

## 2.3 Escalas termométricas (Celsius, Réaumur, Kelvin e Fahrenheit)

### Como se constrói uma escala termométrica?

Para a construção de uma **escala termométrica** procede-se do seguinte modo:

- Escolhe-se a substância termométrica, normalmente um líquido;
- Coloca-se o líquido num reservatório (bulbo), ligado a um tubo capilar;
- Escolhem-se dois estados térmicos, que se mantenham invariáveis por um determinado tempo e que sejam de fácil reprodução. Geralmente os estados térmicos escolhidos são o ponto de fusão do gelo à pressão normal, 1 atmosfera, e o ponto de ebulição da água também à pressão normal. Estes estados térmicos são, normalmente, chamados pontos fixos;
- Num recipiente contendo água no estado líquido e gelo a derreter, introduz-se o termómetro, aguarda-se o equilíbrio térmico e anota-se a altura da coluna de líquido, correspondente à temperatura de fusão do gelo,  $T_g$ ;
- Num recipiente contendo água em ebulição, em presença de vapor de água, coloca-se o termómetro, aguarda-se o equilíbrio térmico e anota-se a altura da coluna correspondente ao estado de vapor,  $T_v$ ;
- Divide-se em partes iguais o intervalo delimitado entre as anotações e associa-se os valores numéricos arbitrários. Cada parte em que fica dividido o intervalo é denominada grau de escala, e é a sua unidade.



Figura 16 – Termómetro digital.

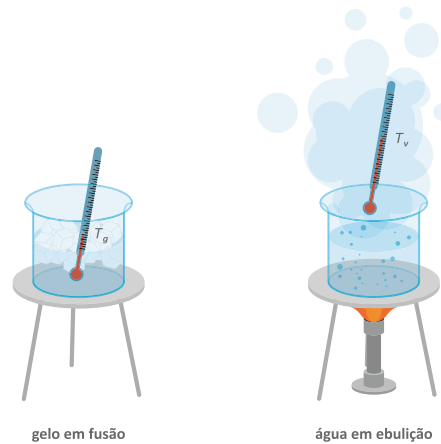


Figura 17 – Como construir uma escala termométrica.

Existem diversos tipos de termómetros de acordo com o grau de precisão necessário e o intervalo de temperatura a ser medido. Podem estar graduados em diferentes escalas e a sua utilização varia de país para país.

### Quais as escalas mais usadas nos termómetros?

As escalas mais utilizadas são a escala Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), a escala Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) e a escala Kelvin (K). Esta última, é a escala adotada pelo Sistema Internacional de Unidades. No entanto, existem outras escalas como a Réaumur ( $^{\circ}\text{R}$ ). Pensa-se que terá sido o médico grego Galeno, em 170 d. C., o primeiro a idealizar uma escala de temperaturas, baseada na ebulição da água e na fusão do gelo. Deixou algumas notas que não são suficientemente claras para se afirmar que tenha criado uma escala de temperaturas. Contudo, a primeira escala termométrica confiável é atribuída a um cientista inglês, Robert Hooke, que, em 1664, idealizou-a com tinta vermelha em vez de álcool. Esta escala foi utilizada pela Real Sociedade Inglesa até 1709, e com ela se fez o primeiro registo meteorológico conhecido.

Em 1702, o astrónomo Olaf Roemer aperfeiçoou esta escala criando, o ponto «0» para uma mistura de gelo e água e o valor «60» para água fervente.

Posteriormente, em 1708, o físico [Daniel Fahrenheit](#) começou a construir os seus próprios termómetros, utilizando mercúrio.

A escala com o seu nome, [escala Fahrenheit](#), foi criada em 1724 e após alguns ajustes atribuiu os valores «32» e «212», respetivamente para os pontos de fusão e ebulição da água.

A unidade é o grau Fahrenheit, cujo símbolo é  $^{\circ}\text{F}$ .



René Réaumur (1683-1757)



Anders Celsius (1701-1744)



Lord Kelvin (1824-1907)

Na mesma época, em 1731, o físico e inventor francês [René Réaumur](#), inventou o termómetro a álcool e apresentou uma escala termométrica para este tipo de termómetros, que fez muito sucesso na Europa Ocidental. A [escala Réaumur](#) considera como pontos fixos o «0» para o ponto de fusão da água, e o «80» para o seu ponto de ebulição.

A unidade desta escala é o grau Réaumur e o seu símbolo é  $^{\circ}\text{R}$ .

Em 1742, o físico e astrónomo sueco, [Anders Celsius](#), apresentou à Real Sociedade Sueca a sua escala.

A [escala Celsius](#) adotou para o ponto de fusão de gelo o valor «0» e para o ponto de ebulição da água o valor «100». Dividiu o intervalo obtido entre os pontos fixos em cem partes iguais, e a [escala](#) passou a ser conhecida como [centígrada](#) ou [centesimal](#).

Em 1948, após uma convenção científica internacional sobre pesos e medidas, decidiu-se que a nomenclatura adotada seria o [grau Celsius](#) e o seu símbolo  $^{\circ}\text{C}$ .

A [escala Celsius](#) é a mais utilizada atualmente.

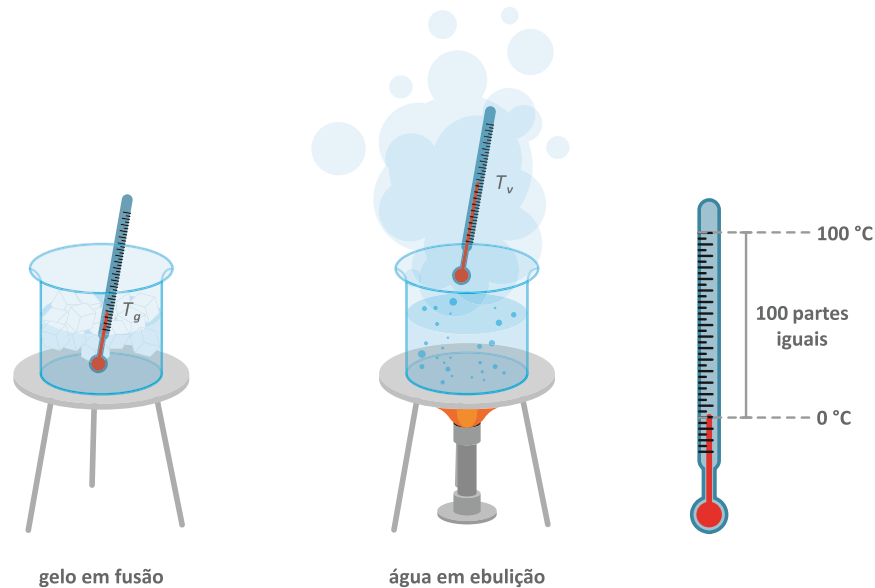


Figura 18 – Definição da escala Celsius.

A [escala Kelvin](#) foi estabelecida em 1848, pelo físico irlandês, William Thomson, que recebeu o título de nobreza [Lorde Kelvin](#). Verificou experimentalmente que a pressão de um gás diminuía  $1/273$  do valor inicial, quando o arrefecia a volume constante de  $0^{\circ}\text{C}$  para  $-1^{\circ}\text{C}$ . Como a pressão do gás está relacionada com o choque das suas partículas com as paredes do recipiente, quando a pressão fosse nula, as moléculas estariam em repouso, a agitação térmica seria nula e a sua temperatura também. Concluiu, então, que isso aconteceria se arrefecesse o gás até  $-273^{\circ}\text{C}$ .

Assim, Kelvin atribuiu o valor «0» para este estado térmico e estabeleceu que a sua escala também seria centesimal, tal como a escala Celsius.

Deste modo, fez corresponder o ponto de fusão do gelo a 273 K e o ponto de ebulição da água a 373 K.

Posteriormente, descobriu-se ser impossível atingir o estado de agitação molecular nulo; as moléculas têm uma energia mínima denominada energia do ponto zero. O zero absoluto é obtido por extrapolação e não deve ser interpretado como o estado em que as partículas estariam em completo repouso, pois elas possuem uma energia mínima finita e apresentam movimento. Mais precisamente, o zero absoluto corresponde a  $-273,15^{\circ}\text{C}$ .

## Qual é a relação entre as diferentes escalas termométricas?

Escala	Celsius	Kelvin	Fahrenheit	Réaumur
Unidade (símbolo)	grau Celsius (°C)	kelvin (K)	grau Fahrenheit (°F)	grau Réaumur (°R)
Temperatura de ebulição da água	100	373,15	212	80
Temperatura de fusão do gelo	0	273,15	32	0
Zero absoluto	- 273,15	0	- 459,67	-218,52

Tabela 1 – Escalas Termométricas.

$$\text{Temperatura (K)} = \text{Temperatura (°C)} + 273,15$$

$$\text{Temperatura (°C)} = 5/4 \text{ Temperatura (°R)}$$

$$\text{Temperatura (°F)} = 1,8 \text{ Temperatura (°C)} + 32$$

$$\text{Temperatura (°C)} = 5/9 (\text{Temperatura (°F)} - 32)$$

$$\text{Temperatura (°R)} = 0,8 \text{ Temperatura (°C)}$$

Tabela 2 – Fatores de conversão entre as escalas Celsius, Réaumur, Fahrenheit e Kelvin.

### A saber:

A unidade SI de temperatura é o kelvin (K).

### A saber:

Varição de temperatura:  
 $1^{\circ}\text{C} = 1\text{K} = 1,8^{\circ}\text{F} = 0,8^{\circ}\text{R}$

### A saber:

A variação de temperatura em grau Celsius é igual à variação da temperatura em kelvin.



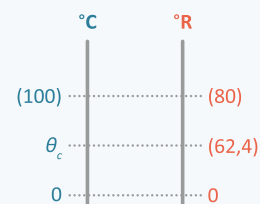
## Questões Resolvidas

1. A temperatura de ebulção do álcool expressa na escala Réaumur é 62,4 °R. Converta este valor em grau Celsius.

### Resolução:

1. A escala Réaumur assinala o ponto de 0 °R no ponto de fusão do gelo e o 80 °R no ponto de ebulção da água. Comparando as duas escalas, vem:

$$\frac{\theta_c - 0}{100 - 0} = \frac{62,4 - 0}{80 - 0} \quad \theta_c = 78 \text{ } ^\circ\text{C}$$



Podemos obter o mesmo resultado usando o fator de conversão:

$$\text{Temperatura } (^\circ\text{C}) = 5/4 \text{ temperatura } (^\circ\text{R}).$$

2. Dois termômetros, um graduado na escala Celsius e outro na escala Fahrenheit, são mergulhados num mesmo líquido. A leitura em Fahrenheit supera em 100 unidades a leitura em Celsius. Qual era a temperatura desse líquido?

### Resolução:

2. Do enunciado do problema, podemos escrever:

$$T (^\circ\text{F}) = T (^\circ\text{C}) + 100$$

A relação entre as escalas citadas é dada por:

$$\text{Temperatura } (^\circ\text{C}) = 5/9 (\text{Temperatura } (^\circ\text{F}) - 32), \text{ ou seja,}$$

$$T (^\circ\text{C}) = 5/9 (T (^\circ\text{F}) - 32)$$

Substituindo a 1ª equação na 2ª, vem:

$$T (^\circ\text{C}) = 85 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ ou } T (^\circ\text{F}) = 185 \text{ } ^\circ\text{F}.$$

## Atividade Prático-Laboratorial

### APL A-0.1: Construção e calibração de um termómetro

**Questão-problema:** Como construir e calibrar um termómetro?

**Objetivo:** Construção e calibração de um termómetro de água.

#### Questões pré-laboratoriais:

1. Qual a propriedade do líquido que permite o funcionamento de um termómetro?

#### Recursos:

- Garrafa ou frasco de vidro com tampa
- Massa/goma de modelar ou rolha de cortiça
- Palhinha de plástico fina e transparente
- Água
- Caneta que escreva em plástico
- Corante



#### Procedimento:

1. Faça um furo na tampa.
2. Insira a palhinha no furo e vede.
3. Encha a garrafa completamente com água fria (arrefece-se com gelo) e acrescente o corante.
4. Coloque a tampa, de modo que a água suba um pouco na palhinha.
5. Com a caneta, faça uma marca na palhinha, na altura do nível da água.
6. Coloque a garrafa ao sol durante algum tempo e observe que o nível da água dentro da palhinha sobe.
7. Quando a água estiver perto da ponta superior da palhinha, leve a garrafa para a sombra e faça uma marca no nível da água.
8. Divida o espaço entre as marcas em partes iguais, à sua escolha.
9. Utilize o termómetro assim construído para observar a variação de temperatura ao longo de um dia de aulas.

#### Questões pós-laboratoriais:

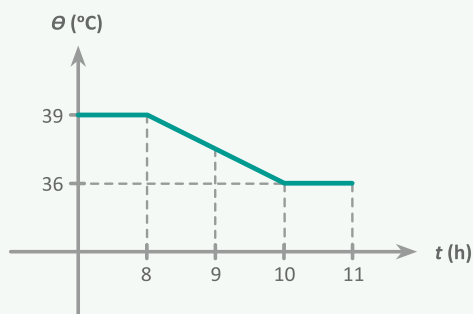
1. Invente um nome para a escala criada.
2. Construa um gráfico da temperatura medida em função das horas do dia.
3. Indique limitações deste termómetro.

## Resumo

- O espectro eletromagnético ordena as radiações de acordo com a energia ou com o comprimento de onda ou com a frequência.
- As radiações propagam-se por ondas que têm como características a amplitude, a velocidade de propagação, o comprimento de onda, o período e a frequência.
- A radiação visível ocupa uma pequena faixa do espectro eletromagnético.
- A velocidade de propagação de uma onda depende das características do meio.
- A energia da radiação é diretamente proporcional à frequência dos fótons que constituem essa radiação.
- A frequência e o comprimento de onda são duas grandezas inversamente proporcionais.
- A temperatura de um corpo mede o grau de agitação das suas partículas constituintes.
- No Sistema Internacional de Unidades a temperatura mede-se em kelvin.

## Questões para Resolver

1. Calcule o comprimento de onda no vácuo de uma radiação azul, de frequência  $f = 6,4 \times 10^{14}$  Hz, expressa em nanómetros.
2. A velocidade de propagação da luz na água é de  $2,25 \times 10^8$  m·s<sup>-1</sup>. Calcule o comprimento de onda de uma radiação de frequência  $f = 509$  THz nesse meio.
3. A figura representa a temperatura medida num doente, entre as 7 e as 11 horas.



Calcule a temperatura que apresenta às 9 horas, em graus Réaumur.

4. Na escala de Réaumur, o «0» corresponde à temperatura de fusão do gelo e o «80» à temperatura de ebulição da água. Calcule a temperatura em que, nesta escala e na de Fahrenheit, seja expressa pelo mesmo valor numérico.
5. A menor temperatura registada na Terra foi de  $-89$  °C, na Antártida. Converta este valor para kelvin.
6. No interior de uma sala, há dois termómetros pendurados na parede. Um deles, graduado em kelvin, indica 298 K para a temperatura ambiente. O outro está graduado em graus Celsius. Calcule o valor marcado por esse termómetro.
7. Para calibrar um termómetro de mercúrio, um estudante coloca-o em equilíbrio térmico, primeiro, com gelo fundente e, depois, com água em ebulição, sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: 20,0 cm e 40,0 cm, respetivamente. Depois, espera que o termómetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nesta situação, a altura da coluna de mercúrio é de 24,0 cm. Qual a temperatura do laboratório na escala Celsius? Justifique.
8. O álcool etílico tem ponto de fusão  $-39$  °C e ponto de ebulição 78 °C, sob pressão normal. Determine a diferença de temperatura entre estes dois pontos, em kelvin.

## A-1 Radiação: do Sol para a Terra

### 1 Emissão e absorção de radiação

O Sol, cuja superfície se encontra a uma temperatura de cerca de 6000 °C, emite radiação que incide na Terra e é absorvida pelos materiais. Facilmente se deteta que o Sol nos aquece, e aquece os materiais à nossa volta, mas nem sempre se sente que os materiais também irradiam energia.

A temperatura do corpo é que vai determinar o tipo de radiação por ele emitida. Qualquer corpo tem temperatura superior ao zero absoluto, logo emite radiações eletromagnéticas.

#### O que acontece à radiação que incide num corpo?

A radiação que incide num corpo pode ser absorvida, refletida ou transmitida.

Verifica-se sempre a Lei da Conservação da Energia, ou seja:

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

Um corpo diz-se **opaco** quando não se deixa atravessar pela radiação, apenas a absorve ou reflete.

A radiação incidente num corpo ou superfície opaca pode ser, parcialmente, absorvida ou refletida. Após a sua absorção, o corpo adquire uma determinada temperatura que vai determinar o tipo de radiação por ele emitida.

#### De que depende a quantidade de energia que é refletida, transmitida e absorvida?

A fração da radiação que é absorvida, refletida ou transmitida depende das propriedades do corpo (material, espessura, acabamento da superfície) e da frequência da radiação.

Se um corpo opaco não refletir a radiação, então será certamente um bom absorvedor dessa radiação. Um pedaço de madeira pintado de negro é opaco à radiação visível, reflete-a muito pouco e absorve-a muito. Um objeto preto absorve todas as cores e apenas o vemos por contraste com a sua vizinhança.

Um corpo que não transmita nem absorva energia chama-se um refletor ideal e apenas fará a reflexão da radiação que sobre ele incide. Um refletor ideal terá uma superfície polida, de aspeto espelhado.

Um objecto branco reflete todas as cores, mas de forma difusa, pois a sua superfície não é polida.

Há superfícies que são melhores emissoras de radiação do que outras.

Uma **superfície negra** arrefece mais depressa do que uma branca, pois emite maior quantidade de radiação no mesmo intervalo de tempo. Diz-se que tem **maior poder emissor**. Também é verdade que aquece mais rapidamente quando nela incide uma radiação e portanto a **superfície negra** é também um **bom absorvedor**.

A um corpo que absorva todas as radiações do espectro sem qualquer reflexão ou transmissão, chama-se **corpo negro**.

O Sol é um corpo negro pois não reflete radiação de outras fontes, emitindo energia de si mesmo.

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

O vidro é normalmente transparente à radiação visível, isto é, praticamente não a absorve. No entanto pode ser opaco para outro tipo de radiação, nomeadamente a infravermelha. Os espelhos que usamos no dia a dia praticamente só refletem a radiação visível. O ar é opaco à radiação ultravioleta de frequência superior a  $3 \times 10^{15}$  Hz emitida pelo Sol. Se essa radiação atingisse a superfície terrestre, seria fatal para a vida na Terra.

Uma superfície branca é má absorvedora da radiação visível, mas é boa absorvedora na zona do infravermelho do espectro eletromagnético.

Os corpos **bons emissores** num dado comprimento de onda também são **bons absorvedores** de radiação no mesmo comprimento de onda. Os **maus emissores** são também **maus absorvedores** no mesmo comprimento de onda.

O **fator de emissão** ou **emissividade**,  $e$ , caracteriza a tendência de um corpo para emitir radiação quando comparado a um emissor perfeito. O seu valor varia entre zero e um.

Para radiação da mesma frequência, o fator de emissão é igual ao fator de absorção.

Um emissor perfeito (ou radiador perfeito), o **corpo negro**, tem emissividade máxima,  $e = 1$ . Um corpo negro absorve toda a radiação que nele incide, não a reflete nem a transmite. Emite, a qualquer temperatura, a quantidade máxima possível de radiação, em todos os comprimentos de onda.

## 1.1 Sistema termodinâmico

Para compreender o comportamento de um sistema quando lhe é transferida energia é, muitas vezes, necessário considerá-lo como um sistema de muitas partículas e não como um todo. Nestes **sistemas termodinâmicos** não são desprezáveis as variações de energia interna. Esta energia resulta das partículas do corpo estarem em constante movimento e é a soma da energia cinética de cada partícula do corpo com a energia potencial de interação entre elas.

No estudo de um sistema termodinâmico utilizam-se as grandezas volume, pressão, temperatura e quantidade de substância, para o caracterizar.

### A saber:

*Um sistema termodinâmico é um sistema cujo comportamento só pode ser explicado considerando as partículas que o constituem.*

## 1.2 Lei de Stefan–Boltzmann

### Qualquer corpo emite radiação?

Todos os corpos emitem radiação eletromagnética pelo facto de estarem a uma determinada temperatura. Quanto mais elevada for a temperatura de um corpo, maiores são as frequências da radiação por ele emitida.

Este facto foi verificado quantitativamente por Josef Stefan, em 1879, e demonstrado teoricamente por Ludwig Boltzmann, em 1885.



Josef Stefan (1835-1893)



Ludwig Boltzmann (1844-1906)

As suas conclusões são traduzidas pela **Lei de Stefan-Boltzmann** que relaciona a potência total irradiada por um corpo com a temperatura absoluta,  $T$ , a que este se encontra, a área da superfície de emissão,  $A$ , e a emissividade,  $e$ .

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

onde  $\sigma$  representa a constante de Stefan-Boltzmann, que tem o valor de  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$

#### A saber:

Chama-se intensidade da radiação à potência por unidade de área e a unidade SI é  $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ .

### Questão Resolvida

1. O Sol, cujo raio médio é de  $6,96 \times 10^8 \text{ m}$ , emite globalmente  $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$ .

Considerando que este se comporta como um emissor ideal, determine a temperatura da sua superfície.

#### Resolução:

1. Usando a Lei de Stefan-Boltzmann,

$$P = e \sigma A T^4 \Leftrightarrow P = e \sigma 4 \pi r^2 T^4 \Leftrightarrow 3,9 \times 10^{26} = 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4 \pi \times (6,96 \times 10^8)^2 T^4$$

obtemos então  $T = 5790 \text{ K}$ .

### 1.3 Deslocamento de Wien

Um corpo real não pode, na verdade, ser considerado como um corpo negro em todas as regiões espectrais, pois reflete ou difunde e/ou transmite radiação numa ou mais regiões do espectro.

A curva de potência de radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda foi demonstrada teoricamente por Max Planck e pode observar-se na figura 19.

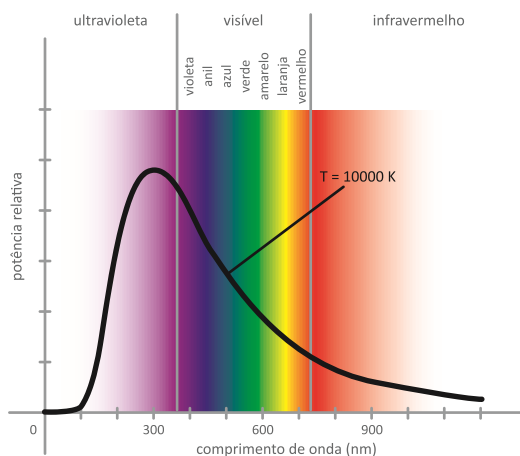


Figura 19 – Curva de Planck para um corpo negro à temperatura de 10000 K.



Wilhelm Wien (1864-1928)

Qualquer que seja a temperatura de um corpo, ele emite radiação numa gama de frequências. No entanto, existe uma zona em que emite com intensidade máxima. Esta zona varia com a temperatura, deslocando-se para maiores frequências, menores comprimentos de onda, à medida que a temperatura do corpo aumenta. Este fenómeno, conhecido como o **Deslocamento de Wien**, foi estabelecido, em 1893, pelo físico alemão **Wilhelm Wien**.

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 é inversamente proporcional à temperatura absoluta e pode ser determinado:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

onde:

- $\lambda_{m\acute{a}x}$  é o comprimento de onda a que corresponde a intensidade máxima da radiação emitida;
- $T$  é a temperatura da superfície radiante, medida em K.



O gráfico da figura 20 representa a intensidade das radiações que constituem o espectro emitido por um corpo, quando este se encontra à temperatura de 3000 K, 4000 K, 5000 K e 6000 K. Pode-se constatar que o comprimento de onda da radiação, onde é máxima a potência irradiada, correspondente ao pico, se desloca no sentido do menor comprimento de onda, quando a temperatura aumenta.

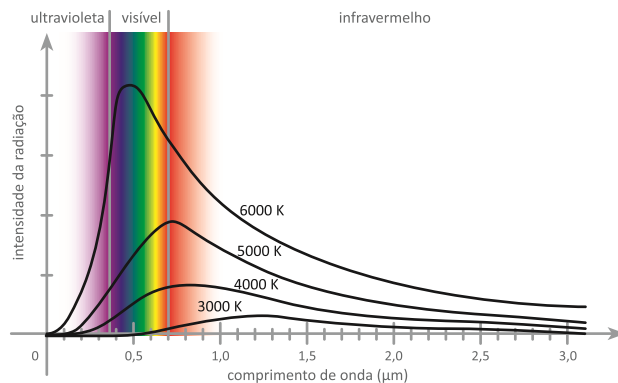


Figura 20 – Deslocamento de Wien.

### Porque é que a Terra não emite radiação nas mesmas frequências que recebe?

A Terra, cuja temperatura média é de cerca de 290 K, emite com intensidade máxima numa gama de comprimentos de onda muitíssimo maior que o Sol, na zona infravermelha.

O corpo humano tem uma temperatura média próxima de 37 °C e o seu máximo de emissão dá-se a 9,3  $\mu\text{m}$ , também no infravermelho.

#### A saber:

*De noite, é possível detetar a presença de uma pessoa utilizando binóculos de infravermelho. Não havendo luz a incidir sobre o corpo, não há reflexão deste tipo de radiação. Só se vê a radiação emitida pelos corpos, que é na zona do infravermelho.*



### Questões Resolvidas

1. Dois corpos A e B encontram-se, respetivamente, às temperaturas de 37 °C e 5000 °C. Indique:
  - 1.1. Se o comprimento de onda correspondente à potência máxima irradiada pelo corpo A é maior, menor ou igual ao comprimento de onda que corresponde à potência máxima irradiada pelo B.
  - 1.2. A zona do espectro eletromagnético onde se situa o comprimento de onda correspondente à potência máxima irradiada pelo corpo B.

#### Resolução:

- 1.1. Maior.

O corpo A encontra-se a uma temperatura menor, e pela Lei do Deslocamento de Wien, emite preferencialmente radiações de maior comprimento de onda (menor energia).

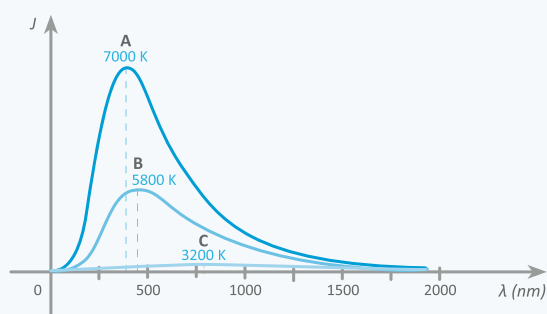
1.2. Pela Lei de Wien

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

Substituindo  $T$  por  $(5000 + 273,15)$  K, vem:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = 5,50 \times 10^{-7} \Leftrightarrow \lambda_{m\acute{a}x} = 550 \text{ nm, ou seja na zona do v\acute{is}ivel.}$$

2. Analise o gr\'afico que representa os espectros para corpos a diferentes temperaturas.



2.1. Qual a zona do espectro para o qual é máxima a intensidade da radiação emitida por cada corpo negro representado no gráfico?

2.2. Qual a cor correspondente ao máximo da radiação emitida pelo corpo que o faz preferencialmente na zona do visível?

2.3. Calcule a temperatura de um corpo negro, no SI, sabendo que a intensidade máxima de emissão se dá para um comprimento de onda de  $1 \mu\text{m}$ .

**Resolução:**

2.1. Curva A:  $\lambda_{m\acute{a}x} \approx 375 \text{ nm}$ , que corresponde a uma frequência ultravioleta.

Curva B:  $\lambda_{m\acute{a}x} \approx 450 \text{ nm}$ , que corresponde a uma frequência visível.

Curva C:  $\lambda_{m\acute{a}x} \approx 800 \text{ nm}$ , que corresponde a uma frequência infravermelha.

2.2.  $\lambda_{m\acute{a}x}$  a  $450 \text{ nm}$ , que corresponde a uma radiação azul.

2.3. Usando a Lei do Deslocamento de Wien:

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

Convertemos  $\lambda_{m\acute{a}x}$  a metros e substituímos na expressão anterior:

$$1 \times 10^{-6} = \frac{2,898 \times 10^{-3}}{T}$$

calculamos  $T = 2898 \text{ K}$ .

## Atividade Prático-Laboratorial

### APL A-1.1: Absorção e emissão de radiação

**Questão-problema:** Porque é que a parte interna de uma garrafa termo é espelhada?

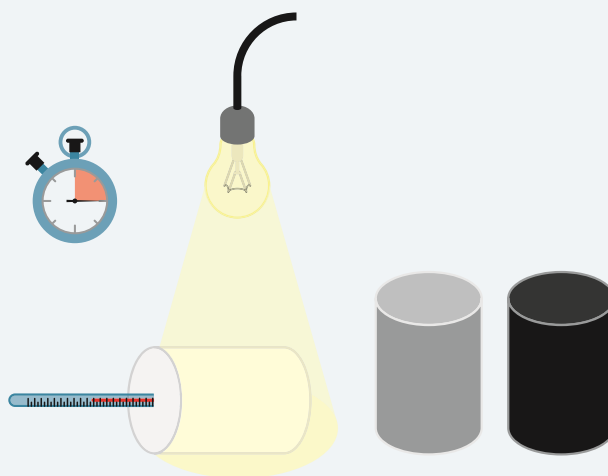
**Objetivo:** Comparar o poder de absorção de radiação de superfícies distintas: uma preta, uma branca e uma espelhada.

#### Questões pré-laboratoriais:

1. Qual a relação entre a taxa de emissão e de absorção de radiação de um corpo que está em equilíbrio térmico radiativo com a sua vizinhança?
2. Nas condições da questão anterior, o corpo não absorve nem radia energia?

#### Material:

- 3 Latas iguais: uma pintada de preto, outra de branco e outra polida
- Lâmpada de 100 W
- Termómetro
- Cronómetro



#### Procedimento:

1. Introduza o termómetro dentro de uma das latas.
2. Anote a temperatura inicial.
3. Dirija a luz emitida pela lâmpada sobre a lata.
4. Meça a temperatura de 5 em 5 minutos durante 30 minutos.
5. Proceda de igual modo para as outras latas.
6. Construa, no mesmo sistema de eixos, o gráfico da temperatura em função do tempo para cada lata.
7. Tire conclusões.

#### Questões pós-laboratoriais:

1. Interprete os gráficos obtidos.
2. Responda à questão-problema.

### A saber:

*A emissão de radiação térmica por um corpo não depende da temperatura da sua vizinhança, mas apenas da temperatura a que o corpo se encontra.*

## 2 Equilíbrio térmico. Lei Zero da Termodinâmica

Todos os corpos estão simultaneamente a emitir radiação e a receber radiação emitida por tudo o que os rodeia.

Numa situação, como é o caso Sol-Terra, em que as trocas de energia só se dão por radiação, pode-se afirmar que:

- se a taxa de absorção da radiação, por parte de um corpo, for superior à taxa de emissão, a **energia interna** desse corpo **umenta** e o mesmo acontece à sua temperatura;
- se a taxa de emissão da radiação, por parte de um corpo, for superior à taxa de absorção, a **energia interna** desse corpo **diminui** e o mesmo acontece à sua temperatura;
- se a taxa de emissão da radiação, por parte de um corpo, for igual à taxa de absorção, a **energia interna** desse corpo **mantém-se** e o corpo fica a temperatura constante, a **temperatura de equilíbrio radiativo**.

### Existem outros processos que permitem atingir o equilíbrio térmico?

Colocando em contacto dois corpos a temperaturas diferentes, transita energia como **calor** do corpo a temperatura mais elevada para o corpo a temperatura mais baixa, até as temperaturas se igualarem, isto é, os corpos atingirem o **equilíbrio térmico**.

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

### Lei Zero da Termodinâmica

Se dois sistemas estiverem em equilíbrio térmico com um terceiro, também estão em equilíbrio térmico entre si.

Esta lei permite compreender a razão pela qual os corpos que se encontram num certo ambiente, ao fim de algum tempo, acabam por ficar todos à mesma temperatura.

### 2.1 Radiação Solar

O Sol constitui a fonte de energia mais importante para o planeta Terra, embora esta apenas receba uma pequena parte da energia emitida por aquele.

## O que acontece à radiação que vem do Sol para a Terra?

A radiação solar atinge, num dado instante, a Terra com variadas inclinações. A quantidade principal é aquela que incide perpendicularmente à superfície terrestre.

Da radiação solar que atinge a atmosfera da Terra, parte dela é absorvida, como radiação gama, raios X, radiação ultravioleta mais energética, alguma radiação infravermelha e de micro-ondas.

A figura 21 mostra que a radiação eletromagnética que atravessa a atmosfera, chega à superfície terrestre através de duas zonas do espectro eletromagnético, designadas por **janela do visível** e **janela das ondas de rádio**.

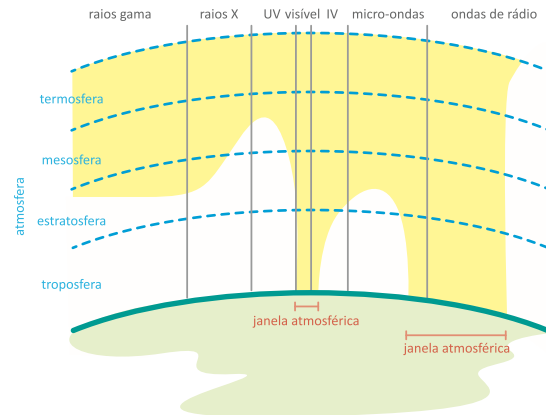


Figura 21 – Radiação solar que atinge a Terra.

A energia da radiação solar que incide perpendicularmente no topo da atmosfera terrestre é cerca de 1370 J, por cada metro quadrado e durante um segundo, ou seja 1370 W/m<sup>2</sup>. A este valor chama-se **constante solar**, *S*.

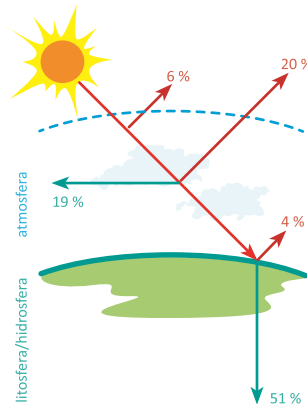


Figura 22 – Distribuição de energia incidente na Terra.

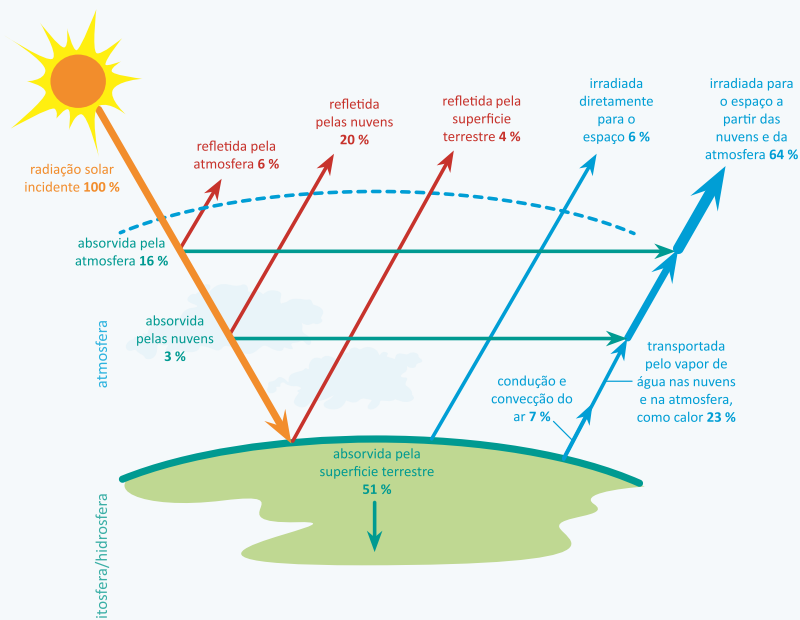
Da energia que a Terra recebe do Sol:

- cerca de **30%**, é **refletida**: pela atmosfera (6%), pelas nuvens (20%) e pela própria superfície terrestre (4%). Constitui o chamado **albedo** do planeta.
- a restante radiação incidente, ou seja **70%**, contribui para o aumento da energia interna do globo terrestre e distribui-se do seguinte modo:
  - **19%** é **absorvida** pelas nuvens e atmosfera;
  - **51%** é **transmitida** para a superfície terrestre.

## Questão Resolvida

1. A importância do papel do Sol na evolução da vida terrestre é desde há muito reconhecida.

Na figura está esquematizado um balanço energético da Terra.



Classifique como verdadeira (V) ou falsa (F), cada uma das afirmações seguintes:

- (A) A percentagem da radiação solar incidente que é refletida é maior do que a que é absorvida pela atmosfera e pelas nuvens.
- (B) A radiação solar que atinge a superfície da Terra situa-se apenas na zona visível do espectro eletromagnético.
- (C) A percentagem da radiação solar absorvida pela atmosfera é superior à refletida por ela.
- (D) A intensidade máxima da radiação emitida pela Terra ocorre na zona do visível do espectro eletromagnético.
- (E) A intensidade máxima da radiação emitida pelo Sol ocorre na zona do infravermelho do espectro eletromagnético.
- (F) Aproximadamente metade da radiação solar incidente é absorvida pela superfície terrestre.
- (G) Uma parte da radiação solar incidente é absorvida pela atmosfera, sendo a restante radiação totalmente absorvida pela superfície terrestre.
- (H) Da radiação solar que atinge o planeta, 30% é refletida para o espaço.

### Resolução:

1. Verdadeiras – (A), (C), (F), (H); Falsas – (B), (D), (E), (G).

## 2.2 Balanço energético da Terra

### Se a Terra está constantemente a receber energia por radiação do Sol, como se explica que tenha uma temperatura média praticamente constante?

A Terra encontra-se em equilíbrio térmico radiativo com o Sol. Não só recebe como emite energia por radiação e, a energia recebida é igual à energia emitida, em cada segundo.

Tendo em conta este pressuposto, pode fazer-se um balanço simplificado que permite fazer uma estimativa da temperatura de equilíbrio da Terra.

Considerem-se as seguintes simplificações:

- a radiação incide perpendicularmente na Terra;
- a esfericidade da Terra é desprezável;
- a Terra comporta-se como um corpo negro.

O balanço energético da Terra, em equilíbrio radiativo, permite escrever:

$$\text{Potência recebida pela Terra} = \text{Potência emitida pela Terra}$$

Como foi referido, só 70% da potência proveniente do Sol é absorvida pela Terra e esta apenas atinge um hemisfério terrestre, que se considera um círculo, pois despreza-se a esfericidade da Terra.



Figura 23 – A radiação do Sol incide num círculo da Terra.

Então usa-se apenas 70% da potência por unidade de área que chega à Terra, isto é 70% da constante solar. Como se pretende a potência, multiplica-se pela área, que neste caso é a do círculo.

Então vem:

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

Em que  $S$  é a constante solar e  $R_T$  o raio da Terra.

No caso da potência emitida pela Terra, usa-se a Lei de Stefan-Boltzmann, e considera-se que aquela tem emissividade 1. A área que emite corresponde à de uma superfície esférica.

Sendo assim:

$$\text{Potência emitida pela Terra: } P_{\text{emitida}} = e \sigma 4 \pi R_T^2 T^4$$

Retomando a igualdade do balanço energético da Terra, vem:

$$\begin{aligned} 0,70 S \pi R_T^2 &= e \sigma 4 \pi R_T^2 T^4 \\ 0,70 \times 1370 \times \pi R_T^2 &= 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4 \pi R_T^2 T^4 \end{aligned}$$

Simplificando e resolvendo, obtém-se para a temperatura do globo terrestre o valor:

$$T = 255 \text{ K} = -18 \text{ °C}$$

Este valor é bastante próximo da temperatura medida por satélites no limite superior da atmosfera. No entanto, a temperatura global da superfície da Terra tem um valor bastante superior, cerca de 15 °C (288 K).

Esta diferença de valores deve-se ao facto de não ter sido considerado o **efeito de estufa**.

A superfície da Terra emite radiação infravermelha. Parte dela é emitida para o espaço, outra parte é absorvida pelas nuvens e por alguns gases presentes na atmosfera, e outra parte é reemitida novamente para a superfície. Este efeito produz um aquecimento da superfície da Terra e das camadas mais baixas da atmosfera, e impede grandes amplitudes térmicas ao longo do dia.

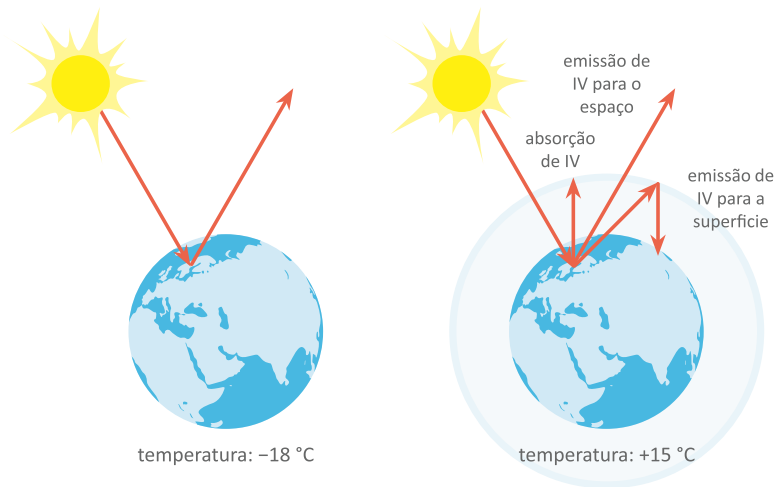


Figura 24 – O maior ou menor efeito de estufa condiciona a temperatura da Terra.

### Questão Resolvida

1. O albedo de Mercúrio é de 6% e a potência por m<sup>2</sup> da radiação solar que o atinge (o equivalente à constante solar na Terra) é 9159 W/m<sup>2</sup>. Considerando a sua emissividade igual a 1, estime a temperatura da superfície de Mercúrio.

#### Resolução:

1. Considera-se que a Mercúrio está em equilíbrio radiativo, isto é,

Potência recebida por Mercúrio = Potência emitida por Mercúrio

$$0,94 S \pi R_M^2 = e \sigma 4 \pi R_M^2 T^4$$

Em que  $R_M$  é o raio médio de Mercúrio. Então,

$$0,94 \times 9159 \times \pi R_M^2 = 1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times 4 \pi R_M^2 T^4$$

$$T = 441 \text{ K.}$$