

## Apostila 3

- Termometria p. 1
  - Lista: Termometria
- Calorimetria p. 2
  - Lista: Calorimetria
- Mudança de estado de agregação p. 3
  - Lista: Mudança de estado de agregação
- Propagação de Calor p. 4
  - Lista: Transmissão de calor

## TERMOMETRIA

Termometria é a área da física que se dedica a definir e relacionar as diversas escalas de temperaturas. Com isso, vamos ver um pouco sobre as definições das principais temperaturas usadas aqui no Brasil e no Vestibular.

**Temperatura**

O que é temperatura? Podemos sentir temperatura? Podemos confiar em nosso tato quando analisamos se alguém está ou não com febre?

Como nosso corpo possui temperatura constante, geralmente sentimos um corpo como “frio” quando perdemos calor para o corpo e como “quente” quando recebemos calor dele e quanto mais rápido perdemos calor mais achamos que o corpo é “frio” e quanto mais rápido ganhamos calor de um corpo mais achamos que este corpo está “quente”. **Faça um teste: coloque uma de suas mãos em uma parte metálica da sua cadeira e a outra em uma parte de madeira e responda: qual possui maior temperatura?**

**Escalas termométricas**

Existem diversas escalas usadas para medir a temperatura, sendo as mais comuns a Célsius, Kelvin e Fahrenheit, as há muitas outras como a Rankine e a Réaumur. Vamos ver a definição das três mais importantes.

**Graus Celsius**

A escolha da escala Celsius, abreviada por °C e lida como “graus célsius”, foi definida considerando que o gelo se funde a 0 °C e a água, no estado líquido, entra em ebulição a 100 °C. Na realidade, veremos que o ponto de ebulição e de fusão de uma substância depende da pressão, portanto essa definição foi escolhida sob a pressão de um atm (1 atm).

**Escala absoluta: Kelvin**

Pode-se relacionar a temperatura com a energia cinética média das moléculas, assim faz sentido criar uma escala absoluta, isto é, sempre positiva. Se considerarmos que a energia cinética de uma amostra é proporcional à temperatura, faz sentido escolher como zero para a temperatura quando não há mais agitação térmica. Foi isso que Kelvin fez: ele considerou que a temperatura mínima, na qual a agitação térmica das moléculas cessa, a temperatura seria 0 kelvin (ou 0 K). Ele então escolheu a escala Celsius como base, isto é, a variação de 1 °C deveria ser igual à 1 K. Experimentalmente, podemos concluir que a temperatura termodinâmica mínima possível de se atingir é de -273,15 °C, assim podemos criar uma relação entre as escalas Celsius e Kelvin.

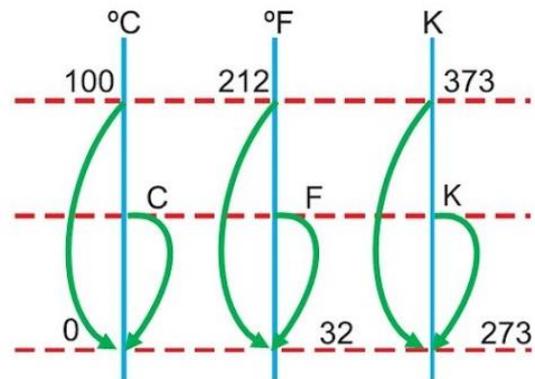
**Escala Fahrenheit**

Fahrenheit é uma escala de temperatura proposta por Daniel Gabriel Fahrenheit em 1724. Apesar de ser uma escala que não estamos acostumados, é uma escala que faz muito sentido prático, uma vez que foi desenvolvida com o objetivo de evitar números fracionados e temperaturas negativas em dados meteorológicos (note que números negativos, quando

esquecemos os sinais, ficam como números positivos). Basicamente, o valor zero nesta escala foi escolhido como sendo a menor temperatura medida em Copenhaga e, após muitas mudanças, a temperatura normal do corpo humano em torno de 100 °F, ou seja, 0° F é muito frio e 100 ° F é muito quente...

Se usarmos os mesmos pontos usados por Celsius, então temos que a água entra em ebulição a 32 °F e em ebulição a 212 °F (note que a diferença da 180 °F, um número inteiro).

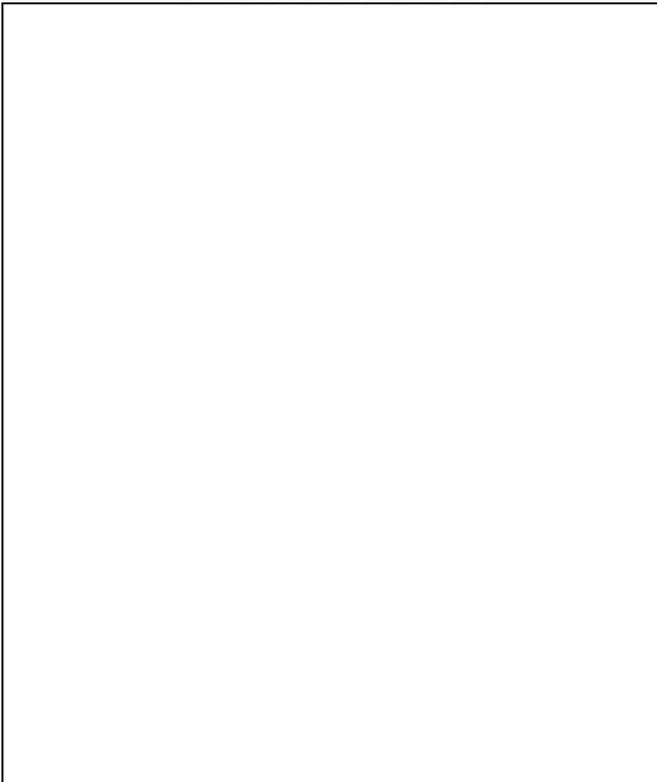
## Q. 1 – RELAÇÃO ENTRES AS TRÊS PRINCIPAIS ESCALAS TERMOMÉTRICAS



PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 12/06/2024

Q. 2 – RELAÇÃO ENTRE AS VARIAÇÕES DAS PRINCIPAIS ESCALAS TERMOMÉTRICAS



### Outros tópicos

Mais à frente, estudaremos diversos outros assuntos relacionados à temperatura, tais como calor, os efeitos do calor trocado por um corpo (dilatação, mudança do estado de agregação etc.) trabalho realizado por um gás (ou sobre ele), energia interna de um gás, entre outros. Vamos comentar alguns conceitos abaixo.

### Calor

Vamos estudar o que é e quais seus efeitos mais para frente, mas por hora é importante entender que calor é energia em movimento, ou seja, energia térmica trocada.

Assim, frases como, “está muito calor”, “este corpo possui mais calor que aquele” ou “estou sentindo calor” estão fisicamente incorretas.

Fazendo uma analogia com dinheiro, se energia térmica, que tem a ver com energia cinética de agitação das moléculas, fosse dinheiro, então calor é a transação financeira: o pagamento ou recebimento de algum dinheiro. Ou seja, você pode dizer que está recebendo calor ou mesmo que a temperatura ambiente é elevada.

### Lei Zero da Termodinâmica

Também conhecida como lei do equilíbrio térmico: quando dois corpos estão em equilíbrio térmico, então ambos estão à uma mesma temperatura.

### Efeitos causados pela temperatura

A temperatura pode alterar propriedades físicas de matérias, como volume, comprimento, resistência elétrica, resistência mecânica etc. Com isso, podemos criar meios de medir temperatura.

Um método muito utilizado, mas que está caindo em desuso, é a medida do comprimento de uma coluna de mercúrio que sofreu dilatação. Figura 1 vemos um termômetro de mercúrio: na base, temos um reservatório, chamado de bulbo, cheio de mercúrio que tem seu volume alterado de forma proporcional à temperatura; quando o líquido é aquecido, o excesso de mercúrio sobe por um tubinho chamado de capilar; quando a temperatura é reduzida, nem todo mercúrio volta ao bulbo devido a um estrangulamento, pois assim podemos medir a temperatura

de uma pessoa mesmo em um dia muito frio. Se quisermos reduzir a coluna do termômetro, devemos chacoalhar com vigor para que o mercúrio no capilar retorne ao reservatório.

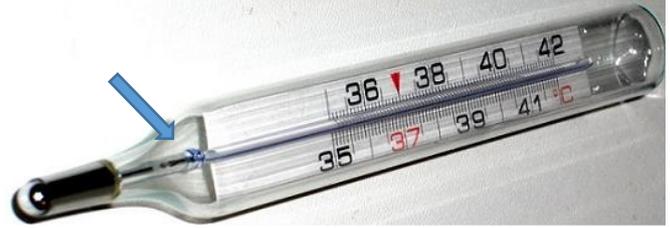


Figura 1: Termômetro de uso clínico. Note o estrangulamento apontado pela seta.

Finalizamos aqui nossa primeira parte da matéria e os exercícios desse assunto são bem repetitivos, portanto, é possível perceber quando está dominando bem o assunto.

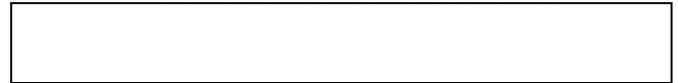
### EXERCÍCIOS

Lista: Termometria

### CALORIMETRIA

Como vimos, calor é energia térmica trocada entre dois ou mais corpos. Vamos então relacionar o calor  $Q$  recebido ( $Q > 0$ ) ou cedido ( $Q < 0$ ) por uma substância de massa  $m$  com o calor específico  $c$  e a variação de temperatura desta substância  $\Delta T$ .

### Q. 3 – CALOR ESPECÍFICO SENSÍVEL



Chamamos de calor sensível o calor associado à variação da temperatura da substância que recebe ou cede calor.

O calor específico é uma grandeza **específica** de cada substância, conforme podemos ver na Tabela 1.

### Q. 4 – UNIDADES DE MEDIDAS USUAIS NA CALORIMETRIA



Tabela 1: calor específico de diversas substâncias.

Substância	Calor específico (cal/(g °C))
Água (líquida)	1,000
Gelo	0,502
Vapor de água	0,481
Alumínio	0,214
Amônia (líquida)	1,125
Bromo (sólido)	0,088
Bromo (líquido)	0,107
Cobre	0,092
Cloreto de sódio	0,204
Chumbo	0,031
Etanol	0,581
Lítio	1,041
Mercúrio	0,033
Areia	0,225
Acetona	0,520
Vidro	0,160

PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 12/06/2024

Você não precisa decorar os calores específicos, portanto, sempre que precisar, consulte a tabela acima. Geralmente aproximamos o calor específico do gelo e do vapor de água para  $0,5 \text{ cal/(g } ^\circ\text{C)}$ .

Quanto maior a massa de um corpo, maior é a quantidade de calor necessário para produzir uma mesma variação de temperatura. Uma outra grandeza importante é a chamada capacidade térmica  $C$ .

Outros assuntos, como curva de aquecimento e equivalente em água, veremos em exercícios.

**Q. 5 – CAPACIDADE TÉRMICA: DEFINIÇÃO E UNIDADE DE MEDIDA USUAL NA CALORIMETRIA**

**Q. 6 – POTÊNCIA TÉRMICA**

**Q. 7 – SISTEMA ISOLADO**

**EXERCÍCIOS**

Lista: Calorimetria

**MUDANÇA DE ESTADO DE AGREGAÇÃO**

**Mudança de estado físico**

Como você já deve ter visto, a mudança de fase pode ser representada pelo diagrama a seguir:

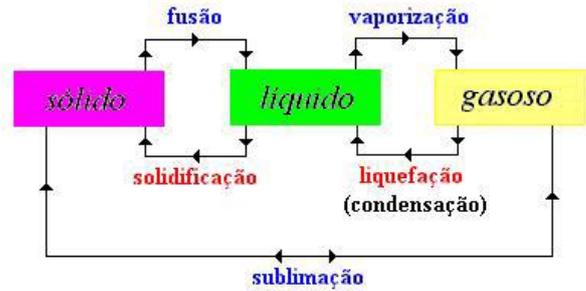


Figura 2: mudança de estado de agregação

Lembremos que os processos para a direita se dão pela absorção de calor, logo são processos Endotérmicos enquanto os processos da direita para a esquerda só ocorrem devido à liberação de calor, ou seja, são processos Exotérmicos.

A temperatura de fusão muda de acordo com a pressão na qual a substância se encontra. Podemos dividir estas substâncias, de acordo com a dependência da pressão com o seu ponto de fusão, em duas categorias:

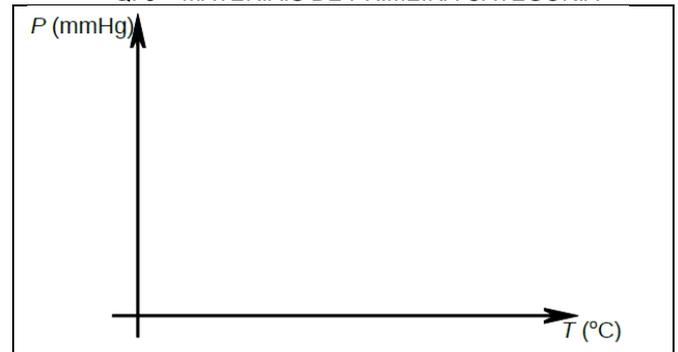
- Materiais de primeira categoria, que aumentam o ponto de fusão com o aumento da temperatura;
- Materiais de segunda categoria, que diminuem o ponto de fusão com o aumento da temperatura;

**DIAGRAMA DE FASE**

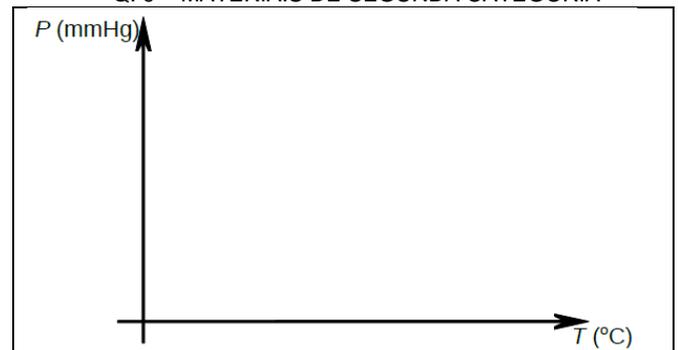
No Q. 8 representamos os materiais de primeira categoria e no Q. 9 os materiais de segunda categoria. Para ambos os diagramas, temos:

- PT: ponto triplo – ponto do diagrama no qual coexistem a substância nos três estados;
- PC: ponto crítico – ponto a partir do qual não é possível mudar o estado de agregação da substância por compressão isotérmica, ou seja, sem mudar sua temperatura;
- 1 → 2 – condensação;
- 3 → 4 – não muda de estado;
- 5 → 6 – sublimação;
- 7 → 8 – fusão.

**Q. 8 – MATERIAIS DE PRIMEIRA CATEGORIA**



**Q. 9 – MATERIAIS DE SEGUNDA CATEGORIA**



PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 12/06/2024

Pensando nesse último diagrama, responda:

Em uma panela comum, onde o cozimento de um alimento é mais demorado: no Everest ou em Santos? Dica: quando maior a altitude, menor é a pressão atmosférica.

**Calor Latente**

A quantidade de calor  $Q$  necessário para uma substância de massa  $m$  mudar de estado depende de uma constante que depende do material. Esta constante é chamada de calor latente  $L$ . Alguns valores de calor latente podem ser encontrados na Tabela 2.

Q. 10 – EQUAÇÃO DO CALOR LATENTE

Q. 11 – UNIDADE DE MEDIDA DO CALOR LATENTE

Q. 12 – CONVENÇÃO DE SINAL PARA O CALOR LATENTE

Tabela 2: Calores latentes de diversas substâncias e seus respectivos pontos de fusão e ebulição (pressão de 1 atm).

Substância	Ponto de Fusão(K)	Calor Latente de Fusão (kJ/kg)	Ponto de Ebulição (K)	Calor Latente de Vaporização (kJ/kg)
Hidrogênio	14,0	58,0	20,3	455
Oxigênio	54,8	13,9	90,2	213
Mercúrio	234	11,4	630	296
Água	273	333	373	2256
Chumbo	601	23,2	2017	858
Prata	1235	105	2323	2326
Cobre	1356	207	2868	4730

Podemos novamente falar em potência térmica, afinal, potência é a taxa de troca de calor pelo tempo.

**EXERCÍCIOS**

Mudança de estado de agregação

**TRANSMISSÃO DE CALOR**

Temos três formas de condução de calor:

- Condução
- Convecção
- Irradiação

Vamos ver cada uma delas.

**Transmissão de calor por condução**

Quando dois corpos estão em contato, o calor flui do corpo mais quente para o mais frio.

A taxa com que o calor é transferido do mais quente para o mais frio (potência térmica) é agora chamada de fluxo de calor.

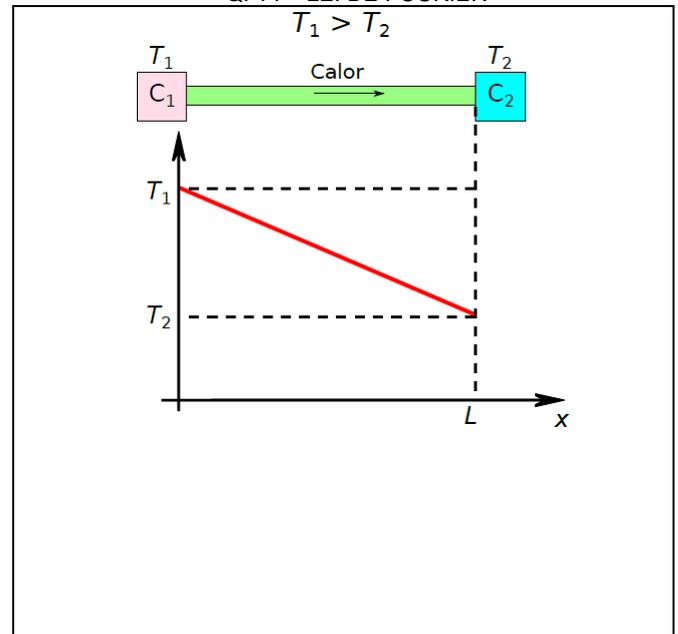
Q. 13 – FLUXO DE CALOR

Seja um material de comprimento  $L$  e seção transversal  $A$  conectando dois corpos com temperaturas  $T_1$  e  $T_2$  com  $T_1 > T_2$ .

O fluxo de calor  $\phi$  que flui por esta barra é proporcional à diferença de temperatura  $\Delta T = T_1 - T_2$  e à área  $A$ , mas

inversamente proporcional à  $L$ . Porém também depende de uma constante específica de cada material, chamada de condutividade térmica  $\kappa$ . A relação entre as grandezas acima é chamada de lei de Fourier e é apresentada no Q. 14.

Q. 14 – LEI DE FOURIER



Q. 15 – UNIDADES DE MEDIDAS DA CONDUTIBILIDADE TÉRMICA

Tabela 3: Condutibilidade térmica de diversas substâncias.

Substância	Condutibilidade Térmica (W/(m K))
Diamante	1000
Prata	406,0
Cobre	385,0
Ouro	314
Latão	109,0
Alumínio	205,0
Ferro	79,5
Aço	50,2
Chumbo	34,7
Mercúrio	8,3
Gelo	1,6
Vidro comum, concreto	0,8
Fibra de vidro, feltro, lã	0,8
Madeira	0,12 – 0,04

PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 12/06/2024

A Tabela 3 apresenta diversos valores para a condutibilidade térmica de vários materiais, mas tais dados serão fornecidos pelo enunciado da questão.

**Transmissão de calor por convecção**

É um dos processos de transferência de calor que ocorre por meio da movimentação interna de fluidos. O fluido com maior temperatura sobe, uma vez que a densidade diminui.

**Q. 16 – AQUECEDORES FICAM NO CHÃO**

Os aquecedores são colocados no chão para aproveitar o movimento natural do ar quente subindo e do ar frio descendo. Esse posicionamento ajuda a criar uma circulação eficiente de calor, garantindo que o ar quente se espalhe uniformemente pelo ambiente e proporcionando um aquecimento eficaz e confortável.



**Q. 17 – AR-CONDICIONADO FICA EM CIMA**

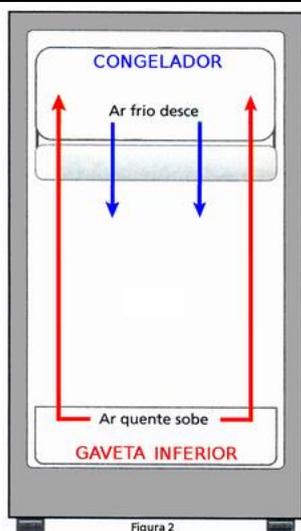


A instalação de um ar-condicionado em locais mais altos aproveita a dinâmica natural do ar quente subindo e do ar frio descendo, promovendo uma circulação mais eficiente do ar. Isso resulta em uma distribuição mais uniforme da temperatura no ambiente, melhorando o conforto térmico e a eficiência do aparelho.

**Q. 18 – UMA GELADEIRA SIMPLES**

**Geladeiras Antigas:** O refrigerador na parte superior aproveitava a convecção natural do ar frio descendo, garantindo um resfriamento eficiente com tecnologias de ventilação menos avançadas.

**Geladeiras Modernas:** Algumas geladeiras possuem separações entre o congelador e o restante da geladeira e outras possuem o congelador em baixo e isso é possível graças a um sistema de circulação forçada usando pequenos ventiladores internos.



**Q. 19 – BRISA MARÍTIMA**



Designed by brgfx / Freepik

A terra aquece mais rápido que o mar → Ar sobre a terra sobe (devido à menor densidade do ar, pois está mais aquecido – como diria a geográfica, é uma área de baixa pressão) → Ar frio do mar flui para a terra (menor temperatura do ar sobre a terra faz o ar substituir o ar menos denso sobre o mar – como diria a geográfica, é uma área de alta pressão) → Brisa marítima resfria a costa.

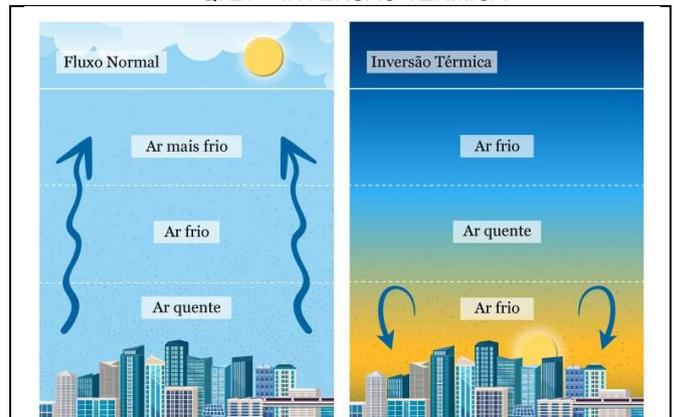
**Q. 20 – BRISA TERRESTRE**



Designed by brgfx / Freepik

A terra esfria mais rápido que o mar → Ar sobre o mar sobe (devido à menor densidade do ar, pois está mais aquecido – como diria a geográfica, é uma área de baixa pressão) → Ar frio da terra flui para o mar (menor temperatura do ar sobre a terra faz o ar substituir o ar menos denso sobre o mar – como diria a geográfica, é uma área de alta pressão) → Brisa terrestre resfria o mar.

**Q. 21 – INVERSÃO TÉRMICA**

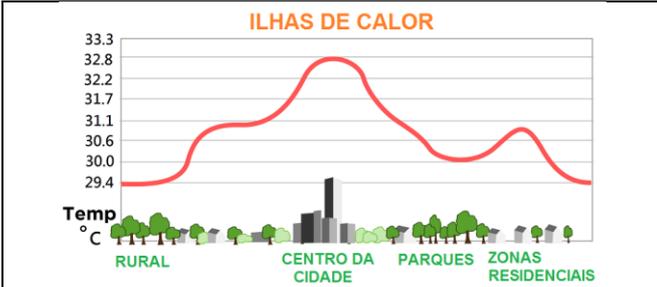


Em condições atmosféricas normais, a temperatura do ar diminui com a altitude. O ar quente próximo à superfície da Terra tende a subir, e ao subir, ele se expande e esfria. No entanto, durante uma inversão térmica, ocorre o contrário: uma camada de ar quente se situa acima de uma camada de ar mais frio.

PROFESSOR DANILO

ESTUDO DO CALOR E DA TEMPERATURA – EXTENSIVO PLUS – 12/06/2024

Q. 22 – ILHAS DE CALOR



A "ilha de calor" urbana é um fenômeno ambiental em que áreas urbanizadas, como cidades, experimentam temperaturas significativamente mais altas do que suas áreas rurais circundantes. Esse fenômeno ocorre devido a várias características das áreas urbanas que influenciam a absorção e a retenção de calor tais como redução de vegetação, aumento de regiões que absorvem calor, uso de máquinas que liberam calor entre outras razões.

Tais condições contribuem para piorar a qualidade do ar, estimula aumento de consumo energético, aumento desconforto térmico, piora da saúde pública.

**Transmissão de calor por irradiação**

Transmissão de calor por onda eletromagnética. Algumas frequências, como o infravermelho, são mais facilmente absorvidas pela matéria, que outras.

Q. 23 – EXPERIMENTO DE HERCHEL

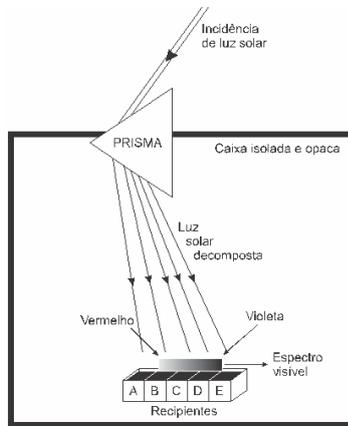
O experimento de William Herschel, realizado em 1800, é famoso por levar à descoberta da radiação infravermelha. Abaixo, está uma explicação detalhada do experimento e sua importância:

William Herschel foi um astrônomo e cientista alemão-britânico conhecido por suas descobertas astronômicas, incluindo o planeta Urano. Em seus estudos, Herschel também se interessou pela luz e suas propriedades.

Herschel estava investigando a relação entre a luz visível e a temperatura. Ele queria verificar se a luz de diferentes cores (espectro visível) poderia aquecer objetos de maneira diferente.

Herschel descobriu que a região imediatamente além do vermelho, onde não havia luz visível, apresentava uma temperatura ainda mais alta do que a luz vermelha visível.

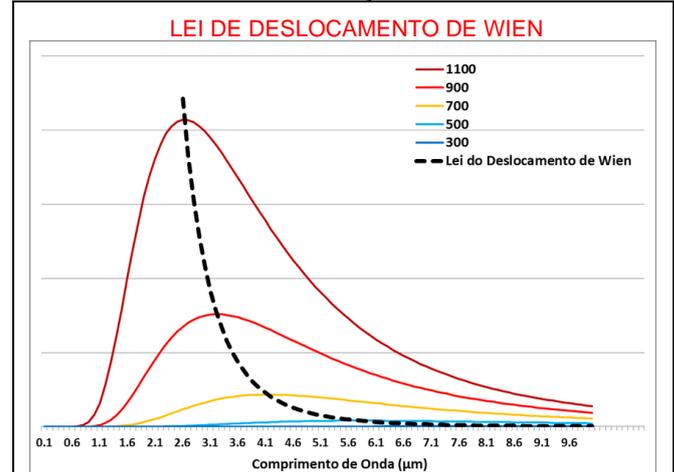
Ele concluiu que havia uma forma de radiação invisível que carregava calor. Esta radiação foi posteriormente chamada de **radiação infravermelha**.



Na tentativa de medir a temperatura de cada cor, Herschel, em 1800, elaborou um experimento no qual ele decompunha a luz solar, utilizando um prisma. Na tentativa de ver qual a cor mais quente, segundo suas próprias ideias, ele sem querer deixou um termômetro ao lado do vermelho, onde não havia luz e, para surpresa do cientista, este foi o que mais se aqueceu.

Havia sido descoberto o infravermelho. Como esta região do espectro eletromagnético era capaz de aquecer mais os termômetros que qualquer outra cor, atribui-se ao infravermelho o principal responsável pela troca de calor, porém na prática pode depender do material que recebe a luz.

Q. 24 – IRRADIAÇÃO TÉRMICA



**LEI DE STEFAN OU LEI DE STEFAN-BOLTZMANN**  
Um corpo de área  $A$  e temperatura  $T$  emite uma potência térmica  $P$  dada por:

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

sendo  $\sigma = 5,6705 \cdot 10^{-9} \frac{W}{m^2} K^4$  a constante de Stefan.

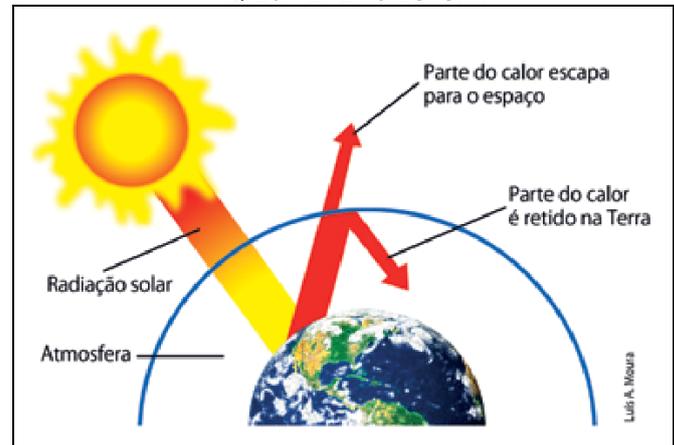
Q. 25 – ESTUFA



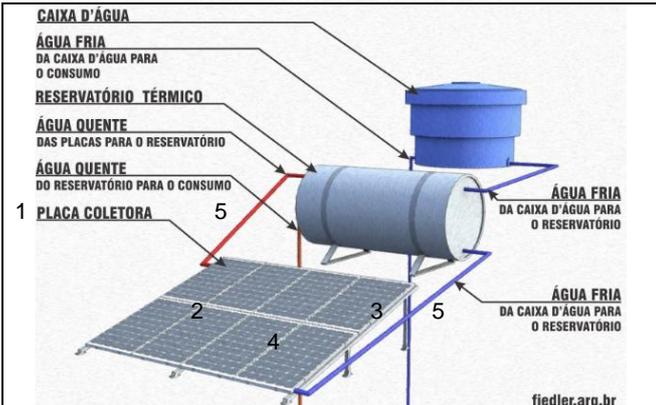
O funcionamento de uma estufa é um exemplo clássico do efeito estufa em ação, onde a luz solar entra e aquece o interior, e a estrutura retém esse calor. Este sistema utiliza os princípios de irradiação, absorção, condução e convecção para criar um microclima adequado para o cultivo de plantas.

A radiação solar entra pelas paredes e tetos, por serem transparentes, é absorvida pelos objetos em seu interior gerando aquecimento do interior. As paredes e teto impedem a perda de calor por convecção fazendo com que a temperatura interna seja maior que a externa.

Q. 26 – EFEITO ESTUFA



Q. 27 – AQUECEDOR SOLAR



1. **Placa coletora:**

- A principal parte da placa, onde ocorre a conversão da energia solar em calor.
- Geralmente, consiste em uma caixa isolada com uma tampa de vidro ou plástico transparente, que permite a entrada da luz solar.
- Dentro da caixa, há tubos ou canais por onde circula o fluido.

2. **Tubos absorvedores:**

- Uma superfície metálica (geralmente de cobre ou alumínio) pintada de preto para maximizar a absorção de calor.
- Fica em contato com os tubos ou canais onde a água circula.
- Quando a luz solar atinge o absorvedor, ele se aquece e transfere o calor para o fluido que passa pelos tubos.

3. **Isolamento Térmico:**

- Material isolante na parte traseira e nas laterais do coletor para minimizar a perda de calor.
- Ajuda a evitar perda de calor na placa coletora, aumentando a eficiência.

4. **Cobertura Transparente:**

- Uma folha de vidro ou plástico que cobre a parte superior do coletor.
- Permite a entrada da luz solar e reduz a perda de calor por convecção e radiação.

5. **Tubulação e Bomba de Circulação:**

- Sistema de tubulação que transporta o fluido aquecido do coletor solar para o reservatório térmico.
- Em sistemas de circulação forçada, uma bomba é usada para mover o fluido através do sistema.
- Em sistemas de circulação natural (termosifão), a circulação do fluido ocorre devido à diferença de densidade entre o fluido quente e o frio.

6. **Reservatório Térmico:**

- Reservatório com paredes isolantes termicamente, para impedir perda de calor para o meio ambiente.

Q. 28 – GARRAFA TÉRMICA – VASO DE DEWAR



1. **Tampa de plástico:**

- Impede a convecção e reduz a condução utilizando materiais que não são bons condutores térmicos.

2. **Bulbo de vidro:**

- Reduz a perda de calor por radiação, por ser espelhada, impedindo o fluxo de calor tanto de dentro para fora quanto de fora para dentro.

3. **Vácuo:**

- O vácuo entre as paredes evita a condução térmica e possível troca de calor por convecção, já que esta só ocorre em meios fluidos.

4. **Suporte térmico:**

- Material isolante reduzindo o contato térmico com a base da garrafa.

**EXERCÍCIOS**

Lista: Transmissão de calor