

## Processos de propagação de calor

### Processos de propagação de calor

O calor se propaga **sempre que há** diferença de temperatura entre dois ou mais corpos.

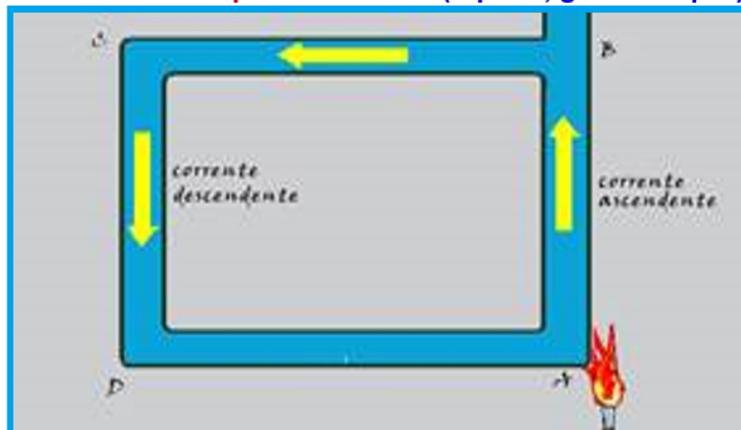
Essa propagação ocorre **sempre** do corpo de maior para o de menor temperatura.

**Essa transferência ocorre por três processos**

### Convecção térmica

Trata-se da transferência de energia térmica (calor) pela matéria em movimento devido à diferença de densidades dessa matéria.

**Essa matéria só pode ser fluida (líquido, gás ou vapor).** Observe a figura onde se tem tubos de vidro contendo água líquida.



A água em A, aquecida, expande-se, fica menos densa, mais leve e sobe o trecho AB. A água mais fria, mais densa e mais pesada do trecho CD desce e ainda empurra para cima a água quente do ramo AB. Obtém-se então uma circulação de água na qual a transferência de calor é feita através da matéria (no caso, água) e que recebe o nome decorrente de convecção.

**Mais exemplos:**





O congelador deve ficar na parte superior da geladeira pois o ar frio mais denso (mais pesado) desce e o ar quente menos denso (mais leve) sobe, originando no interior da geladeira, correntes de convecção.

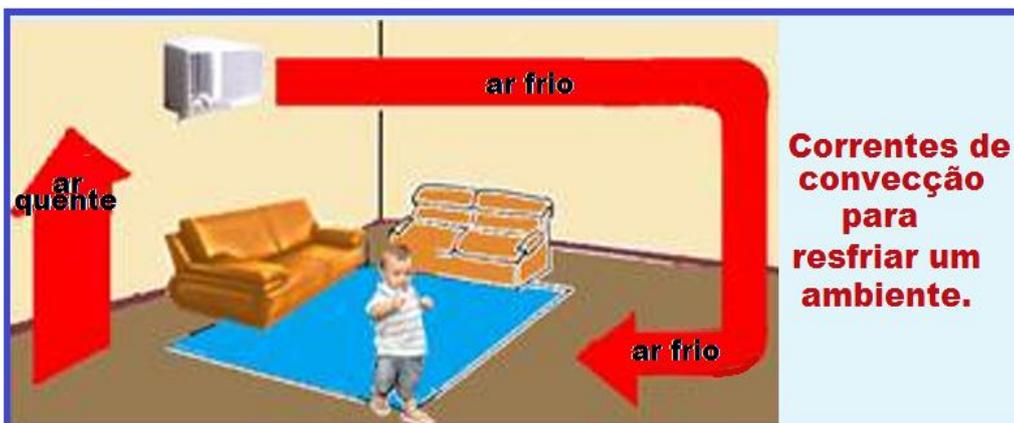


A fonte de calor (chama) aquece a água da parte inferior fazendo com que essa água fique menos densa, mais leve e sobe enquanto que a água mais fria, mais densa, mais pesada da parte superior desce, originando correntes de convecção no interior do líquido.

Essas correntes permanecem até que toda água atinja a mesma temperatura, quando cessam.



As correntes de convecção também ocorrem na atmosfera originando correntes de ar que se deslocam das regiões mais aquecidas, de baixa pressão para as mais frias, de alta pressão.



**Correntes de convecção para resfriar um ambiente.**

O aparelho de ar condicionado deve ficar na parte mais alta do recinto, para que o ar frio mais denso, mais pesado desça.



### Exaustor eólico

O vento faz as palhetas do rotor girarem, o que provoca uma ligeira queda de pressão, que provoca a retirada do ar quente, gases, fumaças, etc. do ambiente, levando-os para fora.



Caso não haja vento ele funciona apenas por convecção térmica, devido a diferença térmica entre o ar interno e o externo.

A massa de ar quente, por ser mais leve, desloca-se na direção do exaustor, exercendo pressão nas palhetas do rotor, movimentando-o.



As brisas litorâneas são também consequência da convecção. Durante o dia, a terra fica mais



dia - brisa sopra do mar para a terra



noite - brisa sopra da terra para o mar

quente, o ar que fica próximo dela se aquece e sobe, produzindo uma zona de baixa pressão, “puxando” o ar que está sobre o mar. A noite ocorre o contrário.



### Inversão térmica

Ocorre quando as camadas de ar próximas à superfície da Terra, **que deveriam ser mais quentes para**



**podem se expandir e levar os poluentes, ficam mais frias (daí o nome de inversão térmica). Assim, o ar frio fica retido na superfície, aprisionado pelo ar quente, impedindo as correntes de convecção, pois o ar frio que fica em baixo é mais denso e mais pesado e encontra dificuldades para subir, o que retém os poluentes próximos à superfície.**

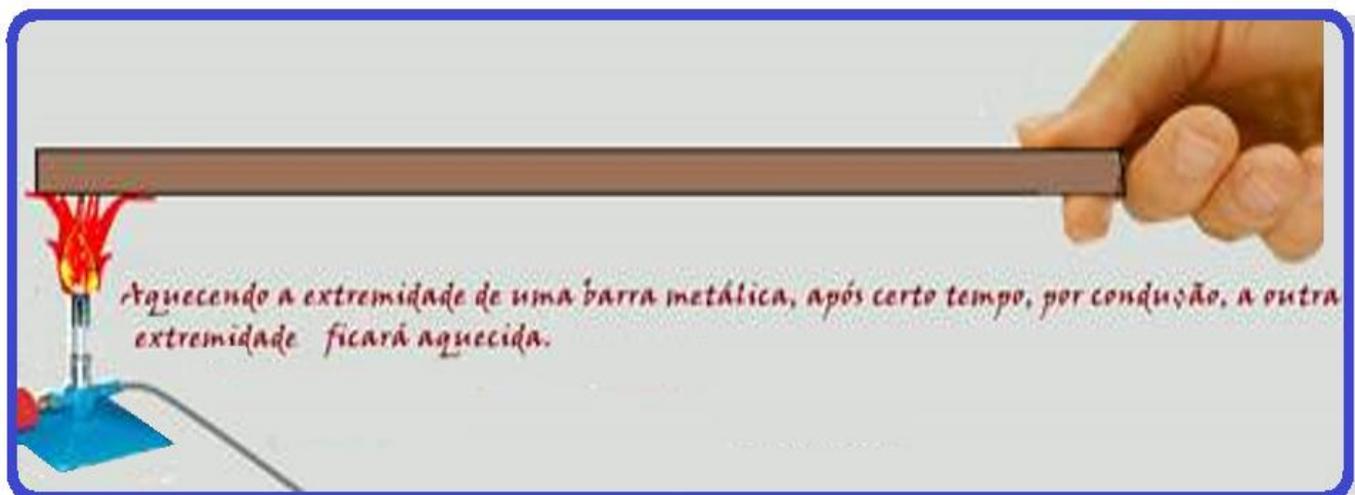
**Essa poluição provoca** problemas de saúde como bronquite, pneumonia, asma, cansaço, etc. **que atingem os indivíduos mais frágeis como idosos, crianças e doentes.**



**A convecção térmica não ocorre no vácuo, pois necessita de um meio material para se propagar.**

## Condução térmica

**O calor é conduzido de um ponto a outro do corpo sem que haja deslocamento das partículas.**



**Explicando microscopicamente o fenômeno: a região próxima da chama tem o movimento vibratório de suas moléculas aumentado, adquirindo assim maior energia cinética, que é transferida através de choques às partículas vizinhas, que também aumentam seu movimento vibratório. Através desse transporte de energia, toda a barra é aquecida.**

**Informações:**



A condução não ocorre no vácuo, pois ela precisa de um meio material (com matéria) para se propagar.



Os metais são bons condutores de calor e utilizados na fabricação de aparelhos que permitem aquecer rapidamente outros corpos, principalmente os líquidos. Os metais são excelentes condutores de calor devido ao fato de possuírem os elétrons mais externos “fracamente” ligados, tornando-se livres para transportar energia por meio de colisões através do metal.



Corpos maus condutores de calor: vidro, borracha, isopor, lã, algodão, gelo, peles de alguns,

animais, gases, cortiça, poliestireno, fibra cerâmica (composta de Alumina e Sílica), lã de vidro (um componente fabricado em alto forno a partir de sílica e sódio, aglomerados por resinas sintéticas), etc.



Esses maus condutores de calor (isolantes térmicos), possuem os elétrons mais externos de seus átomos firmemente ligados.



Os líquidos e gases, em geral, são maus condutores de calor.

O ar, por exemplo, é um ótimo isolante térmico.

As roupas de lã, os pelos dos animais, o isopor, a serragem são ótimos isolantes térmicos, pois



retêm o ar entre suas fibras.



A neve é outro exemplo de um bom isolante térmico. Isto acontece porque os flocos de neve são formados por cristais, que se acumulam formando camadas fofas aprisionando o ar.



A neve acumulada sobre o solo conserva a temperatura dele mais elevada do que se o chão estivesse descoberto.

Assim, em regiões agrícolas, ela protege as raízes das plantas, evitando o congelamento.

Nas regiões de montanhas, a neve é importante para manter ou engrossar o fluxo dos rios, pelo seu degelo gradual, na primavera e verão.



No frio, as aves costumam eriçar suas penas para captar o ar entre elas e se aquecerem, ficando mais “gordinhos” e mantendo uma pequena camada de ar sobre seus corpos.

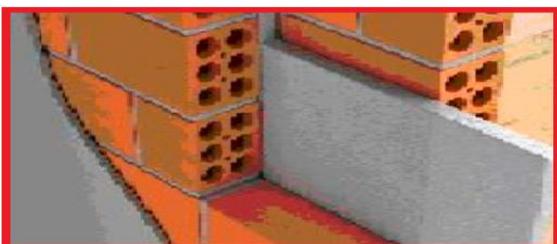


Para adaptar-se ao frio, mamíferos (como nós) e aves eriçam seus pelos ou penas (quer dizer arrepiam-se!).

Isto acontece porque o arrepio faz aumentar o isolamento térmico. Quanto mais pelos ou penas o animal tiver, melhor será esse sistema de proteção.



Nas construções, para melhor isolamento térmico e acústico, aconselha-se utilizar paredes duplas com tijolos de cerâmica, deixando uma caixa de ar entre as paredes e colocando entre os tijolos cerâmicos uma placa composta de espuma rígida de poliestireno (isopor) que é um comprovado material isolante, sendo aplicado na construção civil visando economia energética. É também aplicado em edifícios por ser leve, resistente, fácil de operar e possuir baixo custo.





O gelo é um excelente isolante térmico. Os esquimós o utilizam para fazerem suas moradias **que se denominam iglus**.



Normalmente a parte interna é forrada com peles de foca, deixando o recinto bastante confortável.

A iluminação é garantida por uma janela feita ou de um bloco de gelo transparente ou de pele de foca ou de baleia.

O calor da fogueira derrete parte dos blocos, mas a água escorre e congela novamente, reforçando a vedação das paredes de gelo.

Na entrada do iglu, é construído um pequeno túnel para impedir que o vento chegue ao interior



Um mergulhador utiliza uma roupa de neoprene **que** evitam a perda do calor do corpo. O neoprene é formado por um tipo de borracha que contém milhares de minúsculas bolhas em seu interior.



Graças a essa característica, a água que entra na roupa não sai, logo ela é aquecida pela temperatura corporal e cria uma

barreira isolante entre o mergulhador e o meio líquido no qual ele está envolto.



Os beduínos do deserto usam roupas grossas e de lã (isolante térmicos) para que seu corpo,



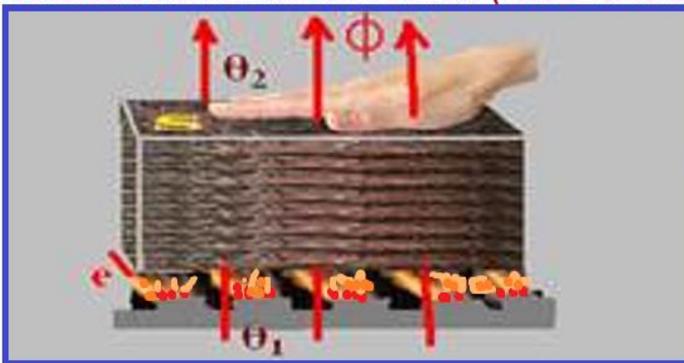
durante o dia, mantenha a temperatura interna de  $36,5^{\circ}\text{C}$  e não receba calor do meio exterior que pode chegar a até  $45^{\circ}\text{C}$  e, durante a noite quando as temperaturas são muito baixas, impeçam a perda de calor para o meio externo.



Os cabos dos utensílios domésticos são feitos com materiais constituídos por isolantes térmicos.

### Lei da condução térmica de calor

Considere dois ambientes distintos (mão e fonte térmica) a temperaturas constantes,  $\theta_1$  e  $\theta_2$ , separados por uma barra de área  $S$  e espessura  $e$ . Define-se fluxo de calor  $\Phi$  como sendo a quantidade de calor que atravessa a superfície  $S$  pelo intervalo de tempo  $\Delta t$   $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$ .

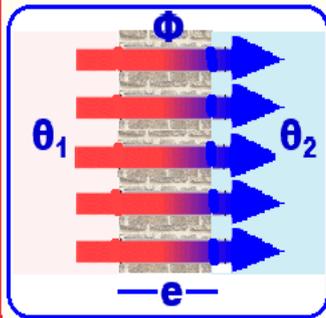


Constata-se experimentalmente que essa quantidade de calor  $Q$  depende da área  $S$  da barra (parede), da espessura e da mesma  $e$ , da diferença de temperatura de temperatura  $\Delta\theta = \theta_1 - \theta_2$ .

### Lei de Fourier

As relações acima são expressas pela lei de Fourier através da equação

$$\Phi = \frac{K.S.(\theta_1 - \theta_2)}{e}$$



$\Phi$   $\gg$  fluxo de calor

$K$   $\gg$  constante (condutividade térmica)

$(\theta_1 - \theta_2)$   $\gg$  diferença de temperatura entre dois ambientes distintos

$S$   $\gg$  área da barra que separa os dois ambientes distintos

$e$   $\gg$  espessura da barra

A constante  $K$  é denominada de coeficiente de condutividade térmica é uma característica da natureza do material que separa os dois meios.

Normalmente o fluxo de calor é expresso em calorias por segundo (cal/s) e, como ele é proporcional a  $\Phi$  (veja fórmula) seu valor é elevado para os bons condutores (por exemplo, prata,  $K = 0,99$  cal/s.cm.°C) e baixo para os bons isolantes (por exemplo, ar,  $K=0,000061$  cal/s.cm.°C).

Informações:



Quando a temperatura ambiente de uma sala está, por exemplo, a 28°C, e você (temperatura de 36,5°C) coloca uma mão na maçaneta de uma porta e a outra na madeira da mesma, a maçaneta lhe parece mais fria que o metal apesar dos dois estarem a mesma temperatura, porque o metal é melhor condutor de calor, retirando mais calor de seu corpo que a madeira.



O contrário ocorreria se você estivesse numa sauna cujo ambiente, por exemplo, está a 42°C, o metal lhe parecerá mais quente pois, agora ele lhe fornece mais calor que a madeira pois é melhor condutor térmico.



A ponta de um cigarro aceso, quando encostada a uma folha fina de papel, embaixo da qual está uma moeda, não consegue queimá-la porque a alta condutibilidade térmica da moeda absorve todo calor do cigarro, sem que haja tempo para o papel se queimar.

**Irradiação térmica**

É o fenômeno pelo qual a energia emitida pelo Sol chega até a Terra através do vácuo. **Realiza-se através de ondas eletromagnéticas** que são compostas por diversas ondas de frequências diferentes (**raios cósmicos, raios X, raios ultravioleta, luz visível, raios infravermelhos, microondas, etc.**), chamadas radiações térmicas.



Qualquer corpo que possua temperatura superior ao zero absoluto (0K ou -273°C) emite energia radiante e as que se transformam mais facilmente em calor quando absorvidas pelo receptor são as **infravermelhas**, denominadas também de **ondas de calor**.

## Informações:



A radiação ocorre também no ar, como você pode observar na figura onde a mão está recebendo calor por irradiação.



## Estufa

Estufa agrícola **»» Quando a energia radiante atinge a superfície de um corpo uma parte é absorvida (cerca de 65%), outra refletida (cerca de 35%).**

A parte absorvida fica retida no corpo sob forma de calor (energia térmica).

As radiações solares diretas (**radiações de luz visíveis**) não são filtradas pelos vidros ou lonas plásticas transparentes, atravessando-as (**se refratando**) com facilidade.

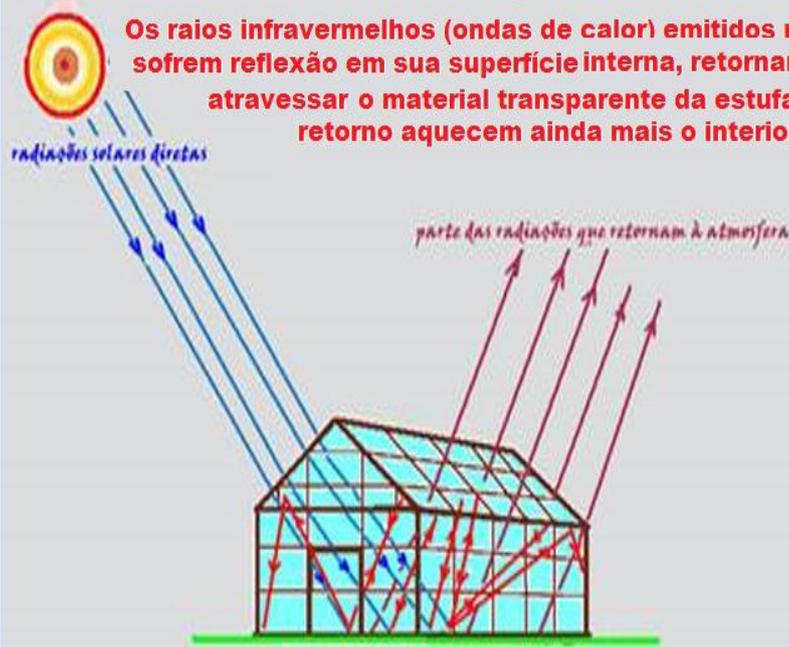
Essa luz solar carrega em si grande quantidade de energia, **capaz de ser** transmitida para o interior da estufa sendo retida em seu interior e superfície, aquecendo-as.

Esse processo de condução de calor é conhecido como irradiação.

Isso acontece quando a luz solar nos aquece dentro de casa, mesmo quando as janelas estão fechadas ou quando estamos dentro do carro sob o sol.

A facilidade que a radiação direta tem em atravessar a superfície de vidro ou das lonas transparentes não se repete para a parcela de energia refletida, que retorna ao ambiente externo.

As radiações solares diretas atravessam o material transparente da estufa e chegam ao seu interior, aquecendo-o.



O vidro ou lona transparente **tem uma grande capacidade de “prender”** este calor, **pois** são transparentes para a luz visível e opaco para as radiações infravermelhas. Por isso o interior fica mais quente que o exterior.



Quando a energia radiante atinge a superfície de um corpo uma parte é absorvida, outra refletida e outra refratada.

A parte absorvida fica retida no corpo sob forma de calor (**energia térmica**).

Quando a maior parte da energia é absorvida e pouca parcela é refletida ou refratada o corpo é chamado de opaco, **ou seja, ele é** mau refletor e mau refrator. São os corpos escuros, **principalmente** o negro. Todo bom absorvedor é bom emissor.

O contrário ocorre com os corpos claros e polidos, **que são** bons refletores de calor, maus absorventes e maus emissores.

Exemplos:

»» As panelas e frigideiras **devem ter** fundo negro, **para** absorverem maior quantidade de calor.

»» No inverno deve-se usar de preferência roupas escuras e no verão roupas claras.

**O que você deve saber, informações e dicas**



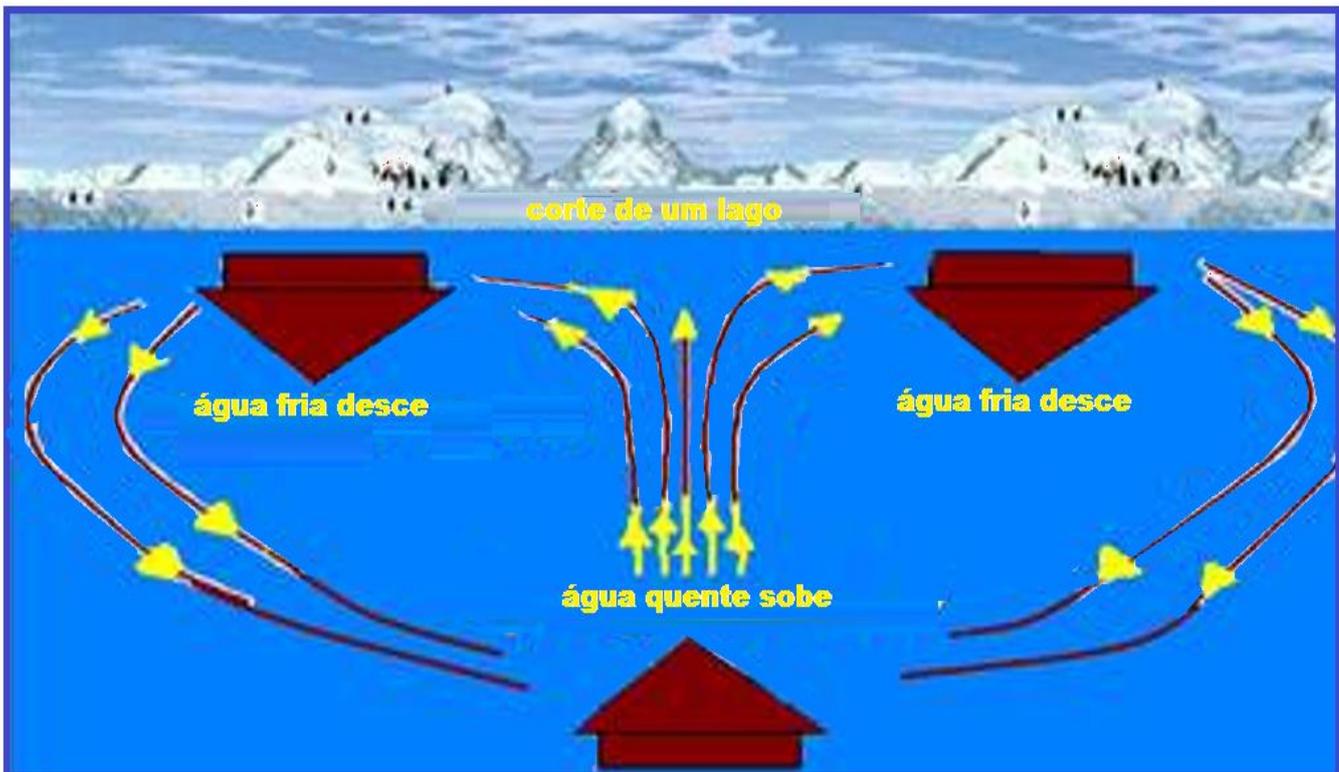
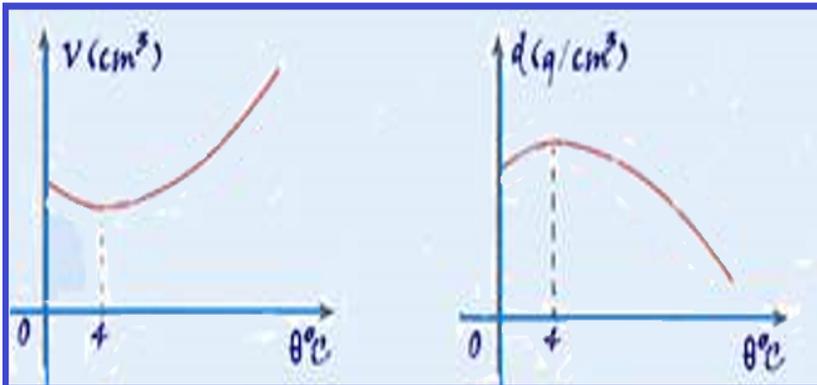
Entender e memorizar os conceitos dos três processos de propagação de calor e as informações fornecidas.



Uma das razões que faz a água, próxima à superfície livre de alguns lagos, congelar no inverno, em

regiões de baixas temperaturas, é o fato de que ao ser resfriada, no intervalo aproximado de  $4^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ , ela sofre um processo de dilatação. Com isso seu volume aumenta e sua densidade diminui.

A água da superfície, mais fria e mais densa, desce (correntes descendentes) e a água das profundezas, mais quente e menos densa sobe (correntes ascendentes).



Essas correntes de convecção continuam seu movimento até toda água atingir a temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$  (densidade máxima) quando cessam, porque toda água agora tem a mesma densidade.

Mas, se a temperatura da superfície continua diminuindo até abaixo de  $0^{\circ}\text{C}$ , a água da superfície se



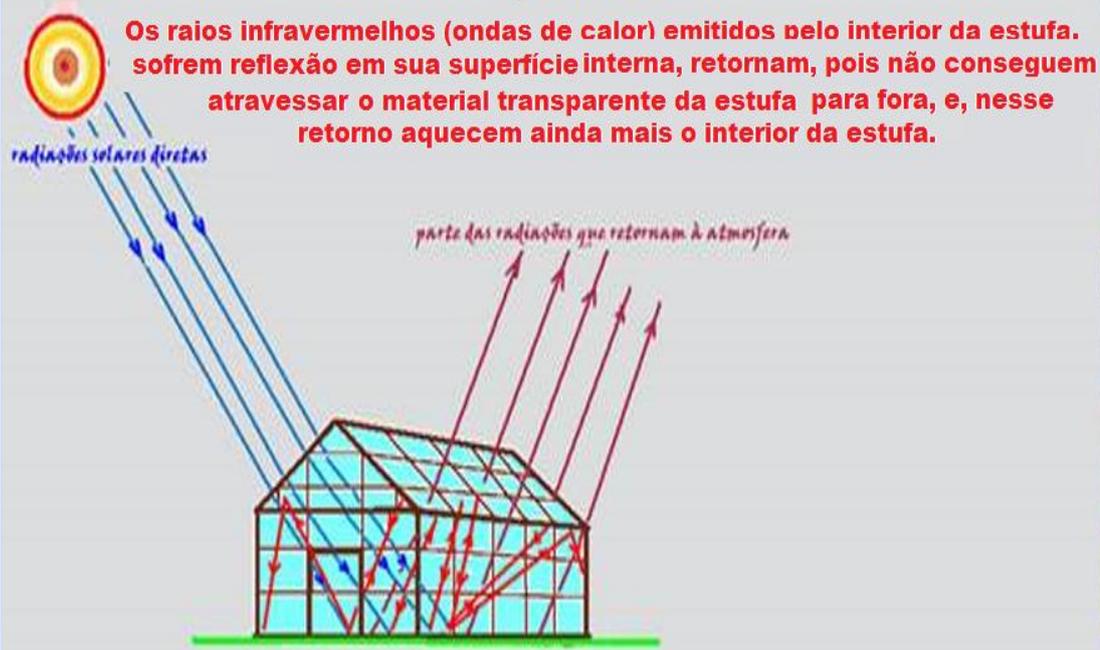
congela e esse gelo isola por condução o ambiente acima da superfície da água (a menos de  $0^{\circ}\text{C}$ ) das águas abaixo da mesma que estão (a  $4^{\circ}\text{C}$ ).

**Devido a** esse fenômeno é possível a vida nas profundezas de lagos e mares, mesmo estando coberta de gelo a sua superfície.



## Estufa

As radiações solares diretas atravessam o material transparente da estufa e chegam ao seu interior, aquecendo-o.



A energia total emitida por radiação é proporcional à quarta potência da temperatura absoluta do

## Lei de Stefan-Boltzmann

Todos os corpos ou substâncias emitem radiação proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta

Fluxo total de Energia emitido:  $F_{\text{tot}}$  [W m<sup>-2</sup>]:

$$F_{\text{tot}} = \varepsilon \sigma T^4$$

$\varepsilon$  – emissividade (0 ~ 1); depende do tipo de substância  
 $\sigma$  – constante de Stefan-Boltzmann =  $5.67 \times 10^{-8}$  [W m<sup>-2</sup> K<sup>-4</sup>]  
 $T$  – temperatura absoluta do objeto emissor [K]

emissor

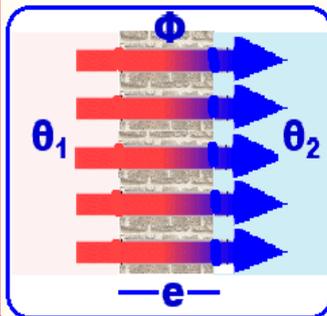


**Corpos** escuros são bons absorventes de calor e corpos claros e polidos são bons refletores de calor.



## Lei de Fourier

$$\Phi = \frac{K.S.(\theta_1 - \theta_2)}{e}$$



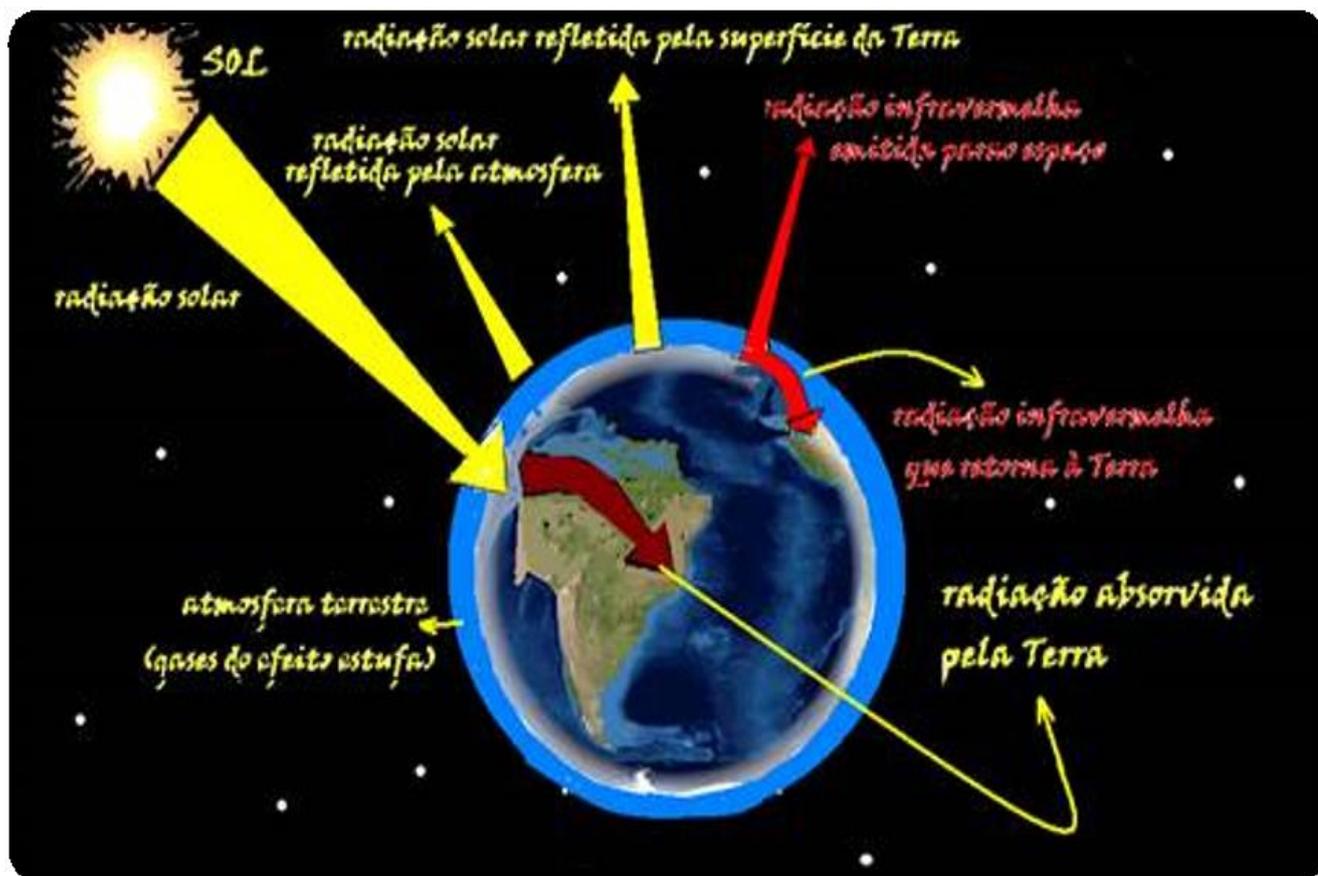
$\Phi$  > fluxo de calor  
 $K$  > constante (condutividade térmica)  
 $(\theta_1 - \theta_2)$  > diferença de temperatura entre dois ambientes distintos  
 $S$  > área da barra que separa os dois ambientes distintos  
 $e$  > espessura da barra



## Efeito estufa

Ao penetrarem na atmosfera terrestre e atingirem sua superfície, parte dos raios luminosos provenientes do Sol são absorvidos e transformados em calor (cerca de 65%), outros são refletidos para o espaço, mas só parte destes chega a deixar a Terra, pois são refletidos de volta pelos chamados “Gases de Efeito Estufa” (dióxido de carbono, metano, clorofluorcarbonetos- CFCs- e óxidos de azoto), sob forma de raios infravermelhos (ondas de calor).

O efeito é benéfico ao planeta Terra, mantendo sua temperatura nas condições que propiciam a vida, pois, sem ele a temperatura na Terra seria da ordem de -20°C.



Entretanto, nos últimos anos, a concentração de dióxido de carbono na atmosfera tem aumentado **cerca de 0,4% anualmente**; este aumento se deve à utilização de petróleo, gás e carvão e à destruição das florestas tropicais.

Esse aumento do dióxido de carbono na atmosfera **permite a** saída das radiações visíveis e impede a saída das radiações infravermelhas (ondas de calor), aquecendo a Terra e trazendo graves consequências para o nível dos oceanos e para o clima.



## Garrafa térmica

Há aproximadamente um século, foi inventada por James Dewar e foi construída de maneira que evite a transmissão de calor pelos três processos (condução, convecção e irradiação).



A condução térmica é evitada pelo vácuo entre as paredes duplas e pela tampa de material isolante. A irradiação é evitada pelas paredes espelhadas que refletem as radiações tanto interna como externamente. A convecção é evitada pelo vácuo entre as paredes duplas.

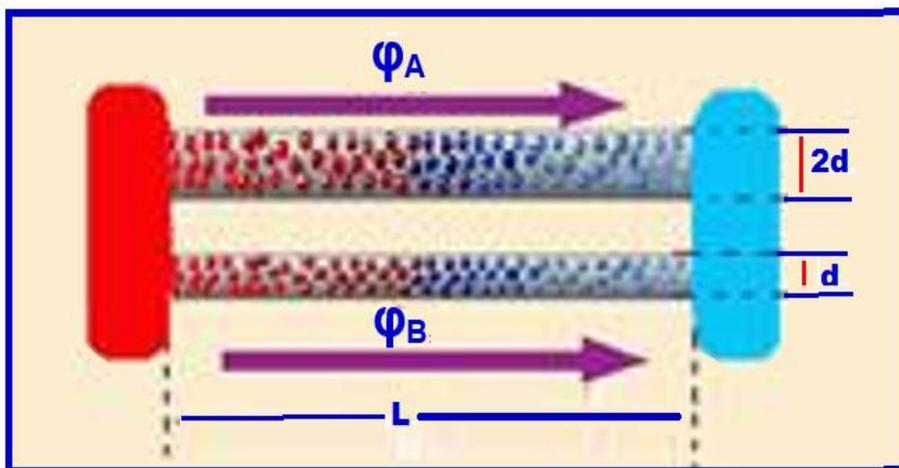


Em uma sala fechada e isolada termicamente, uma geladeira, em funcionamento, tem, num dado instante, sua porta completamente aberta.

Antes da abertura dessa porta, a temperatura da sala é maior que a do interior da geladeira.

Após a abertura da porta, a temperatura da sala, diminui, pois quando você abre a porta da geladeira, a temperatura em seu interior é menor que a do ambiente da sala e, como o calor se transfere do corpo de maior para o de menor temperatura, inicialmente a temperatura da sala irá diminuir.

Posteriormente, com a geladeira ligada, ela fica retirando calor de seu interior e o transferindo para o ambiente e, então a temperatura da sala irá aumentando.

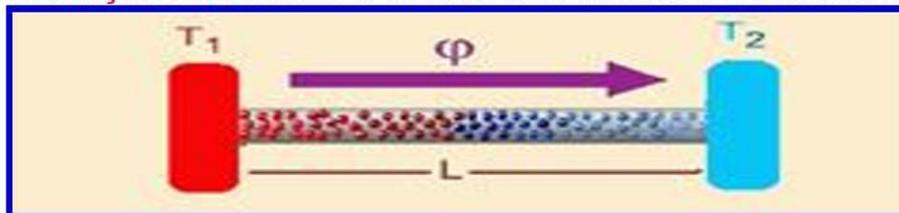


Dois cilindro feitos de materiais A e B têm os mesmos comprimentos; os respectivos diâmetros estão relacionados por  $d_A = 2d_B$ .

Quando se mantém a mesma diferença de temperatura entre suas extremidades, eles conduzem calor à mesma taxa.

Determine a relação entre as condutividades térmicas dos materiais dos dois cilindros.

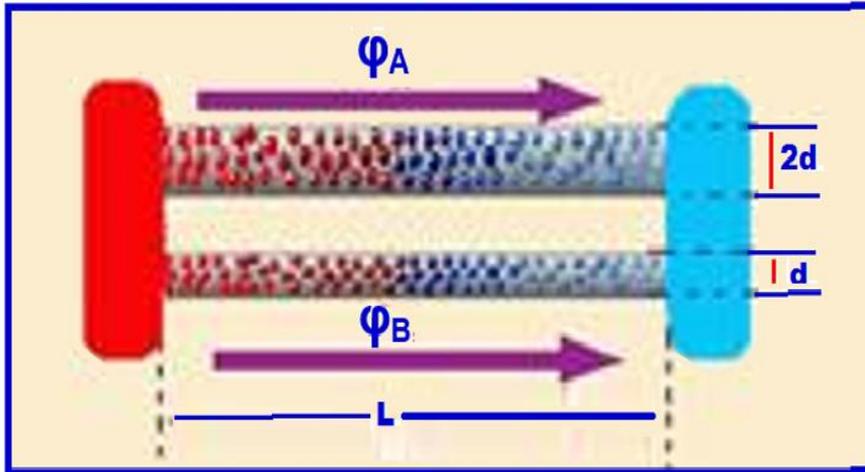
Resolução: Para uma barra termicamente condutora mantida com suas extremidades inseridas em duas fontes de calor mantidas a temperaturas constantes, o fluxo de calor através da barra é dado pela Lei de Fourier



o fluxo de calor através da barra é dado pela Lei de Fourier

$$\phi = \frac{K.A.(T_1 - T_2)}{L}$$

A figura mostra as duas barras citadas conduzindo calor e, como pelo enunciado eles conduzem calor à mesma taxa  $Q_A = Q_B$  o que implica que  $\phi_A = \phi_B$ , pois o fluxo de calor (ou fluxo térmico)  $\phi$  através de uma superfície de área  $A$  é definido como a quantidade de calor ( $Q$ ) por unidade de tempo



$\phi = Q/\Delta t$ .

$$A_A = \pi R_A^2 = \pi \cdot (2d)^2$$

$$A_B = \pi \cdot (d)^2$$

$$\phi_A = \frac{K_A \cdot A_A \cdot \Delta t}{L}$$

$$\phi_B = \frac{K_B \cdot A_B \cdot \Delta t}{L}$$

$$\phi_A = \phi_B \Rightarrow \frac{K_A \cdot A_A \cdot \Delta t}{L} = \frac{K_B \cdot A_B \cdot \Delta t}{L} \Rightarrow \frac{K_A \cdot A_A \cdot \Delta t}{L} = \frac{K_B \cdot A_B \cdot \Delta t}{L} \Rightarrow \frac{K_A \cdot \pi \cdot (2d)^2 \cdot \Delta t}{L} = \frac{K_B \cdot \pi \cdot (d)^2 \cdot \Delta t}{L}$$

$$\Rightarrow K_A \cdot \pi \cdot 4d^2 \cdot \Delta t / L = K_B \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \Delta t / L \Rightarrow 4K_A = K_B \Rightarrow K_A = \frac{K_B}{4}$$



### Secagem de alimentos em estufas caseiras.

Nesse processo, a umidade é retirada gradativamente devido ao fluxo de ar quente. De um modo caseiro, todos podem construir uma estufa para secagem de alimentos tal qual a desenhada a seguir.

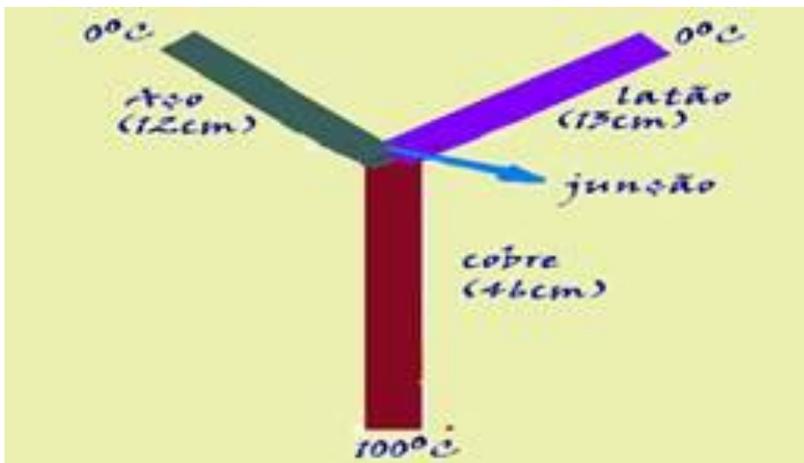


Explicando seu funcionamento: Denomina-se convecção térmica o processo de transferência de calor que acontece graças a movimentação de um material  $\gggg$  observe que é exatamente isso que acontece no exemplo mostrado  $\gggg$  o material que se move pelo ambiente da estufa é o ar e, o ar frio é aquecido na câmara de aquecimento, fica mais quente (menos denso) e sobe, passando pela câmara de secagem  $\gggg$  a movimentação do ar, mais quente e mais frio, cria as chamadas correntes de convecção.

A evaporação é a passagem lenta do líquido para o gasoso, **acontece** mais rapidamente **com o** auxílio do vento (ar em movimento), principalmente, no caso, ar quente.



**Têm-se** três cilindros de mesmas secções transversais, de cobre, latão e aço, **cujos** comprimentos **são**, respectivamente, de 46cm, 13cm e 12cm. Soldam-se **os cilindros**, formando o perfil em Y, indicado na figura.



**cujo** comprimento **são**, respectivamente, de 46cm, 13cm e 12cm. Soldam-se **os cilindros**, formando o perfil em Y, indicado na figura.

(Todos ligados em todos em formato de Y). O extremo livre do cilindro de cobre é mantido a 100°C, e os dos cilindros de latão e aço a 0°C. Supor que a superfície lateral dos cilindros esteja isolada termicamente. As

condutibilidades térmicas do cobre, latão e aço valem, respectivamente: 0,92, 0,26 e 0,12, expressas em  $\text{cal.cm}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ . No estado estacionário de condução, qual a temperatura da junção?

**Sendo a** mesma secção transversal (A é a mesma para todos) **como eles estão** isolados termicamente a quantidade de calor e conseqüentemente o fluxo de calor que o cobre (a 100°C) fornece é igual à soma dos fluxos recebidos pelo aço e pelo latão.

$$\begin{aligned} \Phi_{\text{cobre}} &= \Phi_{\text{aço}} + \Phi_{\text{latão}} \Rightarrow \frac{K_{\text{cobre}} \cdot A \cdot \Delta\theta_{\text{cobre}}}{e_{\text{cobre}}} = \frac{K_{\text{aço}} \cdot A \cdot \Delta\theta_{\text{aço}}}{e_{\text{aço}}} + \frac{K_{\text{latão}} \cdot A \cdot \Delta\theta_{\text{latão}}}{e_{\text{latão}}} \Rightarrow \frac{0,92 \cdot A \cdot (100 - \theta)}{46} = \\ & \frac{0,12 \cdot A \cdot (\theta - 0)}{12} + \frac{0,26 \cdot A \cdot (\theta - 0)}{13} \Rightarrow 0,02(100 - \theta) = 0,01\theta + 0,02\theta \Rightarrow 2 - 0,02\theta = 0,01\theta + 0,02\theta \Rightarrow \\ & \theta = \frac{2}{0,05} \Rightarrow \theta = 40\text{°C} \end{aligned}$$



Um automóvel possui uma mistura aquosa **em seu** sistema de arrefecimento.

Essa mistura é bombeada fazendo circular o calor do motor até o radiador, **onde** o calor é dissipado para o meio ambiente. Um **motorista** liga o motor desse automóvel e parte para sua viagem. Decorridos 10 minutos, ele observa, **no indicador de temperatura do painel**, que a mistura chega ao radiador com 90°C e permanece em torno desse valor durante a viagem. Isso ocorre porque **o** fluxo de calor **entre** dois ambientes a diferentes temperaturas é diretamente proporcional à diferença de temperatura entre eles. **Assim**, quanto maior for a diferença de temperatura entre o radiador e o meio ambiente, maior o fluxo de dissipação de