

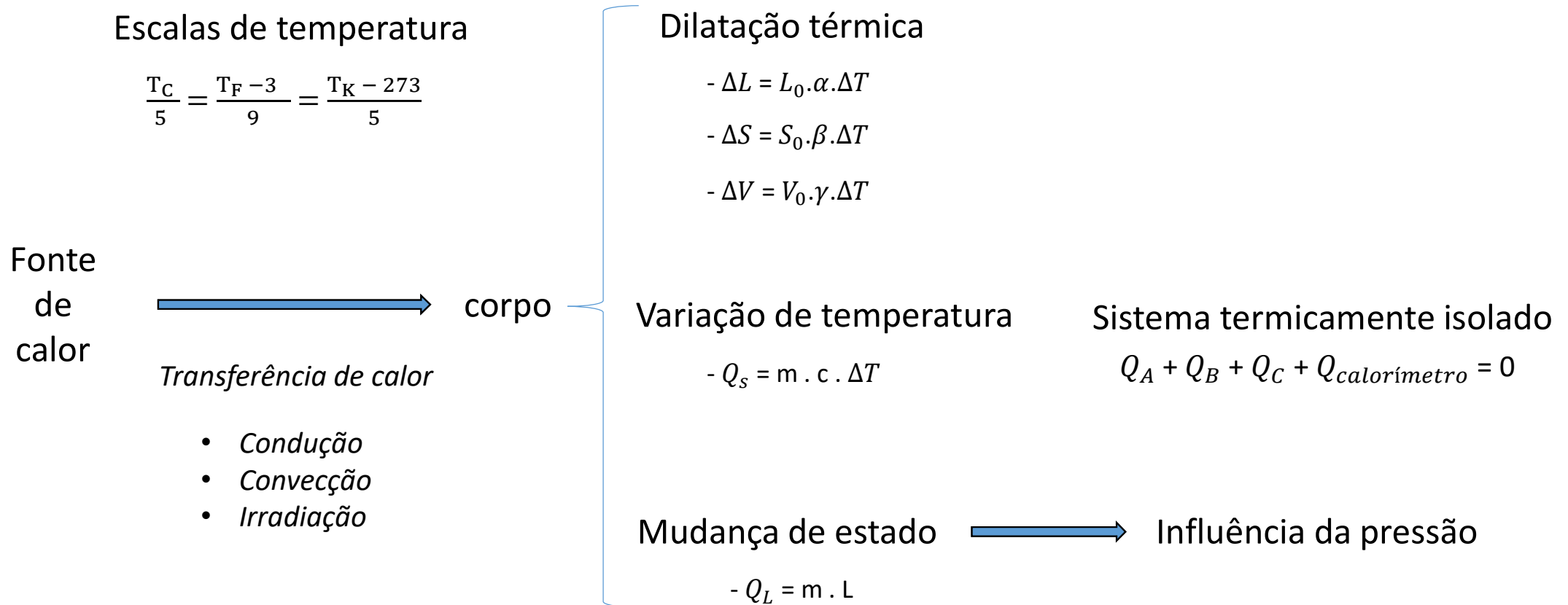
Processos de transferência de calor

Aulas 13 e 14 / Pg. 513 / Tetra 1

- SL 02 – Mapa conceitual
- SL 03 – Teoria
- SL 20 - Exercícios

Apresentação e demais documentos: **fisicasp.com.br**

Mapa conceitual



Calor

- Trânsito de energia térmica que ocorre, espontaneamente, do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura.
- Calor é energia em trânsito. O corpo não possui calor ou armazena calor. Por isso o termo “estou com calor” não é correto.
- Podemos dizer que os corpos armazenam energia térmica. A energia térmica é a energia que tem origem na agitação das partículas.
- Os corpos não trocam temperatura.
- A quantidade de calor (Q) é medida de Joules (J) no S.I.
- $1 \text{ cal} \cong 4,2 \text{ J}$

Calor causando
alteração da
temperatura:
calor sensível

Calor causando
mudança de
estado físico:
calor latente

A



B



CALOR

Antes:

$$T_A > T_B$$

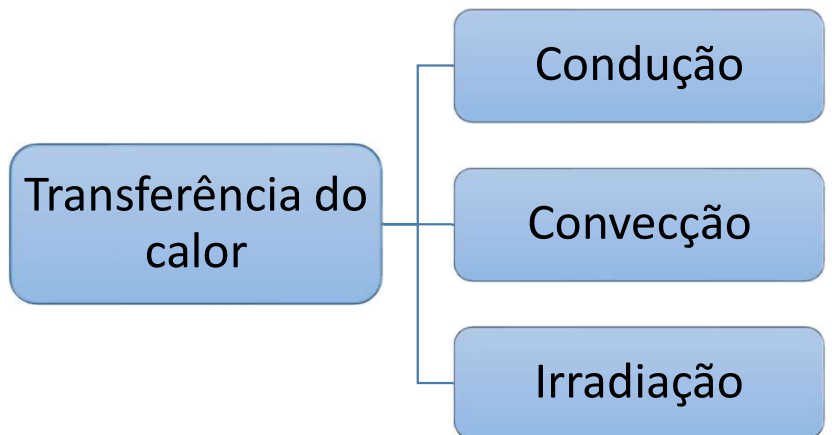
Depois:

equilíbrio térmico

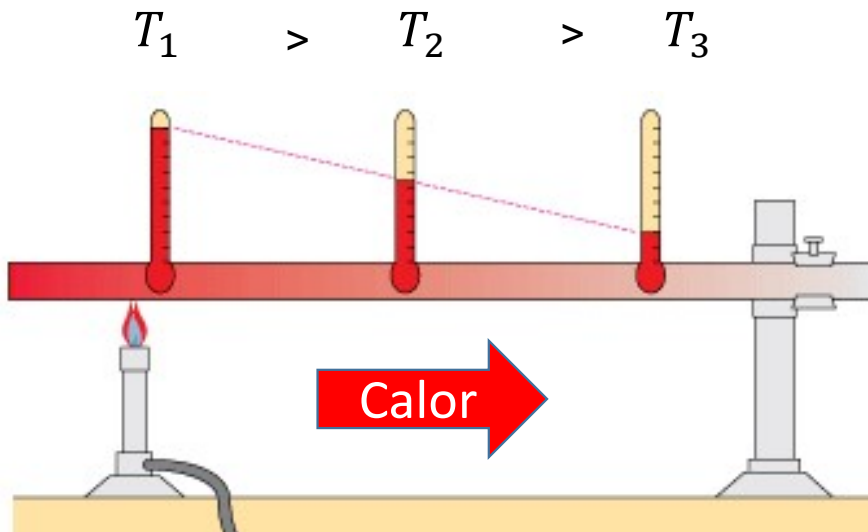
$$T'_A = T'_B$$



Processos de transferência de calor



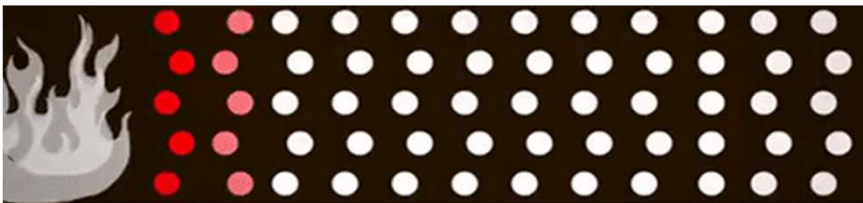
Condução



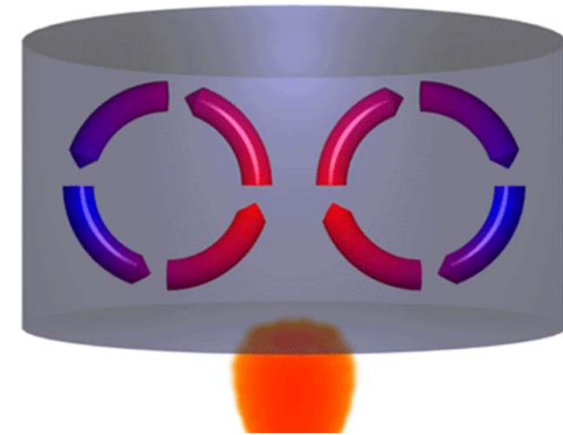
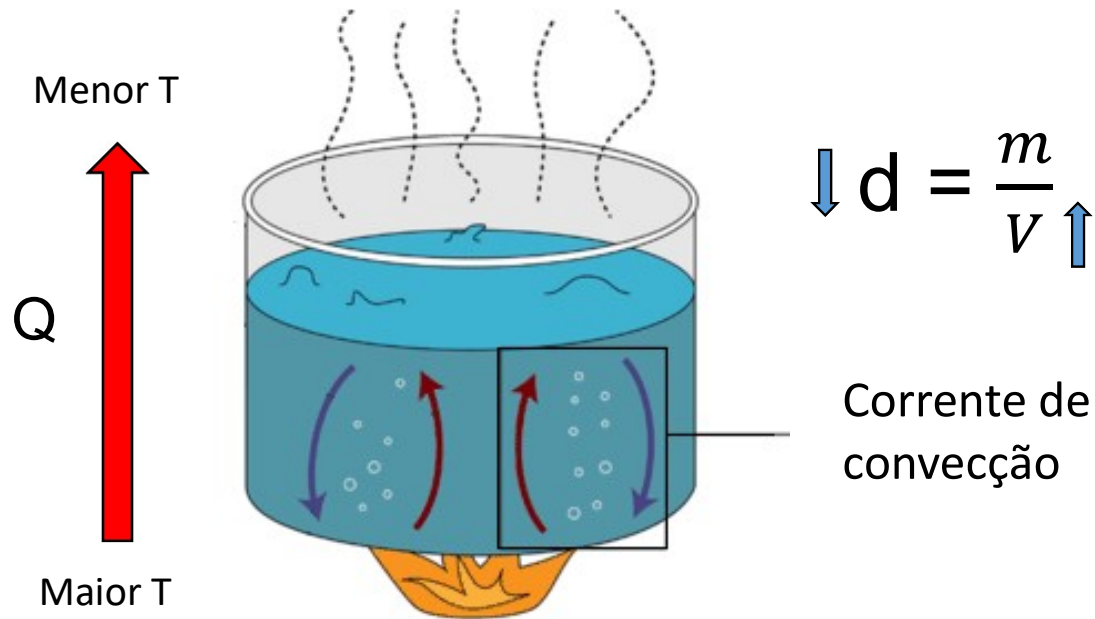
- Colisões entre as partículas (partícula por partícula).
- Predominante em meios sólidos.
- Necessidade de um meio material (não ocorre no vácuo).
- Sem transporte de matéria.

- Metais são os melhores condutores de calor
- Maus condutores de calor ou isolantes térmicos

- Ar
- Vidro
- Isopor

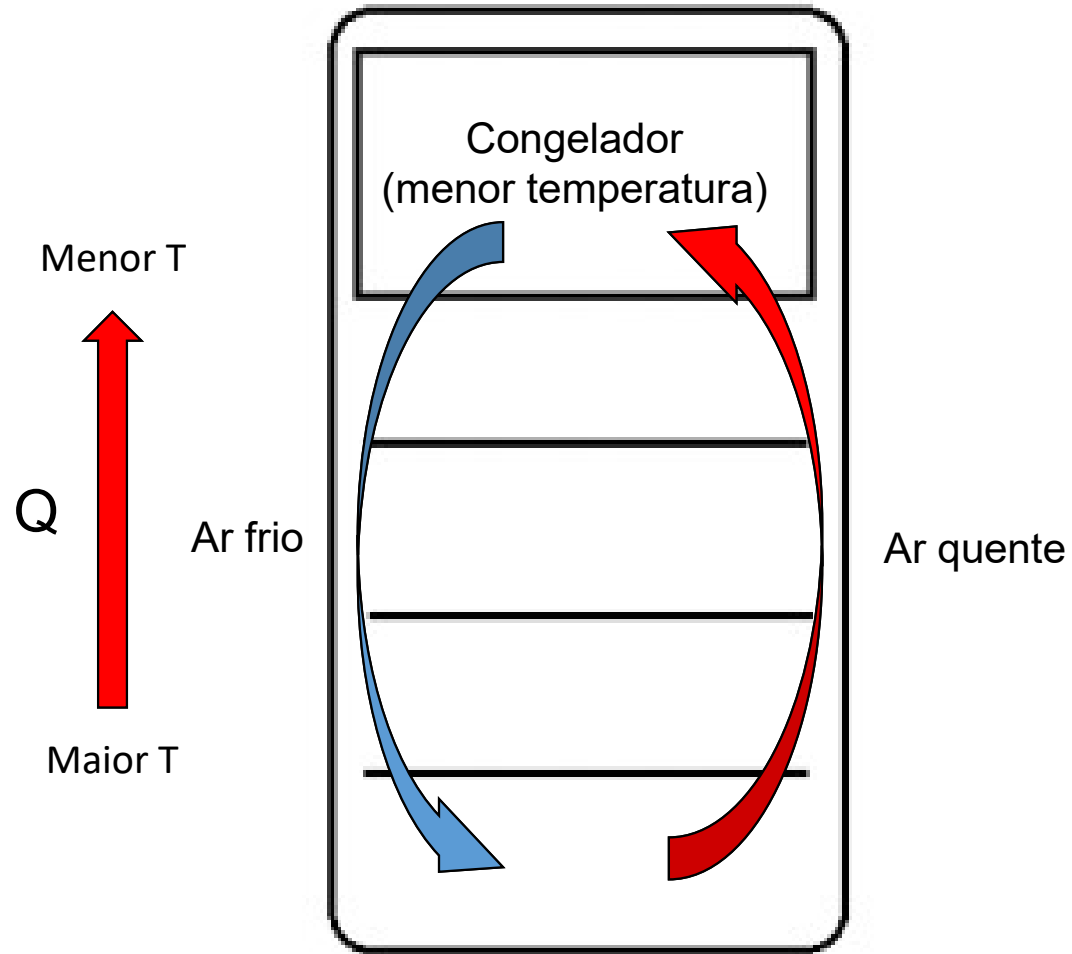


Convecção

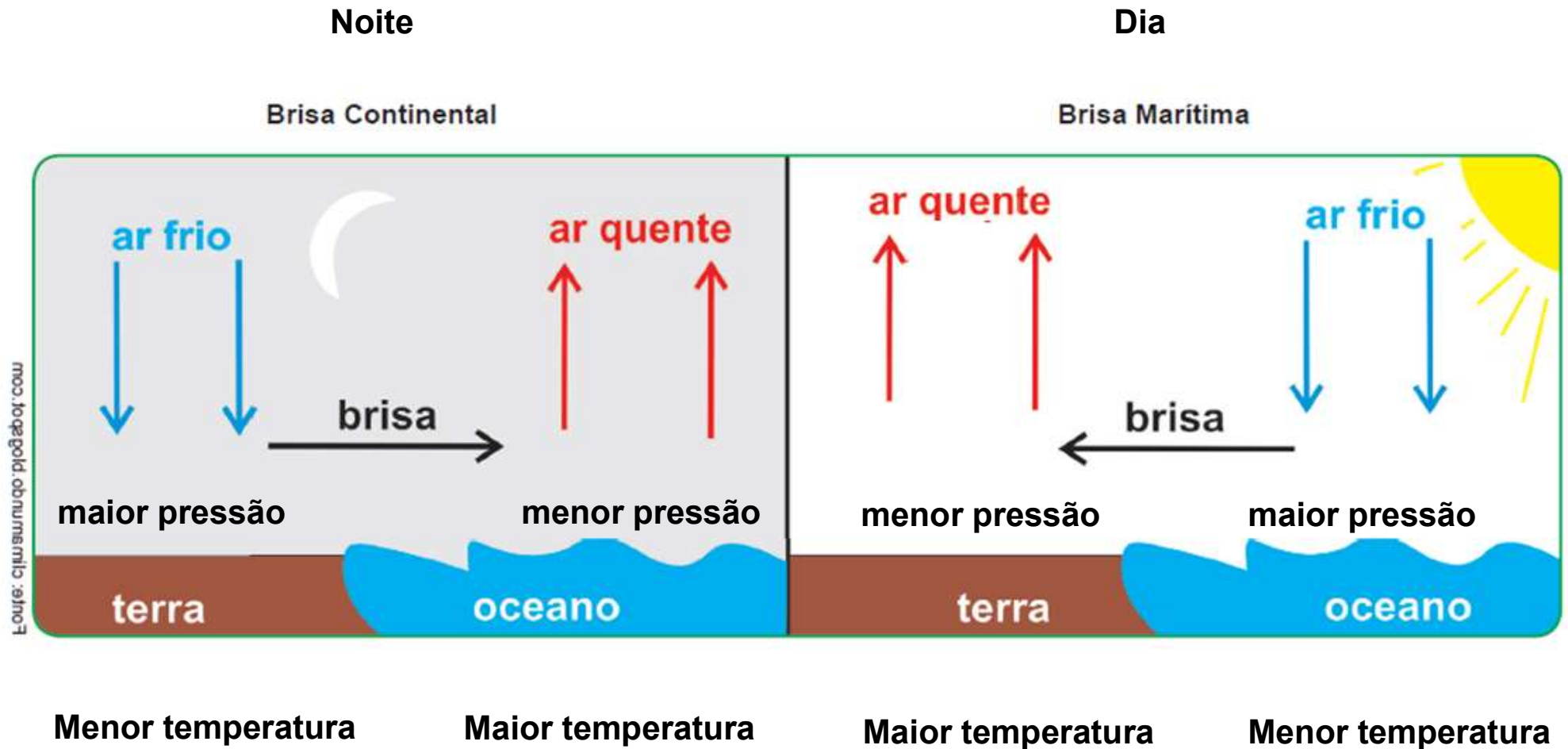


- Transferência de calor que ocorre devido à movimentação da matéria
- A movimentação da matéria se dá em virtude das diferenças de densidade e ação da gravidade.
- Ocorre somente nos gases e líquidos.
- Necessidade de um meio material (não ocorre no vácuo).
- Com transporte de matéria.

Convecção (exemplo da geladeira)



Convecção (brisa marítima e continental)



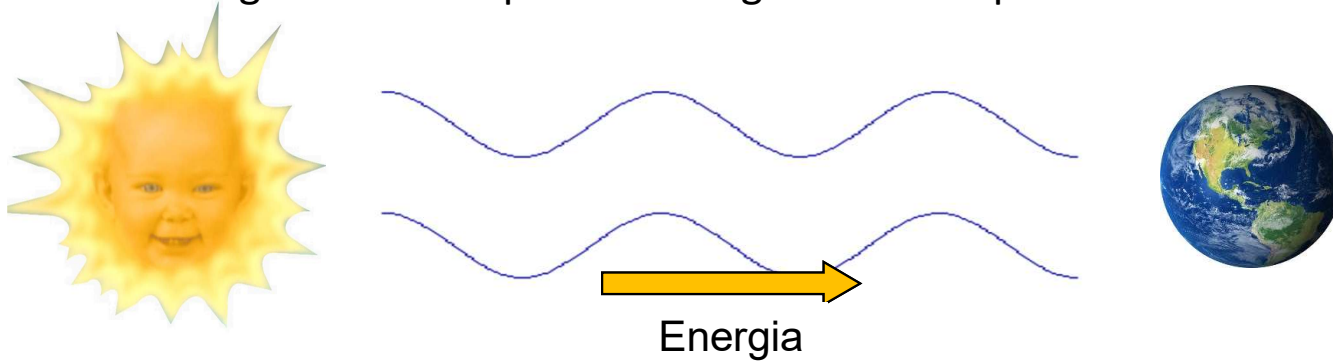
Revisão

Pré-requisito: o conceito de onda eletromagnética.

- Cargas elétricas oscilando emitem ondas eletromagnéticas

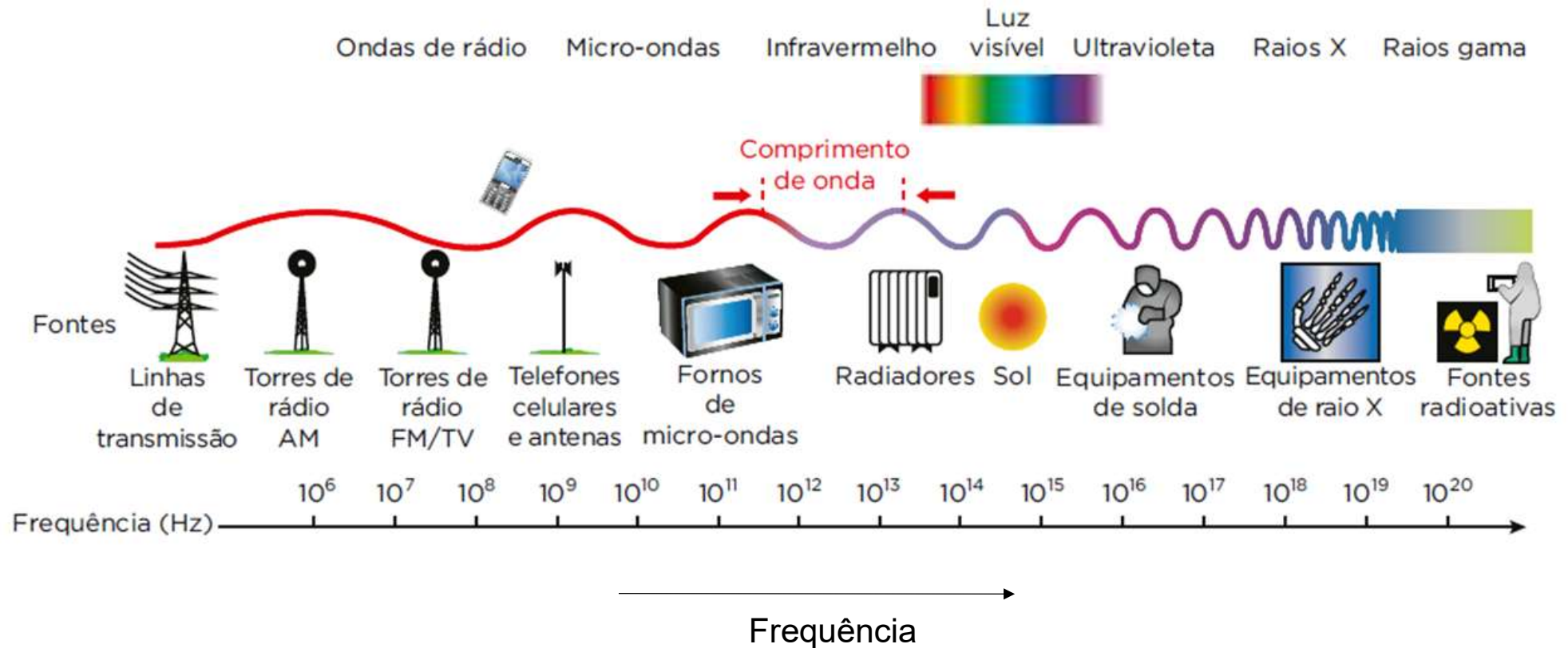


- Ondas de natureza eletromagnética podem viajar no vácuo e em meios materiais.
- Ondas eletromagnéticas transportam energia sem transportar matéria.

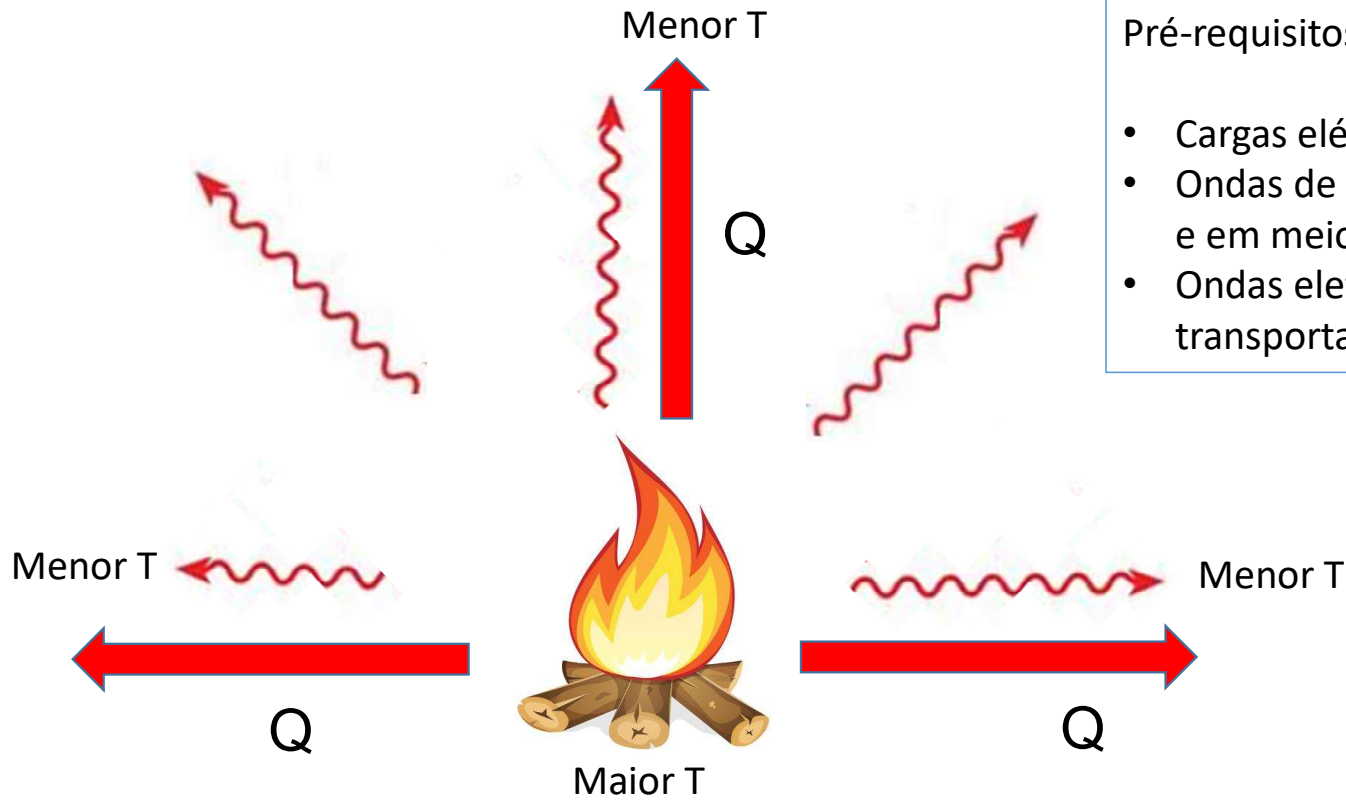


Revisão

O espectro eletromagnético: conjunto das ondas eletromagnéticas conhecidas



Irradiação

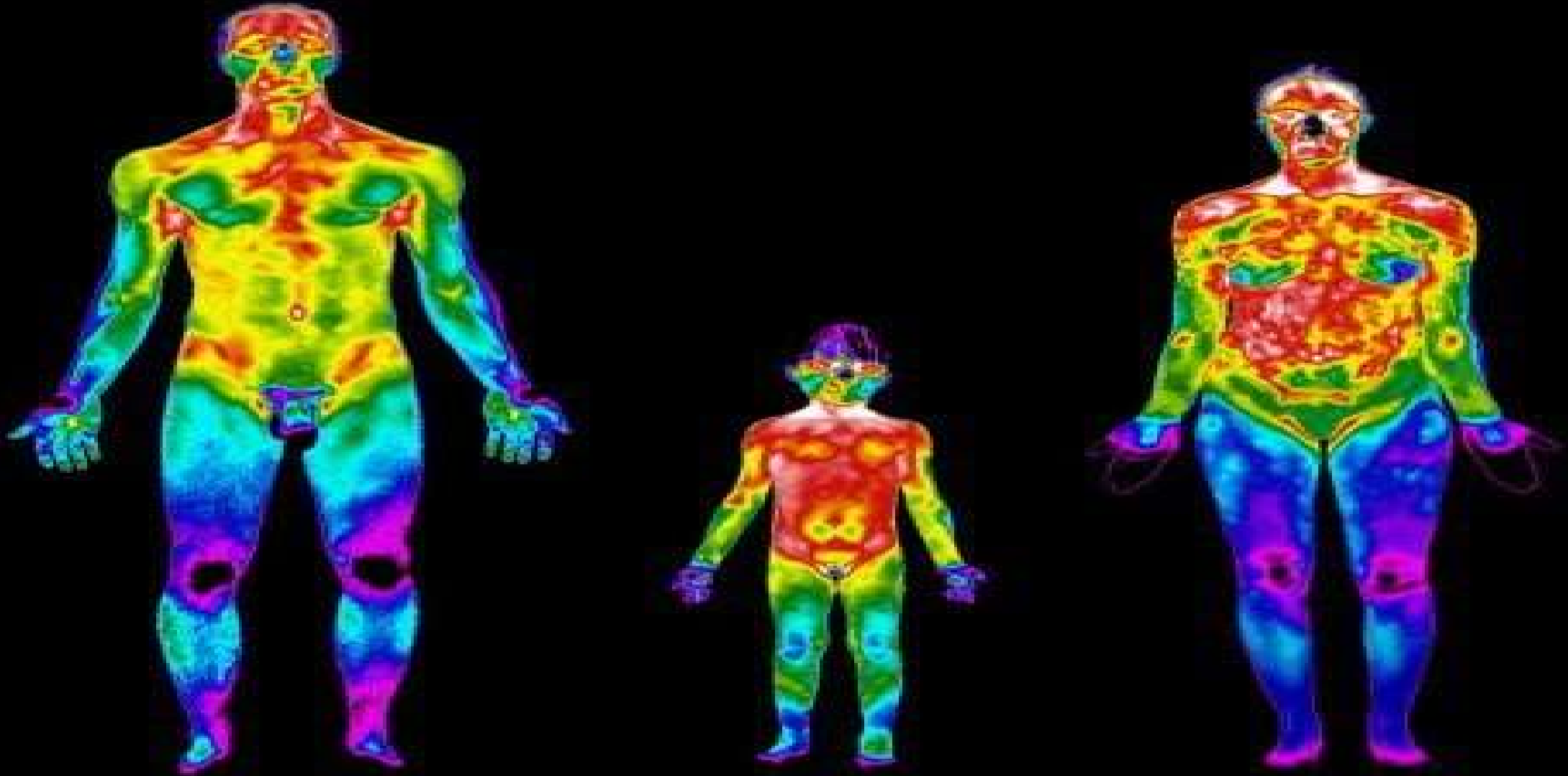


Pré-requisitos:

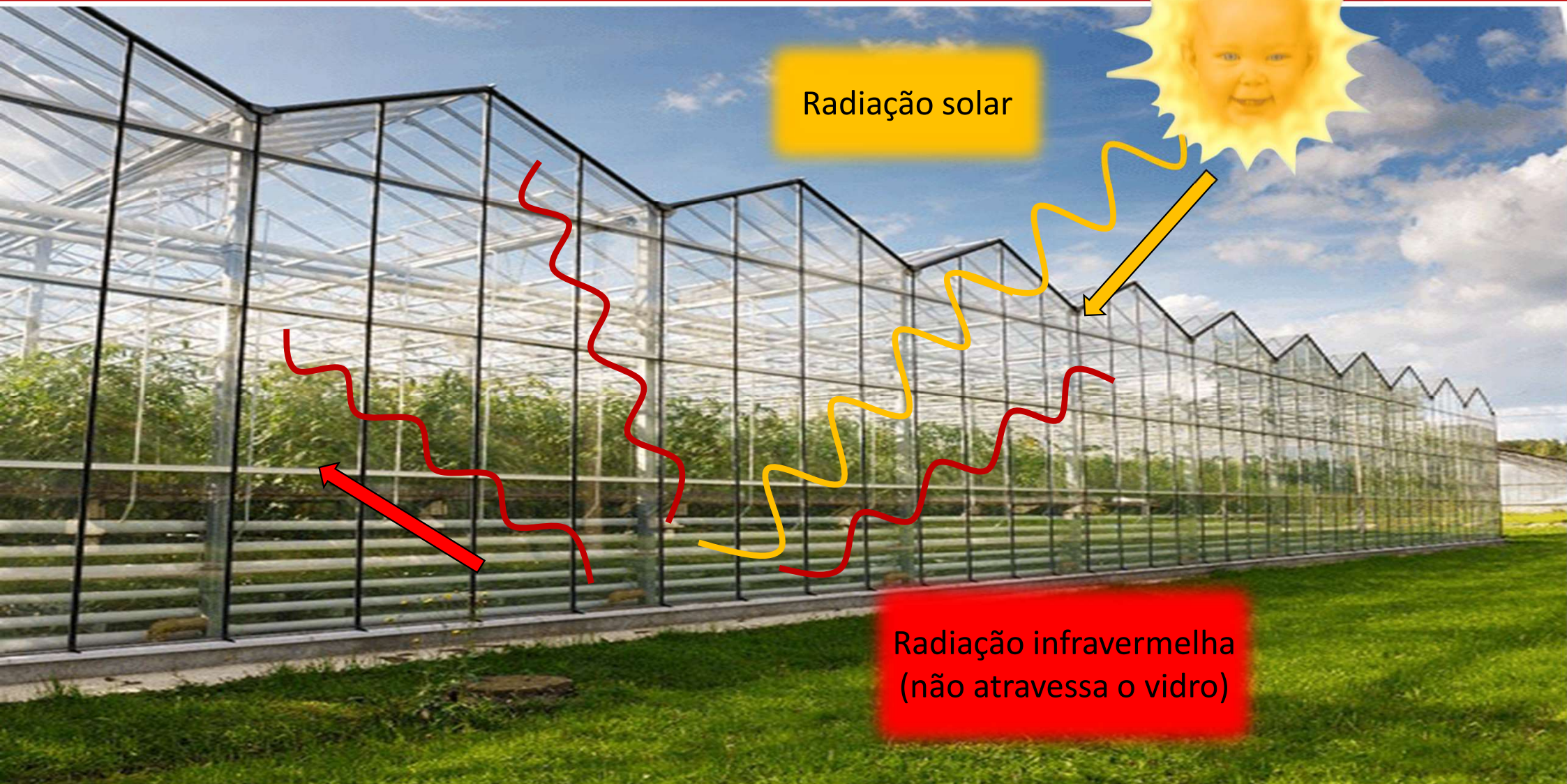
- Cargas elétricas oscilando emitem ondas eletromagnéticas
- Ondas de natureza eletromagnética podem viajar no vácuo e em meios materiais.
- Ondas eletromagnéticas transportam energia sem transportar matéria.

- Transferência de calor por ondas eletromagnéticas (radiação infravermelha).
- Não há necessidade de um meio material (ocorre no vácuo).
- Pode ocorrer nos sólidos, líquidos e gases.

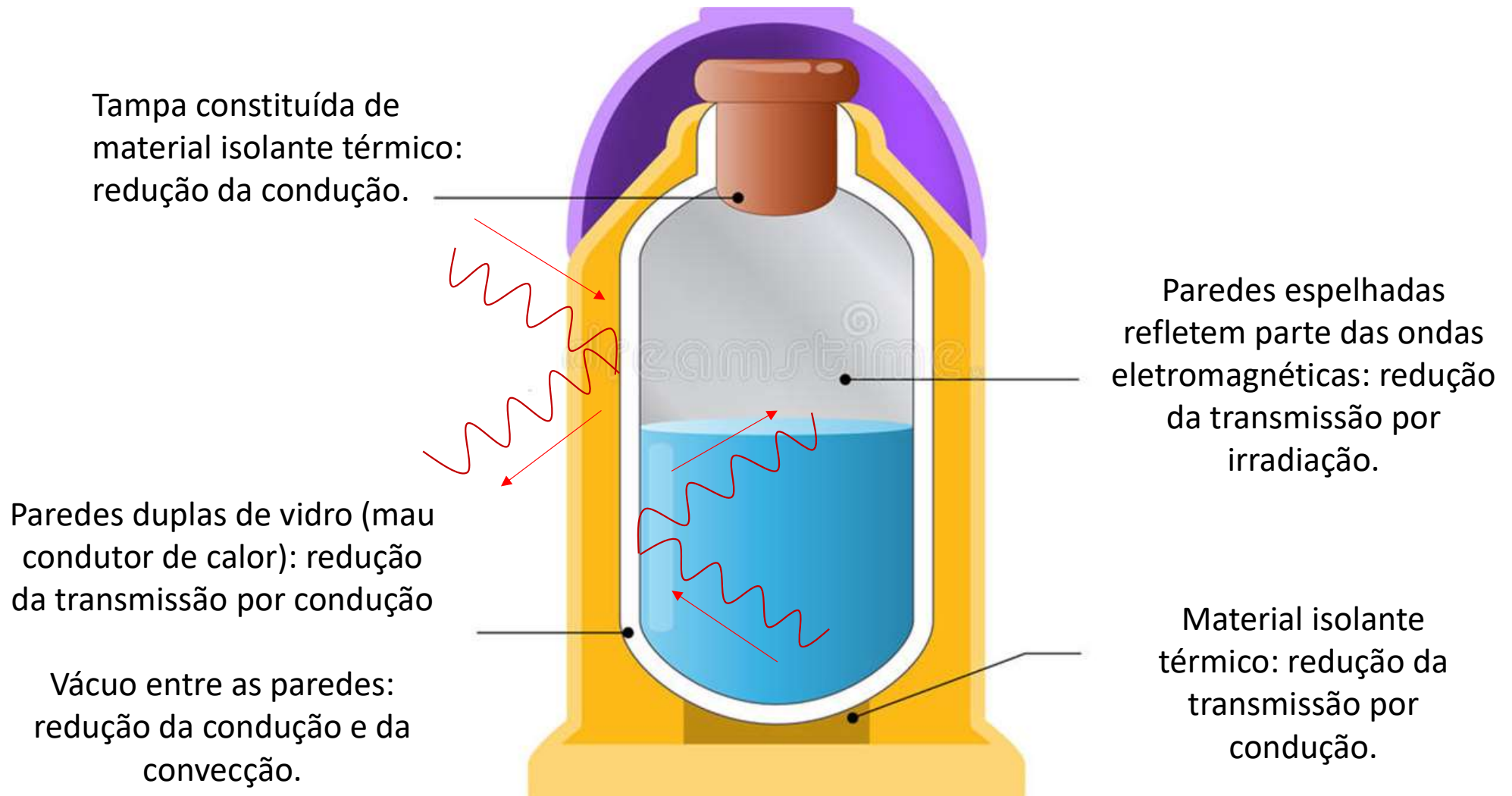
Emissão de radiação infravermelha pelo corpo humano



Irradiação (estufa)



Vaso de Dewar (garrafa térmica)

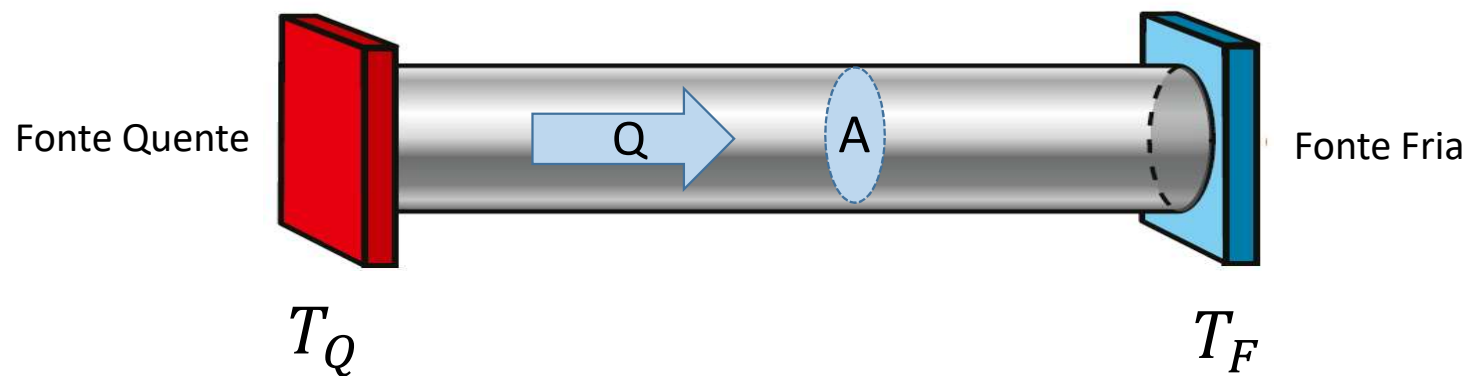


TRANSFERÊNCIA DE CALOR

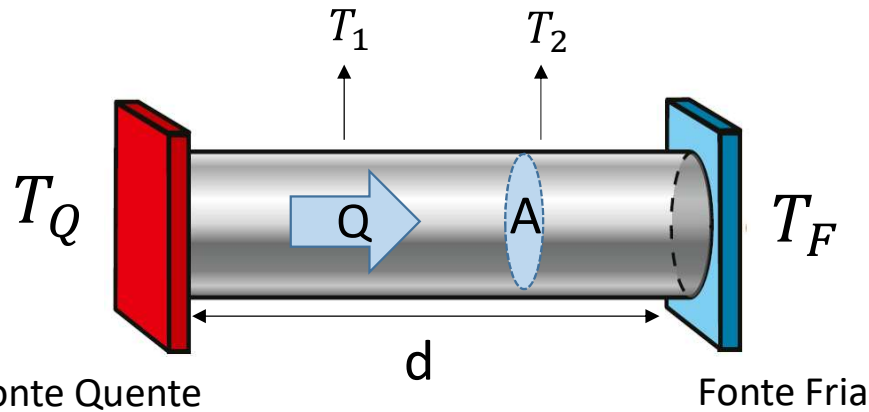
Condução, taxa de transferência de calor e lei de Fourier

Taxa de transferência de calor ou fluxo de calor (ϕ)

- Mede a quantidade de calor transferida por unidade de tempo
- Indica a rapidez com a qual o calor é transferido



$$\Phi_m = \frac{Q}{\Delta t} \rightarrow \left(\frac{\text{J}}{\text{s}} \right)^{\text{SI}} \text{ ou } (\text{W})^{\text{SI}} \text{ ou } \left(\frac{\text{cal}}{\text{s}} \right)^{\text{SU}} \quad 1\text{W} = \frac{1\text{J}}{1\text{s}}$$



Fluxo de calor

$$\Phi_m = \frac{Q}{\Delta t}$$

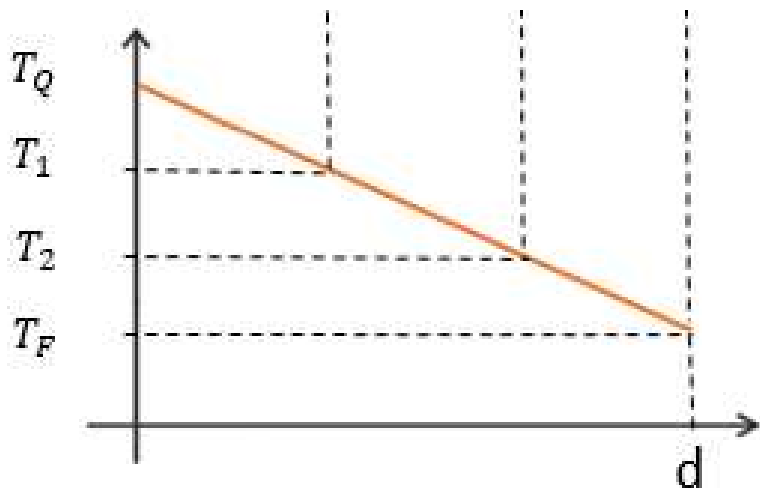
Lei de Fourier

$$\Phi_{cte} = \frac{k.A.(T_Q - T_F)}{d}$$

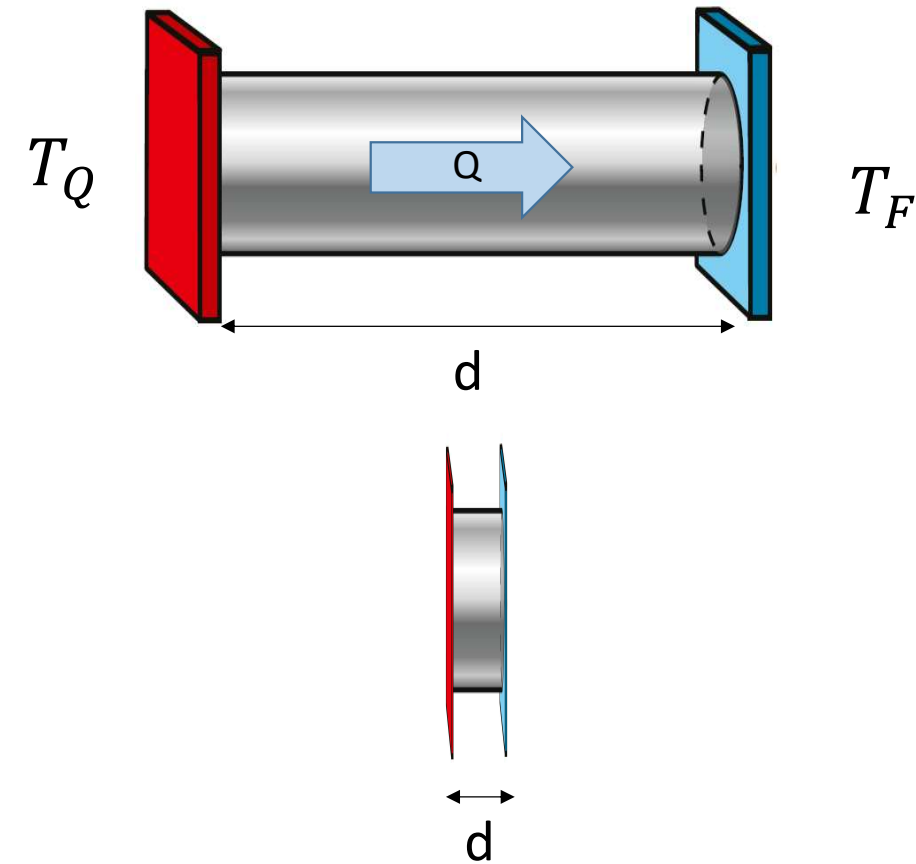
- Regime estacionário ou regime permanente (Φ_{cte})

Unidades no SI

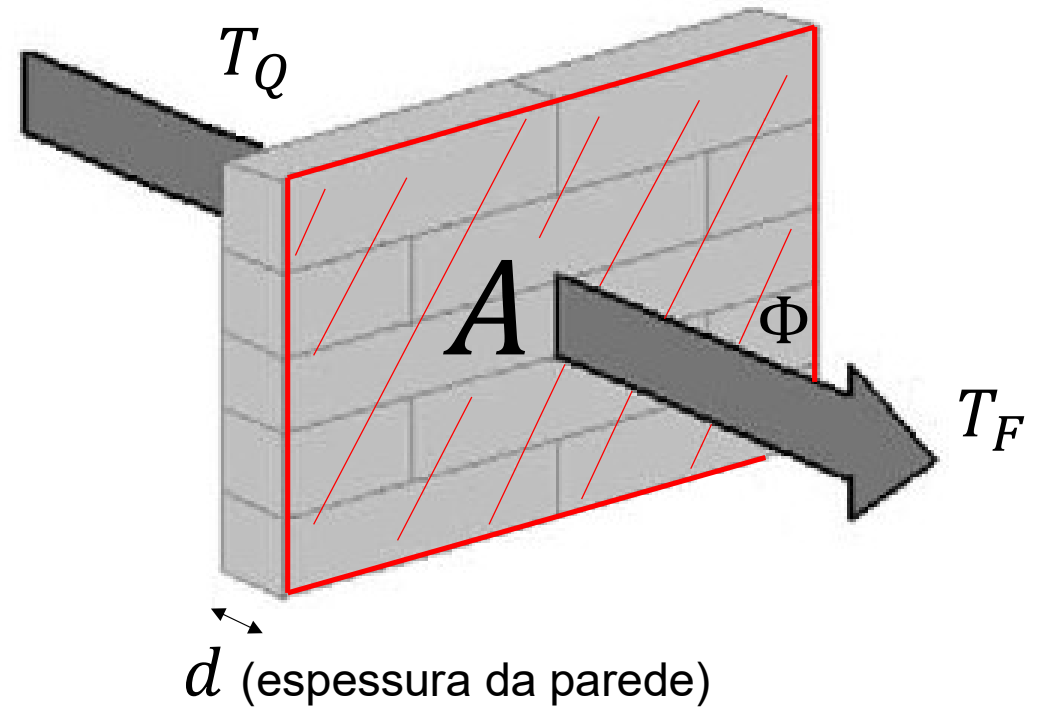
- Φ : fluxo de calor (J/s ou W).
- k : condutividade térmica (J/s.m.K).
- A : área da seção transversal (m²).
- d : distância (m)
- $T_Q - T_F$: diferença entre temperaturas (K).
- $T_Q > T_1 > T_2 > T_F$ é a temperatura de cada ponto / região permanece constante.



Lei de Fourier aplicada a uma parede



$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$



Exercícios

3. UFG-GO 2013 Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões $0,4 \times 0,6 \times 0,4 \text{ m}^3$ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30°C . Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

Dados:

- $1 \text{ cal} = 4,0 \text{ J}$
- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

a) o fluxo de calor, em watt, que o conteúdo da caixa de isopor recebe até derreter o gelo;

b) a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4 \cdot 10^{-2} \text{ W / (m} \cdot ^\circ\text{C)}$.

3. UFG-GO 2013 Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões 0,4 x 0,6 x 0,4 m³ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30 °C. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

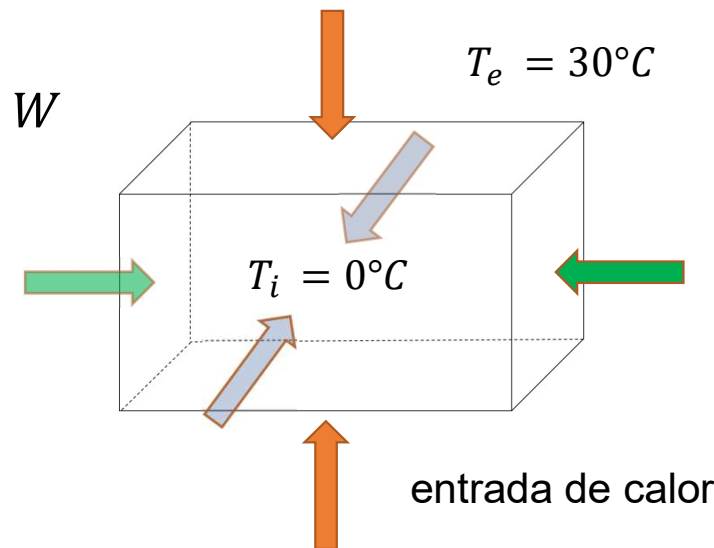
Dados:

- 1 cal = 4,0 J
- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

a) o fluxo de calor, em watt, que o conteúdo da caixa de isopor recebe até derreter o gelo;

$$\Phi = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot L}{\Delta t} = \frac{9000 \cancel{\text{g}} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\cancel{\text{g}}}}{10 \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{9000 \cdot 80 \text{ cal}}{10 \cdot 3600 \text{ s}} = \frac{720}{36} = 20 \frac{\text{cal}}{\text{s}} \stackrel{\times 4}{=} 80 \frac{\text{J}}{\text{s}} = 80 \text{ W}$$

$\Phi = 80 \text{ W}$



3. UFG-GO 2013 Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões $0,4 \times 0,6 \times 0,4 \text{ m}^3$ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30°C . Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

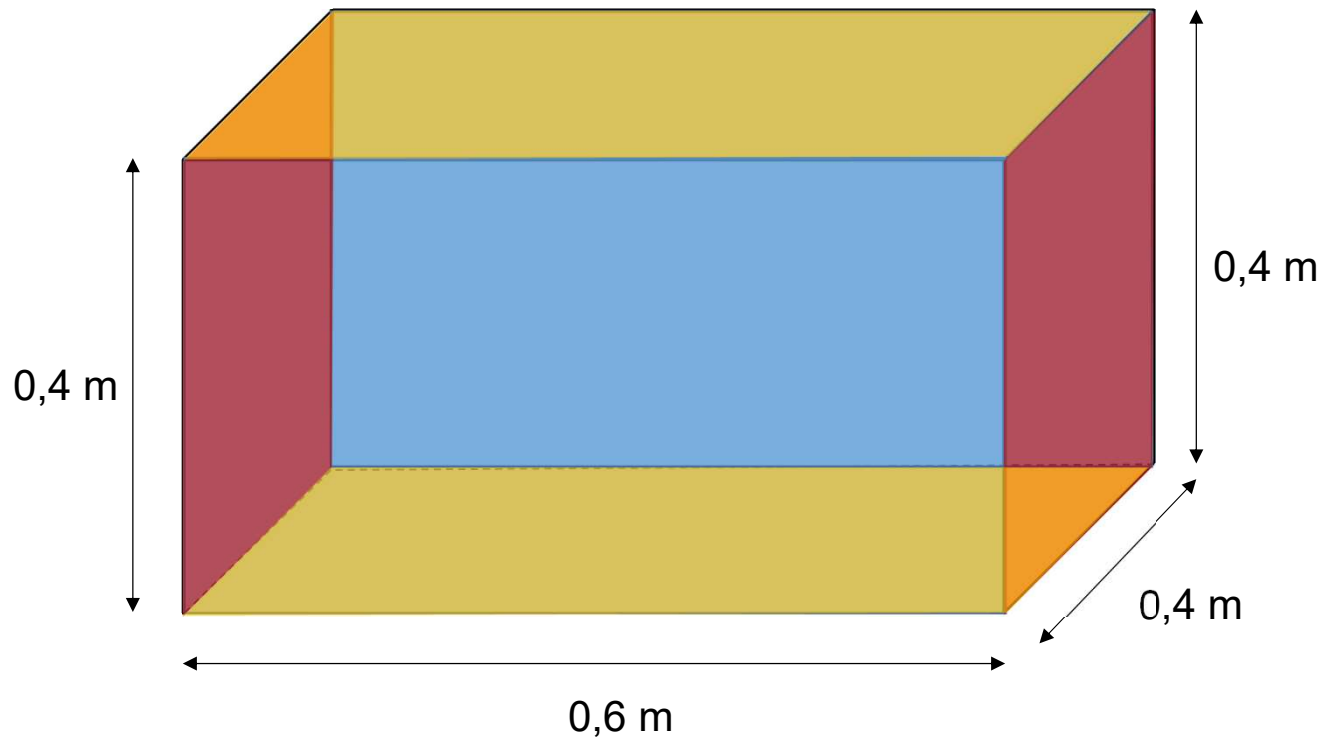
Dados:

- $1 \text{ cal} = 4,0 \text{ J}$
- calor latente de fusão do gelo = 80 cal/g

b) a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4 \cdot 10^{-2} \text{ W / (m} \cdot ^\circ\text{C)}$.

As dimensões são $0,4 \times 0,6 \times 0,4 \text{ m}^3$

Cálculo da área A da superfície interna total



$$(0,6 \times 0,4) + (0,6 \times 0,4) = 0,48 \text{ m}^2$$

$$(0,4 \times 0,4) + (0,4 \times 0,4) = 0,32 \text{ m}^2$$

$$(0,6 \times 0,4) + (0,6 \times 0,4) = 0,48 \text{ m}^2$$

+

$$A = 1,28 \text{ m}^2$$

3. UFG-GO 2013 Uma caixa de isopor em forma de paralelepípedo de dimensões 0,4 x 0,6 x 0,4 m³ contém 9 kg de gelo em equilíbrio térmico com água. Esse sistema é fechado e mantido em uma sala cuja temperatura ambiente é de 30 °C. Tendo em vista que o gelo é completamente derretido após um intervalo de 10 horas, calcule:

b) a espessura da caixa de isopor. Utilize o coeficiente de transmissão de calor do isopor $4 \cdot 10^{-2} \text{ W / (m} \cdot \text{°C)}$.

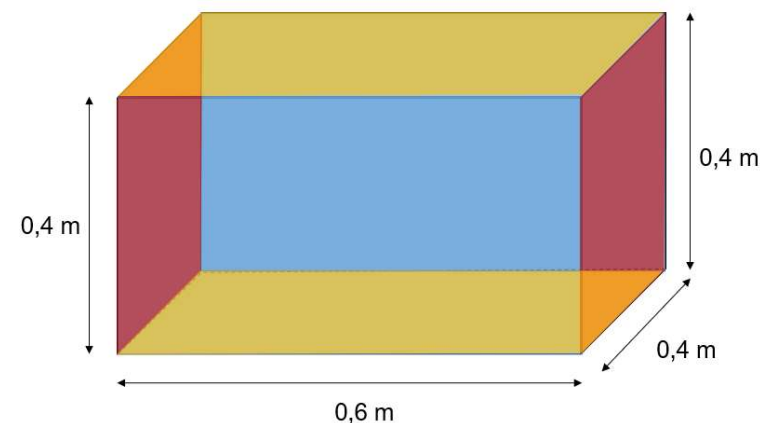
$$\Phi = \frac{k \cdot A \cdot (T_Q - T_F)}{d}$$

$$80 \text{ W} = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{°C}} \cdot \frac{1,28 \text{ m}^2 \cdot (30 - 0) \text{ °C}}{e}$$

$$80 = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,28 \text{ m} \cdot (30 - 0)}{e}$$

$$e = 4 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{1,28 \cdot 30}{80}$$

$$e = 10^{-2} \frac{1,28 \cdot 30}{20} \Rightarrow e = 1,92 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$



$$A = 1,28 \text{ m}^2$$

$$\Phi = 80 \text{ W}$$

4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm^2 de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a 100°C , e a outra extremidade em contato com gelo fundente a 0°C .

Dado: coeficiente de condutividade térmica do ferro = $0,16 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$.

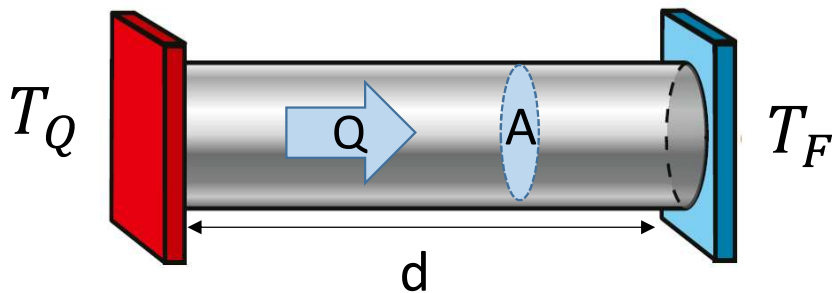
a) Determine o fluxo de calor (φ) ao longo da barra.

b) Determine a temperatura em uma seção transversal de barra a 15 cm da extremidade quente (100°C).

4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm² de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a 100 °C, e a outra extremidade em contato com gelo fundente a 0 °C.

Dado: coeficiente de condutividade térmica do ferro = 0,16 cal/cm . s . °C.

a) Determine o fluxo de calor (ϕ) ao longo da barra.



$$\Phi = \frac{k.A.(T_Q - T_F)}{d}$$

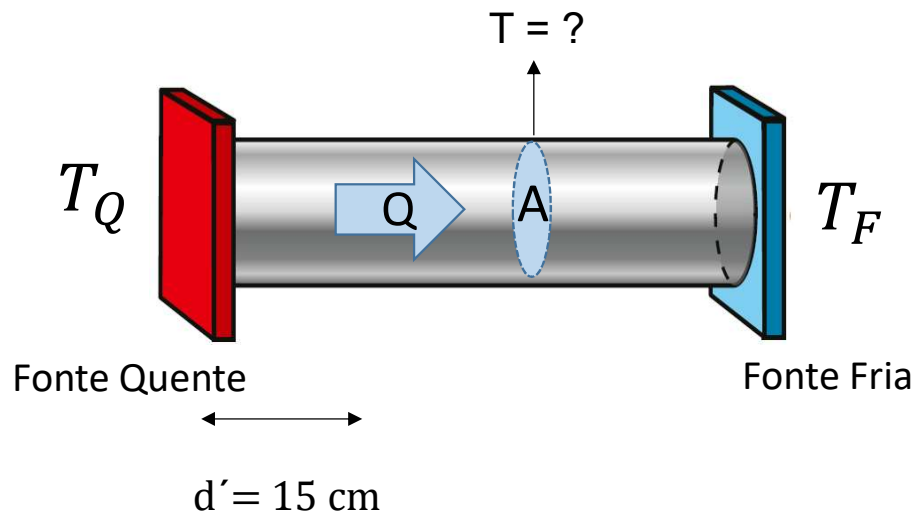
$$\Phi = \frac{0,16.\text{cal}}{\cancel{\text{s. cm.}^\circ\text{C}}} \cdot \frac{12 \cancel{\text{cm}^2} \cdot (100\cancel{^\circ\text{C}})}{60 \cancel{\text{cm}}}$$

$$\Phi = 3,2 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

4. Uma barra de ferro com 0,6 m de comprimento e 12 cm^2 de área de seção transversal tem sua extremidade em contato com uma porção de água em ebulição, a 100°C , e a outra extremidade em contato com gelo fundente a 0°C .

Dado: coeficiente de condutividade térmica do ferro = $0,16 \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$.

b) Determine a temperatura em uma seção transversal de barra a 15 cm da extremidade quente (100°C).



$$\Phi = \frac{k.A.(T_Q - T_F)}{d}$$

$$3,2 = \frac{0,16 \cdot 12 \cdot (100 - T)}{15}$$

$$20 = \frac{12 \cdot (100 - T)}{15}$$

$$(100 - T) = \frac{20 \cdot 15}{12} = 25$$

$$100 - 25 = T \quad \Rightarrow \quad T = 20^\circ\text{C}$$

Resolução do item b com regra de três

$$\Phi = \frac{k.A.(T_Q - T_F)}{d} \quad \Rightarrow \quad \frac{\Phi.d}{k.A} = (T_Q - T_F) \quad \Rightarrow \quad \uparrow (T_Q - T_F) = \frac{\Phi.d}{\boxed{k.A}} \uparrow$$

cte

b) a temperatura numa seção transversal da barra, situada a 15 cm da extremidade mais quente.

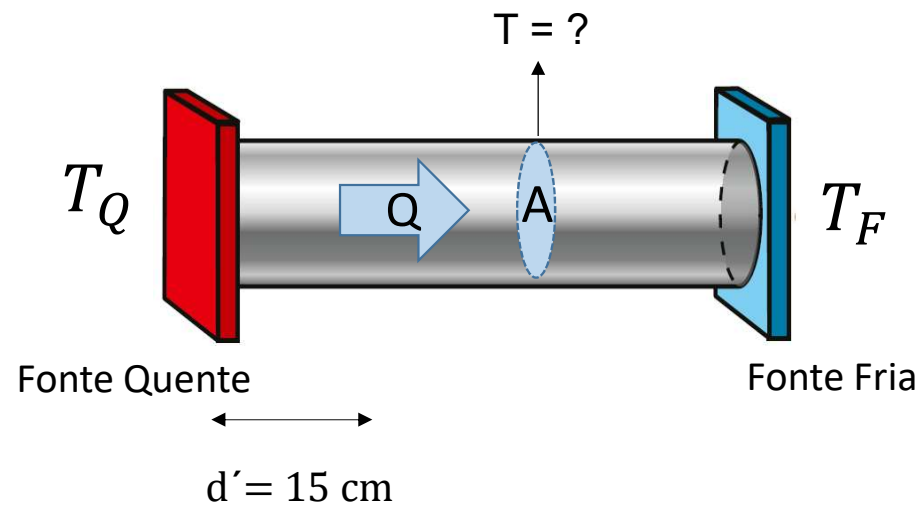
60 cm ----- diminuição de 100°C

15 cm ----- diminuição ?

diminuição = 25°C

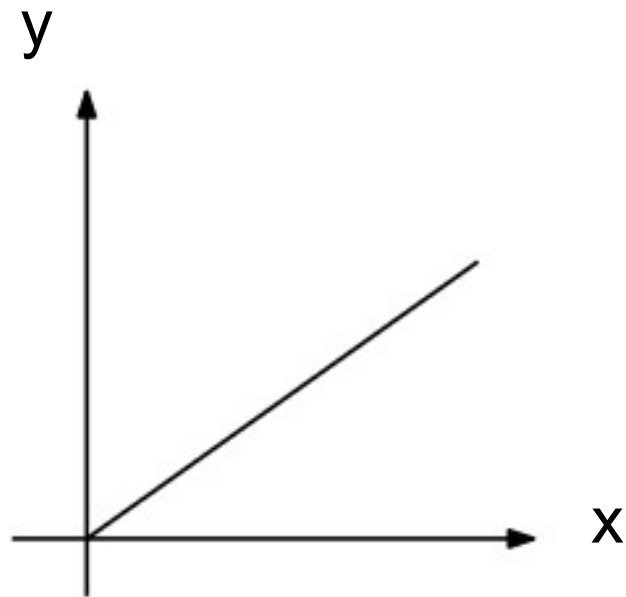
$T = 100 - 25$

$T = 75^\circ\text{C}$

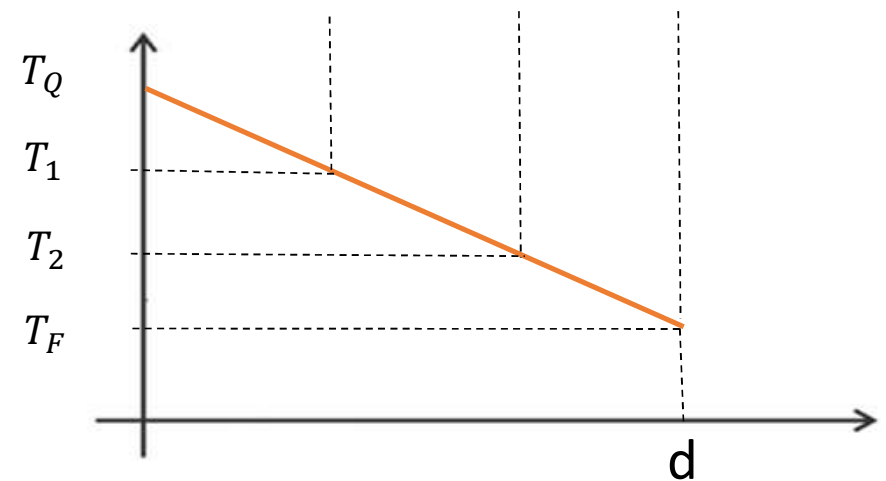
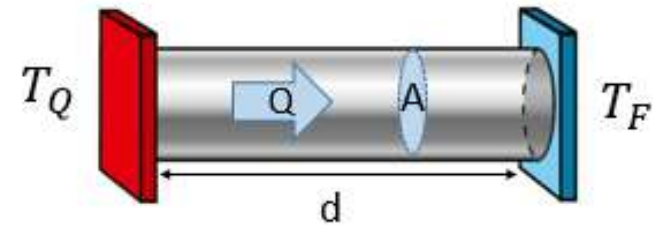


Revisão: grandezas diretamente proporcionais

- Neste caso, y e x são diretamente proporcionais
- Pode fazer regra de três



- d e T não são diretamente proporcionais
- **Não pode fazer** regra de três



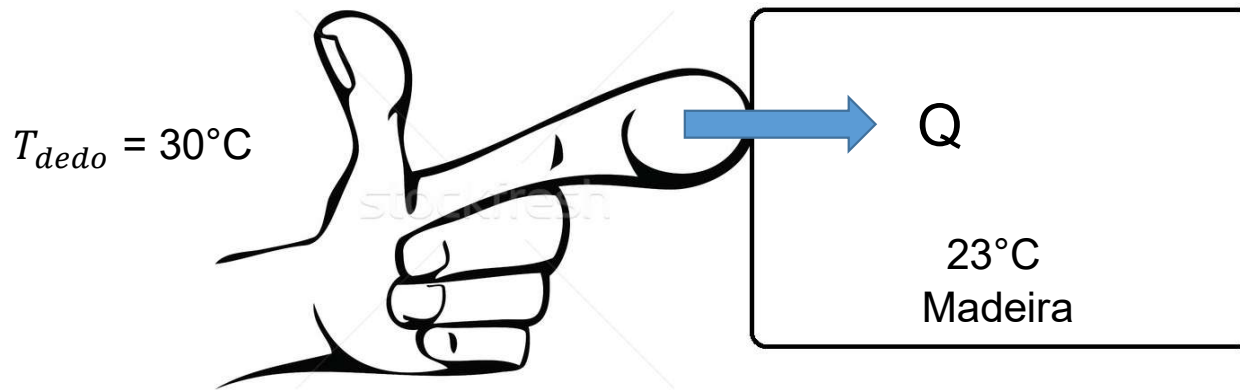
Exercícios extras

Extra 1 - (Enem) É muito comum encostarmos a mão na maçaneta de uma porta e temos a sensação de que ela está mais fria que o ambiente. Um fato semelhante pode ser observado se colocarmos uma faca metálica com cabo de madeira dentro de um refrigerador. Após longo tempo, ao encostarmos uma das mãos na parte metálica e a outra na parte de madeira, sentimos a parte metálica mais fria.

Fisicamente, a sensação térmica mencionada é explicada da seguinte forma:

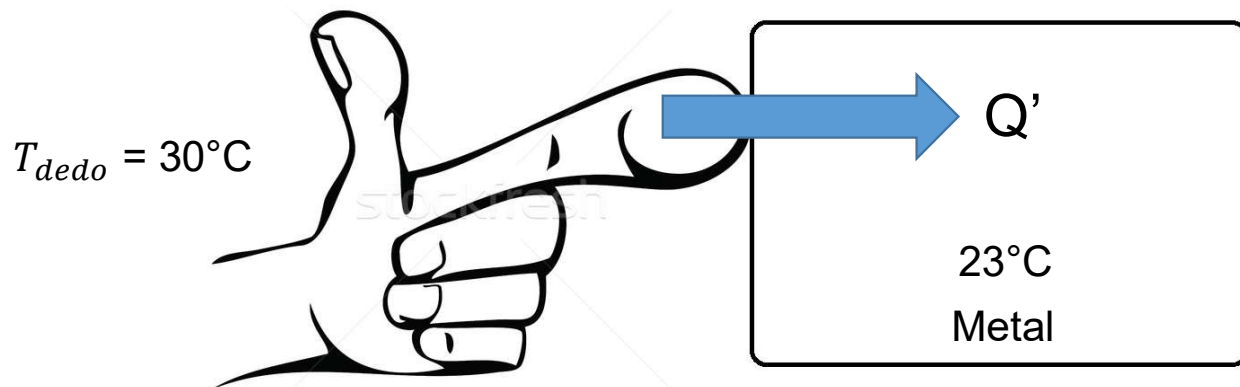
- a) A madeira é um bom fornecedor de calor e o metal, um bom absorvedor.
- b) O metal absorve mais temperatura que a madeira.
- c) O fluxo de calor é maior no metal que na madeira.
- d) A madeira retém mais calor que o metal.
- e) O metal retém mais frio que a madeira.

- Metais são os melhores condutores de calor
- Perda de calor → sensação de frio



$$fluxo_1 = \frac{Q}{\Delta t} \left(\frac{\text{cal}}{\text{s}} \right)$$

$$fluxo_2 > fluxo_1$$



$$fluxo_2 = \frac{Q'}{\Delta t} \left(\frac{\text{cal}}{\text{s}} \right)$$

Extra 1 - (Enem) É muito comum encostarmos a mão na maçaneta de uma porta e temos a sensação de que ela está mais fria que o ambiente. Um fato semelhante pode ser observado se colocarmos uma faca metálica com cabo de madeira dentro de um refrigerador. Após longo tempo, ao encostarmos uma das mãos na parte metálica e a outra na parte de madeira, sentimos a parte metálica mais fria.

Fisicamente, a sensação térmica mencionada é explicada da seguinte forma:

- a) A madeira é um bom fornecedor de calor e o metal, um bom absorvedor.
- b) O metal absorve mais temperatura que a madeira.
- c) O fluxo de calor é maior no metal que na madeira. 
- d) A madeira retém mais calor que o metal.
- e) O metal retém mais frio que a madeira.

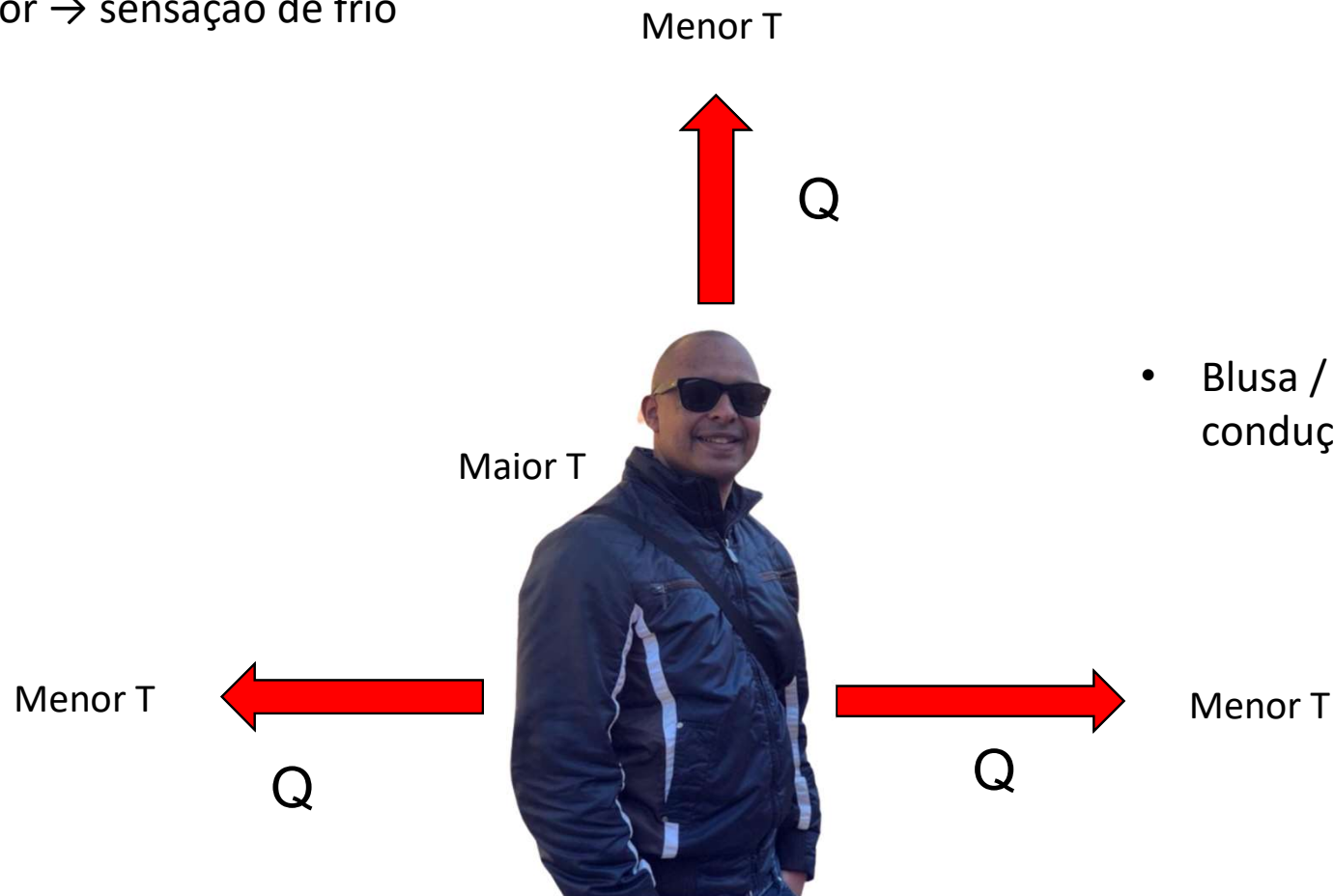
Extra 2 - (Enem) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles.

A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque

- a) possui a propriedade de gerar calor.
- b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
- c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo.
- d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
- e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

A utilização de blusa / vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque ?

- Perda de calor $\rightarrow$ sensação de frio



- Blusa / cobertor: redução da condução e da convecção

Cobertor aluminizado – redução das perdas de calor por irradiação



Extra 2 - (Enem) Em dias com baixas temperaturas, as pessoas utilizam casacos ou blusas de lã com o intuito de minimizar a sensação de frio. Fisicamente, esta sensação ocorre pelo fato de o corpo humano liberar calor, que é a energia transferida de um corpo para outro em virtude da diferença de temperatura entre eles.

A utilização de vestimenta de lã diminui a sensação de frio, porque

- a) possui a propriedade de gerar calor.
- b) é constituída de material denso, o que não permite a entrada do ar frio.
- c) diminui a taxa de transferência de calor do corpo humano para o meio externo. 
- d) tem como principal característica a absorção de calor, facilitando o equilíbrio térmico.
- e) está em contato direto com o corpo humano, facilitando a transferência de calor por condução.

Menor T (exterior)



Maior T (interior)

