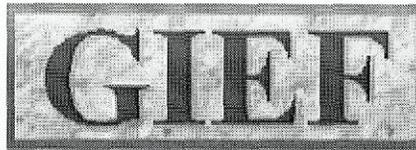
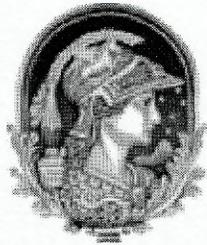


**Instituto de Física  
UFRJ**



PROJETO DE INSTRUMENTAÇÃO DE FINAL DE CURSO

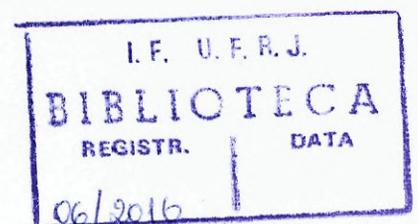
**A CONTEXTUALIZAÇÃO DA TRANSFERÊNCIA DE  
CALOR POR CONDUÇÃO E RADIAÇÃO.**

Aluno: José Carlos Moura de Araujo

Orientadora: Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Wilma Machado Soares Santos

06/2010

Rio de Janeiro, Julho/2010



## **Agradecimentos**

- Agradeço a Deus, pelo dom da vida. A Ele dedico a conclusão de mais esta etapa da minha vida.
- Aos meus pais, minha gratidão pelos seus ensinamentos, amor e tantos anos de dedicação.
- A professora Wilma Machado Soares Santos, pela paciência, dedicação, ensinamentos, sugestões, críticas e sua amizade durante a realização desse trabalho.
- Ao professor Marcos Gaspar, um dos grandes responsáveis para que esse trabalho pudesse ser realizado.
- A professora Penha Maria Cardoso Dias pelas importantes orientações durante a realização desse trabalho.
- Ao meu grande amigo Bruno Evione, pelo constante incentivo e amizade, que não me deixaram desistir.
- Aos meus amigos da faculdade, em especial Cristiane Moro e Edna Veiga, que sempre estiveram junto comigo em todos os momentos.
- Aos professores da UFRJ, que contribuíram para minha formação.

## Resumo

A proposta deste trabalho é apresentar uma forma alternativa para ensinar os conceitos de transferência de calor por condução e por irradiação para os alunos do Ensino Médio. O processo fundamenta-se nas recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM), que recomendam que o ensino deva contemplar a interdisciplinaridade, o cotidiano e o desenvolvimento da capacidade do aprendiz em analisar fenômenos físicos. Esta pesquisa é uma tentativa de remover as dificuldades de aprendizado da Física, seguindo para isso as orientações do PCNEM, desenvolvendo um instrumental simples, oriundo de experiências cotidianas, para uso em sala de aula, no Ensino Médio.

O conteúdo do trabalho foi elaborado a partir da construção de dois experimentos que envolvem o processo de transferência de calor por radiação térmica; e na análise de uma situação cotidiana que envolve a transferência de calor por condução.

A partir disso os conceitos físicos envolvidos nas experiências foram apresentados de forma clara, relacionando-os, procurando sempre contextualizá-los, visando principalmente o bom entendimento por parte dos alunos. Além de conceitos básicos como calor e temperatura, outros assuntos pouco discutidos no Ensino Médio, como emissividade, a lei de Newton do resfriamento, e a lei de Stefan-Boltzmann, foram incluídos, mas primando sempre pela contextualização nas atividades realizadas.

# Índice

Capítulo 1 – Introdução.....	05
Capítulo 2 – Calor e Temperatura.....	07
2.1 – Calor e Temperatura nas Diferentes Substâncias.....	08
2.1.1 – Calor Específico.....	08
2.1.2 – Cálculo das Trocas de Calor.....	09
2.1.3 – Capacidade Térmica e Condutividade Térmica.....	10
2.1.4 – Emissividade, Absortividade, Refletividade e Transitividade.....	12
2.2 – Transmissão de Calor por Condução.....	13
2.2.1 – Condução Térmica no Cotidiano.....	15
2.3 – Utilização das Características Térmicas no dia a dia.....	16
2.3.1 – Os Metais.....	16
2.4 – Transmissão de calor por Radiação Térmica.....	17
2.4.1 – Corpo Negro e a Lei de Stefan Boltzmann.....	19
Capítulo 3 – Aplicações da Radiação Térmica.....	22
3.1 – Estufas.....	22
3.2 – Radiômetro de Crookes.....	22
3.3 – A Garrafa Térmica.....	23
Capítulo 4 – Experimentos.....	24
4.1 – Experimento 1: Radiação Térmica na Sala de Aula.....	24
4.1.1 – Texto Motivador.....	24
4.1.2 – Conceito Chave.....	24
4.1.3 – Atividade Proposta.....	24
4.1.4 – Construção e Montagem do Experimento.....	25
4.1.5 – Sugestão para Avaliação da Aprendizagem.....	28
4.2 – Experimento 2: A Utilização de Quentinhas e a Emissividade do Alumínio.....	28
4.2.1 – Considerações Teóricas.....	28
4.2.2 – Montagem do Experimento.....	29
4.2.3 – Dados Obtidos.....	32
4.2.4 – Análise dos Resultados.....	33
4.2.5 – Aplicações do Alumínio Devido sua Baixa Emissividade.....	35
4.3 – Lei de Newton para o Resfriamento.....	37
4.3.1 – Análise dos Resultados.....	38
Capítulo 5 – Considerações Finais.....	42
Referências Bibliográficas.....	43

# Capítulo 1

## Introdução

Uma das grandes dificuldades do ensino de Física e de seu entendimento pelos alunos nas escolas de Ensino Médio é a ausência de laboratórios, criando dificuldade para a demonstração de certos experimentos que exigem equipamentos e materiais de alto custo. É recomendável que os professores desenvolvam experimentos simples, montados com materiais de fácil obtenção e baixo custo para transformar a sala de aula num laboratório.

No presente trabalho sugerimos a montagem de dois experimentos envolvendo transferência de calor sob a forma de radiação. O primeiro, um tipo de radiômetro, discute a absorção de energia radiante por superfícies de diferentes cores; o segundo é mostra porque recipientes de alumínio (quentinhas) são mais eficientes na conservação da temperatura de alimentos cozidos, e como isso está relacionado com a transferência de calor por radiação térmica.

Este trabalho está de acordo com as recomendações dos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio [1], se encaixando nos seguintes tópicos:

Tema Estruturador 02: Calor, Ambiente e Formas e Usos de Energia.

Unidade temática 2.1: Fontes e trocas de Calor.

- Identificar fenômenos, fontes e sistemas que envolvem calor para a escolha de materiais apropriados a diferentes situações ou para explicar a participação do calor nos processos naturais ou tecnológicos;

- Reconhecer as propriedades térmicas dos materiais e os diferentes processos de troca de calor, identificando a importância da condução, convecção e irradiação em sistemas naturais e tecnológicos.

Unidade temática 2.3: O calor na vida e no ambiente

- Identificar e avaliar os equipamentos que propiciam conforto térmico em ambientes fechados (sala de aula, cozinha, quarto etc.) e suas corretas instalações (ar condicionado, geladeira, refrigeradores, etc).

A motivação principal para a elaboração deste trabalho consistiu na investigação da utilização de recipientes de alumínio (quentinhas) no transporte de alimentos cozidos, e com isso, elaborar um experimento que pudesse ser montado nas aulas de Física do Ensino Médio

que auxiliasse o professor na explicação de conceitos físicos considerados abstratos como a radiação térmica e a emissividade.

A monografia está organizada da seguinte maneira. No capítulo 2, discutimos os conceitos básicos de calor, temperatura, calor específico, cálculo das trocas de calor, capacidade térmica, emissividade e absorvidade; além disso, abordamos também a transferência de calor por condução, e da utilização das características térmicas no dia a dia. Fechando o capítulo, discutimos a transferência de calor por radiação térmica. No capítulo 3 mostramos aplicações da radiação térmica através do exemplo da estufa, radiômetro de Crookes e da garrafa térmica. No capítulo 4 descrevemos a elaboração dos experimentos, sua utilização, assim como, a análise dos resultados. Por fim, no capítulo 5, fazemos as considerações finais.

## Capítulo 2

### Calor e Temperatura

A matéria é composta por átomos e moléculas em constante agitação. Em virtude de seus movimentos, as moléculas e os átomos da matéria possuem energia cinética. A energia cinética média das partículas individuais está diretamente relacionada à temperatura. Quando comprimimos rapidamente o ar de uma bomba de encher pneu, realizamos Trabalho sobre o mesmo, o que aumenta a energia cinética das moléculas. O aumento da energia cinética provoca o aumento das colisões entre as moléculas do gás, o que aumenta a temperatura no interior do pneu e por essa razão sentimos o aquecimento da bomba.

A temperatura é a medida da energia cinética associada ao movimento (vibração) aleatório das partículas que compõem um dado sistema físico. No cotidiano é muito comum as pessoas medirem o grau de agitação dessas partículas através da sensação de quente ou frio que se sente ao tocar outro corpo. No entanto não podemos confiar na sensação térmica. Para isso existem os termômetros, que são graduados para medir a temperatura dos corpos. [2]

O Calor é definido como sendo energia transferida de um corpo para outro em razão da diferença de temperatura existente entre eles, ou também pela realização de trabalho sobre o corpo. Quando objetos próximos possuem temperaturas diferentes, energia térmica é transferida do corpo com temperatura maior (quente) para o corpo com temperatura menor (frio).

É importante observar que a matéria não contém calor. A matéria contém energia cinética molecular e possivelmente energia potencial, não calor. Uma vez transferida, a energia deixa de ser calor, transformando-se em energia cinética, por exemplo. [2]

## 2.1 - Calor e Temperatura nas diferentes substâncias

### 2.1.1 - Calor Específico (c)

Seja a seguinte experiência: são colocadas lado a lado, sobre as chamas de um fogão, uma panela com 1L de água e outra panela com 5L de água. É importante supor também que as duas chamas e as duas panelas são idênticas e que as panelas foram colocadas no fogo ao mesmo tempo.

Depois de 5 minutos, a água da primeira panela ferve, enquanto a da outra está apenas morna. Sabemos que a água, em condições “normais” de temperatura e pressão, ferve a temperatura de 100°C. Portanto, podemos dizer que a água da primeira panela atingiu essa temperatura e a outra ainda não.

As duas panelas ficaram sobre chamas idênticas durante o mesmo intervalo de tempo e, portanto, receberam igual quantidade de calor, mas apesar disso encontram-se a temperaturas diferentes. Isto ocorre porque quantidades diferentes da mesma substância precisam de quantidades diferentes de calor para chegar a uma determinada temperatura. Por isso que a panela com 1L de água atingiu a temperatura de ebulição enquanto que a panela com 5L ainda estava morna.

Se na experiência anterior houvesse a mesma quantidade de líquidos diferentes, o que pode ocorrer?

Se ao invés de água nas duas panelas, colocássemos 1L de água em uma e 1L de óleo na outra, sobre chamas idênticas, verificaríamos que depois de alguns minutos a temperatura do óleo seria quase o dobro da temperatura da água.

As diferentes substâncias precisam de quantidades diferentes de calor para chegar à mesma temperatura. Dessa forma, a água precisaria de muito mais calor para atingir a mesma temperatura do óleo. A quantidade de calor necessária para a elevação de temperatura varia de acordo com a substância. Essa quantidade é definida como o calor específico da substância. Ou seja, o calor específico indica a relação entre o calor recebido e a respectiva variação de temperatura sofrida pela substância. [3]

**Calor específico (c)** é definido como a quantidade de calor necessária para que 1g de uma substância sofra variação de 1°C na sua temperatura.

Não existem duas substâncias com o mesmo calor específico. Veja na Tabela o calor específico de algumas substâncias.

Substância	Calor específico (cal/g°C)
água	1,000
água do mar	0,950
álcool	0,600
alumínio	0,212
amoníaco	1,070
chumbo	0,030
ferro	0,117
gelo	0,500
óleo	0,310

Tabela 1: calor específico de algumas substâncias

É menos dispendioso elevar a temperatura do chumbo que a do alumínio, e é preciso o dobro de calor para elevar em 1°C a temperatura da água do que para se obter o mesmo resultado com o gelo.

### 2.1.2 - Cálculo das trocas de calor

Quando um corpo muda de temperatura (aumenta ou diminui), está recebendo ou perdendo calor. Esse processo varia de acordo com a substância e o calor específico é a grandeza que nos informa a facilidade ou a dificuldade em aquecer ou esfriar cada uma delas, como nos mostra a Tabela 1.

Porém, devemos considerar outro fator nessa avaliação além do calor específico: a massa. O que é mais fácil: elevar 1g de alumínio em 1°C ou elevar 100g de chumbo em 1°C? O calor fornecido ao alumínio será dirigido a apenas 1g dele; no outro caso, ele terá de se dividir entre 100g de chumbo. Ainda que o chumbo tenha calor específico menor que o do alumínio, a massa dele compensa esse fato, tornando mais difícil o aumento de sua temperatura. [3]

O calor necessário para que um corpo eleve ou abaixe sua temperatura nas mais diversas situações e dado por:

$$Q = M.c.\Delta t \quad (1)$$

Onde:

Q: é o calor transferido da fonte de calor para o corpo;

M: a massa do corpo;

c: o calor específico;

$\Delta t$ : a variação de temperatura a que está sujeito o corpo.

### 2.1.3 - Capacidade Térmica e Condutividade Térmica: Pannelas de ferro x Pannelas de alumínio

É como o uso de pannelas de ferro para cozinhar alimentos, menos sendo menos práticas, enferrujam, são pesadas e ficam pretas de fuligem, muitos profissionais não abrem mão delas. Um dos motivos é que, uma vez aquecidas, as pannelas de ferro demoram mais para esfriar que as de alumínio. O mesmo acontece com as chapas e frigideiras de ferro.

Na Tabela 1, verifica-se que o calor específico do ferro é 0,117 cal/g°C e o do alumínio, 0,212 cal/g°C, o que pode parecer incoerente. O alumínio precisa absorver mais calor que o ferro, quase o dobro, para sofrer a mesma variação de temperatura. Como se explica isso?

Usando uma frigideira de ferro e outra de alumínio de mesmas dimensões, qual precisará de mais calor para sofrer a mesma variação de temperatura?

Observe que a mesma dimensão implica em mesmo volume, mas não em igual massa. Como a expressão da quantidade de calor, equação 1, apresenta apenas a massa, é preciso saber a densidade do ferro ( $\rho_{fe}$ ) e do alumínio ( $\rho_{al}$ ), para determinarmos a relação entre as massas das frigideiras:

As densidades do alumínio e do ferro são  $\rho_{fe} = 7,9\text{g/cm}^3$  e  $\rho_{al} = 2,7\text{g/cm}^3$ , respectivamente.

Como:  $\rho = M/V$

teremos:  $\rho_{al} = M_{al}/V$  e  $\rho_{fe} = M_{fe}/V$

Como V representa o volume de cada frigideira, no caso, esse valor é igual nos dois corpos.

Se dividirmos  $\rho_{fe}$  pela densidade do alumínio, teremos:

$$\rho_{fe} / \rho_{al} = (M_{fe} / V) / (M_{al} / V)$$

Como os volumes são iguais, teremos

$$\rho_{fe} / \rho_{al} = M_{fe} / M_{al}$$

$$7,9/2,7 = M_{\text{fe}} / M_{\text{al}}$$

$$M_{\text{fe}} \approx 2,9 M_{\text{al}}$$

Ou seja, a frigideira de ferro tem a massa quase três vezes maior que a de alumínio. Entretanto, não nos interessa apenas a massa, mas o produto da massa pelo calor específico ( $M \times c$ ).

Por outro lado, sabemos que o calor específico ( $c$ ) do alumínio é  $0,212 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$  e o ferro,  $0,117 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ .

Agora podemos avaliar o produto  $M \times c$  para as duas frigideiras. Chamando a massa da frigideira de alumínio,  $M_{\text{al}}$ , de  $M$ . Logo, a massa aproximada da frigideira de ferro será  $2,9M$ .

Para a frigideira de ferro o produto  $M \times c$  será:

$$2,9M \times 0,117 \approx 0,34M$$

Para a de alumínio, teremos:

$$M \times 0,212 = 0,212M$$

O produto  $M \times c$  para a frigideira de ferro é superior ao correspondente da de alumínio.

Como  $\Delta t = Q/(M \times c)$ , teremos:

$$\Delta t_{\text{fe}} = Q_{\text{fe}}/M_{\text{fe}} \times c_{\text{fe}} \text{ e } \Delta t_{\text{al}} = Q_{\text{al}}/M_{\text{al}} \times c_{\text{al}}$$

Para que  $\Delta t_{\text{fe}} = \Delta t_{\text{al}}$ , isto é, para sofrerem a mesma variação de temperatura, a frigideira de ferro terá de ganhar uma quantidade de calor maior que a de alumínio, já que o produto  $M_{\text{fe}} \times c_{\text{fe}}$  é maior que o produto  $M_{\text{al}} \times c_{\text{al}}$ . O fator decisivo no caso do ferro foi sua maior densidade.

Portanto, em contato com substâncias mais frias, as frigideiras de ferro transferem maior quantidade de calor que as de alumínio.

Por estar presente com muita regularidade nesses cálculos, o produto  $M \times c$  passou a ser representado por outra variável, chamada *capacidade térmica*,  $C$ :

$$\underline{C = M \times c.} \quad (2)$$

Quando nos referimos a uma substância, sempre recorremos ao seu calor específico, pois é um valor fixo, uma característica da substância. Ao fazermos referência a objetos, como copo ou frigideira, utilizamos sempre o conceito de capacidade térmica, pois, como acabamos de observar, a massa do objeto também é importante para esse cálculo. [3]

Outro fator importante nesta comparação entre as panelas de ferro e de alumínio é a *Condutividade térmica*, que é a grandeza física que indica à rapidez com que um determinado material conduz o calor. Da Tabela 2, observamos que a condutividade térmica do alumínio (205 W/m.K) é superior ao dobro da condutividade do ferro (79,5 W/m.K). Por isso a panela de ferro transmite calor para os alimentos de maneira muito mais lenta que a panela de alumínio.

Portanto, apesar do ferro ter uma capacidade térmica maior que o alumínio, sua baixa condutividade térmica em relação a este, proporciona um cozimento lento dos alimentos, sendo por isso que as panelas de ferro são as preferidas das cozinheiras.

#### 2.1.4 – Emissividade, absorvidade, refletividade e transmissividade

*Emissividade* ( $\epsilon$ ) é uma propriedade do material, que indica sua capacidade em emitir energia por radiação. A emissividade poder ser um valor entre 0 (refletida por um espelho) e 1,0 (Corpo Negro). Muitos materiais orgânicos, revestidos ou superfícies oxidadas podem ter valores de emissividade próximos de 0,95. [4]

Já a *absortividade* ( $\alpha$ ) é a propriedade do material que indica sua capacidade em absorver a energia por radiação que incide sobre o mesmo. Os materiais que são bons emissores são também bons absorvedores de radiação. Uma fonte ideal radiaria ou absorveria 100% de toda energia radiante. O corpo que possui tal propriedade é chamado de corpo negro, e possui emissividade de unidade (1,0). [4]

A maioria dos materiais e superfícies, “corpos cinzas”, tem uma emissividade ou fator de absorção menor que 1,0.

Assim como definimos a emissividade e a absorvidade, podemos também definir a *refletividade* e a *transmissividade*: [5]

*Refletividade* ( $\rho$ ) – é a propriedade do material que indica sua capacidade em refletir a energia por radiação que incide sobre o mesmo. É a fração da energia incidente que é refletida;

*Transmissividade* ( $\tau$ ) – é a propriedade do material que indica sua capacidade em transmitir a energia por radiação que índice sobre o mesmo. É a fração da energia incidente que é transmitida.

Para propósitos práticos pode-se supor que um emissor “pobre” normalmente é um absorvedor “pobre”. Por exemplo, o alumínio polido tem uma emissividade de 0,04 e é um emissor muito “pobre”. É altamente refletivo e é difícil de aquecer com energia radiante. Se a superfície de alumínio for pintada com um esmalte, a sua emissividade aumenta a 0,85-0,91, e é facilmente aquecido com energia radiante.

## **2.2 - Transmissão de Calor por Condução**

Ao manter a extremidade de uma barra de ferro em uma chama, aumentará sua temperatura o bastante para que não se possa segurá-la. O calor é recebido pela extremidade e é transferido para toda sua extensão. Esse modo de transmissão de calor é chamado de *condução*. A chama na extremidade da barra faz os átomos do metal moverem-se mais rapidamente e, em consequência, aumentam as colisões entre os átomos e elétrons próximos a chama. Esse processo de múltiplas colisões continua até que o aumento no movimento seja transmitido a todos os átomos e o corpo inteiro torne-se mais quente. A condução de calor ocorre, portanto, por meio de colisões atômicas e eletrônicas.

A capacidade de um objeto conduzir bem o calor depende das ligações em sua estrutura atômica ou molecular. Os sólidos formados por átomos com um ou mais de seus elétrons mais externos fracamente ligados, são bons condutores de calor. Os metais possuem os elétrons externos mais fracamente ligados, que são livres para transportar energia por meio de colisões através do metal. Por essa razão eles são excelentes condutores de calor e de eletricidade. A prata, seguida do cobre, são bons condutores de calor. Dentre os metais comuns os melhores condutores são o alumínio e o ferro.

Materiais como lã, madeira, papel, cortiça e isopor, por outro lado, são maus condutores de calor. Os elétrons mais externos dos átomos desses materiais estão firmemente ligados. Um material mau condutor é denominado isolante.

Como a madeira é um bom isolante, ela é usada para revestir os cabos de utensílios de cozinha. Mesmo quando está quente, pode-se segurar o cabo revestido de madeira de uma panela com as mãos descobertas e rapidamente retirá-la do forno aceso sem queimar-se. Se o cabo fosse de ferro, à mesma temperatura, certamente poderia causar queimaduras. A madeira é um bom isolante mesmo quando ela está em brasas, e é por essa razão que algumas pessoas conseguem caminhar sobre brasas sem queimar os pés. O principal fator das caminhadas sobre brasas é a baixa condutividade da madeira. Embora sua temperatura seja alta, relativamente pouco calor é transferido para os pés. [2]

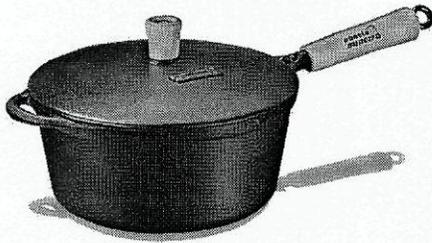


Figura 1: Panela com cabo de madeira [6]

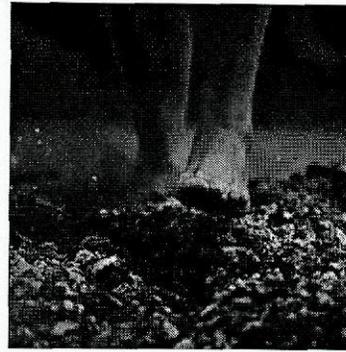


Figura 2: Andando sobre brasas [7]

Os líquidos e os gases são, na sua maioria, maus condutores de calor. O ar é um péssimo condutor, motivo pelo qual se pode colocar e retirar a mão em um forno sem queimá-la. As boas propriedades isolantes de materiais como lã, peles e penas devem-se principalmente aos espaços com ar que eles contêm. Outras substâncias porosas são igualmente boas isolantes por causa de seus pequenos espaços cheios de ar.

Outro bom isolante é a neve, aproximadamente igual à madeira seca. Os flocos de neves são formados por cristais, que se acumulam formando massas fofas, que aprisionam ar e, portanto, interferem na transmissão de calor da superfície da Terra para a atmosfera. As casas tradicionais de inverno no Ártico estão protegidas do frio por suas coberturas de neve. Os animais da floresta encontram abrigo do frio em bancos de neves e em buracos na neve. A neve por si mesma, evidentemente, não provê aquecimento; ela simplesmente diminui a perda de calor gerada pelo animal. [2]

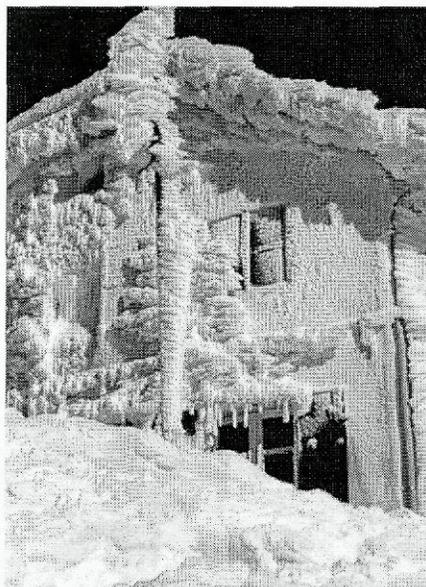


Figura 3: Casa coberta de neve

Imagem obtida em <http://www.queclimabrasilrs.blogspot.com/>

O calor, como já foi dito, é transferido de um objeto a uma temperatura mais alta para outro a uma temperatura mais baixa. Portanto, quando desejarmos manter um ambiente ou um

objeto a uma dada temperatura é necessário impedir que haja esse trânsito de energia (o calor). Ou seja, é necessário um isolamento térmico. Curiosamente, o isolamento térmico, seja ele de que tipo for de fato não impede o calor de atravessá-lo; ele simplesmente diminui a taxa com a qual o calor é transmitido. No inverno, mesmo bem isolada, uma sala aquecida gradualmente esfriará. O isolamento térmico apenas torna mais lenta a transferência de calor. [2]

## 2.2.1 - Condução Térmica no cotidiano

### 2.2.1.1 - Batata Quente

Num cozido português, certamente a última coisa que se experimentará entre as iguarias do prato será a batata, pois ao ser colocada na boca parece mais quente que os outros ingredientes. Mas será verdade que ela sempre está mais quente, uma vez que todos os componentes do prato foram cozidos juntos e saíram ao mesmo tempo da panela?

A explicação para esta situação tem relação com os conceitos anteriormente apresentados.

Sabemos que, ao entrarem em contato, objetos com temperaturas diferentes tendem a trocar calor até ficarem com a mesma temperatura. Portanto, podemos afirmar que ao ser servida, a batata encontra-se à mesma temperatura dos outros ingredientes.

Como cada substância para elevar ou diminuir sua temperatura, precisa de quantidade de calor diferente. A propriedade que indica tal comportamento é o calor específico.

A batata tem um calor específico alto, precisa ganhar muito calor para chegar à mesma temperatura que os outros ingredientes do cozido. Quando servimos o cozido, todos os componentes estão com mesma temperatura. No entanto, ao serem mastigados, eles entram em contato com a boca e trocam calor com ela. Os alimentos esfriam ao mesmo tempo que a boca esquenta. Porém, a batata libera mais calor ao esfriar-se que os demais componentes do cozido. Daí termos a impressão de que ela está a uma temperatura mais alta que a dos outros componentes. [3]

## 2.3 - Utilização das características térmicas no dia a dia

As propriedades térmicas das substâncias fazem parte do nosso cotidiano e não percebemos isso. Por que usamos água, e não outras substâncias, para apagar incêndios? Além de ela existir em abundância, é mais fácil transportar e movimentar água do que qualquer outra substância. Porém, como todo o desenvolvimento tecnológico atual, se ela fosse ineficiente para isso, com certeza já teria sido substituída. E qual a razão da escolha? O calor específico da água é altíssimo, 1cal/g °C. Assim, em contato com uma superfície mais quente, ela precisa de muito calor para se aquecer e evaporar. Com isso, resfria eficientemente a superfície.

O funcionamento da bolsa de água quente também se baseia no elevado calor específico da água.

Ao aquecermos água, ela precisa de calor transferido da fonte quente (chama) para elevar sua temperatura. Ao utilizarmos a bolsa de água quente encostada na pele, haverá troca de calor entre as duas superfícies, até que cheguem num equilíbrio térmico, ou seja, atinjam a mesma temperatura. Como ganhou calor ao se aquecida, ao esfriar a água deve liberar calor em grande quantidade. Essa característica garante um bom aquecimento da parte do corpo que está sendo tratada.

No entanto, só isso não garantiria a viabilização do uso da água nessa situação. Se ela liberasse grande quantidade de calor rapidamente, as pessoas se queimariam. Outra característica que garante, ou melhor, que viabiliza sua utilização em bolsas de água quente é a condutividade térmica, isto é, a rapidez com que troca calor com outros corpos. A água é péssima condutora de calor: troca calor com o meio de forma muito lenta.

Assim, a pele vai recebendo uma “dose” de calor não muito grande, devido à baixa condutividade, e por um tempo mais longo. A parte do corpo em contato com a bolsa de água quente se mantém aquecida e sem queimaduras. Atualmente as gelatinas comercializadas são preparadas de forma a reter mais calor que a água e trocar esse calor mais lentamente ainda![3]

### 2.3.1 - Os metais

Ao tocar a maçaneta de uma porta, notamos que a mesma é mais fria que outros objetos num dia frio. Preferimos sentar num barco de madeira em vez de em um de metal em

dias e não encostamos a perna ou o braço na lataria de um carro que ficou ao Sol durante algumas horas pois a sentimos muito quente.

Os metais têm um comportamento térmico diferente, quando o ambiente se aquece, eles sempre parecem mais quentes que os outros objetos. Quando o ambiente esfria, eles dão a impressão de serem mais frios. É preciso lembrar que essa impressão é detectada por nosso tato, ou seja, um detector pouquíssimo confiável. Da mesma forma, a impressão de frio ou calor registrada pelo cérebro refere-se à temperatura do dedo que está em contato com o metal, e não propriamente à temperatura do metal, sem ligação alguma com nosso cérebro.

Quando sentimos a maçaneta de uma porta gelada é porque ela esfriou rapidamente a ponta do dedo com que a tocamos. Essa sensação, através de nosso sistema nervoso, chega ao nosso cérebro que nos alerta sobre a rápida perda de calor em nosso dedo. Os metais nos causam essas “impressões radicais” porque são excelentes condutores de calor, isto é, trocam calor com nossa pele muito facilmente. Com o ambiente frio, o metal rouba grande quantidade de calor de nossa mão; com o ambiente quente transmite calor com facilidade.

É bom lembrar que, quando falamos de ambiente frio ou quente, tomamos como referência a temperatura de nosso corpo. Num dia em que a temperatura ambiente encontra-se em torno de 20°C, uma maçaneta nos parecerá gelada, pois em função de sua temperatura, roubará calor do nosso corpo. Esta impressão é diferente num dia de verão, quando a temperatura ambiente gira em torno de 40°C. Certamente a maçaneta parecerá morna, pois nosso corpo receberá calor dela. [3]

## **2.4 - Transmissão de Calor por Radiação Térmica**

Radiação térmica é o modo pelo qual um corpo emite continuamente energia sob a forma de radiações de natureza eletromagnética, em função de sua temperatura. Todos os corpos a nossa volta estão constantemente emitindo e absorvendo radiação térmica; para temperaturas usuais a emissão se dá na faixa de frequência do infravermelho que não é visível (Figura 4). Quando chegamos a ver a radiação térmica emitida por um corpo, por exemplo, brasas e filamentos de lâmpadas, isto significa que as temperaturas desses corpos devem ser bastante elevadas [8]. Uma das características dessas radiações é que elas se propagam com a velocidade da luz,  $3 \times 10^8$  m/s.

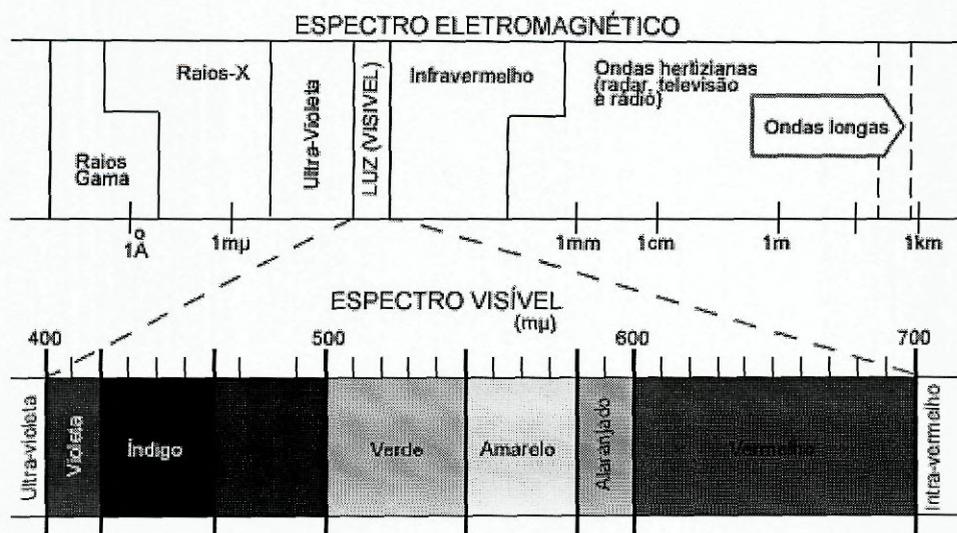


Figura 4: Espectro eletromagnético: a radiação térmica emitida pela maioria dos corpos está na faixa do infravermelho.

Imagem obtida em <http://somostodosum.ig.com.br/conteudo/Imagem/c30r64espectro.gif>

Se um corpo está com maior temperatura que sua vizinhança a emissão de radiação térmica vai predominar sobre a absorção, e se ele estiver mais frio, a absorção vai predominar. Quando um corpo está em equilíbrio térmico com sua vizinhança a emissão é igual à absorção. [8]

Um indivíduo ao tomar um banho de Sol, sente na pele a ocorrência da transmissão de calor por radiação térmica.

Quando a radiação solar (ou qualquer outra) incide sobre um corpo, parte dela pode atravessá-lo, parte pode ser refletida e parte absorvida. Um interessante exemplo desse comportamento pode ser verificado no forno de microondas. Alguns recipientes “deixam passar” praticamente toda a radiação de microondas e quase não esquentam; recipientes de alumínio refletem grande parte da radiação térmica que nele incide e também não esquentam. Já os alimentos absorvem a radiação, sendo então aquecidos. Neste caso, a absorção da energia radiante pelos alimentos deve-se a ressonância das partículas de água contidas nos alimentos com as do forno microondas [9]

Um corpo pode refletir certas radiações e absorver outras. Por exemplo: grande parte dos objetos reflete as radiações emitidas pelo Sol, que se situam na faixa das ondas que são percebidas pelo olho humano (por isso podem ser vistos, mesmo sem possuírem luz própria). Muitos deles (e, em particular, o corpo humano) absorvem as radiações infravermelhas e por isso se aquecem quando expostos ao Sol. [9]

Os habitantes da Terra têm o Sol como a principal fonte emissora de energia (radiações). No entanto, deve-se esclarecer que todos os corpos, a todo o momento e em qualquer temperatura, emitem radiação.

Quando um ferro elétrico está ligado e aproximamos uma de nossas mãos podemos sentir a radiação térmica emitida por ele. O calor chega até nossas mãos por radiação (não chega nem por condução, pois o ar é mau condutor, nem por convecção, uma vez que a mão está fora do caminho das correntes de convecção que “levam” o calor para cima).

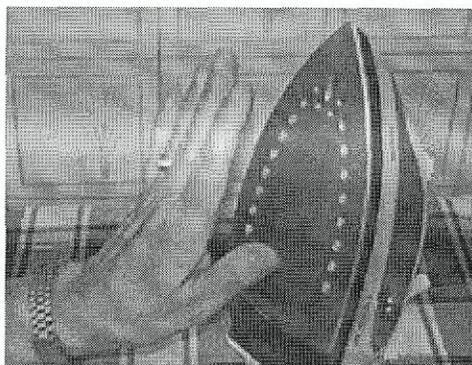


Figura 5: Emissão de radiação térmica pelo ferro elétrico.  
Imagem obtida em [www.moderna.com.br/moderna/.../radiacao\\_corpo\\_negro.pdf](http://www.moderna.com.br/moderna/.../radiacao_corpo_negro.pdf)

Tanto a intensidade como o comprimento de onda das radiações emitidas por um corpo dependem intimamente da natureza do corpo e da temperatura em que ele se encontra. As ondas emitidas são uma mistura de vários comprimentos de onda, cuja distribuição depende da temperatura. [9]

#### 2.4.1- Corpo negro e a Lei de Stefan-Boltzmann

Para o estudo da radiação emitida foi idealizado o denominado *corpo negro*, que é definido como um corpo que absorve toda a radiação incidente sobre ele, ou seja, possui emissividade  $\varepsilon = 1$  [10]. O modelo prático mais simples de um corpo negro é o de uma pequena abertura num objeto oco: qualquer radiação que entra vai sendo refletida e absorvida nas paredes e acaba por ser completamente absorvida. Um corpo que absorve toda a radiação incidente é chamado de *corpo negro ideal*. [11]

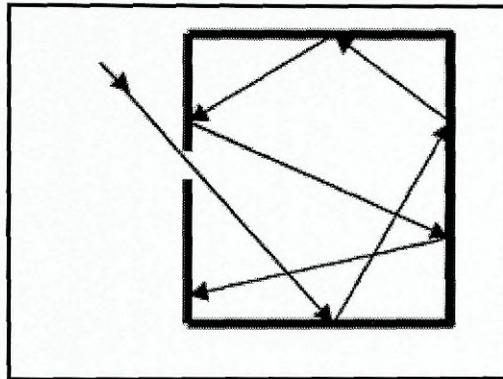


Figura 6: esquema simplificado de um corpo negro

Imagem obtida em [www.moderna.com.br/moderna/.../radiacao\\_corpo\\_negro.pdf](http://www.moderna.com.br/moderna/.../radiacao_corpo_negro.pdf)

O corpo negro absorve toda radiação que nele incide, isto é, sua absorptividade é igual a 1 ( $a = 1$ ) e sua refletividade é nula ( $\rho = 0$ ). [11]

A cor da radiação de um corpo negro (também chamado radiador perfeito) é, em temperaturas baixas, negra. Nessas condições está emitindo na região infravermelha, invisível. Em temperatura mais alta, parte da radiação emitida é vermelha - o aspecto cromático do radiador é, portanto vermelho. Em temperaturas elevadas, a sua cor é branca, pois emite radiação em toda faixa visível, com espectro parecido ao da luz solar. Portanto, não se pode definir um corpo negro a partir de sua cor. Exemplo disso é o Sol e a lâmpada incandescente, que apesar de emitirem luz branca, são considerados corpos negros, pois possuem emissividade próxima de 1 ( $\epsilon = 1$ ). [12]

E como já foi dito, todo bom absorvedor é bom emissor. Logo, o corpo negro, além de absorvedor ideal, é também um emissor ideal. Sua emissividade é igual a 1 ( $\epsilon = 1$ ). Um corpo negro, independente do material com que é confeccionado, emite radiação térmica com a mesma intensidade, a uma dada temperatura.

Em 1879, Josef Stefan descobriu uma relação empírica entre a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro e a temperatura:

$$R = \sigma T^4 \quad (3)$$

onde  $R$  é a potência irradiada por unidade de área.  $T$  a temperatura absoluta e  $\sigma = 5,6705 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^4$  uma constante denominada constante de Stefan. Cinco anos mais tarde, Ludwig Boltzmann chegou ao mesmo resultado a partir das leis da termodinâmica clássica e por isso a Eq. 3-19 é hoje conhecida como lei de Stefan-Boltzmann. Observe que, de acordo com a *lei de Stefan-Boltzmann*, a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro é função apenas da temperatura e, portanto não depende de outras características do corpo, como a cor ou o material de que é feito. Observe, também, que  $R$  representa a rapidez com a qual o corpo emite energia. Assim, por exemplo, se multiplicarmos por dois a temperatura

absoluta do corpo, este emitirá uma quantidade de energia 16 vezes maior no mesmo período de tempo. Um aumento de temperatura de apenas 57°C faz com que um corpo à temperatura ambiente (300K) passe a irradiar duas vezes mais energia por unidade de tempo. Assim, a lei de Stefan-Boltzmann tem uma importância enorme para o estabelecimento do equilíbrio térmico.

Os objetos que não são corpos negros irradiam energia por unidade de área com uma rapidez menor que um corpo negro à mesma temperatura: o valor exato depende de outros fatores além da temperatura, como a cor e a composição da superfície. O efeito global de todos esses fatores é representado por um parâmetro denominado emissividade (representado pelo símbolo  $\epsilon$ ), que multiplica o lado direito da Equação 3 (Equação 4, abaixo). O valor de  $\epsilon$ , que depende da temperatura, é sempre menor que a unidade.

$$R = \epsilon \sigma T^4 \quad (4)$$

As observações revelam que, da mesma forma que a potência total irradiada  $R$ , a distribuição espectral da radiação emitida por um corpo negro depende apenas da temperatura absoluta  $T$ . Seja  $R(\lambda)d\lambda$  a potência emitida por unidade de área com comprimento de onda entre  $\lambda$  e  $\lambda + d\lambda$ . Na figura 7 apresentamos dados experimentais relacionando a intensidade da radiação emitida por um corpo negro em função do comprimento de onda, a uma dada temperatura.

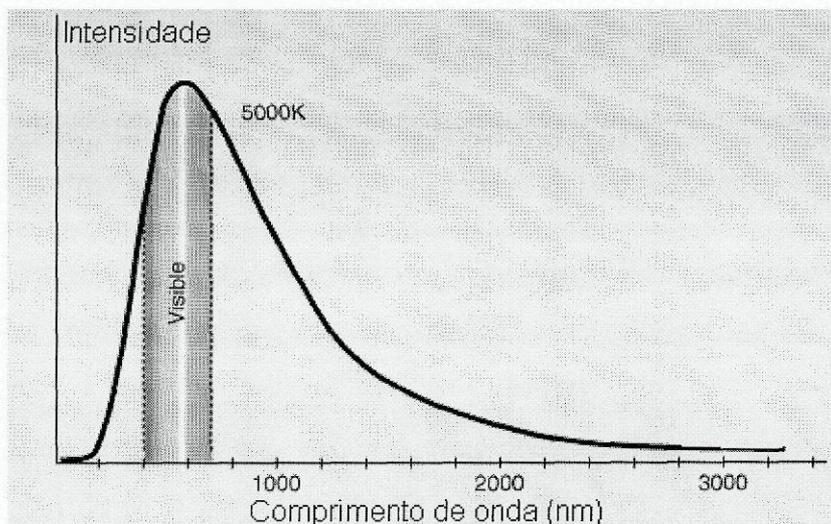


Figura 7: Intensidade da radiação de um corpo negro em função do comprimento de Onda  
Gráfico obtido em [www.moderna.com.br/moderna/.../radiacao\\_corpo\\_negro.pdf](http://www.moderna.com.br/moderna/.../radiacao_corpo_negro.pdf)

Para um dado comprimento de onda, a intensidade da radiação adquire valor máximo.

## Capítulo 3

### Aplicações da Radiação Térmica

#### 3.1 - Estufas

Uma estufa de plantas tem paredes e teto de vidro transparente à energia radiante proveniente do Sol. O chão da estufa normalmente é pintado de preto ou de uma cor escura. A energia radiante que penetra através do vidro é absorvida pelo fundo escuro e demais objetos do interior da estufa, sendo a seguir novamente irradiada. Entretanto, essa reemissão de energia se dá sob a forma de raios infravermelhos (ondas de calor), aos quais o vidro é opaco. Em consequência, o interior da estufa permanece sempre mais quente que o exterior. A perda de calor para o ambiente externo é mínima, o que é especialmente importante durante o período em que não há ação direta do Sol. Portanto, o objetivo é criar um microclima controlado que favoreça o crescimento das plantas.

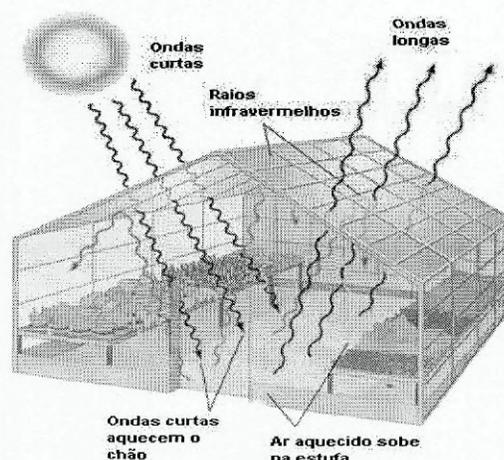


Figura 8: Esquema de uma estufa

Imagem obtida em [http://1.bp.blogspot.com/\\_sjX51bjYiMA/Sann-1Qc92I/AAAAAAAAADZk/6zTwwUmucPM/s400/Z.jpg](http://1.bp.blogspot.com/_sjX51bjYiMA/Sann-1Qc92I/AAAAAAAAADZk/6zTwwUmucPM/s400/Z.jpg)

#### 3.2 - Radiômetro de Crookes

O dispositivo denominado radiômetro e Crookes é constituído de uma série de palhetas, polidas de um lado e enegrecidas do outro, colocadas numa ampola contendo gás rarefeito. Quando incide energia radiante no sistema, as palhetas giram no sentido indicado, porque a face enegrecida, absorvendo mais energia, aquece mais o gás ao redor. As moléculas, com maior agitação do lado enegrecido, impulsionam a palheta.

Radiômetros de Crookes são vendidos usualmente ao redor do mundo como um ornamento doméstico, sem necessidade de pilhas, funcionando apenas com luz, sendo que luz forte é capaz de fazê-lo girar rapidamente. São freqüentemente vistos em museus científicos para ilustrar a energia da luz e do calor.

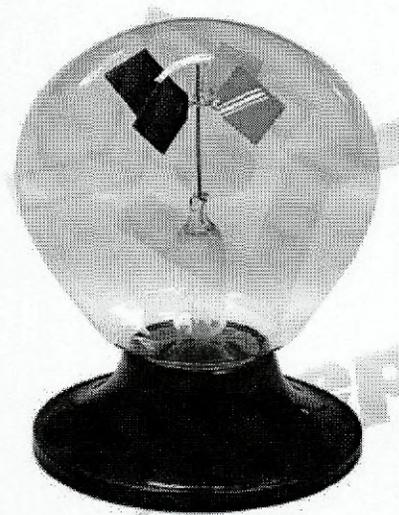


Figura 9: Radiômetro de Crookes  
Imagem obtida em [http://www.cidepe.com.br/detalhes\\_produtos.php?id=1529&id\\_cat=10](http://www.cidepe.com.br/detalhes_produtos.php?id=1529&id_cat=10)

### 3.3 - A Garrafa Térmica

É um dispositivo que permite conservar, com alteração mínima de temperatura e por longo tempo, um líquido gelado ou quente. Na garrafa térmica são evitados os três processos de propagação de calor.

A garrafa térmica é feita de vidro (mau condutor) com paredes duplas, entre as quais é feito o vácuo, o qual, não possuindo moléculas, não permite a ocorrência de condução. A convecção é evitada por meio da vedação da garrafa com uma rolha apropriada. A face externa e interna da garrafa são espelhadas, a fim de evitar a irradiação, tanto de dentro para fora como de fora para dentro.

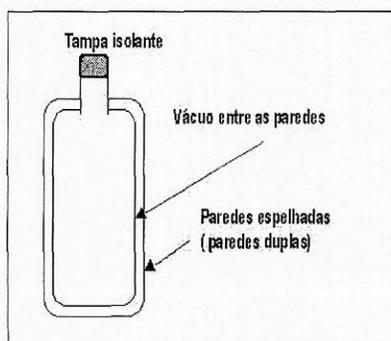


Figura 10: Esquema básico de uma garrafa térmica  
Imagem obtida em <http://www.professorraul.com.br/resumos/propagacaodecalor.php>

# Capítulo 4

## Experimentos

### 4.1 – Experimento 1: Radiação térmica na sala de aula

#### 4.1.1 – Texto motivador:

Como o calor do Sol chega até ao planeta Terra? Essa pergunta só é possível de ser respondida se entendermos como a energia emitida pelo Sol pode se propagar pelo espaço vazio (o vácuo), onde não há um meio material condutor como os sólidos e fluidos.

Essa energia emitida pelo Sol se propaga no espaço através de ondas eletromagnéticas denominadas radiação. Existem vários tipos de radiação: radiação visível (luz), radiação ultravioleta, raios X, raios gamas e etc. A que aquece os objetos é denominada infravermelha ou radiação térmica.

Como podemos sentir o calor emitido pela brasa de uma fogueira, estando ao seu redor, sem contato físico com ela?

*O calor da fogueira é sentido pelas pessoas que estão a sua volta, principalmente, devido a radiação térmica.*

#### 4.1.2 – Conceito-chave: Propagação do calor por radiação térmica.

#### 4.1.3 – Atividades Propostas:

1º) O professor entrega aos alunos, divididos em grupos, um teste diagnóstico para que eles realizem e discutam as perguntas e respostas.

2º) Em seguida o professor realizar o experimento junto com os alunos.

3º) Após a realização do experimento o professor confronta o resultado da experiência com as respostas dadas pelos alunos no teste diagnóstico, esclarecendo as suas dúvidas e propondo novos questionamentos.

#### 4.1.3.2 – Modelo para o teste diagnóstico:

1 – Uma lâmpada incandescente pode ser utilizada tanto para iluminar um ambiente como para aquecer as estufas, devido à geração de calor, quando acesa. Explique como o calor gerado pela lâmpada se espalha no interior da estufa.

2 - Se você tivesse que de entrar num forno quente, preferiria ir:

- a) nu.
- b) envolto em roupa de seda.
- c) envolto em roupa de lã recoberta com alumínio.
- d) envolto em roupa de lã.

3 – Os radiadores nas geladeiras são utilizados para facilitar a transmissão de energia térmica da substância (gás fréon), no interior da tubulação, para o ambiente. A cor desses radiadores é sempre preta. Qual é o efeito da cor preta na transmissão da energia térmica para o meio ambiente?

#### **Respostas:**

*1 – O calor se espalha, principalmente, por irradiação térmica.*

*2 – Resposta C*

*3 – A luz, ao incidir num corpo negro, é toda absorvida por ele. Mas, um corpo bom absorvedor de calor também é um bom emissor. Este fator emissivo é explorado para tornar a transmissão de calor para o ambiente mais eficiente.*

O professor pode usar o conceito de que a cor negra absorve radiação e aquece, para enriquecer o debate sobre o experimento com os alunos.

#### 4.1.4 – Construção e montagem do experimento

##### 4.1.4.1 – Material Utilizado:

- Uma base de madeira com dimensões 25 cm de largura por 20 cm de comprimento;
- Duas chapas de metal (zinco) com dimensões de 15 cm de largura e 20 cm de comprimento, cada uma;
- Tinta guache nas cores pretas e brancas;
- Pincel;
- Uma lâmpada incandescente 100 W / 127 V;

- Um receptáculo (bocal);
- Fio paralelo com seção transversal de  $1,5 \text{ mm}^2$ ;
- Tomada;
- Parafusos adequados para fixação dos componentes na base de madeira;
- Vela;
- Caixa de fósforo.

#### 4.1.4.2 – Montagem:

Parte I: Fixar as duas chapas de metal, dobradas em “L”, na base de madeira, como mostra a figura 9.

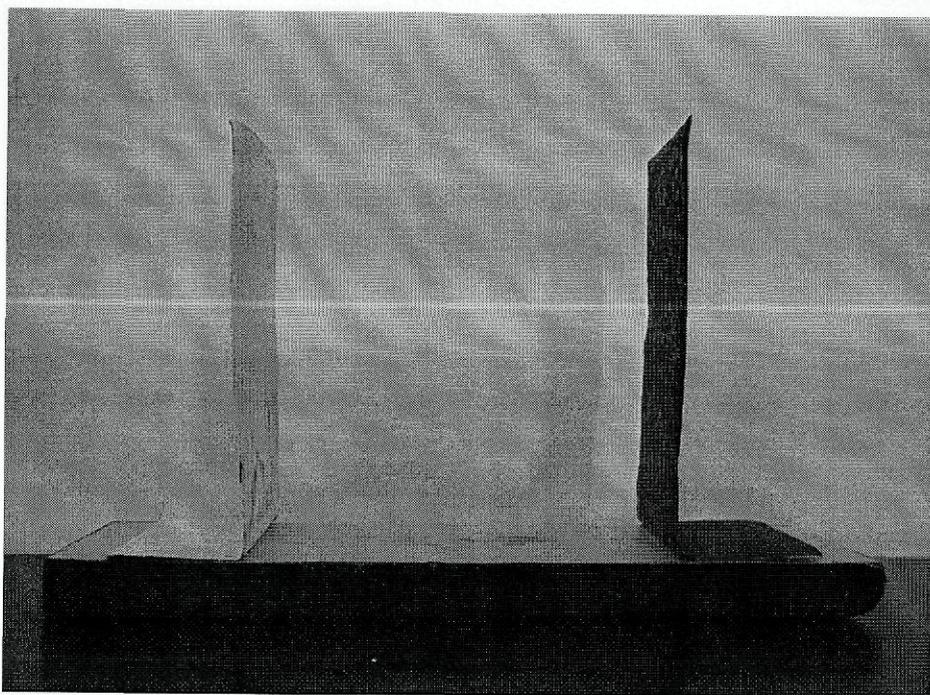


Figura 11: Base de madeira com as chapas metálicas para realização do experimento 2.

Parte II: Fixar o receptáculo (bocal) no centro da base de madeira, como mostra a figura 10.

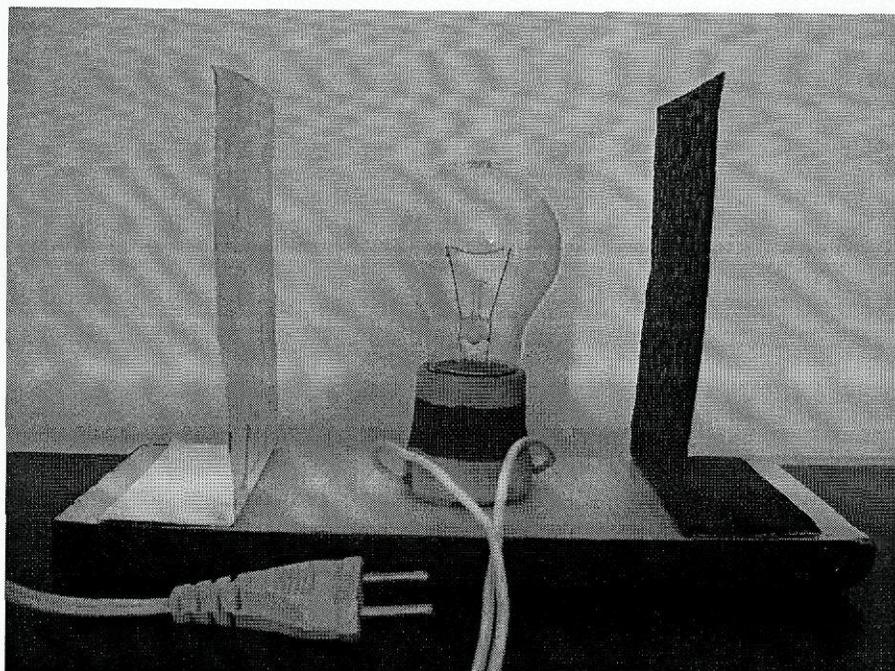


Fig. 12.: o receptáculo preso no centro da base de madeira com a lâmpada enroscada nele. O condutor e a tomada para acender a lâmpada.

#### 4.1.4.3 – Como funciona

Para a realização do experimento, o professor deve, antes de ligar a lâmpada, colar dois palitos, um em cada chapa, com vela derretida, como mostra a figura 11. Ligar lâmpada e esperar que o calor emitido por ela derreta a vela e um dos palitos caia, finalizando o experimento.

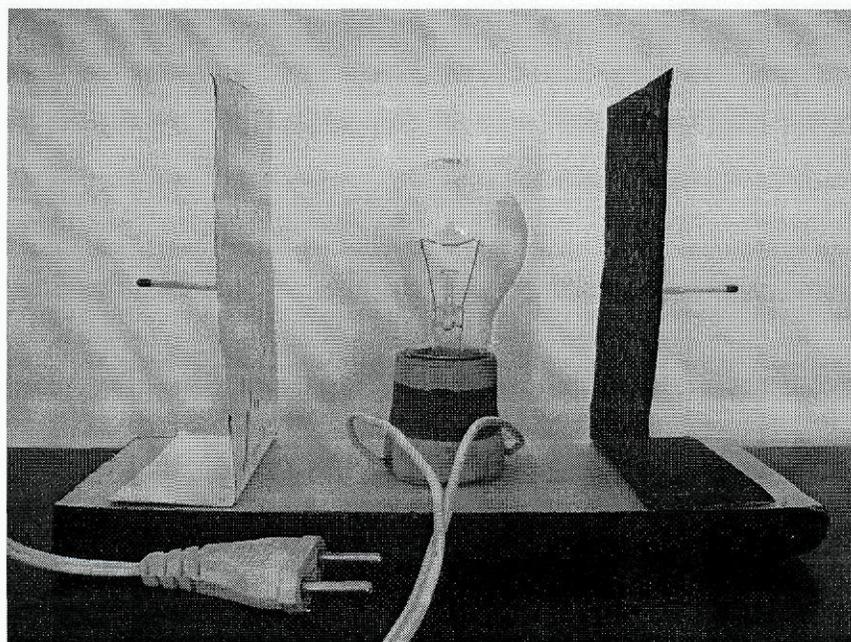


Fig. 13: os palitos grudados às placas metálicas com pingos de vela derretida.

#### 4.1.5 – Sugestão para avaliação da aprendizagem

É sugerido, como avaliação da aprendizagem, uma pesquisa sobre o efeito estufa. A sua importância para a vida na Terra e as consequências da poluição atmosférica. Essa pesquisa pode ser realizada com o apoio do professor de geografia, de forma interdisciplinar. A apresentação da pesquisa, pelos alunos, pode ser em forma de debate com cada grupo de alunos expondo a sua opinião e propondo soluções para minimizar a emissão de gases na atmosfera.

## 4.2 – Experimento 2: A utilização de quentinhas e a emissividade do alumínio

### 4.2.1 – Considerações Teóricas

O alumínio é um dos metais mais utilizados no dia-a-dia. Ele é usado para fabricação de utensílios domésticos, como panelas, assim como nas embalagens de alimentos industrializados.

Uma de suas utilidades mais comum é no transporte de alimentos cozidos, as chamadas quentinhas. Neste caso, o intuito é manter o alimento aquecido pelo maior tempo possível. Observando as características físicas do alumínio, verificamos que, dentre os metais comuns, ele possui uma das mais altas condutividades.

Condutividade Térmica		
Material	Condutividade Térmica (cal/s)cm <sup>2</sup> C/cm	Condutividade Térmica (W/m K)*
Diamante	...	1000
Prata	1,01	406
Cobre	0,99	385
Ouro	...	314
Latão	...	109
Alumínio	0,5	205
Ferro	0,163	79,5
Aço	...	50,2
Chumbo	0,083	34,7
Mercúrio	...	8,3
Gelo	0,005	1,6

Vidro comum	0,0025	0,8
Concreto	0,002	0,8
Água (20°C)	0,0014	0,6
Fibra de vidro	0,00015	0,04
Feltro	0,0001	0,04
Lã(novelo)	...	0,04
Poliestireno (isopor)	...	0,033
Poliuretano	...	0,02
Madeira	0,0001	0,12-0,04
Ar (0°C)	0,000057	0,024
Hélio (20°C)	...	0,138
Hidrogênio (20°C)	...	0,172
Nitrogênio (20°C)	...	0,0234
Oxigênio (20°C)	...	0,0238

Tabela 2: Condutividade térmica. [13]

\*A maioria dos dados são de Young, Hugh D., University Physics, 7th Ed. Table 15-5. Valores para diamante são de CRC Handbook of Chemistry and Physics.

Além disso, conforme mostrado na Tabela 1 no Capítulo 2, ele também possui um calor específico dos mais elevados.

Considerando como parâmetros essas grandezas, o calor específico e a condutividade térmica, era de se esperar que o alumínio não fosse adequado para conservar a temperatura de alimentos cozidos. Então que outras características físicas deste metal possibilitam sua utilização para manter alimentos aquecidos por mais tempo? Será que não seria mais eficiente utilizar um recipiente isolante como o plástico ou isopor para alcançar este objetivo?

## 4.2.2 – Montagem do Experimento

### 4.2.2.1 – Material Utilizado:

- 01(um) recipiente de isopor com tampa;
- 02(duas) *quentinhas* de alumínio polido com dimensões equivalentes ao recipiente de isopor;
- Esmalte sintético para metal na cor preta;
- Pincel de pintura;
- 03(três) termômetros com escala entre 25°C e 100°C;
- 01(um) cronômetro;
- 01(um) litro de água;
- Fonte de calor para ferver a água (chama de fogão).

#### 4.2.2.2 – Montagem do experimento:

##### Parte I

Utilizando o esmalte preto e o pincel, pintar externamente uma das quentinhas, incluindo a tampa, e esperar secar bem.



Figura 14: Pintando umas das quentinhas com esmalte preto

##### Parte II

Fazer um furo na tampa de cada recipiente, para passagem dos termômetros.

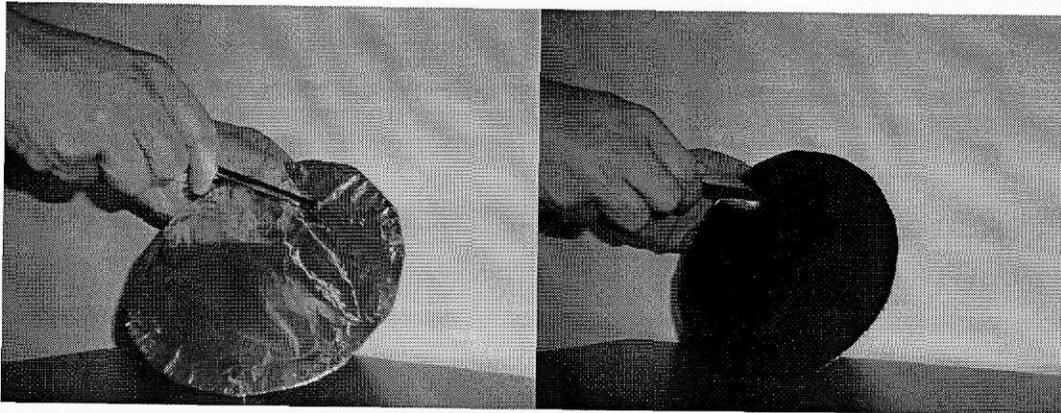


Figura 15: Furando as tampas dos recipientes para a passagem dos termômetros.

##### Parte III

Aquecer a água na fonte de calor (pode ser utilizado um fogão ou um ebulidor) até que a mesma entre em ebulição.

#### Parte IV

Colocar a mesma quantidade da água em ebulição em cada um dos recipientes (neste caso foram utilizados 250 ml em cada recipiente). Fechar rapidamente cada recipiente e colocar os termômetros pelos furos das tampas.

#### Parte V

Acionar o cronômetro e anotar a cada 05 (cinco) minutos a temperatura da água em cada recipiente durante duas horas.

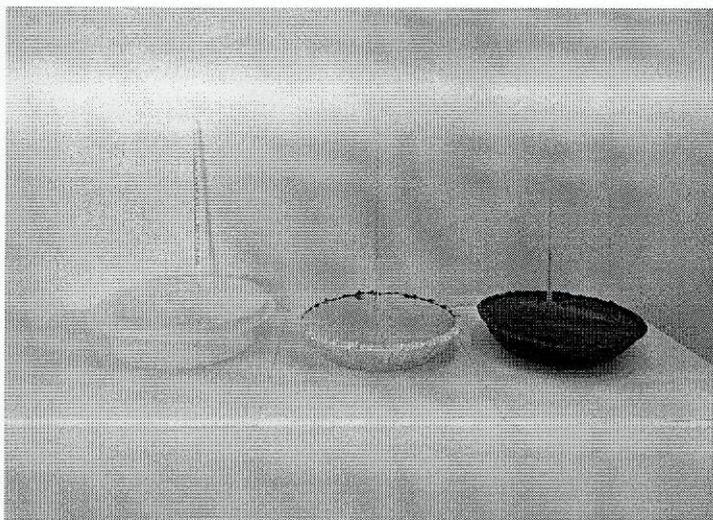


Figura 16: Foto dos recipientes fechados com água aquecida para monitoramento das temperaturas.

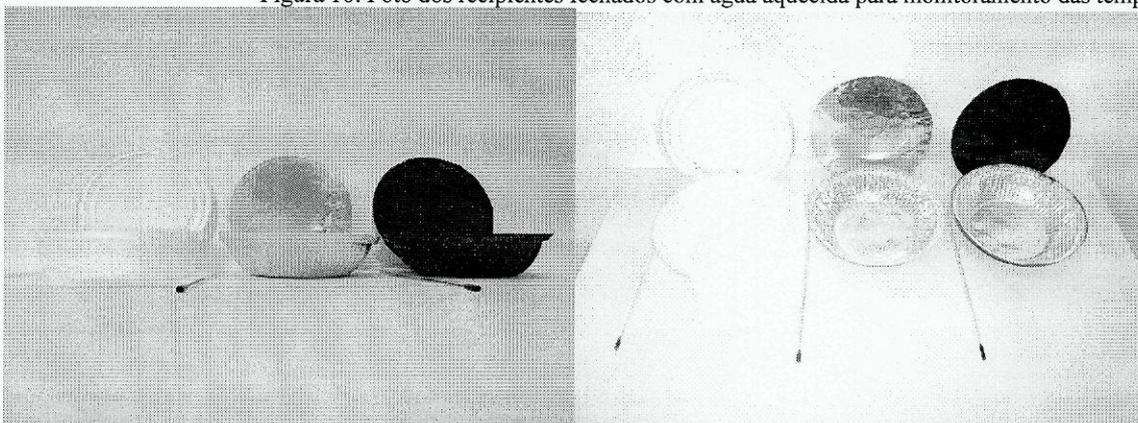


Figura 17: Fotos do material experimental.

### 4.2.3 – Dados Obtidos

A tabela 3, apresentada abaixo, mostra o valor das temperaturas em cada recipiente com o decorrer do tempo:

<b>Tempo(min)</b>	<b>T±0,5(°C) q-pintada</b>	<b>T±0,5 (°C) Isopor</b>	<b>T±0,5 (°C) q-polida</b>
0	85,5	85,0	86,0
5	77,0	78,5	81,5
10	71,0	74,5	77,0
15	66,0	70,5	73,0
20	62,0	67,0	69,5
25	58,0	64,0	66,5
30	55,0	61,5	63,5
35	53,0	59,0	61,0
40	50,5	57,0	59,0
45	48,5	55,0	57,0
50	46,5	53,0	55,0
55	45,0	51,5	53,5
60	43,5	50,0	51,5
65	42,0	49,0	50,5
70	41,0	47,5	49,5
75	40,0	46,0	48,0
80	39,0	45,0	47,0
85	38,0	44,0	46,0
90	37,0	43,0	45,0
95	36,0	42,0	44,0
100	35,5	41,0	43,5
105	35,0	40,5	43,0
110	34,0	40,0	42,0
115	33,5	39,5	41,5
120	33,0	39,0	41,0

Tabela 3: Dados obtidos na demonstração que mostram a variação da temperatura da água em cada recipiente.

Usando os dados da Tabela 3, fazemos o gráfico Temperatura x Tempo para cada recipiente:

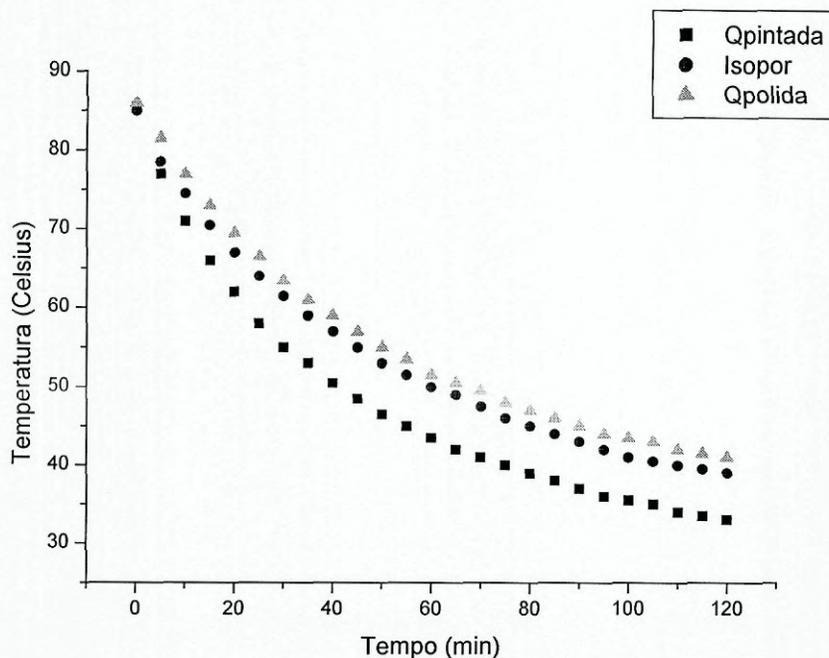


Gráfico 1: obtido utilizando os dados da Tabela 3, da demonstração.

#### 4.2.4 – Análise dos Resultados

Os dados mostram que a temperatura na quentinha pintada cai mais rapidamente que no isopor e que na quentinha polida, sendo que esta última foi a mais eficiente em evitar a perda de calor. Após duas horas a temperatura da água na quentinha pintada sofreu uma variação de temperatura igual a  $52,5^{\circ}\text{C}$ ; a variação de temperatura no isopor foi  $46^{\circ}\text{C}$  e na quentinha polida  $45^{\circ}\text{C}$ .

Para explicar a eficiência do alumínio polido na conservação da temperatura no experimento, temos que considerar, além de sua condutividade, também a sua emissividade.

Sabemos que o calor pode ser transferido de três formas distintas: por condução, convecção e radiação. E inevitavelmente a perda de calor na experiência realizada ocorre pelos três processos, sendo que, devido às características dos materiais utilizados um ou outro processo de transferência de calor predomina sobre os demais.

Na demonstração realizada, podemos dizer que numa análise não muito apurada, que dentre os três processos, o menos atuante é a convecção, pois não há correntes de convecções muito expressivas no decorrer do processo.

Considerando a perda de calor por condução, levando em considerando dos dados da condutividade térmica do alumínio e do isopor (Tabela 2), concluímos que o alumínio perde muito mais calor por este processo que o isopor, tendo em vista que a condutividade do primeiro é muito maior que do segundo.

Observando os dados obtidos na experiência, concluímos que a perda de calor por condução não predomina, pois a temperatura da água no recipiente de alumínio polido (melhor condutor) decresce mais lentamente.

Resta-nos agora, analisar as perdas de calor por Radiação Térmica. Para isso precisamos considerar a emissividade dos materiais que utilizamos. Segue abaixo uma tabela contendo a emissividade de alguns materiais

<b>Emissividade de alguns Materiais</b>	
Alumínio polido	0,04
Inox	0,17
Bronze	0,03
Cobre	0,018-0,02
Aço	0,12-0,40
Prata	0,02-0,035
Zinco	0,045-0,053
Ferro Galvanizado	0,228
Carbono	0,927-0,967
Vidro Liso	0,937
Papel	0,924-0,944
Plástico	0,86-0,95
Borracha	0,86-0,95
Água	0,95-0,963
Esmalte (qualquer cor)	0,85-0,91

Tabela 4: Emissividade de alguns materiais.  
Dados obtidos em [www.higher.com.br/download/07.pdf](http://www.higher.com.br/download/07.pdf)

Conforme podemos observar, a emissividade do alumínio polido é extremamente baixa, enquanto que a de matérias isolantes (nos quais podemos enquadrar o isopor) é muito elevada (a emissividade é uma grandeza física que varia de 0 a 1). O alumínio polido é, portanto, um excelente material para se evitar a perda de calor por Radiação Térmica.

Concluimos então, que os resultados obtidos na experiência, devem-se a baixa emissividade do alumínio polido, que diminuiu consideravelmente a perda de calor da água.

Vamos agora analisar o porquê da quentinha de alumínio pintada ter sido o recipiente cuja água perdeu mais calor.

Quando pintamos o recipiente de alumínio, estávamos na prática, aumentando a emissividade daquela superfície (vide Tabela 2), proporcionamos, portanto, o aumento da perda de calor por Radiação Térmica daquele recipiente, tornando-se o mesmo o menos eficiente na conservação da temperatura da água.

#### 4.2.5 – Aplicações do alumínio devido sua baixa emissividade

##### 4.2.5.1 – Subcoberturas Aluminizadas

A baixa emissividade do alumínio possibilita a sua utilização em larga escala em diversas situações.

A Figura 4.2 mostra uma casa cujo telhado está sendo coberto com folhas de alumínio. Desta maneira, nos dias de muito sol, o alumínio refletirá a maior parte da radiação térmica oriunda do Sol, minimizando o aumento da temperatura no interior da casa.

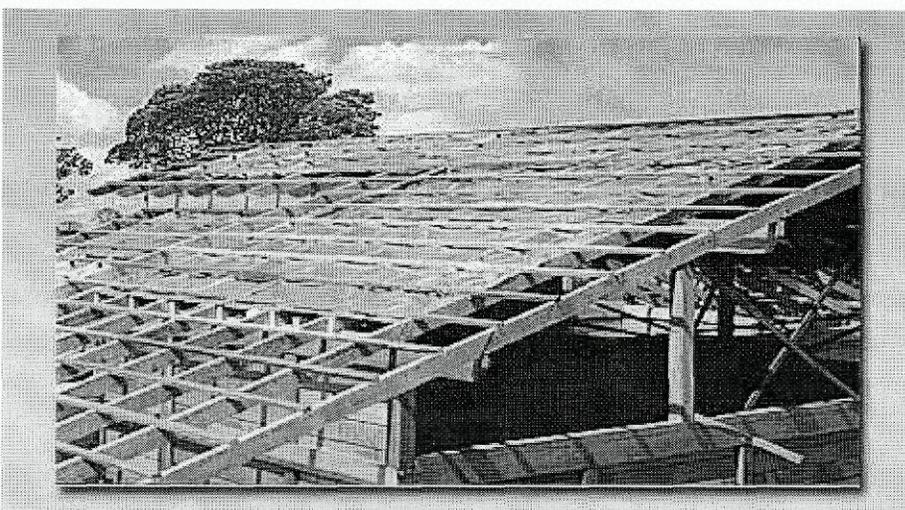


Figura 18: Telhado coberto com folhas de alumínio.  
Imagem obtida em <http://mantarefletiva.blogspot.com/2009/11/blog-post.html>

O funcionamento da subcobertura aluminizada baseia-se no princípio da reflexão da radiação de ondas eletromagnéticas de calor. O calor irradiado pelo sol aquece por ondas eletromagnéticas, as coberturas ou os telhados de galpões industriais, residências, oficinas, supermercados, lojas, etc., que por sua vez retransmitem essa energia para dentro dos ambientes, causando um desconforto muito grande. Esta manta laminada com alumínio é super resistente e reflete 95% desta radiação, proporcionando ambientes internos muito mais

agradáveis e confortáveis tanto para moradia quanto para o trabalho, além de proporcionar uma significativa economia com gastos de energia para a refrigeração do ambiente e promove conforto térmico e economia com o ar condicionado e aquecimento. [14]

#### 4.2.5.2 – Embalagem de alimentos industrializados

Outra aplicação muito comum do alumínio é na embalagem de alimentos industrializados. Sua aplicação neste caso, dentre outras funções, é para evitar que as trocas de calor provoquem a deterioração do alimento. Observem nas ilustrações abaixo algumas dessas aplicações:

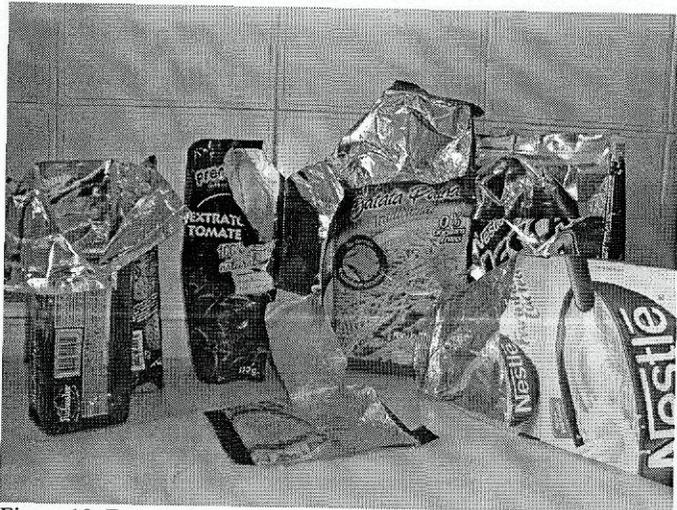


Figura 19: Foto de Alimentos industrializados cujas embalagens são de folhas de alumínio

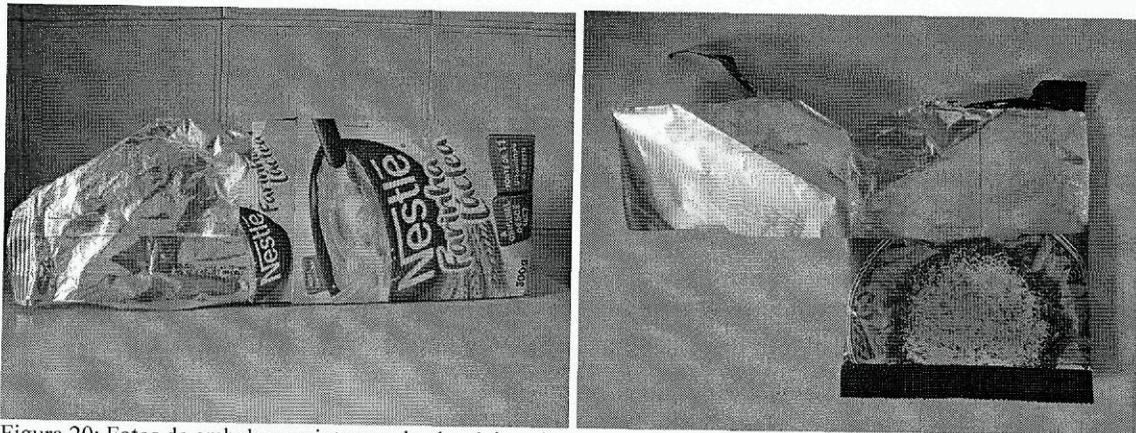


Figura 20: Fotos de embalagens internas de alumínio evitam excessivas trocas de calor com o meio.

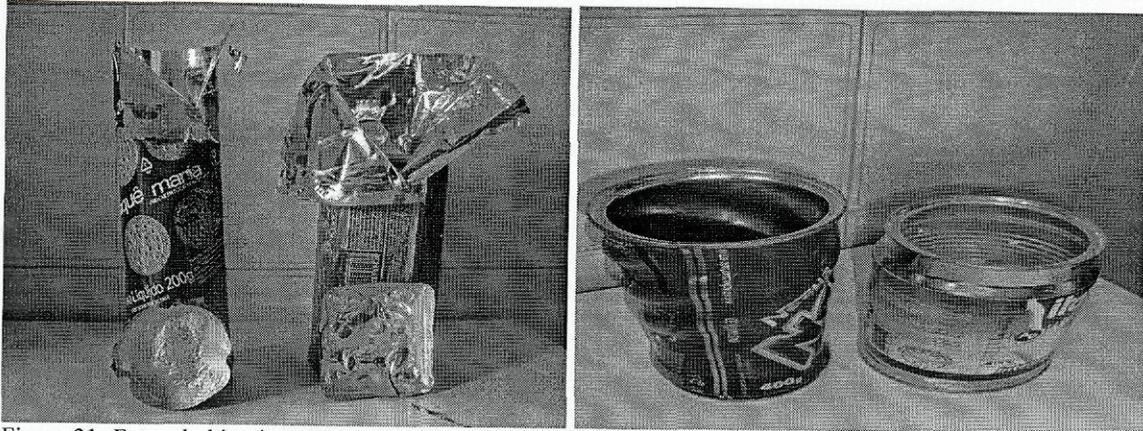


Figura 21: Fotos de biscoitos e enlatados cujas embalagens possuem a parte interna aluminadas para evitar as trocas de calor por radiação térmica.

### 4.3 – Lei de Newton do Resfriamento

Tendo em vista que a Experiência 02 refere-se ao resfriamento da água no interior de cada recipiente, não podemos deixar de verificar se a situação analisada obedece a Lei de Newton do Resfriamento.

Segundo a referida lei, a taxa de diminuição da temperatura de um corpo é proporcional à diferença de temperaturas entre o corpo e o ambiente. Em termos matemáticos, a Lei de Newton do Resfriamento pode ser escrita como

$$dT/dt = -k(T-T_a) \quad (5)$$

onde  $T$  é a temperatura do corpo,  $t$  é o tempo,  $k$  é uma constante e  $T_a$  é a temperatura ambiente. Integrando a equação acima, encontramos como a temperatura depende do tempo:

$$T = T_a + (T_0 - T_a) \cdot \exp(-kt) \quad (6)$$

onde  $T_0$  é a temperatura inicial do corpo.

A lei de resfriamento de Newton é válida apenas aproximadamente. Ela pode ser aplicada com razoável sucesso em situações onde a temperatura do corpo não é muito diferente da temperatura ambiente e quando correntes de ar auxiliam o resfriamento (convecção forçada).

Antes de aplicarmos a lei de Newton do resfriamento à experiência 02, vamos reescrever a Equação 6 da seguinte forma:

$$\Delta T = \Delta T'_0 \cdot \exp(-kt) \quad (7)$$

Onde  $\Delta T$  é a diferença  $T-T_a$ ; e  $\Delta T'_o$  é a diferença  $T_o-T_a$ . [15]

#### 4.3.1 – Análise dos Resultados

Utilizando os dados obtidos da experiência 02 (Tabela 3), e tomando  $T_a = 29^\circ\text{C}$  (temperatura ambiente), vamos construir o gráfico  $\Delta T \times t$  para cada recipiente. Depois, usado um programa para regressão linear, no caso o Origin [16], fazendo uma linearização da curva  $\Delta T \times t$  determina-se os coeficientes de resfriamento para cada recipiente.

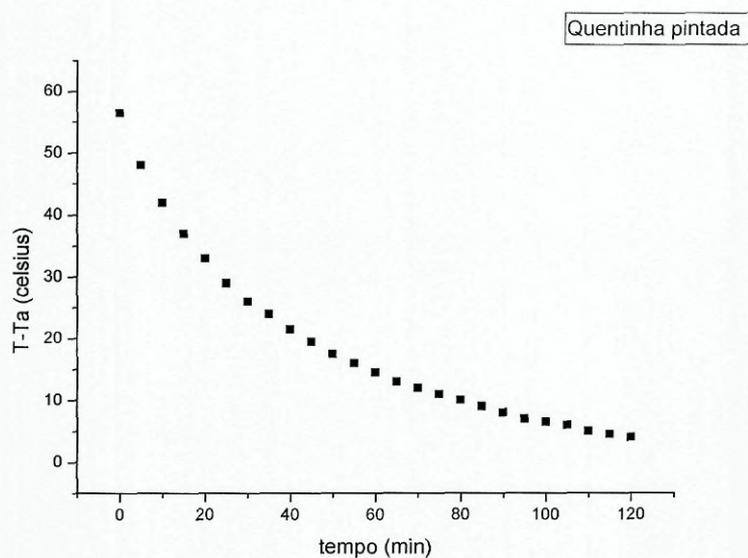


Gráfico 2: Variação da temperatura na quentinha pintada.

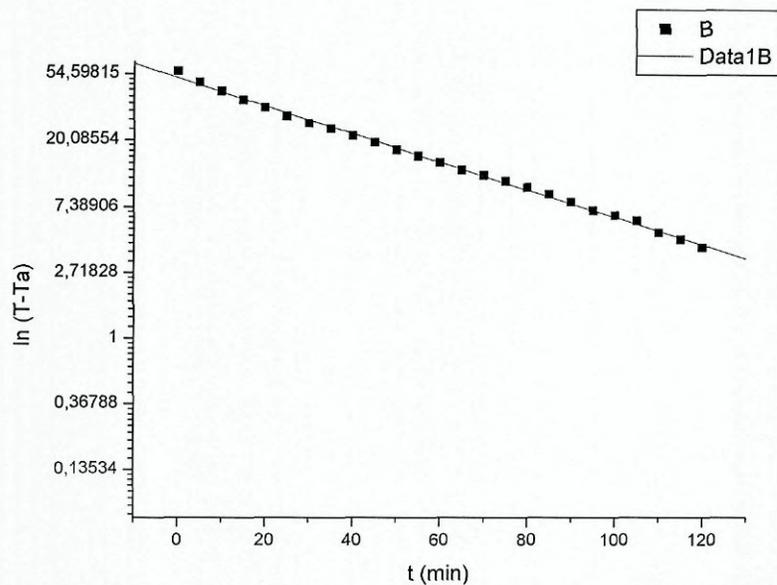


Gráfico 3: Linearização do gráfico 2.

Da linearização do gráfico 2 (variação da temperatura na quentinha pintada), obteve-se o gráfico 3 com os seguintes parâmetros:

$$y_{\ln(Y)} = A + B * x_{\ln(X)}$$

Parêmtro	Valor	Incerteza
A	3,93812	0,01431
B	-0,02094	2,04372E-4

Considerando a equação 6, obtêm-se :  $k_1 = 0,021 \pm 0,002$ , a constante de resfriamento na quentinha pintada.

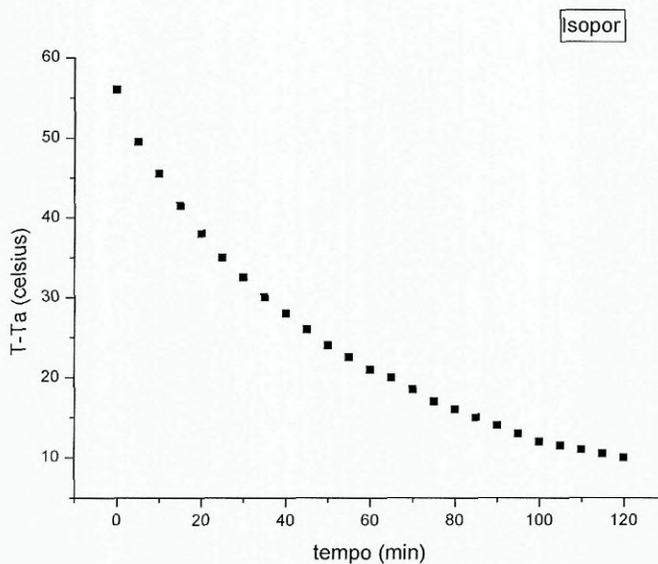


Gráfico 4: Variação da temperatura no recipiente de isopor.

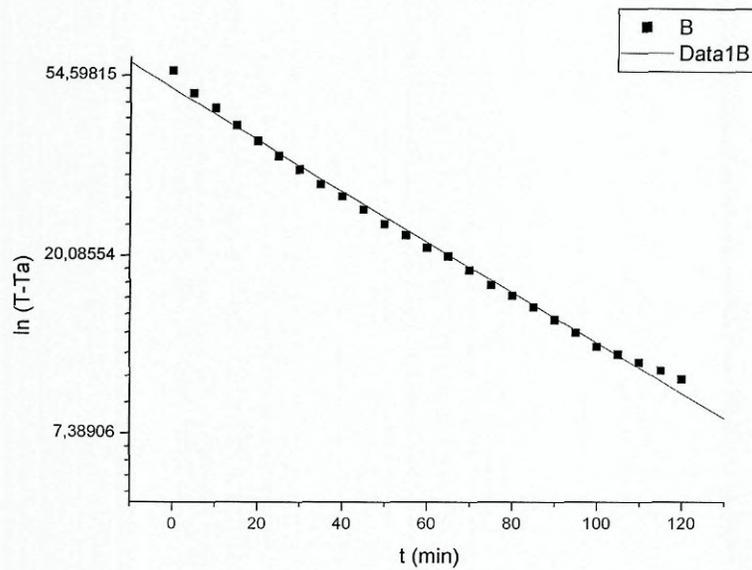


Gráfico 5: Linearização do gráfico 4.

Da linearização do gráfico 4 (variação da temperatura no isopor), obteve-se o gráfico 5 com os seguintes parâmetros:

$$y_{\ln(Y)} = A + B * x_{\ln(X)}$$

Parâmetro	Valor	Incerteza
A	3,92734	0,01465
B	-0,0142	2,09304E-4

Obtendo assim:  $k_2 = 0,014 \pm 0,002$ , a constante de resfriamento no isopor.

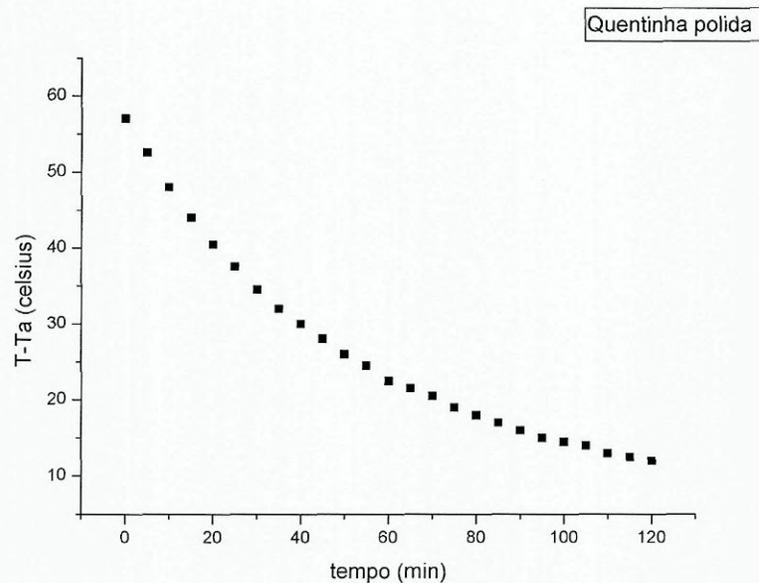


Gráfico 6: Variação da temperatura na quentinha polida.

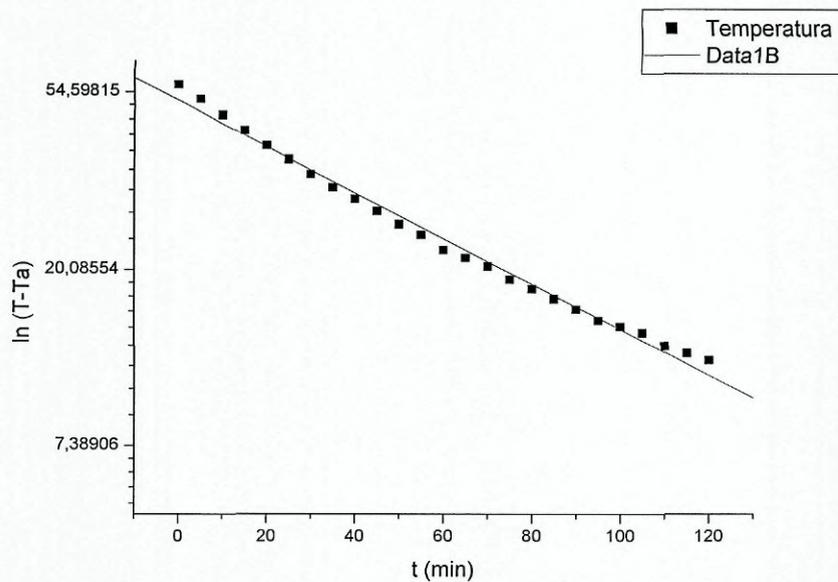


Gráfico 7: Linearização do gráfico 6.

Da linearização do gráfico 6 (variação da temperatura na quentinha polida), obteve-se o gráfico 7 com os seguintes parâmetros:

$$y \ln(Y) = A + B * x \ln(X)$$

Parâmetro	Valor	Incerteza
A	3,95287	0,01791
B	-0,01293	2,55843E-4

Obtendo-se assim:  $k_3 = 0,013 \pm 0,003$ , a constante de resfriamento na quentinha polida.

Comparando as constantes de resfriamentos de cada recipiente, chegamos a seguinte conclusão:

$$k_1 > k_2 > k_3$$

Isso mostra que a quentinha pintada ( $k_1$ ) resfria mais rápido que o isopor ( $k_2$ ) que por sua vez resfria mais rápido que a quentinha polida ( $k_3$ ).

## Capítulo 5

### Considerações Finais

Da proposta inicial de discutir a razão da utilização de recipientes de alumínio no transporte de alimentos cozidos, resultaram os experimentos apresentados neste trabalho. A partir deles foi possível abordar de maneira clara e coesa tópicos da física relacionados aos fenômenos de transferência de calor. Os experimentos consistem num experimental simples que podem auxiliar de maneira eficiente às aulas de física no Ensino Médio que abordam os temas aqui tratados.

O experimento 1 realizado, é muito interessante, pois consegue mostrar de maneira muito clara e acessível a radiação emitida pela lâmpada, e que esta radiação é absorvida pelas superfícies próximas a mesma. O fato do fósforo da placa pintada de cor preta cair antes do que o fósforo da placa pintada de branco, demonstra o fato de superfícies escuras terem uma absorvidade muito maior que as superfícies claras ou refletivas.

Os resultados obtidos na realização do experimento 2, mostram que de fato o alumínio é um excelente material para se utilizar nas situações onde se deseja diminuir as trocas de calor por radiação do sistema e sua vizinhança. Este resultado deve-se basicamente a sua baixa emissividade, que diminui a perda de calor do material por radiação.

Além do experimento 2 possibilitar uma comparação das trocas de calor entre uma superfície condutora (alumínio) e uma isolante (isopor), ela também possibilita observar como a emissividade de uma superfície pode ser alterada (quentinha pintada), evidenciando assim os conceitos de emissividade e absorvidade de uma superfície; e como esses conceitos estão diretamente relacionados à transferência de calor por radiação.

Fazendo uso ainda dos resultados obtidos com o experimento 2, ainda foi possível verificar a validade da lei de Newton do resfriamento na situação analisada.

## Referências Bibliográficas

- [1] BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+, Ensino Médio. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Física**;
- [2] HEWITT, P. G. **Física Conceitual**, 9 ed, Editora Bookman, 2002;
- [3] FIGUEIREDO, A., PIETROCOLA, M. **Física – Um Outro Lado, Calor e Temperatura**, 1 ed, Editora FTD, 2000;
- [4] [[www.highter.com.br/download/07.pdf](http://www.highter.com.br/download/07.pdf)];
- [5] [[www.dep.fem.unicamp.br/~bordado/em524/p43aradi.doc](http://www.dep.fem.unicamp.br/~bordado/em524/p43aradi.doc)];
- [6] [[www.cosama.net/site/loja/produtos/766/caçarola\\_cabo\\_madei\\_11.jpg](http://www.cosama.net/site/loja/produtos/766/caçarola_cabo_madei_11.jpg)];
- [7] [[http://criarnovospensamentos.blogspot.com/2009\\_10\\_01\\_archive.html](http://criarnovospensamentos.blogspot.com/2009_10_01_archive.html)];
- [8] BAHIANA, M. **Radiação do Corpo Negro**, Instituto de Física da UFRJ [<http://omnis.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/mq-unid2-textocompl-1.pdf>];
- [9] FONTE BOA, M., GUIMARÃES, L. A. **Física: Termologia, Óptica e Onda**, 2 ed, Editora Futura, 2004;
- [10] TIPLER, P. A., LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 3.ed. LTC Editora;
- [11] Os Fundamentos da Física –**Temas Especiais: Radiação do Corpo Negro**. Editora Moderna. [[www.moderna.com.Br/em/fisica/fundamentos/temas/radiação\\_corpo\\_negro.pdf](http://www.moderna.com.Br/em/fisica/fundamentos/temas/radiação_corpo_negro.pdf)];
- [12] [[www.cepa.if.usp.br/energia](http://www.cepa.if.usp.br/energia)];
- [13][<http://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:2BiYUGAF8jcJ:www.if.usp.br/profis/experimentando/diurno/downloads/Tabela%2520de%2520Condutividade%2520Termica%2520de%2520Varias%2520Substancias.pdf+tabela+de+condutividade+térmica&hl=ptBR&gl=br&sig=AHIEtbRY5Bs0EhZwBWQWb2x0TKLTp7FFag>];
- [14] [<http://mantarefletiva.blogspot.com/2009/11/blog-post.html>];
- [15] SOUZA, L. F., Um **Experimento Sobre a Dilatação Térmica e a Lei de Resfriamento**, Monografia de Final de Curso, Instituto de Física, UFRJ, 2007.
- [16] Origin 6.0 [<http://www.originlab.com>].