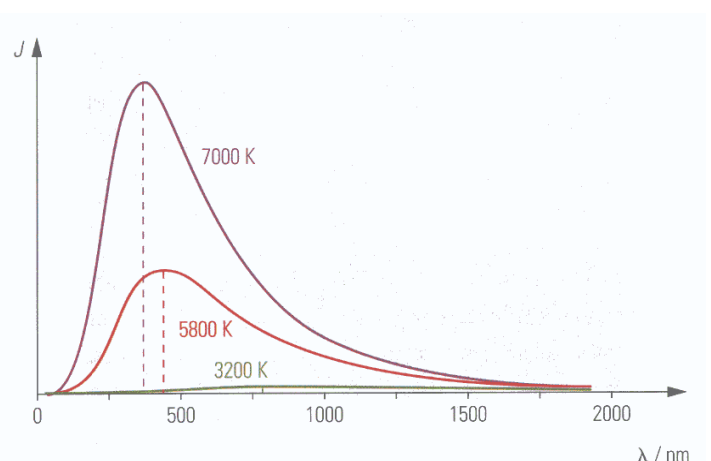


Fig.2

Existe uma relação simples entre a temperatura do corpo e o comprimento de onda correspondente à emissão máxima do corpo, que foi traduzida por Wilhelm Wien, físico austríaco contemporâneo de Max Planck, sendo que essa relação é de proporcionalidade inversa entre o comprimento de onda da emissão máxima e a temperatura absoluta do corpo, tal que,

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{B}{T}$$

em que  $B$  é uma constante de valor  $2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$ .

Esta expressão traduz a **Lei de Wien** ou **Lei do deslocamento de Wien**:

"Para um corpo negro, o produto do comprimento de onda da radiação mais intensa pela temperatura absoluta é uma constante, de valor igual a  $2,898 \times 10^{-3} \text{ m K}$ ."

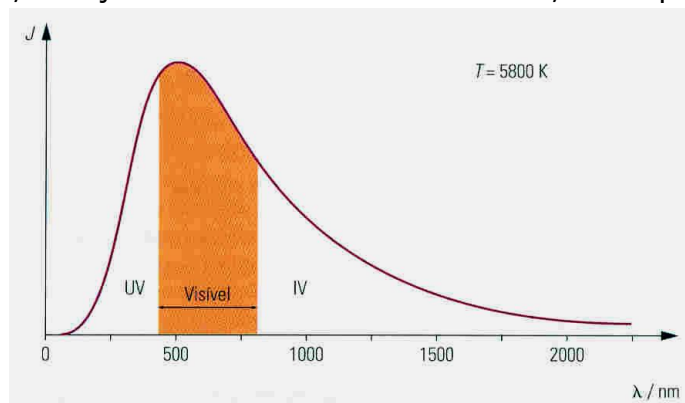
### As estrelas, o Sol, a Terra e os seus espectros de emissão

Esta lei permite conhecer a temperatura de um corpo analisando apenas a sua radiação. Como assim?

A potência máxima irradiada pelo Sol ocorre para o comprimento de onda de 500 nm. Então, a temperatura do fotosfera solar obtém-se como:

$$T = \frac{B}{\lambda_{\text{máx}}} \Leftrightarrow T = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{5,00 \times 10^{-7}} \Leftrightarrow T \approx 5800 \text{ K}$$

O espectro de radiação térmica do Sol com a indicação da banda do visível, se bem que o Sol também emita radiação ultravioleta, radiação infravermelha e ondas de rádio, está representado na figura 3.



**Fig.3**

A cor amarela do Sol é o resultado da radiação visível emitida por esta estrela, verde, vermelho e azul, correspondendo o máximo à radiação verde. A cor de uma estrela dá-nos uma indicação da sua temperatura superficial.

Assim:

- uma estrela mais fria que o Sol apresenta uma cor vermelha
- uma estrela mais quente que o Sol apresenta uma cor esbranquiçada ou azul, resultante do aparecimento no espectro das cores azul e violeta e da diminuição da cor vermelha.

### E quanto à Terra?

Relativamente ao corpo humano, que está a uma temperatura de 310 K, a radiação emitida é na zona do infravermelho, para um comprimento de onda de emissão máxima na casa dos 9300 nm.

Ora a Terra possui uma temperatura média de 288 K e o espectro de emissão térmica de um corpo negro a esta temperatura mostraria um máximo de emissão para um comprimento de onda da ordem dos 10000 nm. Assim, o espectro de emissão da Terra é também um espectro de **infravermelhos**.

## Equilíbrio térmico

Todos os corpos estão continuamente a emitir radiação e a receber radiação, e consequentemente, energia, dos corpos que os rodeiam.

Assim, se um corpo emite mais radiação para as suas vizinhanças do que absorve, a sua **temperatura diminui**, i.e., arrefece, e se absorver mais radiação do que aquela que emite, aquece, pois a sua **temperatura aumenta**.

Se um corpo estiver a uma temperatura superior à das vizinhanças vai emitir maior quantidade de energia, por unidade de tempo, do que a que recebe das vizinhanças e estas, por sua vez, estão a receber maior quantidade de energia, por unidade de tempo, do que aquela que estão a emitir.

Quando as temperaturas, do corpo e das vizinhanças, se igualam, atinge-se o **equilíbrio térmico** e, a partir deste instante, as trocas de energia entre o corpo e as vizinhanças são iguais, i.e., **a potência da radiação absorvida é igual à potência da radiação emitida**, tanto para o corpo como para as vizinhanças.

Neste caso o **equilíbrio térmico** é atingido através de um mecanismo de troca de radiação.

Todavia, também pode ser atingido através de um mecanismo de troca de energia por contacto directo entre os corpos, i.e., **troca de calor**, bastando os corpos estarem inicialmente a temperatura diferente.

A temperatura de um corpo, medida da energia cinética média das partículas que constituem o corpo, pode ser também encarada como a propriedade que determina se um corpo está ou não em equilíbrio térmico com outro(s).

Assim, **dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro estão em equilíbrio térmico entre si**. Este é o enunciado da **Lei Zero da Termodinâmica**, a qual permite compreender porque motivo os corpos que se encontram num certo ambiente, passado algum tempo, acabam por ficar todos à mesma temperatura. É que uns aquecem, outros arrefecem e a temperatura final para todos passa a ser a mesma, através de mecanismos de troca de energia, quer por radiação, quer por calor.

## Temperatura média da Terra

A partir do balanço energético da Terra:

**Potência da radiação proveniente do Sol que entra no Globo terrestre = Potência da radiação emitida pelo Globo terrestre**

Pode-se calcular a sua temperatura. Para tal, introduz-se algumas simplificações:

- A superfície terrestre é um corpo negro;
- Despreza-se a esfericidade da Terra;
- Considera-se somente a radiação perpendicular;
- Despreza-se a radiação absorvida e que difundida pelo ar, o H<sub>2</sub>O (g) e o CO<sub>2</sub> da atmosfera.

### Potência da radiação proveniente do sol

Consideremos apenas a radiação solar directa (a que incide perpendicularmente à superfície terrestre), isto é, equivalente a considerar que a superfície atingida corresponde à área de um círculo cujo raio é igual ao raio da Terra ( $A = \pi R_T^2$ ).

A quantidade de energia que atravessa, por segundo, e perpendicularmente cada metro quadrado da parte superior da atmosfera designa-se por constante solar e tem o valor 1370 W/m<sup>2</sup>.

Como a Terra não é um absorvedor perfeito, parte da radiação do Sol é reflectida e reenviada para o espaço pelo ar atmosférico(6%), pelas nuvens (20%) e pela própria superfície terrestre (4%).

Assim:

$$\frac{6 + 20 + 4}{100} = 30\%$$

que corresponde ao poder reflector global do planeta.

Define-se **Albedo** como a reflectividade de um planeta, ou seja, a fracção da radiação incidente que por é ele reflectida. O *albedo* terrestre é de 0,3.

Deste modo, apenas 70% da radiação solar contribui para o aumento da energia interna do Globo. Assim, a potência da radiação que é absorvida pelo planeta é:

$$P_{\text{recebida}} = 0,70S\pi R_T^2$$

### **Potência da radiação emitida pela Terra**

Contrariamente ao que se passa na absorção da radiação solar, toda a superfície terrestre está a radiar, de acordo com a Lei de Stefan – Boltzmann. Considerando a Terra um emissor perfeito ( $e=1$ ), o equilíbrio radiativo corresponde à igualdade entre a potência da radiação que entra no Globo e a potência da radiação emitida (balanço energético):

$$0,70S\pi R_T^2 = 4\pi R_T^2 \sigma T^4$$

Efectuando os cálculos, obtém-se o valor da temperatura média do Globo terrestre:  $T_{\text{Globo}} = 255 \text{ K}$ .

Este valor é muito próximo da temperatura medida por satélites no limite superior da atmosfera mas, em média, a temperatura global da superfície da Terra tem um valor muito superior. O seu valor é aproximadamente 288 K.

Interpreta-se este valor partindo da absorção e reemissão de radiação por alguns gases presentes na atmosfera.

- ✓ Há determinados gases atmosféricos que absorvem a radiação de infravermelhos. São, principalmente, o vapor de água e o dióxido de carbono que existem na troposfera. Designam-se por gases de estufa.
- ✓ Os gases de estufa irradiam a energia absorvida, que volta para a Terra antes de ser novamente reemitida.
- ✓ A radiação permanece mais tempo no sistema "Terra". É daí que resulta o efeito estufa, que faz com que a superfície terrestre seja 33 K mais quente que o previsível (motivo pelo que o efeito estufa é essencial para a vida na Terra).

### **A radiação solar na produção de energia eléctrica**

Este processo, processo fotovoltaico, baseia-se na utilização de materiais conversores de energia da radiação em energia eléctrica, dado que estes materiais, expostos à radiação, ficam submetidos a uma diferença de potencial eléctrico nos seus extremos.

Para dimensionar um painel fotovoltaico é preciso conhecer a potência eléctrica necessária para fazer funcionar, em simultâneo, o conjunto de aparelhos eléctricos requeridos, durante o dia. Conhecidos o rendimento do processo fotovoltaico e a potência solar média por unidade de área, pode calcular-se a potência eléctrica disponível por unidade de área do painel.

A produção de electricidade por via fotovoltaica é insignificante face ao universo de produção de energia eléctrica a nível mundial.

Entre os factores principais que impedem a sua utilização em larga escala, encontra-se:

- O elevado custo;
- O baixo rendimento;
- Os importantes investimentos de capital e a necessidade de ocupar grandes áreas de terreno.

### **Vantagens dos painéis fotovoltaicos:**

- Não dispõem de partes móveis;
- São formados por módulos;
- São inofensivos do ponto de vista ambiental;

- Não produzem cheiros nem ruídos;
- Exigem pouca manutenção;
- Têm tempo de vida elevado (> 20 anos).

### Aplicações dos painéis fotovoltaicos:

- Satélites espaciais;
- Electrificação rural;
- Bombagem de água para irrigação;
- Sinalização;
- Alimentação de sistemas de telecomunicação;
- Alimentação de dispositivos utilizados na dessalinização de água;
- Alimentação de parquímetros;
- Aplicação na micropotência eléctrica;
- Aplicações nocturnas, ligadas à iluminação.

Para dimensionar um painel fotovoltaico, deve-se contabilizar a potência eléctrica de que se necessita, a potência solar média por unidade de área e o rendimento do processo.

### Colectores solares

O funcionamento de um colector solar resume-se no seguinte: a radiação solar atinge as placas do colector aquecendo-as e a um fluido (água e glicol) que circula no interior de tubos, graças à absorção de radiação solar. A tampa do colector é opaca à radiação IV, para reduzir as emissões dos tubos absorvedores, sendo a restante superfície do colector coberta por material isolante. Este fluido é obrigado a percorrer um circuito fechado, muitas vezes com a ajuda de um sistema de bombagem. O tubo que o constitui, em geral de cobre e coberto de negro, penetra num reservatório de água, aquecendo-a, por transferência de calor. O aquecimento do tubo de cobre, do fluido e da água é feito por condução. A circulação do fluido pelas tubagens é devido a correntes de convecção.

### Factores de que depende o rendimento do colector solar:

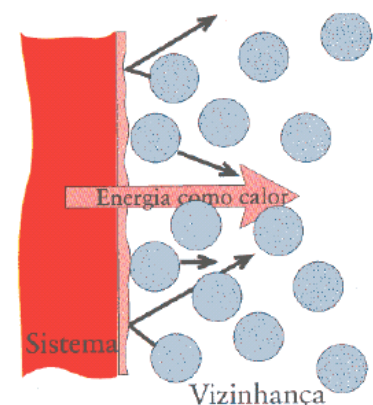
- Tipo de colector;
- Diferença de temperatura entre o colector e as vizinhanças;
- Intensidade da radiação solar;
- Possibilidade de armazenar a energia;
- Comportamento do consumidor face à utilização de água quente.
- Eficiência óptica do colector (transparência e absorção devem ser elevadas);
- Condutividade térmica do absorvedor;
- Isolamento do colector;
- Emissividade do absorvedor (deve ser o menor possível).

### Mecanismos de transferência de calor

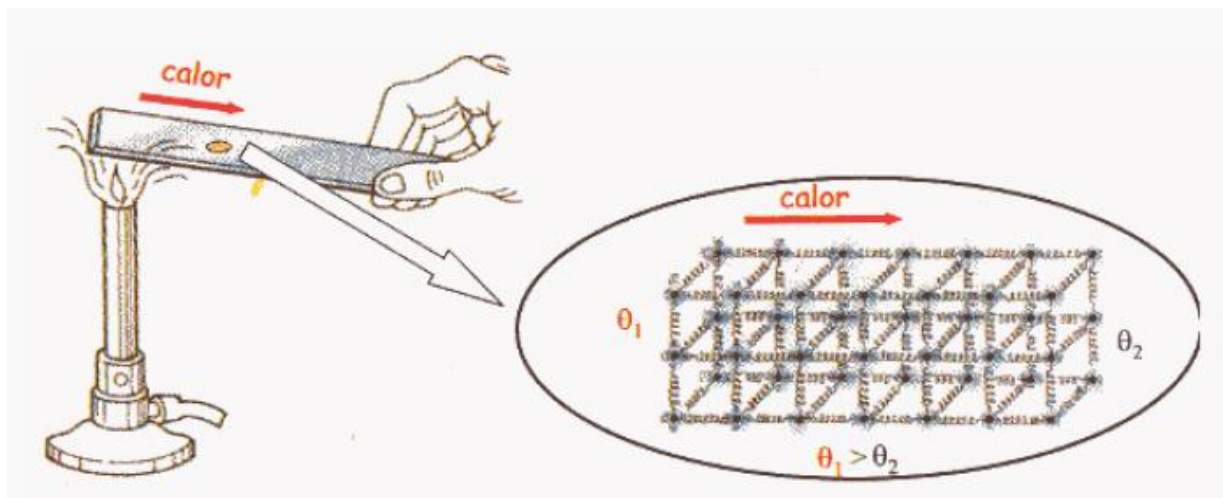
A transferência de energia como calor pode efectuar-se através de dois processos: **condução** e **convecção**.

Ambos os processos têm explicação, ao nível microscópico, baseada na interacção entre as partículas constituintes dos sistemas. Assim, no processo de **condução**, processo bastante lento, não existe movimento dos materiais de que são feitos os sistemas postos em contacto.

Quando um sistema está a uma temperatura mais elevada que a sua vizinhança ocorre transferência de energia, como calor. Da mesma



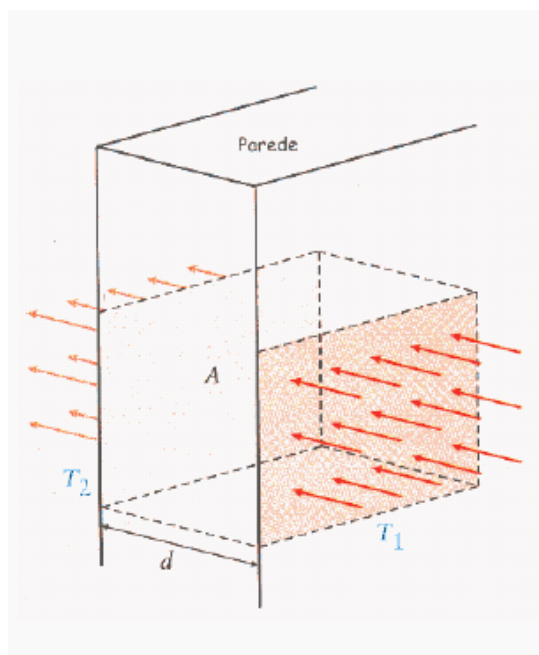
forma, quando dois sistemas, a diferente temperatura, são colocados em contacto térmico, directo ou através de uma fronteira, ocorre transferência de energia das partículas do sistema a maior temperatura para as do sistema a menor temperatura, através de uma **interacção partícula a partícula**.



Os **metais são bons condutores de calor**, porque recebem e/ou cedem energia, como calor, muito rapidamente, pois os electrões livres, partículas também responsáveis pela condução de corrente eléctrica, por estarem em movimento se encarregam de transmitir a energia sob a forma de calor de zonas mais quentes para zonas mais frias.

Sólidos não metálicos transferem energia sob a forma de calor com maior dificuldade, existindo materiais que são maus condutores de calor, como a madeira e a esferovite, os chamados **isolantes**.

A **condutividade térmica** é a propriedade dos materiais que mede a rapidez com que se dá a transferência de energia sob a forma de calor por condução. A transferência de calor através de um meio material de espessura  $d$ , distância entre duas superfícies planas, paralelas, como o caso de uma parede, efectua-se no sentido da zona mais quente, a temperatura  $T_1$ , para a zona mais fria, a temperatura  $T_2$ , tal que  $T_1 > T_2$ .



A quantidade de energia transferida como calor por unidade de tempo,  $\frac{Q}{\Delta t}$ , é directamente proporcional à área das superfícies, inversamente proporcional à espessura e depende dos materiais e da diferença de temperatura entre as superfícies.

$$\frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A \Delta T}{d}$$

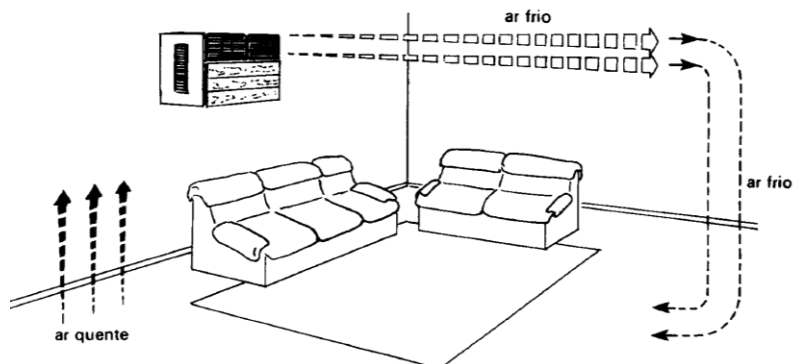
A **condutividade térmica** é então definida como a quantidade de calor que atravessa, em cada segundo, a espessura de  $1m$  entre duas superfícies paralelas de área igual a  $1 m^2$ , quando a diferença de temperatura entre essas superfícies é de  $1 K$ .

Em líquidos e gases a condução térmica é muito lenta, assumindo nestes materiais a **convecção** um papel muito importante como processo de transferência de energia sob a forma de calor, existindo



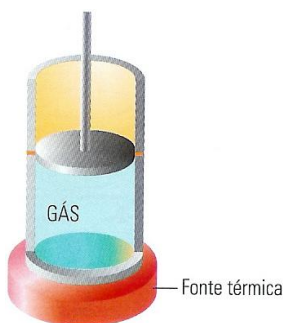
transporte de energia através do deslocamento de matéria. Assim, quando um fluido (líquido ou gás) é aquecido, a massa de fluido mais próxima da fonte térmica aquece primeiro que a restante, aumentando de volume, diminuindo a sua densidade, e vai ter um movimento ascendente. A restante massa de fluido, que está a uma temperatura mais baixa, e como tal mais densa, que vai ter um movimento descendente, tende a ocupar a parte inferior.

Estas movimentações de fluido são designadas por **correntes de convecção**.



### Mecanismos de transferência de energia. Primeira Lei da Termodinâmica.

A realização de **trabalho** sobre um sistema pode – lhe fornecer ou retirar energia. Admitindo um cilindro com um pistão, isolado termicamente, se se comprimir o gás por deslocamento do pistão há realização de trabalho pelas forças de pressão sobre o sistema, o qual representa a energia transferida entre a vizinhança e o sistema.



O **Calor** é uma forma de energia que é transferida entre dois sistemas (ou entre um sistema e a sua vizinhança) devido, exclusivamente, a uma diferença de temperaturas.

Quando aquecemos água num forno de microondas, as moléculas de água recebem energia sob a forma de **radiação**, o que leva a um aumento da energia interna da água, dado o efeito térmico desta radiação, e conseqüentemente a um aumento de temperatura.

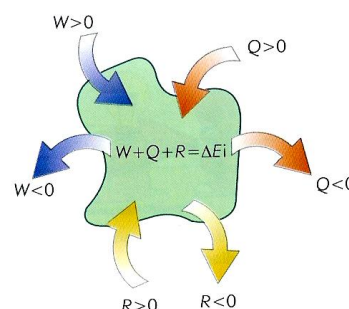


Em suma, a variação da energia interna de um sistema termodinâmico (sistema em que existe variação de energia interna) é igual à soma das quantidades de energia transferidas das, ou para as, vizinhanças, sob a forma de trabalho ( $W$ ), calor ( $Q$ ) ou radiação ( $R$ ), tal que  $\Delta E_i = \Delta U = W + Q + R$ .

Este é o enunciado da **1ª Lei da Termodinâmica**, a lei que traduz a conservação de energia.

A **energia Interna**, é uma propriedade intrínseca dos sistemas, ela está nos sistemas, mas o trabalho ( $W$ ), o calor ( $Q$ ), e a radiação ( $R$ ), não são propriedades dos sistemas, apenas podem ser trocados para dentro e fora do sistema.

Por convenção de sinais, os valores destas fracções de energia são algébricos; positivos para energia absorvida e negativos para energia cedida.



## Segunda Lei da Termodinâmica

**Postulado de Kelvin** - É impossível um sistema receber energia como calor e transformá-lo integralmente em trabalho.

**Postulado de Clausius** - É impossível transferir calor, espontaneamente, de um sistema a temperatura mais baixa para outro sistema a temperatura mais alta.

⇒ Os processos que ocorrem na natureza de forma espontânea dão-se no sentido da diminuição da energia útil do universo.

⇒ A evolução de qualquer sistema implica uma nova variável termodinâmica, um aumento de desordem, medido através da entropia. Nesta perspectiva, a **2ª lei da termodinâmica** passa a ter o seguinte enunciado: "**Os processos naturais tendem a evoluir no sentido do aumento da entropia do universo**".

## Relação entre 1ª e 2ª leis da Termodinâmica

A 2ª lei da Termodinâmica não contraria a lei da Conservação da Energia! A 1ª Lei da Termodinâmica afirma que a quantidade total de energia que existe no Universo é sempre a mesma. A totalidade da energia mantém-se, mas diminui a capacidade de realização de trabalho.

Há uma permanente degradação da "qualidade" da energia. Este comportamento da Natureza é expresso pela 2ª Lei da Termodinâmica. A 2ª Lei da Termodinâmica completa a 1ª pois, ao determinar o sentido da evolução espontânea de qualquer fenómeno, explica o que acontece em termos energéticos. A 2ª Lei da Termodinâmica trata do sentido natural da mudança da distribuição da energia, independentemente da sua quantidade total.

## Unidade 2 — Energia no quotidiano

### Transferências e transformações de energia em sistemas complexos

Um **sistema** pode ser classificado em **termodinâmico** ou **mecânico**.

Um **sistema termodinâmico**, como os que considerámos anteriormente no nosso estudo, é um **sistema em que é apreciável a variação da energia interna do mesmo**, a qual, como nos diz a **1ª Lei da Termodinâmica**, pode variar devido á energia, entrada ou saída, sob a forma de calor, radiação e/ou trabalho realizado, pois  $\Delta E_i = \Delta U = Q + R + W$ , assumindo as diversas parcelas valores algébricos positivos ou negativos consoante a entrada ou saída de energia do sistema, sob as formas supra indicadas, resultando numa variação da temperatura.

Assim um **sistema mecânico** é um **sistema em que a variação da sua energia interna é desprezável**, o que é acompanhado por uma variação desprezável da temperatura.

Num sistema mecânico pode ocorrer apenas variação da energia cinética e/ou potencial, energia potencial, macroscópicas. A soma da **energia cinética** (energia associada ao movimento) e **potencial** (energia armazenada num sistema), macroscópicas, que o sistema possui num dado instante, chamamos **energia mecânica** do sistema, i.e.,  $E_m = E_c + E_p$ .

**Centro de massa** é um ponto material, representativo de um sistema, que se desloca como se possuísse massa igual à do sistema e como se todas as forças que actuam no sistema estivessem aplicadas nele. O modelo do centro de massa simplifica a descrição dos movimentos e aplica-se a sólidos **indeformáveis**, em movimentos de translação, cujo comportamento se pretende estudar como um todo; neste caso, não se estuda a sua estrutura interna, pois uma só partícula não tem energia interna já que esta resulta das energias cinéticas em relação ao centro de massa e das energias potenciais de interacção entre as várias partículas do sistema.

**No modelo do centro de massa** não se podem estudar os movimentos de rotação, nem as deformações, nem estudar as variações de energia interna dos sistemas.

### **Transferência de energia entre sistemas**

A energia pode ser transferida de um sistema para outro sob a forma de trabalho. Para que se realize trabalho é necessário que exista uma componente da força na direcção do deslocamento e que essa força faça o sistema mover-se.

O valor do trabalho realizado por uma força constante, cujo ponto de aplicação se desloca a uma distância,  $d$ , numa trajectória rectilínea, é igual ao produto da intensidade da força,  $F$ , pela intensidade do deslocamento,  $\Delta r$ , e pelo co-seno do ângulo formado pela direcção do deslocamento com a direcção da força aplicada:

$$W_{\vec{F}} = F \times \Delta r \times \cos \alpha$$

**O trabalho realizado por uma força pode ser classificado em motor ou potente, nulo e resistente.**

- Se a força e o deslocamento tiverem a mesma direcção e sentido a energia do centro de massa do sistema aumenta, o trabalho é motor ou potente ( $W > 0$ ).
- Se a força e o deslocamento forem perpendiculares, a energia do centro de massa não se altera, o trabalho realizado é nulo ( $W = 0$ ).
- Se a força e o deslocamento tiverem a mesma direcção e sentidos opostos, a energia do centro de massa diminui, o trabalho é resistente ( $W < 0$ ).

A componente da força responsável pelo trabalho realizado sobre o centro de massa chama-se **força eficaz** ( $F_{\text{eficaz}} = F \cos \alpha$ ).

A transferência de energia entre sistemas é tanto maior quanto maior é a projecção da força aplicada na direcção do movimento, ou seja quanto maior é a força eficaz.

### **Teorema da energia cinética ou lei do trabalho-energia**

Qualquer corpo em movimento de translação possui energia cinética. A energia cinética de uma partícula material depende da sua massa e da sua velocidade, podendo ser determinada pela expressão:

$$E_c = 1/2 mv^2$$

Através do **Teorema da Energia Cinética**, podemos relacionar o trabalho realizado pela resultante das forças aplicadas num corpo com a variação da sua energia cinética,  $W_{\vec{F}_{\text{res}}} = \Delta E_c$ .

### **Conservação de energia mecânica**

A energia mecânica de um sistema é igual à soma das suas energias cinética e potencial:  **$E_m = E_c + E_p$** . Em sistemas onde só actuam forças conservativas há conservação de energia mecânica.

A variação da energia mecânica de um sistema é igual às variações das suas energias cinética e potencial,  **$\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$** , mas como só actuam forças conservativas a variação da energia mecânica é nula:  **$\Delta E_m = 0$**  então  **$0 = \Delta E_c + \Delta E_p$**  e  **$\Delta E_c = -\Delta E_p$** .

O trabalho realizado por uma **força conservativa** aplicada num corpo pode ser relacionado com a variação da energia potencial desse corpo. No caso do peso  **$W_p = -\Delta E_p$** .

As **forças conservativas** são aquelas cujo trabalho realizado é independente da trajectória escolhida, dependendo apenas da sua posição inicial e final. O trabalho realizado por uma força conservativa ao longo de um circuito fechado é nulo. **O peso é uma força conservativa.**

### Quais as implicações do conceito de força conservativa?

Para um sistema corpo+Terra:

- o trabalho realizado por uma força conservativa, no deslocamento do seu ponto de aplicação, é simétrico da variação da energia potencial, ou seja,  $W(\vec{F}_g) = -\Delta E_p$ ;
- se só actuar uma força conservativa, ou se, actuando mais forças, apenas a força conservativa realizar trabalho, no deslocamento do seu ponto de aplicação, existe conservação da energia mecânica do sistema, ie.,  $E_m = k$ , ou seja,  $\Delta E_m = 0$ . Como  $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$ , temos  $\Delta E_c = -\Delta E_p$ , o que é equivalente a dizer que ocorre uma conversão de energia cinética em energia potencial ou vice-versa, **Lei da conservação da energia mecânica.**

### Forças não conservativas e variação de energia mecânica

Em sistemas onde actuam forças conservativas e forças não conservativas **não há** conservação da energia mecânica.

As forças não conservativas, alteram a energia mecânica do sistema.

As **forças não conservativas podem transferir energia para um sistema** quando realizam trabalho sobre ele, como é o caso de uma força responsável pelo início do movimento de um sistema, **ou retirar energia de um sistema**, como é o caso do trabalho realizado pelas forças de atrito.

O trabalho da força resultante, é igual à soma dos trabalhos realizados por todas as forças que actuam no sistema, ou seja é igual à soma dos trabalhos realizados pelas forças conservativas e pelas forças não conservativas e iguala a variação da energia cinética de um sistema. Pelo teorema da energia cinética:

$W_{\vec{F}_{res}} = \Delta E_c$ , o que se traduz por  $W_{\vec{F}_c} + W_{\vec{F}_{nc}} = \Delta E_c$  e da definição de energia potencial,

$W_{\vec{F}_c} = -\Delta E_p$ , a equação anterior pode passar a escrever-se na seguinte forma:

$$-\Delta E_p + W_{\vec{F}_{nc}} = \Delta E_c, \text{ ou seja } W_{\vec{F}_{nc}} = \Delta E_c + \Delta E_p.$$

Da definição da variação da energia mecânica,  $\Delta E_m = \Delta E_c + \Delta E_p$  concluímos que:  $W_{\vec{F}_{nc}} = \Delta E_m$

Conclui-se que **sempre que as forças não conservativas realizem trabalho, a energia mecânica já não se mantém constante.**