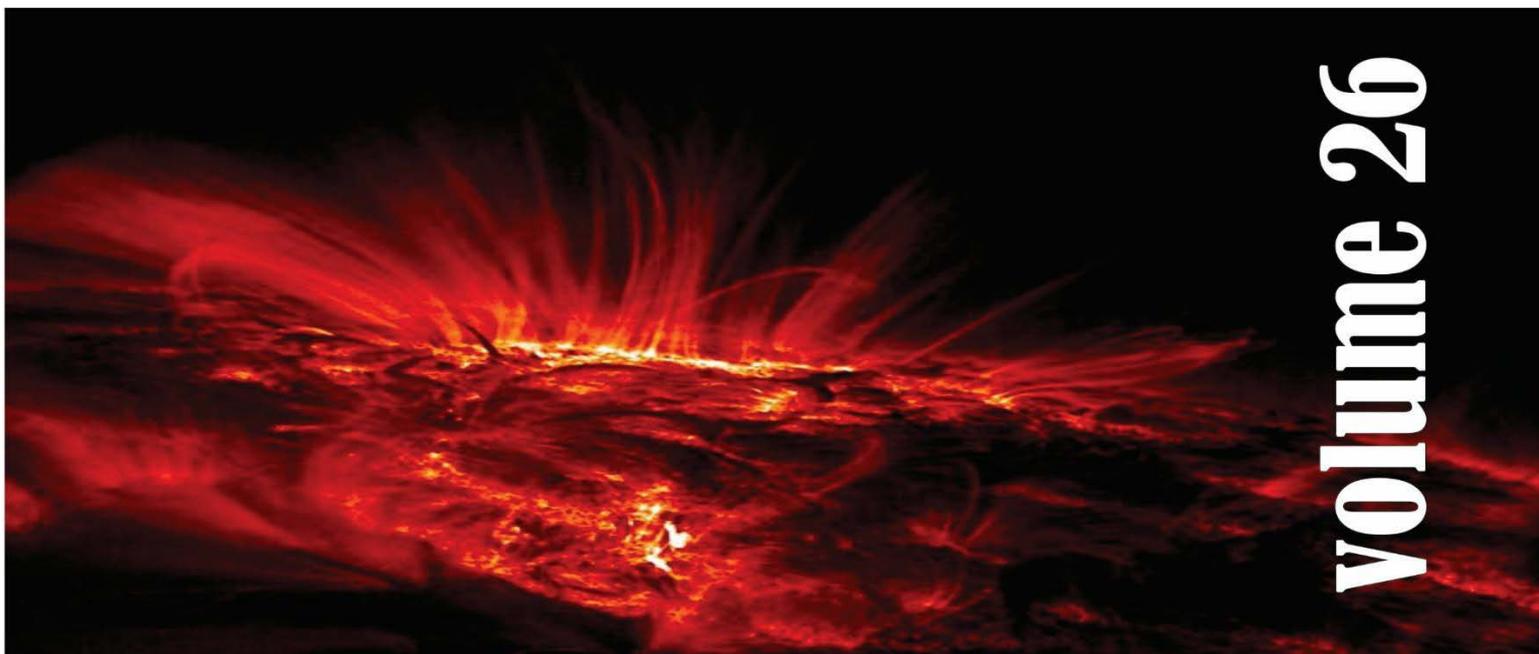


**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**PPGF**  
ensino de física

Sílvio Luiz Rutz da Silva  
André Vitor Chaves de Andrade  
André Maurício Brinatti  
Antônio Sérgio Magalhães de Castro  
Jeremias Borges da Silva  
(organizadores)

**Vilson Finta  
Jeremias Borges da Silva**



**Como Medir a Temperatura do Sol?  
Inserindo Conceitos de Física Moderna no  
Ensino Médio**

**SÉRIE**  
**Produtos Educacionais em Ensino de Física**

SÉRIE:  
**PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA**

Volume 26

VILSON FINTA  
JEREMIAS BORGES DA SILVA

# Como Medir a Temperatura do Sol? Inserindo Conceitos de Física Moderna no Ensino Médio

Silvio Luiz Rutz da Silva  
André Maurício Brinatti  
André Vitor Chaves de Andrade  
Antônio Sérgio Magalhães de Castro  
Jeremias Borges da Silva

(ORGANIZADORES)

## **UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA**

Prof. Dr. Miguel Sanches Neto  
**REITOR**

Prof. Dr. Everson Augusto Krum  
**VICE-REITOR**

Profa. Dra. Edina Schimanski  
**PRÓ-REITOR DE EXTENSÃO E ASSUNTOS CULTURAIS**

Prof. Dr. Giovani Marino Favero  
**PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓSGRADUAÇÃO**

### **PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA MNPEF - POLO 35 – UEPG MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

#### *Colegiado*

Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (Coordenador)  
Prof. Dr. André Maurício Brinatti (*Vice-Coordenador*)  
Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (*Titular*)  
Prof. Dr. Antônio Sérgio Magalhães de Castro (*Titular*)  
Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva (*Titular*)  
Prof. Dr. Lucas Stori de Lara (*Suplente*)  
Prof. Dr. Marcelo Emilio (*Suplente*)

SÉRIE:

### **PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA**

## **CONSELHO EDITORIAL**

SÉRIE:

### **PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA**

Prof. Dra. Agueda Maria Turatti (FURG)  
Prof. Dr. André Maurício Brinatti (UEPG)  
Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade (UEPG)  
Prof. Dr. Antonio Sérgio Magalhães de Castro (UEPG)  
Prof. Dr. Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos (UNICENTRO)  
Prof. Dr. Fabio Augusto Meira Cássaro (UEPG)  
Prof. Dr. Gérson Kniphoff da Cruz (UEPG)  
Prof. Dr. Gustavo Vinicius Bassi Lukasiewicz (UTFPR)  
Prof. Dra. Iramaia Jorge Cabral de Paulo (UFMT)  
Prof. Dra. Jaqueline Aparecida Ribaski Borges (FATEB)  
Prof. Dr. Jeremias Borges Da Silva (UEPG)  
Prof. Dr. Júlio Flemming Neto (UEPG)  
Prof. Dr. Lucas Stori de Lara (UEPG)  
Prof. Dr. Luiz Américo Alves Pereira (UEPG)  
Prof. Dr. Luiz Antônio Bastos Bernardes (UEPG)  
Prof. Dr. Marcelo Emilio (UEPG)  
Prof. Dr. Marco Antônio Sandini Trentin (UPF)  
Prof. Dr. Mário Jose Van Thienen Silva (UTFPR)  
Prof. Dr. Michel Corci Batista (UTFPR)  
Prof. Dr. Paulo Cesar Facin (UEPG)  
Prof. Dr. Rafael Ribaski Borges (UTFPR)  
Prof. Dr. Ricardo Costa de Santana (UFG)  
Prof. Dr. Romeu Miqueias Szmoski (UTFPR)  
Prof. Dra. Rosemari Monteiro Castilho Foggiatto Silveira (UTFPR)  
Prof. Dra. Shalimar Calegari Zanatta (UNESPAR)  
Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz Da Silva (UEPG)

Ficha catalográfica



Este trabalho está licenciado com uma Licença Creative Commons  
Atribuição -Não Comercial- Compartilha Igual 4.0 Internacional.

# PREFÁCIO

Durante as últimas décadas, no Brasil se tem conseguido avanços significativos em relação a alfabetização científica, em especial na área do Ensino de Física, nos diversos níveis de ensino, entretanto continua pendente o desafio de melhorar a qualidade da Educação em Ciências. Buscando superar tal desafio a Sociedade Brasileira de Física (SBF) implementou o Programa Nacional de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) que se constitui em um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física, resultando em uma ação que engloba diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País.

O objetivo do MNPEF é capacitar em nível de mestrado uma fração muito grande de professores da Educação Básica quanto ao domínio de conteúdos de Física e de técnicas atuais de ensino para aplicação em sala de aula como, por exemplo, estratégias que utilizam recursos de mídia eletrônica, tecnológicos e/ou computacionais para motivação, informação, experimentação e demonstrações de diferentes fenômenos físicos.

A abrangência do MNPEF é nacional e universal, ou seja, está presente em todas as regiões do País, sejam elas localizadas em capitais ou estejam afastadas dos grandes centros. Fica então clara a necessidade da colaboração de recursos humanos com formação adequada localizados em diferentes IES. Para tanto, o MNPEF está organizado em Polos Regionais, hospedados por alguma IES, onde ocorrerem as orientações das dissertações e são ministradas as disciplinas do currículo.

A Universidade Estadual de Ponta Grossa, por meio de um grupo de professores do Departamento de Física, faz parte do MNPEF desde o ano de 2014 tendo nesse período proporcionado a oportunidade de aperfeiçoamento para quarenta e cinco professores de Física da Educação Básica, sendo que desses quinze já concluíram o programa tornando-se Mestres em Ensino de Física.

A Série: **Produtos Educacionais em Ensino de Física**, que ora apresentamos, consta de vários volumes que correspondem aos produtos educacionais derivados dos projetos de dissertação de mestrado defendidos. Alguns desses volumes são constituídos de mais de um tomo.

Com essa série o MNPEF - Polo 35 - UEPG, não somente busca entregar materiais instrucionais para o Ensino de Física para professores e estudantes, mas também pretende disponibilizar informação que contribua para a identificação de fatores associados ao Ensino de Física

a partir da proposição, execução, reflexão e análise de temas e de metodologias que possibilitem a compreensão do processo de ensino e aprendizagem, pelas vias do ensino e da pesquisa, resultado da formação de docentes pesquisadores.

A série é resultado de atividade reflexiva, crítica e inovadora aplicada diretamente à atuação profissional do docente, na produção de conhecimento diretamente associado à prospecção de problemas e soluções para o ensino-aprendizagem dos conhecimentos em Física, apresentando estudos e pesquisas que se propõem com suporte teórico para que os profissionais da educação tenham condições de inovar sua prática em termos de compreensão e aplicação da ciência.

A intenção é que a Série: **Produtos Educacionais em Ensino de Física** ofereça referências de propostas de Ensino de Física coerentes com as estruturas de pensamento exigidas pela ciência e pela tecnologia, pelo exemplo de suas inserções na realidade educacional, ao mesmo tempo que mostrem como se pode dar tratamento adequado à interdependência de conteúdo para a formação de visão das interconexões dos conteúdos da Física.

***Prof. Dr. Silvio Luiz Rutz da Silva***

***Prof. Dr. André Maurício Brinatti***

***Prof. Dr. André Vitor Chaves de Andrade***

***Prof. Dr. Antônio Sérgio Magalhães de Castro***

***Prof. Dr. Jeremias Borges da Silva***

*Organizadores*

## SUMÁRIO

<b>1 CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA</b> .....	8
<b>2 TERMODINÂMICA E TEMPERATURA</b> .....	10
<b>3 A TEMPERATURA E A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA</b> .....	12
<b>4 A TEMPERATURA ABSOLUTA</b> .....	16
<b>5 TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO</b> .....	19
<b>6 MUDANDO A TEMPERATURA</b> .....	22
<b>7 A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA</b> .....	23
<b>8 AS TRANSFERÊNCIAS DE CALOR</b> .....	25
<b>9 PROPRIEDADES TÉRMICAS, CONDUTIVIDADE E CAPACIDADE TÉRMICA</b> .....	29
<b>10 A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA</b> .....	32
<b>11 A FÍSICA MODERNA</b> .....	37
<b>12 CORPO NEGRO</b> .....	38
<b>13 LEI DE STEFAN – BOLTZMANN</b> .....	41
<b>14 CARACTERÍSTICAS DO SOL</b> .....	44
<b>15 SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM (SEA)</b> .....	49
PARTE 1: Motivando os alunos.....	50
PARTE 2: Aprendendo sobre Temperatura e Propriedades Térmicas.....	52
PARTE 3: Aprendendo como ocorre a transferência de calor .....	55
PARTE 4: Entendendo o que é Radiação Térmica e Cor de um Objeto .....	58
PARTE 5: Calculando a Temperatura do Sol .....	60
PARTE 6 : Explorando o Conhecimento .....	63
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	66
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	71
<b>APÊNDICE: Orientações da TLS</b> .....	76

## 1 CONTEXTUALIZANDO O PROBLEMA

Em termodinâmica o conceito fundamental é a TEMPERATURA. Tão presente no cotidiano e tão fundamental para a estrutura da Física e de outras ciências. Por outro lado, a presença do sol determinando o clima, a sensação térmica, o fornecimento de energia vital para os seres vivos e determinando o comportamento diário das pessoas, o tem colocado em posição de destaque tanto religioso como científico. Questões como sua posição no universo geraram controvérsias na época de Galileu. Muitas questões já foram superadas pelo conhecimento científico, embora o senso comum de visões errôneas ainda persista na ignorância de algumas pessoas. Então, mostrar como a ciência explica questões fundamentais ajuda a desmistificar este senso comum. Como medir distância do sol? Qual a sua influência nas estações do ano? Se sentimos a queimadura dos seus raios, qual a sua temperatura? Como a queimadura dele chega até nós? Qual seu tamanho e sua massa? Estas e outras questões podem servir de contextualização de ensino de ciências. A proposta aqui é contextualizar o estudo da termodinâmica com a questão: Como medir a temperatura do sol?

Tendo esta pergunta como tema central foi elaborada uma sequência de atividades educacionais que levem a construção do conhecimento em termodinâmica e permita a inserção de conceitos de física moderna no ensino médio a partir da evolução do conhecimento sobre as propriedades da matéria.

A Física Moderna a partir de um de seus conceitos fundamentais, o fóton, permitiu o estudo das propriedades térmicas de um “corpo negro”. O fóton como partícula responsável pela interação eletromagnética tem energia proporcional a frequência da onda eletromagnética conhecida classicamente. Essa é uma característica do seu comportamento: a dualidade onda - partícula. O espectro de onda eletromagnética emitido por um corpo incandescente é caracteristicamente definido pela sua temperatura. Assim, observando o espectro emitido se obtém a temperatura o corpo emissor.

Então a pergunta torna este trabalho relevante e permite que o aluno construa o conhecimento necessário para medir a temperatura do Sol, dessa

forma a partir de uma sequência de ensino aprendizagem abordará os conceitos de Temperatura, Propriedades Térmicas, Transferência de Calor, Radiação Térmica, Cor de um Objeto, Corpo negro, Energia Elétrica, Lei de Stefan-Boltzmann e Temperatura do Sol. Mostrando o caminho a ser percorrido pelo aluno dentro dos conceitos fundamentais da física clássica até os conceitos da física moderna.

## 2 TERMODINÂMICA E TEMPERATURA

A Termodinâmica começou como uma teoria macroscópica, que não fazia uso da estrutura microscópica da matéria, pois, foi desenvolvida no século XIX, quando não havia uma comprovação cientificamente estabelecida da existência de átomos e moléculas. Ela estuda os fenômenos que envolvem a transferência de energia, o equilíbrio térmico e comportamento da matéria que levam ou decorrem desses. Assim foram definidos os princípios básicos ou as leis da termodinâmica que são obedecidas pela termodinâmica clássica e a Mecânica Estatística, ou a Mecânica Quântica. São quatro leis empíricas poderosas que são válidas no mundo macro e microscópico, em todo espectro de escalas de medidas. A Primeira Lei foi proposta considerando a conservação da energia; a Segunda Lei surge em consequência da existência de processos espontâneos e as limitações do rendimento das máquinas térmicas, o que gerou a definição do conceito de Entropia; A Lei Zero, que foi definida após a primeira e a segunda, mas considerada anterior hierarquicamente, define uma grandeza para determinar o equilíbrio térmico – a Temperatura; finalmente há ainda a Terceira Lei, conhecida como postulado de Nernst, define a relação entre a temperatura zero absoluto e a Entropia. A terceira não é trabalhada no ensino médio, não tendo aplicação que seja visível no cotidiano dos alunos é pouco estudada na formação dos professores.

Neste trabalho o interesse é no desenvolvimento da lei zero, na evolução da medida de temperatura, do conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e da estrutura da matéria. Tudo isto usando como suporte à aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica. Desta forma é necessário estabelecer o conceito de temperatura e calor, quais as formas de transferência de calor e como a matéria se comporta quando absorve ou libera energia. O estudo, usando a Sequência Didática, evolui até incluir fenômenos que só tiveram explicação com o surgimento do paradigma da Mecânica Quântica. O estudo permitirá no final da Sequência que os estudantes adquiram conhecimento suficiente para responder à pergunta: Como medir a Temperatura do Sol?



### 3 A TEMPERATURA E A LEI ZERO DA TERMODINÂMICA

A noção do quente ou frio é bastante antiga sendo um precursor do conceito atual de Temperatura. A observação de fenômenos naturais de aquecimento e resfriamento que mudavam as características dos corpos, ou objetos, ajudou a civilização humana a se desenvolver. Não só pela busca de formas de se aquecer nos tempos glaciais como pela busca de materiais para serem transformados em armas. Na antiguidade já se sabia que materiais muito quentes eram capazes de emitir luz. Isto ajudou muito na determinação do momento exato de trabalhar os minerais nos processos de fundição.

O conceito de temperatura começa a tomar forma quando Galileu Galilei passa a usar o experimento controlado como uma forma de estudar a regularidade das relações entre variáveis possíveis de controlar e medir. Ele cria o termoscópio, um termômetro rudimentar. E logo vieram outras propostas de termômetros como o termômetro a álcool do Duque Ferdinando II, que passou a ser usado na medicina, agricultura e meteorologia (ROONEY, 2013).

Apesar da temperatura dos objetos ser medida desde o século XVIII, seu entendimento ou definição ainda não bem estabelecido teoricamente. O primeiro avanço foi dado por J. C. Maxwell que estabeleceu o que hoje conhecemos como a Lei Zero da termodinâmica. A princípio sua observação não foi reconhecido como um princípio fundamental, apenas como uma observação empírica. Assim, ela só tornou lei após o estabelecimento da primeira e segunda lei, e com os resultados das abordagens estatísticas da termodinâmica.

A Lei Zero da Termodinâmica diz que “se dois sistemas estão em equilíbrio térmico com um terceiro sistema, então eles estão em equilíbrio térmico entre si.” Nesta situação a energia interna dos corpos não muda com o decorrer do tempo. A situação indica que não há processos de transferência de energia, ou quantidade de energia absorvida é igual a de emissão. Quando dois corpos estão em equilíbrio térmico se diz que eles estão na mesma temperatura. Assim, a temperatura é uma característica do corpo em equilíbrio

térmico. Embora, faça sentido definir temperaturas instantâneas, ou mesmo locais, em sistemas que não estão em equilíbrio.

A Termodinâmica caracteriza um sistema em equilíbrio térmico com sua vizinhança, por estar em um estado de mínima energia, indicando que suas propriedades térmicas não mudam com o tempo, e que sua entropia é máxima, não haverá transferência de energia entre sistemas de forma espontânea.

Então, para saber se dois sistemas estão à mesma temperatura, verifica-se se eles estão em equilíbrio térmico, observando-se se suas propriedades térmicas não mudam com o tempo. Por questão prática há a necessidade de verificar se corpos estão à mesma temperatura de outros que não estão perto, assim é interessante termos um instrumento tecnológico (derivado do conhecimento científico) calibrado para informar quando o corpo está em equilíbrio para definir um valor para sua temperatura. Esse equipamento que pode ser simples se chama termômetro.

O Termômetro se tornou um instrumento importante contribuindo para a evolução da ciência e da tecnologia, se tornando fundamental no dia a dia das pessoas principalmente com o seu uso em casos relacionados a doença e ao clima. Sua utilização historicamente data de épocas bastante anterior a definição da lei zero como um princípio da termodinâmica (ROCHA et al, 2002). Este instrumento é calibrado de acordo com uma propriedade universal, que seja, invariante ao local e independente da forma de observar e do observador.

O Termômetro tem um papel importante na medida de temperatura sendo indispensáveis na medicina, em estudos em geral ou em pesquisas científicas onde o resultado da medida tem importância primordial destes aparelhos, pois, um erro nesta medida poderá causar danos ao que se está medindo muitas vezes irreparáveis. Este instrumento muitas vezes é utilizado pelas pessoas em casa, seja pela medida corporal de uma criança, onde só a sensação térmica não é recomendada, ou a temperatura ideal para se tomar um chimarrão ou ainda o uso de um forno elétrico para se assar um pão.

Os termômetros medem a temperatura que é uma característica do corpo e não uma simples sensação de quente e frio, por este motivo o que se

mede com um termômetro nada mais é que a movimentação das partículas, que destacamos mais à frente.

Então, a necessidade de se ter um instrumento que indique a temperatura é óbvia. Os pesquisadores identificaram que o ser humano tem uma temperatura de equilíbrio para funcionar que independe da temperatura do ambiente. Então, qual é essa temperatura? É preciso fazer uma medição usando um equipamento, um termômetro, que possa ser usado em qualquer lugar por qualquer pessoa. Então, o que precisamos conhecer para fazer um termômetro? Para o ensino de física saber a resposta a essa pergunta é mais importante que treinar cálculo de transformação de escalas.

Para construir um termômetro precisamos observar uma propriedade do sistema que varie com a temperatura. Precisamos saber como essa propriedade varia. Em geral, os termômetros analíticos usam a dilatação de sólidos, gases ou líquidos. Além disso, se escolhe um material que se dilata linearmente quando a temperatura varia no intervalo que se deseja medir. É mais fácil de definir a escala.

Que, por sua vez, é definida a partir de dois pontos fixos dados como padrões.

Muitas são as escalas termométricas desenvolvidas ao longo da história. Na sequência falaremos sobre as mais importantes atualmente.

A escala Celsius usou inicialmente a temperatura dos pontos de fusão e de ebulição da água. Definindo um intervalo de 100 divisões entre eles. Depois se observou que dependiam da pressão local. Passou-se a usar o ponto triplo da água, mas mantendo os 100 Celsius aproximadamente na temperatura de ebulição da água ao nível do mar.

Geralmente é usado o ponto triplo da água (escala Celsius), ou o estado de menor energia absoluta dos materiais ou entropia nula (Escala Kelvin). O zero da escala Kelvin corresponde ao estado de energia cinética nula.

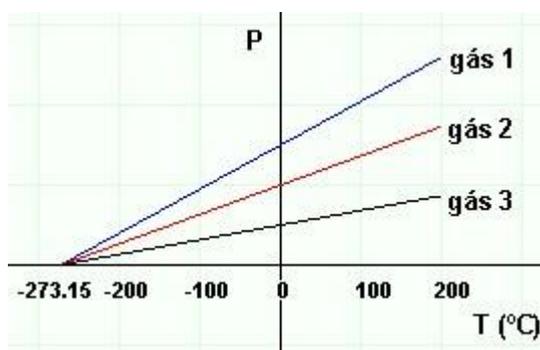
Na escala Fahrenheit foi usado inicialmente uma mistura refrigerante e o corpo humano. Para a divisão dos intervalos ficou determinado o intervalo em 180 partes iguais. Note que ela não é considerada uma escala centígrada como a escala Celsius por esta divisão entre o intervalo de fusão e ebulição da água.

As escalas termométricas têm uma relação matemática que estabelece os valores que se equivalem entre elas, mas, um cuidado devemos ter ao se ensinar escalas como um simples exercício matemático para não se perder a importância do termômetro como o terceiro corpo incluindo na Lei Zero e as referências definições que levam a construção da escala.

#### 4 A TEMPERATURA ABSOLUTA

As medidas de temperatura conduziram a propostas de escalas que pressupunha a existência de temperaturas negativas. Assim, surge a questão: quão frio um corpo pode estar? Qual a menor temperatura possível? Os primeiros trabalhos são atribuídos a Guillaume de Amontons. Com seu termômetro a ar, ele investigou a relação entre pressão e temperatura e obteve  $-240\text{ C}$  para o zero absoluto. Seu trabalho foi ponto de partida para J. Gay - Lussac estudar os gases e propor uma das leis dos gases e obter  $-273\text{ C}$  para a temperatura absoluta. Com o experimento do termômetro a gás a volume constante é possível obter que a Pressão do gás é uma função linear da temperatura. Extrapolando o resultado obtêm-se a temperatura quando a pressão é zero (figura 02).

Figura 02: Pressão obtida para diferentes tipos de gases. O gráfico mostra que a Pressão é uma função linear da temperatura e que o prolongamento da reta corta o eixo da temperatura em  $-273,15$  Celsius quando  $P=0$ .



Fonte: RUDOLF (2017)

Kelvin analisou os diversos termômetros existentes na sua época. Ele observou que os termômetros a gás, principalmente ar e vapor de água, apresentavam o valor da unidade termométrica muito parecida. Mas, ele critica porque a unidade da escala depender da substância termométrica. “Existe algum princípio no qual uma escala termométrica absoluta pode ser fundamentada?”. Baseado nos estudos sobre máquinas térmicas de Carnot ele afirma que sim. Segundo Carnot a máquina térmica mais eficiente é aquela que funciona reversivelmente num processo quase estático. Seu rendimento só

depende da temperatura da fonte quente e fonte fria. A razão entre as temperaturas está relacionada a razão entre as quantidades de calor envolvidas no processo, que podem ser medidas. Então, Kelvin propõe:

A propriedade característica da escala que eu proponho agora é que todos os graus tenham o mesmo valor; isto é, que a unidade de calor que desce de um corpo A, a temperatura T dessa escala, para um corpo B, à temperatura (T -1), deveria produzir o mesmo efeito mecânico, qualquer que seja o número T. Isso pode justamente ser denominado de escala absoluta, visto que sua característica é inteiramente independente das propriedades físicas de qualquer substância específica. (KELVIN, 1882, p. 100)

Ele propõe ainda que a temperatura de frio infinito seria o  $T=0$ , zero absoluto. Ele conclui que essa temperatura equivale a  $-273\text{ C}$ .

Apenas em 1954 a escala Kelvin passou a ter a definição que conhecemos atualmente. Uma resolução da X Conferência Geral de Pesos e Medidas definiu o segundo ponto fixo da escala como sendo o ponto triplo da água igual a  $273,16\text{ Kelvin}$ .

Ainda do estudo da temperatura zero absoluto surgiu a terceira lei da termodinâmica: “A entropia  $S$  de um sistema tem a propriedade limite que quando a temperatura tende ao zero absoluto a entropia tende a uma constante cujo valor é zero”.

Na abordagem da Física Estatística se define um parâmetro  $T$ , cujo inverso é a variação da Entropia em função da variação da energia,

$$\frac{1}{T} = \frac{\partial S}{\partial E}$$

Esse parâmetro  $T$ , chamado de Temperatura Termodinâmica porque caracteriza o estado de equilíbrio e obedece segue a lei zero.

Usando a definição de Boltzmann para a entropia  $S \equiv k \ln \Omega$ , onde  $\Omega$  é o número de estados acessíveis ao sistema, a temperatura pode estar relacionada a variação dos estados acessíveis quando há variação da energia.

$$\frac{1}{KT} = \frac{\partial \ln \Omega}{\partial E}$$

Nesta abordagem é possível obter Temperaturas absolutas negativas, que ocorrem por exemplo em sistemas paramagnéticos. Embora, isto não signifique um corpo mais frio que o zero absoluto. Assim, vemos a complexidade do conceito de temperatura na atualidade.

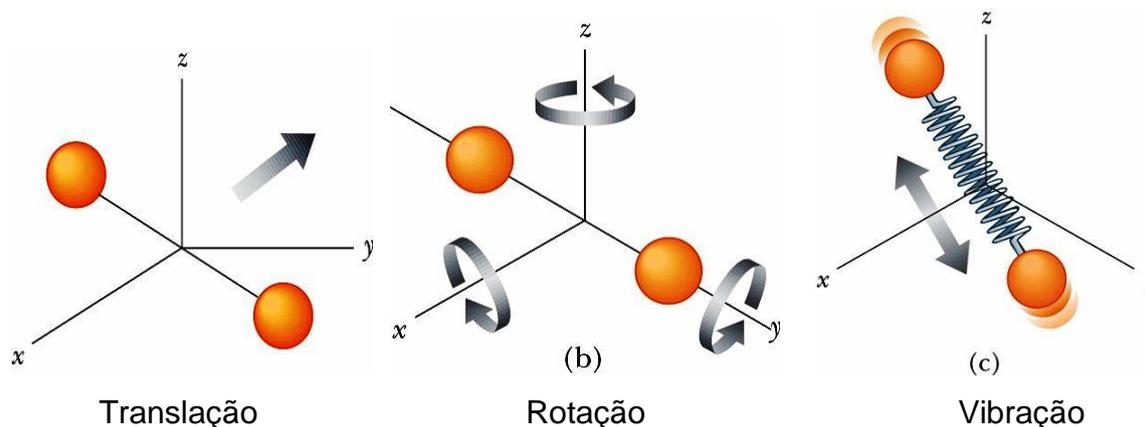
## 5 TEOREMA DA EQUIPARTIÇÃO

A Temperatura é uma propriedade do corpo em equilíbrio. Assim, está relacionada a energia de seus componentes no estado de equilíbrio. Essa Energia Interna depende das energias relacionadas à ação das forças fundamentais, energia potencial, e as possibilidades de movimento dos componentes, a energia cinética. Uma abordagem estatística da mecânica aplicada aos componentes de um sistema, ou corpo, mostram que para cada grau de liberdade de movimento, a energia de cada componente é proporcional a temperatura absoluta do sistema. Assim, quando se mede a temperatura de um corpo não estamos medindo a energia, energia relacionada a movimentação do sistema, ou do corpo.

As partículas de um corpo ou sistema estão em constante movimento, elas estão separadas por grandes espaços vazios comparados com suas dimensões e esse movimento das partículas ocorre aleatoriamente em todas as direções e sentidos. Para a teoria da Termodinâmica os fenômenos macroscópicos e a Termodinâmica estatística dos fenômenos microscópicos em sua estrutura atômica, os átomos eram esféricos e interagem por colisões elásticas num dado sistema. A energia interna desse sistema foi interpretada como a média de energia cinética translacional dos seus átomos, marcando o início da Termodinâmica estatística. Maxwell pegando os trabalhos de Clausius introduziu o Teorema de Equipartição de energia onde o sistema teria um segundo modo que contribui com a energia interna, a energia cinética associada a rotação das moléculas. Para Maxwell, além das moléculas translacionar, elas rotacionam, então, cada molécula do gás possuiria seis graus de liberdade, três translacionais e três rotacionais, onde, a energia de um sistema em equilíbrio térmico está igualmente dividida entre todos os graus de liberdade. Grau de liberdade é as várias maneiras que uma molécula pode ter energia, dessa forma a hipótese de Maxwell foi de que cada grau de liberdade compartilhava a mesma quantidade média de energia e essa é a essência do teorema de equipartição (POLITO, 2016).

O Teorema diz que cada grau de liberdade contribui com uma quantidade de energia igual a  $KT/2$ , isso significa que a energia interna do sistema é a soma das energias médias associadas aos vários graus de liberdade das suas partículas constitutivas. A figura 03 mostra a translação, a rotação, e a vibração, dessas partículas, dependendo apenas da temperatura.

Figura 03: Esquema mostrando as possibilidades de movimento das moléculas



Fonte: BARBOSA (2017)

Os gases ideais as moléculas têm três graus de liberdade, já que sua movimentação ocorre nas direções X, Y e Z. No caso de um sistema monoatômico como o hélio e o argônio por exemplo o Teorema de Equipartição Ocorre somente translações, logo sua energia interna será dada pela equação:

$$U = 3 \cdot \frac{1}{2} NKT = \frac{3}{2} nKT$$

Já para um sistema com gás diatômico como por exemplo o nitrogênio, o oxigênio e o hidrogênio ocorrem translações e rotações, logo a energia interna do gás será dada pela equação:

$$U = (3 + 2) \cdot \frac{1}{2} NKT = \frac{5}{2} nKT$$

E para um sistema com gás diatômico onde ocorre translações, rotações e vibrações, a energia interna será dada pela equação:

$$U = (3 + 2 + 2) \cdot \frac{1}{2} NKT = \frac{7}{2} nKT$$

Essas equações mostram que a energia interna de um dado sistema é proporcional a temperatura. Se o sistema se expandir como no exemplo o uso

do aerossol, ao mantê-lo pressionado por algum tempo, notamos o resfriamento da lata uma diminuição de sua temperatura ele se resfria e realiza trabalho sobre a vizinhança devido a energia interna do sistema e, quando o sistema é aquecido sua energia interna aumenta pelo calor que entra no sistema, aumentando sua energia interna e conseqüentemente sua temperatura e quando o sistema é comprimido sua energia interna aumenta, como por exemplo ao encher uma bola fazendo movimentos rápidos na bomba, notamos o aquecimento da mesma. Isto acontece porque o ar, uma vez comprimido rapidamente, eleva sua temperatura. Como o processo é rápido, não há tempo para troca de calor com o meio externo pois, energia em forma de trabalho é injetada para dentro do sistema.

## 6 MUDANDO A TEMPERATURA

A variação de temperatura dos corpos significa mudança na energia interna dos corpos. Ou seja, quando ocorre absorção e emissão de energia pelo corpo, ou objeto. Assim, precisamos entender como isto ocorre obedecendo a um princípio fundamental da física que diz que há conservação da energia envolvida no processo. Assim, é fundamental entendermos o que diz a Primeira Lei da Termodinâmica que é decorrente da conservação da energia. Ela diz que nos processos a variação da energia interna ocorre devido à transferência de energia na forma de calor mais aquela transferida na forma de trabalho.

O trabalho está relacionado ao esforço do sistema, quando ele perde energia, ou sobre o sistema, quando então ele ganha energia, para superar, ou exercer, uma força sobre ele. Por sua vez, o Calor é a energia transferida diferente do trabalho que ocorre pela interação entre os corpos. Essa forma de interação ocorre pelo contato físico ou por absorção de radiação. A absorção de calor, ou emissão, não provocará movimento ordenado das partículas, ou moléculas do corpo, objeto ou sistema. Quando o Calor envolve apenas movimento ordenado, envolverá apenas trabalho, não alterando a energia interna, ou a temperatura do corpo.

## 7 A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A forma matemática da primeira lei é

$$dU = \delta Q - \delta W$$

onde  $\delta Q$  e  $\delta W$  significa que o cálculo da transferência de calor e da realização de trabalho depende do processo termodinâmico. Enquanto a  $dU$  variação da energia interna é independente do processo. Essa energia é uma variável que caracteriza o estado do sistema.

No ensino médio a definição é

$$\Delta U = Q - W$$

a definição usando soma ou subtração varia conforme a definição de sinais para o trabalho realizado sobre ou pelo sistema. Neste caso, foi usado negativo para o trabalho sobre o sistema, ou seja, trabalho contribuirá para aumentar a energia interna do sistema. O trabalho realizado pelo sistema entra na equação com sinal positivo, assim diminuirá a energia do sistema.

No momento em que se está explicando sobre calor sempre há por parte dos alunos uma confusão com o conceito de temperatura. O principal motivo está no senso comum decorrente da linguagem cotidiano que se refere ao “calor” como uma sensação de um dia quente, por exemplo. Vários trabalhos já foram desenvolvidos usando esse tema.

Mas, é importante que o professor consiga que os alunos aprendam que a definição de Temperatura é uma característica própria do sistema, do corpo. Enquanto, que o calor está relacionado a energia que está chegando ou saindo do corpo, não sendo uma característica própria dele, mas sim do processo. A temperatura pode ser relacionada a energia interna do sistema que caracteriza um estado do sistema. Ela não muda quando não há mudança de temperatura. A relação entre energia interna e temperatura leva ao teorema da equipartição da energia.

Por outro lado, no processo isotérmico ocorre transferência de calor, no processo adiabático não ocorre transferência de calor, mas ocorre mudança de temperatura. A transferência de energia relacionada ao calor, numa visão microscópica, é aquela que provoca nas partículas movimentos desordenados.

Esse estudo envolve a compreensão dos processos de transferência de energia que se dá devido a uma diferença de temperatura entre os sistemas.

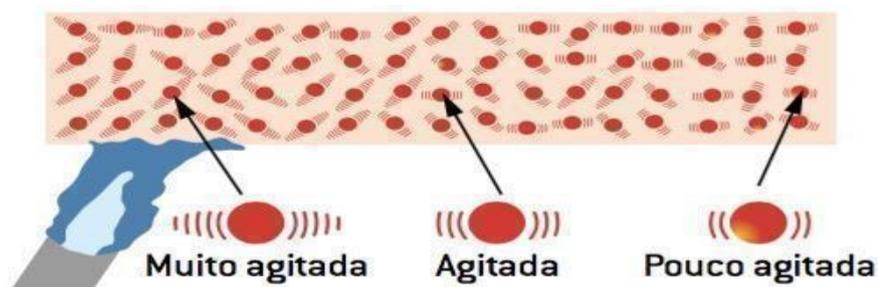
## 8 AS TRANSFERÊNCIAS DE CALOR

Essas transferências ocorrem por: Condução, por Convecção e por Irradiação. Essas formas de transferências conduzem os corpos ao estado de equilíbrio térmico com a sua vizinhança.

A condução ocorre devido a interação dos componentes da estrutura dos corpos. A condução leva ao equilíbrio do sistema, ou corpo como um todo. Como isto ocorre é caracterizado pela propriedade chamada de condutividade térmica. Essa propriedade reflete como a transferência de energia na forma cinética ocorre, e depende da energia potencial da interação dos elementos químicos que compõem as moléculas. Na interação entre as moléculas as menos energéticas ganham energia colidindo com moléculas mais energéticas. Essa interação também ocorre entre as moléculas de dois corpos que estão em contato direto. Observa-se uma elevação de temperatura do corpo mais frio que absorve a energia do mais quente. Destacamos aqui a impossibilidade do mais quente absorver a energia do mais frio, que é exatamente o conceito estabelecido pela segunda lei da termodinâmica.

Evidentemente que os valores da condutividade térmica são bem diferentes para sólidos, líquidos e gases, já que as interações entre as moléculas têm módulos bem diferentes. Nos gases prevalecem as trocas de energias por interação do tipo choque entre as moléculas, enquanto nos sólidos prevalece a interação por vibração das moléculas que alteram as ligações químicas. Por outro lado, nos líquidos ocorrem as duas situações. Veja na figura 04 a ilustração da agitação das moléculas transmitindo o calor uma a uma a partir da fonte de energia (a vela) por condução térmica:

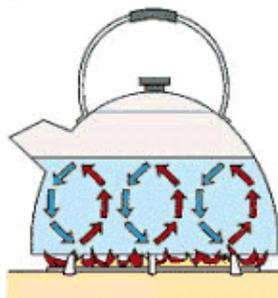
Figura 04: Esquema da agitação das moléculas, mostrando o fluxo de calor e a propagação de calor por condução.



Fonte: GOUVEIA (2018)

Na convecção a energia é transferida pelo movimento de um fluido ou gás que faz parte de um sistema com diferenças de temperatura no seu interior. Um fluido aquecido em um local específico, em geral, diminui de densidade nesta parte. O fluido quente sobe sendo substituído pelo fluido mais frio que desce, por ser mais denso (NUSSENZVEIG, 2014). Então, a convecção se equivale ao calor transferido pelo movimento de matéria de uma região para outra do fluido ou gás. Evidentemente há no processo a contribuição da condução térmica. Um exemplo, é mostrada da figura 04 onde numa chaleira em aquecimento, se ilustra como ocorre o movimento de convecção, destacados por meio das setas se referindo a mudança de posição do fluido que ali está sofrendo a ação de uma fonte de energia: No Sol a energia térmica produzida por reações termonucleares é transportada do centro da estrela para a superfície por convecção, onde o gás mais quente menos denso sobe e o gás mais frio mais denso desce, formando as correntes de convecção solares (TIPLER; LHEWELLUN, 2001).

Figura 05: Esquema de como ocorre a convecção de um fluido em uma chaleira em aquecimento.



Fonte: STENSMANN (2017)

A irradiação é uma forma de transferência de energia que está relacionada a emissão e absorção de ondas eletromagnéticas. As cargas em movimento acelerado emitem ondas eletromagnéticas, por outro lado absorvem as ondas alterando seu estado de movimento. A energia está armazenada nos campos elétrico e magnético que compõem a onda, que se propaga independentemente da existência de meios materiais. A perda de energia, emissão da onda, provoca um resfriamento, enquanto a absorção provoca um aumento de temperatura. Essa irradiação transfere o calor de um ponto a outro através da radiação eletromagnética, não precisando de um meio material para se propagar, se propagando também pelo vácuo (NUSSENZVEIG, 2014). Um exemplo de radiação eletromagnética é a radiação emitida pelo Sol, que se propaga pelo vácuo no espaço sideral até atingir a Terra. A matéria exibe características, ou propriedades, que se alteram devido a troca de energia. Essas propriedades podem ser utilizadas para definir a existência de equilíbrio térmico, e uma possível medição dessa condição, por meio de uma definição de escala. Às vezes essas propriedades que são óbvias, como por exemplo as dimensões espaciais de um corpo, às vezes sua resistência elétrica ou a emissão de luz visível ou não.

Portanto, para medir a “temperatura do Sol” é importante, além de conhecer a definição de temperatura, é reconhecer como ocorrem as trocas de calor e as propriedades térmicas da matéria. Conhecendo essas propriedades podemos definir como será nosso termômetro. Pode ser o tradicional termômetro de mercúrio, pode ser o digital, mas pode ser um termômetro

baseado na sua cor, ou mesmo um que analise a emissão de radiação eletromagnética.

## 9 PROPRIEDADES TÉRMICAS, CONDUTIVIDADE E CAPACIDADE TÉRMICA

As propriedades térmicas dos materiais, ou sistemas, são consequências de sua estrutura e sua composição química. O comportamento dessas propriedades com a temperatura, portanto, é reflexo de como sua estrutura absorve ou libera sua energia na forma de calor. Assim, estudando a capacidade de absorção, ou emissão, de energia e como ela se propaga torna possível a compreensão da diferença entre calor e temperatura, é possível desenvolver termômetros, e desenvolver utilidades práticas e tecnológicas com estes materiais.

O termômetro mais comum é o de mercúrio, que consiste em um tubo capilar fechado e evacuado com um bulbo contendo a substância mercúrio. A medição se dá devido ao aumento ou diminuição de volume de mercúrio em virtude da variação de temperatura. O aumento ou diminuição do volume reflete a necessidade de mais ou menos espaço para vibração das moléculas, evidenciando que a densidade do mercúrio aumenta ou diminui em função da temperatura. No caso do mercúrio a dilatação é uma função linear na faixa de temperatura na qual esse termômetro é comumente usado. Então, a variação da coluna de mercúrio no termômetro mostra o fenômeno da dilatação térmica, devido uma alteração na temperatura de um corpo (NUSSENZVEIG, 2014).

Esta medida não ocorre somente através da dilatação térmica, ela pode ocorrer também por outras propriedades termométricas, como, a cor, com por exemplo a chama de um fogão que tem a cor azulada e a chama de uma vela com cor amarela, elas são diferentes, não só pela cor, mas também pela temperatura das chamas ou ainda com um exemplo simples relacionado a nossa questão central, a cor das estrelas que estão intimamente ligadas a temperatura, uma de cor azul tem temperatura muito superior à que tem cor amarela por exemplo, e a resistência elétrica que se baseiam na variação de resistência ôhmica em função de uma variação de temperatura, aumentando a resistência quando a temperatura aumenta e diminuindo a resistência quando a temperatura diminui por exemplo. O bulbo de cerâmica ou vidro destes

termômetros possuem uma resistência de fio de platina, níquel ou cobre que tem a propriedade resistiva e conseqüentemente fazendo a medida da temperatura.

Então, os diferentes tipos de termômetros são instrumentos construídos para medir a temperatura, aproveitando ao máximo a propriedade termométrica da substância ou material utilizado na construção.

A característica da emissão e absorção de calor pelos materiais é muito importante para definições de aplicações práticas e tecnológicas, além disso o estudo dessa característica foi fundamental para a evolução da física. No ensino tradicional desse conceito, no nível médio, o destaque se dá apenas ao as denominações e ao cálculo matemático da aplicação de uma fórmula (“Qmacete”, por exemplo) que precisa apenas decorar.

Capacidade térmica é a grandeza física que exprime a relação entre a quantidade de calor fornecida, ou retirada, de um corpo e a sua variação de temperatura. É uma característica do corpo e depende da sua massa de forma proporcional, sendo assim uma propriedade extensiva. Associada a ela há a grandeza Calor Específico, que é a capacidade térmica por unidade de massa, uma grandeza intensiva, independe da quantidade. Essa independência da massa faz o calor específico mais representativo da característica do sistema. A capacidade térmica não é constante, embora esse comportamento seja deixado a entender no ensino médio. Exemplos como o comportamento da capacidade térmica da água é tomada como um comportamento geral das substâncias. A capacidade térmica é definida pela equação

$$C = \frac{\partial Q}{\partial T}$$

Ou seja, é a razão da variação do calor envolvido pela variação ocorrida na temperatura. Ela pode ser medida quando o volume é mantido constante, ou quando a pressão é mantida constante. Essa simbologia de variação indica o cálculo de diferenças infinitesimais. No ensino médio é ensinado que

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

esta simbologia indica cálculo de variações usando diferenças maiores, levando a perda de detalhes na variação da transferência de calor. Apesar de facilitar a matemática deixando os cálculos apropriados para o ensino médio, detalhes das informações sobre o fenômeno são perdidas sendo necessário destacar esta situação para os alunos.

Uma medida importante ocorre para situações de transição de estado, ou fase, das substâncias. Nesta situação o calor absorvido ou cedido não altera a temperatura da substância. A energia transferida é usada para o arranjo ou desarranjo da estrutura física da substância. Assim, é definido o calor latente

$$L = \frac{\Delta Q}{m}$$

Aqui podemos destacar que o importante para a aprendizagem não é a fórmula, mas o processo físico envolvido na transição de fase. Em relação ao cálculo convém destacar que o estudo das transições de fase é uma das áreas de pesquisa mais dinâmica da física, que explora a universalidade das transições para as diferentes substâncias e natureza das suas fases.

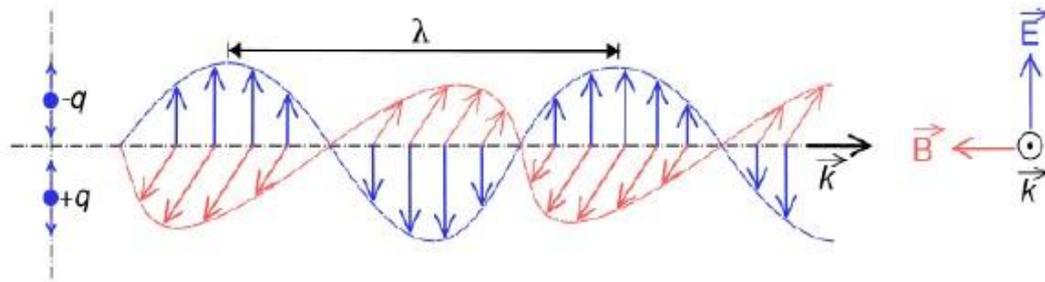
Calor Sensível é a denominação dada ao calor cedido ou absorvido que provoca mudança no sistema ou corpo, uma variação de temperatura até que se atinja o equilíbrio térmico, sem que ocorra mudança na estrutura física das partículas. A variação de temperatura é diretamente proporcional ao calor cedido ou absorvido pelo sistema, e inversamente proporcional à sua massa e ao calor específico característico do corpo.

## 10 A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

O estudo do aquecimento por causa da radiação conduz a necessidade de entender o que é a Radiação Eletromagnética. Todos os corpos emitem, ou absorvem radiação cujo modelo científico aceito atualmente é decorrente da Eletrodinâmica Quântica. A radiação é uma onda composta de campos elétricos e magnéticos que oscilam perpendicular um ao outro e em relação a direção de propagação, que também se comporta como um feixe de partículas, chamadas de fótons. Essa radiação tem origem no movimento acelerado das partículas carregadas, ou nas transições eletrônicas. A radiação transporta energia armazenada nos campos ou nas partículas. A absorção, ou emissão faz com que os corpos aumentem a sua energia interna, aumentando sua temperatura, ou diminuam sua energia interna, diminuindo sua temperatura. A seguir vamos caracterizar com mais detalhes a radiação eletromagnética.

Graças aos estudos de J. K. Maxwell que elaborou as equações que definiu um modelo teórico para o eletromagnetismo unificando os fenômenos elétricos, magnéticos, ópticos e luminosos. Assim, a luz é reconhecida como onda formada de campos elétricos e magnéticos que se propagam no espaço com uma velocidade de aproximadamente 299.792.458 m/s no vácuo, a figura 06 mostra um modelo da onda gerada por vibração do dipolo elétrico (por exemplo, a molécula de água) gera uma onda eletromagnética, composta dos campos elétrico e magnético, formando assim a onda eletromagnética se propagando pelo espaço. O movimento de vibração do dipolo elétrico (por exemplo, a molécula de água) gera uma onda eletromagnética.

Figura 06: Modelo de Onda Eletromagnética, mostrando o comportamento do campo elétrico e do campo magnético, a partir da teoria de Maxwell.



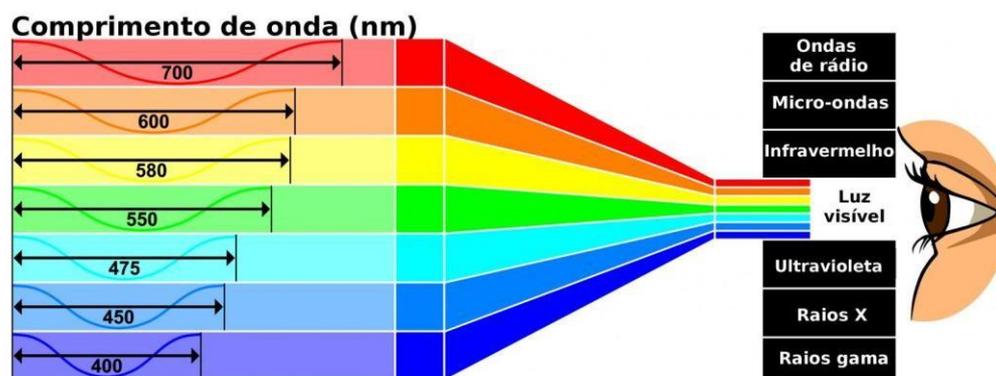
Fonte: WIKIWAND (2017)

Essa onda traz como características a sua velocidade de propagação, o comprimento de onda e sua frequência. Ela não necessita de um meio para se propagar, mas a sua velocidade de propagação varia com o meio, sendo que alcança sua maior velocidade no vácuo.

Como uma onda eletromagnética pode ser gerada? A teoria de Maxwell mostra que uma onda eletromagnética pode ser gerada em situações em que o campo elétrico ou magnético varia com o tempo. Isto significa por exemplo que se uma carga elétrica está em movimento acelerado ela produz uma onda eletromagnética. Uma outra forma são as transições eletrônicas, um fenômeno estritamente quântico. Quando um elétron no átomo perde energia e vai para um nível de energia mais baixo, uma onda eletromagnética é emitida. Quando ele absorve uma radiação eletromagnética ganha energia, e vai para um nível energético mais alto.

Como qualquer onda a radiação eletromagnética pode ter seu comprimento de onda, de zero ao infinito, dependendo de como foi gerada. Assim, como mostrado na figura 07 ela possui um espectro que vai das ondas de rádio até os raios gama. A luz visível é apenas uma pequena faixa do espectro.

Figura 07: Diagrama de uma onda eletromagnética, mostrando a decomposição da luz visível a nossos olhos, o comprimento de onda em relação a cores a faixa que vai dos raios gama as ondas de rádio.



Fonte: SILVA JÚNIOR (2017)

Um dos primeiros estudos sobre a natureza da Luz do Sol foi feito por Newton. Ele observou que a luz do sol se decompõe nas cores do arco-íris. Além disso, o mais importante é que ele observou que era possível recompor as cores para formar uma igual a luz solar incidente. Assim, ele descobriu que a luz do sol é uma composição de luz de diferentes cores. Newton propôs que os raios luminosos fossem um feixe de partículas, alimentando a controvérsia entre a visão de onda luminosa de Aristóteles e a da visão corpuscular de Pitágoras e Platão que ainda perdurava. No entanto, os experimentos de Huygens, Young e Fresnel definiram a vitória provisória da concepção ondulatória só abalada com o nascer da física quântica. Os experimentos de difração, interferência e polarização foram determinantes para a consolidação da visão ondulatória. Mas, o efeito fotoelétrico e a radiação de corpo negro foram determinantes para a concepção da dualidade onda – partícula da Mecânica Quântica. Assim, entende-se atualmente que a luz, ou a radiação eletromagnética, possui a propriedade de se comportar como onda e como partículas, chamadas de fótons, dependendo do fenômeno estudado.

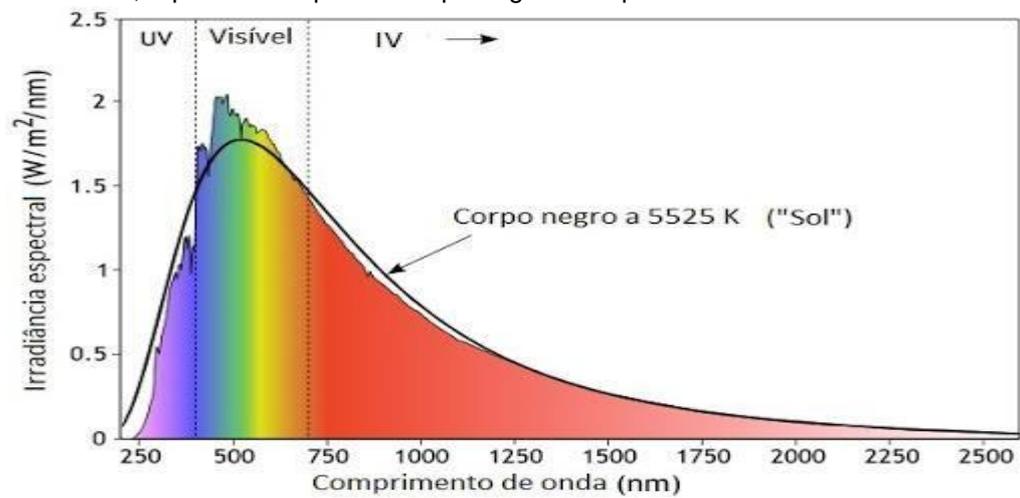
A associação da luz de diferentes cores, ou frequências de ondas, com a temperatura foi encontrada por F. William Herschel. Usando um experimento semelhante ao de Newton, ele mostrou que a luz de diferentes cores incidindo sobre um termômetro produziam diferentes variações de temperatura. Além

disso, ele observou que havia uma “cor” não visível antes do vermelho que produzia alteração nos termômetros, concluindo que o espectro de luz é mais amplo que o visível. Assim, ele descobriu as ondas do infravermelho, ideia que levou também a descoberta do ultravioleta, e assim por diante.

O fato da cor está associado a temperatura é conhecida desde a antiguidade quando os metalúrgicos sabiam a temperatura certa para trabalhar com os metais, observando sua cor quando aquecido. Assim, havia um forte interesse econômico no estudo das cores dos materiais com a variação da temperatura. Portanto, era importante analisar como se comportava um corpo que só emitia a radiação eletromagnética característica da sua estrutura em determinada temperatura. Sem a influência das radiações que incidia sobre ele. Então, na segunda metade do século 19 o espectro de radiação de um corpo negro era bastante estudado e chamava a atenção por não ser possível ser explicado pelas teorias clássicas de Newton e Maxwell.

Podemos observar que toda a radiação emitida pelo Sol é devida estrutura, a sua composição. Não há reflexão de ondas incidentes sobre ele o que o caracteriza como um Corpo Negro. O espectro da radiação será característica da sua temperatura. O estudo do espectro de radiação de Corpo Negro resultou nas Leis de Stefan – Boltzmann, de Wien e de Planck, que se discutidas mais adiante. Na figura 08 é mostrado a comparação entre o espectro de radiação do Sol, a luz do Sol que é formada pela mistura de todas as cores do arco-íris, comparado a um espectro modelo de um Corpo Negro.

Figura 08: A imagem mostra que o espectro da luz do Sol é formado pela mistura de todas as cores do arco-íris, representado por um corpo negro a temperatura de 5525 kelvins.



Fonte: DINIZ (2018)

## 11 A FÍSICA MODERNA

A Física chegou em um momento de sua história e evolução que refletia o fim. Isso ocorreu no final do século XIX onde cientistas acreditavam que a Mecânica de Newton e as Equações de Maxwell era o limite da ciência.

Com o início do século XX cientistas percebem lacunas nas explicações de certos fenômenos da natureza, como a radiação de Corpo Negro, percebendo que a Física Clássica não consegue explicar estes fenômenos.

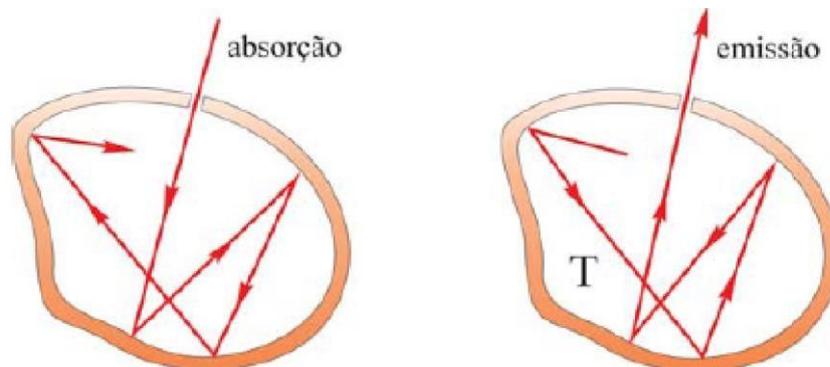
A partir desta percepção pelos cientistas os estudos se intensificam no Átomo, na Teoria da Relatividade de Einstein, na Mecânica Quântica e na Radioatividade. Surgindo a partir destes estudos a Física Moderna (FM), revolucionando os conhecimentos físicos até então e permitindo respostas às perguntas que muitos cientistas acreditavam que não existia.

## 12 CORPO NEGRO

O interesse de estudar o corpo negro surgiu devido a observação dos fenômenos de aquecimento dos metais nos trabalhos metalúrgicos. A observação da emissão de luz pelos metais aquecidos e a mudança de cor, a medida em que absorviam mais calor e aumentavam sua temperatura. G. Kirchhoff observou que os corpos absorvem e emitem radiação, quando o corpo está em equilíbrio com sua vizinhança a emissão é igual a absorção. A radiação emitida pode ser devido a absorção ou decorrente da estrutura do corpo em razão da sua temperatura. Um corpo que emite radiação apenas em razão da sua temperatura, e absorve toda a radiação que incide sobre ele é chamado de corpo negro ideal.

Um corpo capaz de absorver toda energia radiante incidente independente do comprimento de onda e da direção de incidência, será emissor perfeito de energia radiante e isotrópico, dependendo do comprimento de onda e da temperatura, mas não depende da direção é um corpo negro. Uma maneira de simular um corpo negro é usar uma superfície que não influencie a radiação, um sistema que se aproxime de um corpo negro ideal, uma boa aproximação é uma cavidade com uma abertura muito pequena e isolante, onde a luz entra pela abertura, reflete pelas paredes interiores até que seja totalmente absorvida por elas, dessa forma toda radiação que for emitida e sair pela abertura se deve a temperatura no interior da cavidade. O nome de corpo negro está relacionado ao fato de que alguém olhando de fora para a abertura na cavidade veria apenas a cor preta, mesmo percebendo o calor emanado por ela, percebendo que nenhum comprimento de onda visível escapa do corpo negro, ainda que ele emita radiação infravermelha, mas isso só ocorre a temperatura moderada, em geral abaixo de  $600^{\circ}\text{C}$ , pois, em altas temperaturas parte da radiação emitida será no espectro visível. Em geral acima de  $600^{\circ}\text{C}$  o corpo tem energia suficiente no espectro visível, sendo assim tem energia para que o corpo comece a brilhar com luz própria vermelho escuro. A imagem 09 mostra um exemplo de Corpo Negro, a luz incide pela cavidade não consegue sair, sendo absorvida.

Figura 09: A figura mostra o que ocorre em um Corpo Negro ideal em sua absorção a esquerda e a emissão a direita. Toda a radiação incidente é absorvida, a radiação emitida ocorre apenas com aquelas geradas devido a temperatura do Corpo.



Fonte: LIMA (2013)

Max Planck propôs que a radiação de corpo negro era descontínua, emitida por partículas denominadas de fótons, transportando uma quantidade, uns quanta de energia bem definida. Para explicar esta teoria Planck introduziu a ideia de osciladores elétricos no interior da cavidade de corpo negro resultando na absorção e reemissão de quanta de energia pelos átomos da parede, expressando a energia de cada quanta como um múltiplo de  $h\nu$ , sendo assim:  $E = nh\nu$ .

Qualquer corpo em equilíbrio termodinâmico com seu próprio campo de radiação emitirá fótons com intensidade específica de energia para um corpo negro com temperatura  $T$ , que será dada pela Lei de Planck da seguinte maneira:

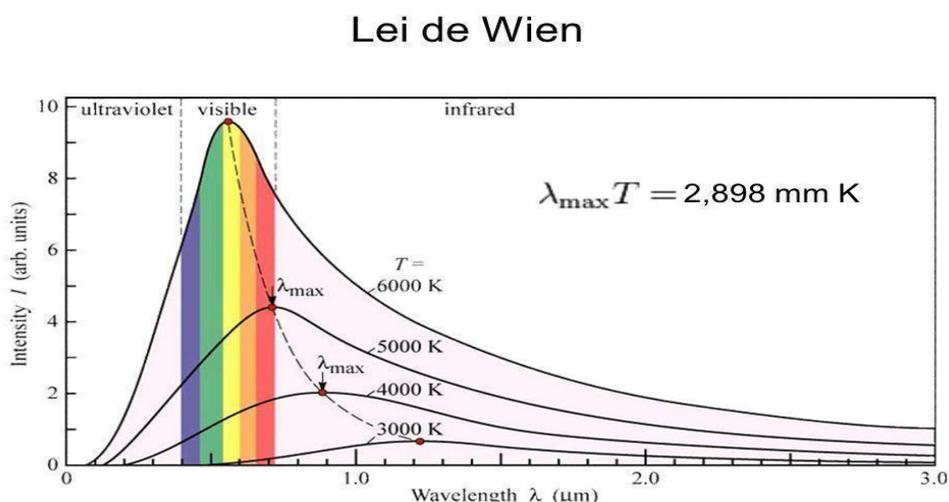
$$B_{\lambda}(T) = \frac{2hc^2}{e^{\lambda KT} - 1} \frac{1}{\lambda^5} \quad \frac{hc}{\lambda}$$

Já a Lei de Planck em termos de frequência fica descrita da seguinte maneira:

$$B(\nu, T) = \frac{2h\nu^3}{e^{K\nu T} - 1} \frac{1}{c^2} \quad \frac{h\nu}{c}$$

Para Wien a intensidade máxima do comprimento de onda emitida por um corpo negro é inversamente proporcional a temperatura absoluta, desta forma o brilho máximo de luz emitida pelo corpo se tornaria cada vez mais curto, se deslocando para o espectro violeta. Essa descoberta é conhecida por Lei de Deslocamento de Wien dada por  $\lambda_m T = \text{constante}$  onde a constante de Wien é  $2,898 \times 10^{-3} \text{ m.K}$ , podemos ver no gráfico 10 abaixo mostra o resultado da Lei de Wien se relaciona com o espectro de um corpo negro em função do comprimento de onda e da temperatura:

Figura 10: Gráfico da Lei de Wien, mostra a variação do comprimento de onda máximo com a temperatura, comparado com o comprimento de onda do espectro de radiação, destacando a faixa do visível.



Fonte: SILVA (2015)

Comparando a forma da curva de Planck o comprimento de onda em que a intensidade é máxima varia com a temperatura em cada linha mostrada no gráfico, para corpos negros, a Lei de Wien, mostra que, à medida que  $T$  aumenta,  $\lambda_{\text{max}}$  aumenta, ou  $\lambda_{\text{max}}$  diminui.

### 13 LEI DE STEFAN – BOLTZMANN

O corpo que absorve toda a radiação incidente é chamado de corpo negro ideal. Stefan descobriu uma relação entre a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro e a Temperatura, que, foi comprovada através das Leis da Termodinâmica clássica por Boltzmann que diz que a potência emitida por um corpo negro é proporcional à quarta potência da temperatura e essa relação é conhecida como Lei de Stefan – Boltzmann dada por:  $R = \sigma T^4$ . Onde  $R$  é a potência irradiada por unidade de área,  $T$  a temperatura absoluta e  $\sigma = 5,6705 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  é a constante de Stefan – Boltzmann (Tipler) dada por:

$$\sigma = \frac{2\pi^5 k^4}{15 c^2 h^3}$$

A Lei de Stefan-Boltzmann pode ser escrita em relação ao fluxo de um corpo negro de temperatura  $T$ , da seguinte maneira:

$$F = 2\pi \int_0^{\frac{\pi}{2}} \cos\theta \sin\theta d\theta \int_0^{\infty} B_\nu(T) d\nu = \sigma T^4$$

Demonstrada da seguinte forma:

$$B(T) \equiv \int_0^{\infty} B_\nu d\nu = \frac{2h}{c^2} \int_0^{\infty} \frac{\nu^3 d\nu}{e^{K\nu} - 1}$$

Considerando que:

$$\alpha \equiv \frac{h\nu}{KT}$$

Teremos a seguinte solução:

$$B(T) = \frac{2h}{c^2} \left(\frac{KT}{h}\right)^4 \int_0^{\infty} \frac{\alpha^3 d\alpha}{e^\alpha (1 - e^{-\alpha})}$$

$$\frac{2h}{c^2} \frac{KT^4}{h} \sum_{n=0}^{\infty} \left[ \frac{1}{(n+1)^4} \right] \quad ( \quad ) \quad [6 \Sigma]$$

$$2h \frac{KT^4 \pi^5}{15 c^2 h^3} = \sigma$$

$$\frac{hc}{15\pi} = T$$

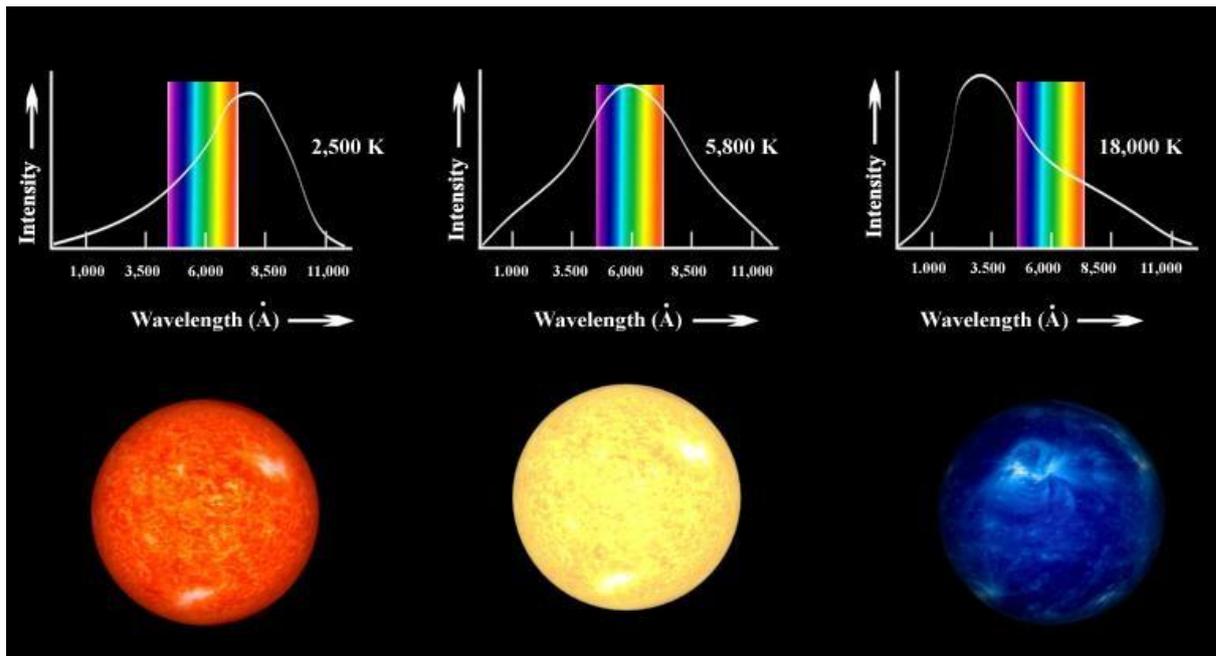
As estrelas como o Sol a radiação das camadas mais externas não estão em equilíbrio térmico, sendo assim, a temperatura não é a mesma para todas as estrelas. Para resolver este problema se leva em conta a luminosidade e a temperatura efetiva da estrela, onde, a luminosidade é a potência total irradiada pela estrela e a temperatura efetiva é a temperatura de um corpo negro que transfere a mesma quantidade de energia por unidade de área e por unidade de tempo que a estrela emite, desta forma, assim a temperatura efetiva se relaciona com a luminosidade da estrela pela Lei de Stefan – Boltzmann da seguinte maneira:

$$L = 4\pi R^2 \sigma T_{\text{ef}}^4.$$

A Lei de Stefan – Boltzmann mostra que a potência por unidade de área irradiada pela estrela é função apenas da temperatura, portanto, não depende de outras características como a cor ou do material de que a estrela é composta. Esta equação utilizaremos para responder à pergunta deste trabalho.

Com o software livre da Universidade do Colorado, conhecido como Phet, podemos ter uma boa aproximação da Lei de Stefan – Boltzmann, mostrando que aumentando ou diminuindo a Temperatura teremos diferentes picos na figura 11.

Figura 11: Estrelas de diferentes temperaturas emitem espectros de radiação diferentes. Maior comprimento de onda máximo (wavelength) menor será a temperatura e a energia da radiação. Na parte de baixo a cores visíveis das estrelas observadas.



Fonte: MUTLAQ (2017)

## 14 CARACTERÍSTICAS DO SOL

A teoria do Big Bang estima que o universo começou a mais de 13 milhões de anos, que sua temperatura inicial era da ordem de  $10^{39}$  K, após a “explosão” inicial a expansão provocou um resfriamento que levou a ter atualmente a temperatura de aproximadamente 3 K, muito próxima ao zero absoluto. Com a “explosão” as forças fundamentais surgiram, as partículas foram formadas, as estrelas, os planetas, as galáxias e o resto do universo. Estima-se que nosso sistema solar tenha se formado a 4,7 bilhões de anos.

Nosso sistema solar é composto pela estrela chamada Sol, por planetas, luas, planetas anões, asteroides e cometas. Como vivemos na vizinhança do Sol, sua radiação deixa a temperatura da Terra confortável, se não fosse isso estaríamos a mesma temperatura do Universo. O Sol fornece quase toda a energia que consumimos, interferindo diretamente no nosso dia-a-dia. A maneira como medimos o tempo, nossa percepção visual e a nossa própria existência estão ligadas a posição da terra em relação ao Sol. Nossa visão está condicionada a radiação eletromagnética, luz visível, que penetra em nossa atmosfera, já a escala de tempo está relacionada com o movimento do planeta Terra em torno do Sol e da Lua em torno da Terra.

O Sol é a estrela mais próxima de nós, entre as 100 bilhões que existem na via láctea, servindo de base para o conhecimento de outras estrelas, que para nós parecem apenas como pontos de luz, devido a distância que se encontram do planeta Terra, mesmo usando telescópios muito potentes. Estudar a superfície do Sol nos ajuda a compreender os processos físicos envolvidos em seu interior e esse conhecimento pode ser aplicado a outras estrelas.

O modelo aceito cientificamente para o surgimento do sol é mostrado no desenho esquematizado da figura 11. No começo por ação da gravidade surge uma nuvem de matéria que vai ficando cada vez mais densa. Após milhões de anos se dá o início da fusão do hidrogênio, demorando mais alguns milhares de anos até a formação do sistema Solar, evoluindo após milhares de anos a uma

Gigante Vermelha e após bilhões de anos em uma Nebulosa Planetária a uma anã branca.

Dos estudos científicos se sabe que a temperatura no centro do Sol chega aproximadamente a 13.700.000 K, mas quando sai do núcleo sua temperatura diminui drasticamente chegando a 7.000.000 K e quando chega a superfície sua temperatura diminui mais ainda chegando a aproximadamente 5 800 K. No núcleo do sol ocorre a fusão nuclear, mas para que isso ocorra os prótons se chocam uns contra os outros a velocidades muito altas, o suficiente para superar a repulsão decorrentes das suas cargas positivas. Dessa forma, o íon hidrogênio se transforma em hélio, logo após a fusão os fótons gerados no processo passam pela zona de radiação, onde passam milhares de anos, sendo absorvidos e reemitidos por íons de H e He.

Na camada seguinte o transporte de energia acontece por convecção, onde o gás se esquentando do lado inferior, se expande, sobe, chegando à fotosfera, se esfria emitindo fóton se contrai e desce novamente. Quando os fótons chegam à fotosfera a maioria consegue chegar ao espaço, são esses que observamos, pois, a fotosfera é tida como superfície do Sol que conhecemos, apesar de em cima da fotosfera ainda existir a atmosfera solar constituída da cromosfera, de uma zona de transição e da coroa solar, todas com baixíssimas densidades, e só visíveis em condições especiais, como eclipses solares.

No decorrer de bilhões de anos as propriedades do Sol mudam lentamente, onde é possível observar que seu raio teve um aumento de 15%, a temperatura aumentou nesse mesmo tempo em torno de 100K e a luminosidade aumentou em 40%. A seguir algumas características de nosso Sol.

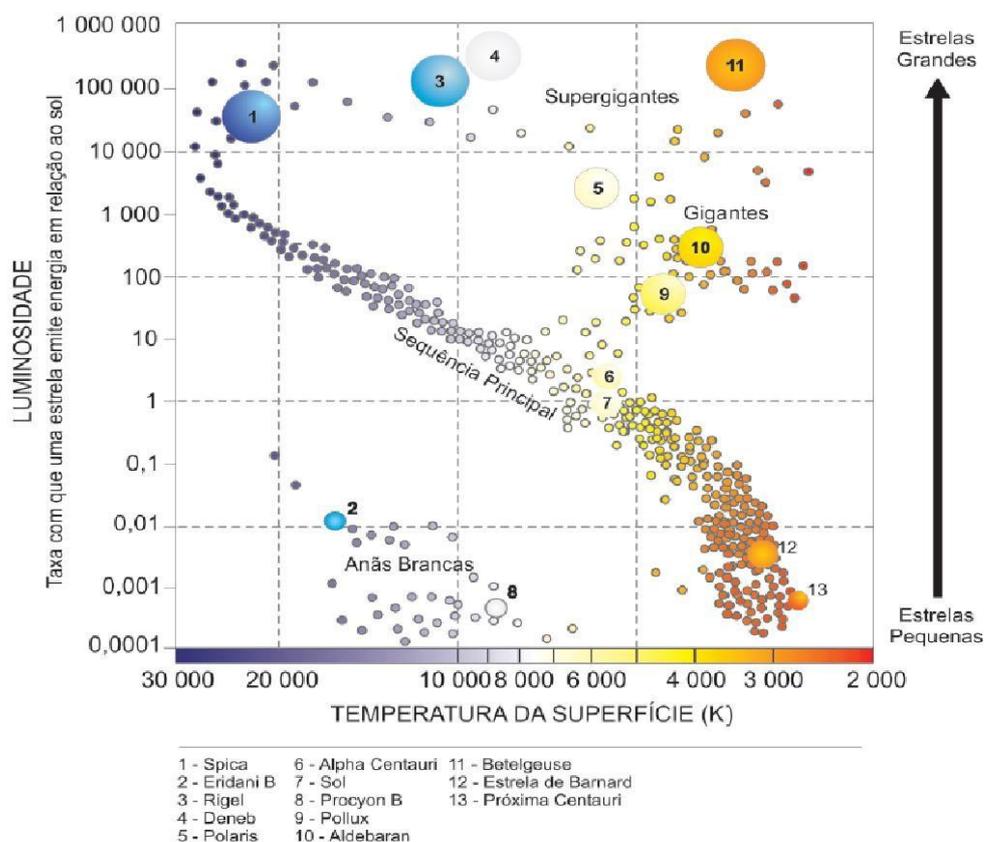
Algumas informações sobre o Sol.

Massa	$1,989 \cdot 10^{30} \text{Kg}$
Raio	$695\,500 \text{Km} = 109 R_{\text{Terra}}$
Distância (1UA)	$149\,600\,000 \text{Km}$
Temperatura Superficial	$5785 \text{K}$

Temperatura Central	15 000 000K
Luminosidade	$3,9 \cdot 10^{26} \text{ W} = 3,9 \cdot 10^{33} \text{ ergs/s}$
Composição Química	Hidrogênio = 91,2%
	Hélio = 8,7%
	Oxigênio = 0,078%
	Carbono = 0,043%

Dentro do nosso Sol cabem aproximadamente 1.300.000 Terras, isso nos mostra o quanto ele é bastante grande comparado com o nosso planeta. Existem estrelas com massa maiores ou menores que a do Sol, estas estrelas podem ser observadas pelo seu brilho, sua cor, a sequência principal, a temperatura e a luminosidade emitida pelas estrelas, como mostradas na figura 12.

Figura 12: Gráfico mostrando a sequência principal das estrelas, em relação a sua temperatura, intensidade luminosa, cor, estrelas pequenas e estrelas grandes.



Fonte: OLIVEIRA; SARAIVA (2014)

A maioria das estrelas em torno de 85%, incluindo nosso Sol, se encontram ao longo da sequência principal e para todas a luminosidade é proporcional à sua temperatura efetiva na 4ª potência e ao seu raio ao quadrado. A figura 12 é conhecida como Diagrama Hertzsprung-Russell (HR) mostra algumas estrelas conhecidas próximas ao Sol e a posição que se encontra em relação as características de temperatura, luminosidade, tamanho e cor. Também podemos observar que as estrelas não se encontram em um único lugar mas se concentram mais na diagonal (sequência principal), outro ponto que o diagrama HR mostra a posição da estrela em relação ao diagrama e não em relação ao espaço, vejamos na figura abaixo algumas estrelas sua posição, temperatura da superfície e luminosidade listada no diagrama HR.

Podemos perceber que a escala de classificação das estrelas se relaciona com a radiação emitida por ela, a radiação eletromagnética, que dependendo da matéria existente em sua composição, a estrela terá a cor (propriedade intrínseca) observada.

O ciclo de vida do nosso Sol na sequência principal é 10 bilhões de anos, hoje a estrela tem a idade aproximadamente de 4,6 bilhões de anos, ocorrendo à conversão de hidrogênio em hélio devido às reações nucleares no núcleo da estrela e está em perfeito equilíbrio hidrostático com a pressão do gás igual à pressão gravitacional. A imagem 13 abaixo é um esquema da sequência de nosso Sol conforme sua evolução.

Figura 13: Sequência de nosso Sol, mostrando do nascimento até sua morte em cada uma das fases de sua evolução



Fonte: WIKIPÉDIA (2017)

Com a evolução estelar, nesta mesma sequência podemos observar que com o passar de bilhões de anos o Sol evoluirá para uma gigante vermelha onde se esgota o hidrogênio e a estrela inicia a fusão do hélio em carbono em seu núcleo e seu raio aumenta em três vezes, na sequência passa para uma supergigante vermelha onde se esgota o hélio no núcleo e passa a queimar hélio em carbono na casca esférica ao redor do núcleo, seu raio passa a ser cem vezes maior o que engloba a órbita da Terra, passando a nebulosa planetária e após a anã branca.

## 15 SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM (SEA)

A SEA foi pensada nos conteúdos e experimentos necessários para que o aluno respondesse à pergunta inicial “*como medir a temperatura do sol?*” evoluindo conceitos da Termodinâmica até conceitos da Física Moderna. A pergunta foi elaborada pensando na contextualização do conteúdo de Termodinâmica, no desenvolvimento cognitivo dos conceitos envolvidos, na introdução da física moderna e na forma não sequencial como os estudantes entram em contato, no dia a dia, com a os conceitos físicos.

O conceito fundamental focalizado nesta sequência de ensino-aprendizagem é a Temperatura, destacando-se as Propriedades Térmicas dos materiais, por observação fenomenológica de experimentos e práticas, inclusive no que se refere às diferentes capacidades dos materiais em mudarem sua temperatura por meio da emissão ou absorção de calor.

Os experimentos trabalhados são simples com o objetivo de destacar os fenômenos térmicos ocorrendo com os materiais. Evidenciando as formas a propagação do calor que evidenciam a capacidade de absorção e a perda de energia. Destacar que a observação dos fenômenos leva a construção de modelos, leis que torna possível construir teorias que as generalizam para explicar outros fenômenos e descobrir novos.

Assim, a física moderna chega com uma nova proposta, a quantização da radiação eletromagnética, para explicar o fenômeno térmico da emissão de radiação de um corpo negro em função da sua temperatura. Esse novo conhecimento é o que leva a capacidade de dar uma resposta a medida da temperatura do sol.

Com o desenvolvimento da Sequência o estudante compreenderá a Temperatura como uma propriedade do corpo, enquanto o calor é a energia que chega ou sai dos materiais e depende de como isso ocorre, qual o processo em que ocorre isso. Como o Calor não é uma propriedade do corpo ele entenderá o fenômeno da sensação térmica e equilíbrio térmico. Se tornará claro a necessidade da existência de uma escala de medidas, e conhecerá o Sistema Internacional de Unidades de Medida para temperatura.

No estudo das Propriedades Térmicas se destaca a necessidade de entender as diferentes capacidades dos materiais de absorver ou emitir calor. Então, o estudante conseguirá compreender o que é capacidade térmica de calor específico e calor sensível, e de calor latente.

Na Sequência será estudada as formas de como é possível mudar temperatura dos materiais, o destaque é a Transferência de Calor. O objetivo é que os estudantes percebam que a transferência de calor ocorre de maneiras diferentes e que consigam entender a irradiação, a condução e da convecção, a ponto de perceber a diferença entre elas. Reconhecendo a irradiação como uma onda eletromagnética como a luz, perceberão que a luz transporta energia e não precisa de um meio para existir ou se propagar.

Continuando com Radiação Térmica e Cor de um Objeto, onde o objetivo é que o aluno perceba que a absorção e a emissão de radiação térmica dependem da cor do objeto, evoluindo o estudo para Física Moderna, conceituando Corpo Negro. Na continuidade dos assuntos abordados a sequência foi a Lei de StefanBoltzmann e Temperatura do Sol com o objetivo de calcular a temperatura do Sol.

Para fortalecer o entendimento deste conceito de Física Moderna, a Lei de StefanBoltzmann e o conceito de corpo negro estudado na aula anterior, a explicação da Lei de Planck e Lei de Wien se mostram muito importante na construção do conhecimento pelos alunos.

Para finalizar a SEA a discussão se dá através da interação da Terra com o Sol por meio da radiação eletromagnética, e usos dessa fonte de energia. Os conteúdos abordados foram Painel Solar, Corpo negro e Energia Elétrica com objetivo que os alunos percebam as implicações tecnológicas, sociais e culturais que envolvem o conceito de energia térmica dentro da Termodinâmica e da Física Moderna.

## PARTE 1: Motivando os alunos

No início da aula o professor conversa com a turma sobre situações que envolvam a Temperatura no cotidiano do aluno. O clima, a temperatura

corporal, aquecimento, a geladeira e frio, termômetros, entre outros assuntos ajudam a direcionar o pensamento, a despertar conhecimento de senso comum. Em seguida instiga a curiosidade fazendo a pergunta de como é possível medir a temperatura do Sol? Neste momento os conhecimentos prévios e o modelo não científico na forma de possibilidades de como responder a pergunta inicial são expostos verbalmente. O professor deve fazer os registros no quadro na forma de um mapa mental, para discussão nas sequências das aulas.

Para elevar a discussão a um nível maior de conhecimento o professor direciona a turma com perguntas como: O que é temperatura? O que medimos? O que medimos? O Sol? Quais as características ou informações sobre o Sol se conhece? Há termômetro para medir a temperatura do Sol? Quais as dificuldades? Como sabemos que ele é quente? O que precisamos aprender para a ação de medir a temperatura? Definir temperatura? Aprender o que significa variar Temperatura? Como conseguimos variar a temperatura? Como observar que a temperatura variou? Há propriedades dos materiais que variam com a temperatura? O que isto significa? Como construir equipamentos que medem temperatura? O que medimos? Para finalizar os questionamentos volta a pergunta inicial, como medir a temperatura do Sol?

Ao finalizar os questionamentos e o mapa mental todos olham para os registros e fazem análise se os conhecimentos são suficientes para responder a pergunta inicial. Os conceitos físicos foram: Termômetro, equilíbrio térmico, temperatura, lei zero, propriedades térmicas, energia, propagação da energia, calor, Lei zero, transferência de energia, propriedades térmicas, agitação das moléculas, energia das moléculas, capacidade térmica, dilatação, calor específico, transição de fase, calor latente, transferência de energia, contato, condução, convecção, radiação, estrutura da matéria, energia cinética e potencial, cor de um objeto, Stefan- Boltzmann, corpo negro, Microscópico x Macroscópico, Lei de Wien e Lei de Planck.

Após, o professor organiza toda a Sequência Didática e expõe na aula seguinte. É importante deixar claro os objetivos de aprendizagem de cada etapa

para que os alunos compreendam a caminhada a seguir e qual conhecimento se pretende construir na busca da resposta à questão inicial: *Como medir a temperatura do Sol?*

PARTE 2: Aprendendo sobre temperatura e propriedades térmicas.

Se inicia colocando aos alunos que o objetivo nesta aula é entender o conceito de Temperatura e a Lei Zero da Termodinâmica. Com um conhecimento não científico do senso comum sobre o que é temperatura ou o que entendem por temperatura ou ainda sobre propriedades térmicas dos materiais. Respostas como febre, calor e frio são frequentes. Porém a fim de elevar o conhecimento comum para o científico é mostrado termômetros de mercúrio e digital, para manusearem e observarem seu princípio de funcionamento. Neste momento o aluno percebe a substância termométrica e o sistema digital do termômetro. Uma explicação sobre o que é o termômetro e seu princípio de funcionamento se faz necessário. Mas o que o termômetro mede de fato? Para responder a esta pergunta se usa o software livre phet do colorado estados da matéria para mostrar a movimentação das partículas para uma mesma temperatura e substâncias diferentes, buscando que o aluno perceba que mesmo o termômetro marcando a mesma temperatura as moléculas das substâncias têm movimentação diferente, sendo uma propriedade do corpo. Também percebem que o termômetro e o que se quer medir tem temperaturas diferentes no início da medição, após um certo tempo, termômetro e o que se está medindo atingem a mesma temperatura, havendo uma troca de energia entre eles até que o equilíbrio térmico seja atingido, a Lei Zero da Termodinâmica. Outro ponto importante no estudo da temperatura são as escalas termométricas (Kelvin, Fahrenheit e Celsius), seu princípio de funcionamento, suas respectivas unidades de medida (SI) e formalização estudadas neste momento.

No estudo das propriedades térmicas a estratégia foi o uso de experimentos, um para os alunos observarem o que estava ocorrendo e as possíveis justificativas e o outro os alunos investigam e buscam a resposta. Foi

realizado na construção do conhecimento dois experimentos (UFJF e UFRGS). O objetivo do primeiro experimento é conceituar calor específico. Os materiais utilizados são três balões, um com ar, um com água e um com areia, três velas acesas em baixo e o suporte, a montagem pode ser vista na imagem 14.

Figura 14: Experimento exemplificando calor específico dentro dos balões havia substâncias diferentes. As velas aquecem os balões, aquele cuja substância tem maior calor específico estourará mais tarde



Fonte: O autor

Os balões estouraram conforme o valor do calor específico da areia, do ar, e da água respectivamente, mostrando para o aluno uma característica importante das substâncias, pois, quanto menor o calor específico da substância, mais ela pode sofrer variações em sua temperatura. No experimento a energia se dissipa mais rapidamente na areia, depois no ar e por último na água, mostrando ao aluno que o calor específico está diretamente relacionado com a quantidade de energia térmica necessária para que ocorra a variação de temperatura e o balão estoure.

No experimento seguinte os materiais necessários são: duas lamparinas feitas de lata de alumínio, quatro vasilhas feitas de lata de alumínio demonstrado na figura 15, fósforo, gelo, água duas velas e termômetros. Acender as lamparinas, colocar em uma das vasilhas 100ml de água e na outra 200ml de água, colocar os termômetros dentro dos recipientes com água, anotar a temperatura inicial e levar ao fogo. Observar o que ocorre em um tempo de 10 minutos. Nas outras duas vasilhas fazer o mesmo procedimento só que agora inserir pedras de gelo em mesma quantidade e observar o que ocorre num intervalo de 10 minutos. A figura 15 mostra a montagem do experimento.

Figura 15: A imagem a esquerda mostra como foi feita a lamparina e os recipientes usados no experimento com latas de alumínio, a figura à direita mostra o experimento montado com termômetro analógico.



Fonte: O autor

Como foi colocado em uma vasilha 100ml de água e na outra 200ml de água, o dobro da mesma substância, os alunos através do termômetro podem visualizar que a temperatura varia de forma diferente nos recipientes. Isso ocorre devido a quantidade de substância em cada recipiente, refletindo a capacidade térmica explícita no experimento. Os outros conceitos trabalhados no experimento são o calor sensível e o calor latente, pois, por exemplo: quando colocamos gelo nos recipientes a temperatura baixou até ficar estável, mostrando o calor sensível devido ao calor absorvido houve uma variação de temperatura até atingir o equilíbrio térmico, sem mudança na estrutura física das moléculas. Na continuidade do experimento não há mudança de temperatura, permanecendo constante, isso ocorre porque o calor trocado não está sendo utilizado para alterar a movimentação das moléculas e sim alterando o grau de ligação entre elas, ou seja, seu estado físico, sendo chamado de calor latente.

Na sequência uma discussão sobre o que foi aprendido no experimento se faz necessário, para o entendimento dos conceitos trabalhados, as unidades de medida (SI), a formalização e como a matemática ajuda a entender as quantidades necessárias para que cada evolução do experimento ocorra.

### PARTE 3: Aprendendo como ocorre a transferência de calor.

Os conceitos a serem abordados agora são calor e transferência de calor, mostrando a diferença de calor e temperatura. O objetivo destes conhecimentos é que o aluno perceba que calor não se propaga da mesma forma e quando cessa os corpos atingem o equilíbrio térmico. No início é feita uma breve explanação sobre transferência de energia térmica com situações do cotidiano do aluno, seguindo com algumas perguntas como: A transferência de energia ocorre da mesma forma? O que vocês percebem quando colocam uma mão na parte de madeira e a outra mão na parte de metal da carteira onde estão sentados?

Alguém pode descrever o aquecimento de uma chaleira cheia de água? Por que nas geladeiras comuns o freezer fica na parte de cima com prateleiras gradeadas e nas geladeiras mais modernas pode estar em cima ou embaixo com prateleiras inteiriças? O que ocorre quando nos aproximamos de uma churrasqueira em funcionamento? Por quê? Para que o aluno perceba que o calor não se transfere de forma igual e que isso está relacionado a uma diferença de temperatura entre sistemas. Após, o aluno segue um roteiro com três experimentos (portal do professor no MEC), um abordando a condução de calor e seu comportamento em diferentes materiais, outro colocando em evidência a convecção de calor e o terceiro a radiação de calor.

A condução é abordada em uma situação com quatro hastes de materiais diferentes (alumínio, cobre, ferro e madeira) com pingos de velas com tachinhas igualmente espaçadas nas hastes. O aluno coloca as hastes em um suporte, em seguida ao mesmo instante coloca uma vela na ponta de cada uma delas, como na imagem 16.

Figura 16: Montagem do experimento que conceitua Transferência de calor por condução. Haste de materiais diferentes transfere calor mais ou menos dificuldades. Cada material recebe pingos de vela igualmente espaçados que ao aquecerem derretem.



Fonte: O autor

A intensidade da condução térmica ocorre devido a condutividade do material, logo, a molécula mais energética transfere energia para menos energética, ganham energia e passam para a próxima. O controle da passagem de calor pela haste é feito através das tachinhas presas com pingos de vela, pois, devido a propagação do calor por condução elas se soltam da haste, isso ocorre até que o equilíbrio térmico se estabeleça.

Para estudar a convecção térmica foi usado um espiral de papel preso por um fio de costura e uma vela a figura 17 mostra como ficou o experimento.

Figura 17: Montagem do experimento Transferência de calor por Convecção. O ar aquecido acima da vela faz a espiral de papel rotacionar.



Fonte: O autor

Ao colocar o espiral acima da vela ele começa a fazer movimento giratório, isso faz o aluno refletir o ocorrido. A convecção térmica ocorre devido

a fonte de energia, movimentar um fluido ou gás por causa da diferença de temperatura no seu interior, então, a convecção térmica transfere calor fazendo com que a matéria suba e desça em um sistema fechado, pois, sua densidade muda de intensidade neste processo. No caso do nosso Sol a energia das reações termonucleares vai do centro a superfície pelo processo de convecção solar.

O terceiro experimento o aluno recebe uma vela para investigar a irradiação, a figura 18 mostra como ocorre.

Figura 18: A imagem mostra como se deve posicionar a mão próximo a vela no experimento Transferência de calor por Irradiação para que não ocorra acidentes.



Fonte: O autor

O aumento de temperatura na mão comprova que tem transmissão de calor sem contato direto com a fonte. Podemos excluir a possibilidade de a energia térmica chegar até a mão por condução e convecção, já, que o ar é mau condutor de calor e o ar aquecido sobe ao invés de ir para os lados ou para baixo. Então a transmissão de calor está ocorrendo de forma diferente, por irradiação. Neste momento o aluno deve entender que a irradiação ocorre através da radiação eletromagnética e não precisa de um meio material para se propagar. Um exemplo é nosso Sol, pois, sentimos o calor irradiado por ele. Entre o Sol e a Terra, no espaço sideral não existe matéria, então, podemos descartar a condução térmica através de algum tipo de material e a convecção térmica, pois, esse tipo de transporte de calor precisa de matéria para se propagar, logo, nosso Sol emite calor na forma de irradiação eletromagnética.

#### PARTE 4: Entendendo o que é Radiação Térmica e Cor de um Objeto.

O objetivo aqui é que o aluno compreenda a relação entre cor de um objeto, radiação eletromagnética, absorção térmica devido a cor, a frequência, o comprimento de onda e corpo negro. No início da aula para motivação da turma foi feita algumas perguntas como: Como o Sol transmite o seu calor até nós? Tem diferença usar uma camiseta branca ou uma preta em um dia ensolarado? Do que a luz visível é composta? Como vemos as cores? Qual a cor que absorve mais o calor? Por quê? Ouviram falar em corpo negro? Com perguntas simples que muitas vezes nem se percebe o porquê isso acontece até perguntas que provavelmente como a de corpo negro não consigam responder. É interessante mostrar aos alunos a figura 19 para que relacionem a cor, frequência e comprimento de onda.

Figura 19: A imagem mostra a faixa da luz visível, encontrando as seguintes cores: luz vermelha, luz alaranjada, luz amarela, luz verde, luz azul, luz anil e luz violeta, relacionando, Cor, Frequência e Comprimento de Onda.



Fonte: WADE (2017).

Relacionar as cores com o arco-íris com a luz do Sol e a radiação eletromagnética se mostra importante neste ponto. O phet do colorado espectro de corpo negro ajuda a conceituar Corpo Negro e Radiação de corpo Negro, pois, mostra graficamente a relação entre temperatura e intensidade luminosa com a frequência. Ainda com o phet busca-se os conceitos da Lei de Wien, Lei de Planck e Boltzmann, mostrando visualmente aos alunos a relação com Corpo Negro.

Para o experimento precisamos uma fonte luminosa próxima a do Sol, então, usa-se software de celular chamado luxímetro para medir a intensidade luminosa das lâmpadas e do Sol, chegando à lâmpada infravermelha de 2500K e 250W utilizada para aquecimento e secagem. A figura 20 mostra imagem do celular e a medida do lux do Sol e da lâmpada respectivamente.

Figura 20: A imagem mostra a intensidade luminosa medida pelo luxímetro do Sol e da Lâmpada escolhida para o experimento. A lâmpada infravermelha fornece a mesma luminosidade que o sol sobre um objeto próximo a ela. Destacamos que o aquecimento ocorrerá em virtude de todo o espectro de radiação da lâmpada.



Fonte: O autor

Agora para o experimento, precisamos de latas de alumínio pintadas de cores diferentes, dentre elas pelo menos uma branca e uma preta, termômetros a lâmpada de aquecimento, e segue as orientações do roteiro investigativo. A figura 21 traz a montagem do experimento.

Figura 21: Aparato e materiais para o experimento que mostra a absorção da Radiação térmica em função da cor de um objeto.



Fonte: O autor

Dentro das latas colocar 250ml de água registra a temperatura inicial e a cada 2 minutos deve fazer movimentos giratórios sem tirar a lata debaixo da lâmpada, num tempo total de 20 minutos. Este experimento reafirma o conceito de corpo negro, neste caso pela absorção e no caso do Sol pela emissão. Outro ponto forte deste experimento é de que a cor da lata está diretamente relacionada a temperatura da água dentro dela, mostrando a característica da absorção da radiação eletromagnética devido a cor (Portal do professor, MEC). Então com este experimento é possível entender a razão de se usar uma lata de alumínio pintada de preto no próximo experimento.

#### PARTE 5: Calculando a Temperatura do Sol.

Esta parte desta TLS é onde será respondida à pergunta inicial, como medir a temperatura do Sol? Então o objetivo aqui é medir a temperatura do Sol, reafirmar o conceito de corpo negro, radiação eletromagnética e o estudo mais profundo da Lei de Stefan-Boltzmann. Para deixar a turma motivada e aumentar as expectativas voltamos a fazer algumas perguntas como: Como calcular a temperatura do sol daqui da Terra? Vimos nas aulas anteriores conceitos de física moderna e conceitos de termodinâmica, como relacioná-los com a temperatura do sol? Neste momento revive toda TLS estudada até agora, pois, estes conceitos são importantes para se chegar à resposta.

Na primeira parte da experiência usamos latas pintadas com tinta fosca preta para evitar ao máximo a reflexão do calor, de tamanhos e dimensões distintas com a mesma quantidade de água, 250ml e segue o roteiro da aula anterior. O objetivo é estabelecer a melhor lata no cálculo da temperatura do Sol. A figura 22 nos mostra a montagem do experimento.

Figura 22: Montagem do experimento de absorção de calor em um corpo negro para mostra a Lei de Stefan – Boltzmann. A fonte de calor é uma lâmpada de potência conhecida, que é fixada numa distância definida.



Fonte: O autor

Foi calculada a quantidade de calor absorvido por cada lata num tempo de 10 minutos, lembrando que deve ser feito movimentos giratórios a cada 2 minutos, dando ênfase na radiação de Corpo Negro e sua capacidade de absorção de calor. Feito isso as equipes escolheram a lata que acharam melhor.

Na segunda parte do experimento os alunos recebem o roteiro investigativo e realizam o cálculo da temperatura do Sol com uso da Lei de Stefan-Boltzmann, a figura 23 mostra como o experimento foi montado.

Figura 23: Montagem do experimento tendo como fonte de radiação o Sol sobre Lei de Stefan – Boltzmann e Temperatura do Sol. A sombra das latas fornecerá a área atingida pelo fluxo de radiação.



Fonte: O autor

O tempo deste experimento foi de 10 minutos, fazendo movimentos giratórios a cada 2 minutos, deixando a mistura homogênea. Após, com os registros dos dados coletados no experimento calculamos a temperatura do Sol seguindo a orientação do roteiro e quando necessário do professor. A sequência da figura 24 mostra um resultado obtido após a experimentação e cálculos necessários para obtenção da temperatura do Sol.

Figura 24: Cálculo da temperatura do Sol.

$$\begin{array}{l}
 \begin{array}{l}
 \bar{T}_0 = 20,6^\circ\text{C} \\
 T = 24,7^\circ\text{C}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} \bar{T}_0 \\ T \end{array}} \right\} \Delta T = 4,1^\circ\text{C} \\
 \hline
 Q = m \cdot c \cdot \Delta T \\
 Q = 250 \cdot 1,4,1 \\
 Q = 1025 \text{ cal} \\
 \hline
 P = Q / \Delta t \quad \times 4,16 \\
 P = 1025 / 600 = 1,708 = 7,151 \text{ J/s} \\
 \hline
 Q_{\text{sol}} = P / A_{\text{sol}} \\
 Q_{\text{sol}} = 7,151 / (6,7 \times 12,3) \\
 Q_{\text{sol}} = 0,08677 \text{ J/s cm}^2 \\
 \hline
 P_{\text{sol}} = Q_{\text{sol}} \cdot A_{\text{T-S}} \\
 P_{\text{sol}} = 0,08677 \cdot 28,26 \cdot 10^{26} = 2,4521202 \cdot 10^{26} \text{ J/s} \\
 \hline
 P_{\text{sol}} = A_{\text{sol}} \cdot 6 \cdot T^4 \\
 2,4521202 \cdot 10^{26} = 3449,778232 T^4 \\
 \hline
 A_{\text{T-S}} = 28,26 \cdot 10^{26} \text{ cm}^2 \quad P_{\text{sol}} = 2,4521202 \cdot 10^{26} \text{ J/s} \quad T = 5163,42 \text{ K}
 \end{array}$$

Fonte: O autor

Após 10 minutos de exposição ao Sol a variação de Temperatura foi de  $4,1^\circ\text{C}$ , com este resultado calculamos a quantidade de calor,  $Q = m \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta T$  recebida pela água durante o tempo de exposição ao Sol, considerando  $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ . Não será considerado o calor recebido pela lata porque a massa da lata é pequena em relação à massa de água e o calor específico da lata também pequeno em relação com o da água. Com o resultado da quantidade de calor absorvido no experimento determinamos a potência da radiação solar ( $E_{\text{total}}$ ) equivalente recebida por segundo,  $P = E_{\text{total}} / \Delta t$ , considerando que  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ . Seguindo com o cálculo da energia da radiação recebida pela água por segundo e por unidade de área,  $Q_{\text{sol}} = (P/A)$ . Onde  $A$  é a área da sombra da lata. calculamos a área da esfera que a energia irradiada pelo Sol atravessa:  $A_{\text{total}} = 4\pi R^2$ , onde  $R$  é a distância Terra-Sol. Onde:  $R = 150\,000\,000 \text{ km} = 1,5 \times 10^{13} \text{ cm}$ . Na sequência calculamos a energia total ( $E_{\text{total}}$ ) ou potência total irradiada pelo Sol por segundo, isto é, a potência do Sol e o tempo será dada pela equação  $P_{\text{total}} = Q_{\text{sol}} \cdot A_{\text{terrasol}}$ . Por fim, usamos a Lei de Stefan-Boltzmann

$P_{\text{total}} = A \cdot \sigma \cdot T^4$  radiação de Corpo Negro. Onde:  $\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann (com valor de  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ ) e  $r_{\text{sol}} = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$ , para obtenção da temperatura do Sol. Comparamos o resultado com o valor de referência  $P_{\text{total}}^{\text{referência}} = 3,92 \times 10^{26} \text{ W}$  e  $T_{\text{sol}} = 5\,727 \text{ K} = 6\,000^\circ\text{C}$ .

Comparando o resultado obtido no experimento e o valor de referência, os alunos percebem que o resultado não é o mesmo. Professor e alunos buscam justificar a diferença no resultado e o porquê isso ocorreu. No caso deste cálculo podemos perceber que houve um erro de 9,84%, que foi considerado pelo grupo aceitável devido às condições do experimento realizado.

Não pretendemos um cálculo exato do valor da temperatura, mas, um que se aproxima de nossa estrela, o Sol (IFUFRGS).

## PARTE 6: Explorando o Conhecimento

O objetivo para finalizar a SEA é de que os alunos percebam as implicações tecnológicas, sociais e culturais que envolvem o conceito de energia térmica dentro da Termodinâmica e da Física Moderna. Pois, os PCNs de física dão ênfase à compreensão de fenômenos tecnológicos.

A discussão se dá através da discussão da Terra com o Sol por meio da radiação eletromagnética, e usos dessa fonte de energia. A aula se inicia com uma incentivação, motivando os alunos a expor os conhecimentos científicos adquiridos da TLS e os conhecimentos do senso comum, fazendo perguntas como: O que é radiação eletromagnética? O que é um corpo negro? O que é um painel solar? Como funciona o painel solar? O que é transformação de energia? Como podemos usar essa energia transformada? O que é tensão elétrica? O que é corrente elétrica? O que é resistência elétrica? O que é um multímetro? Na forma de discussão com a turma.

Essa discussão se faz necessária para se chegar ao painel solar e o que ele faz. O painel solar pode ter sua função na forma fotovoltaica e térmica, gerando energia elétrica e térmica, que vai depender da finalidade dele. Neste experimento a função do painel solar será fotovoltaica, ou seja, conversão direta

da radiação absorvida em energia elétrica. Isso ocorre devido a células fotovoltaicas que são compostas de materiais semicondutores (resistência elétrica), como o silício que ao serem atingidos pela radiação luminosa (Sol, lâmpadas etc.) faz com que os elétrons se movam (corrente elétrica) no material condutor até que o campo elétrico seja formado devido a uma d.d.p. (diferença de potencial elétrico) entre os semicondutores, gerando eletricidade. A captação da radiação pelo painel solar vai depender da densidade de nuvens no céu, quanto mais limpo estiver maior será sua eficiência.

A discussão segue com corpo negro, lembrando o conceito aprendido durante a TLS e agora, a relação com painel solar. O painel solar precisa da presença do Sol para funcionar perfeitamente, a radiação eletromagnética emitida pelo corpo negro (Sol) será absorvida pelo painel que converterá em energia elétrica. Mas será que só a radiação solar faz isso? Na verdade, o que buscamos aqui é mostrar ao aluno que o painel solar necessita de radiação luminosa, o que significa que se tiver uma lâmpada (podendo ser considerada como corpo negro neste caso) qualquer ele converterá essa energia luminosa em energia elétrica, mas, sua intensidade de produção vai depender da intensidade luminosa da lâmpada (Potência elétrica).

A energia elétrica solar é considerada nos dias de hoje uma energia limpa e pode ser utilizada em qualquer equipamento elétrico. A partir deste ponto introduzimos o conceito de corrente elétrica, tensão elétrica (d.d.p.), resistência elétrica, circuito elétrico e as aplicações tecnológicas a partir deste conhecimento científico.

Seguindo com uma explicação sobre o funcionamento do multímetro e as ligações necessárias para medidas elétricas de resistor, corrente e tensão elétrica, as conexões da lâmpada, do painel solar e área do painel solar exposta x produção de tensão elétrica, vista através do multímetro. Os alunos recebem roteiro investigativo e desenvolvem o experimento. A figura 25 mostra a montagem.

Figura 25: A imagem à direita mostra os materiais utilizados no experimento com o suporte que direciona a radiação luminosa, multímetro, painel solar e lâmpadas e a imagem à esquerda destaca o painel solar e o multímetro.



Fonte: O autor

O experimento foi realizado com três lâmpadas distintas onde o aluno percebe que a potência da lâmpada e a área exposta do painel solar, está diretamente relacionado com a produção de energia elétrica.

Então abordamos os conceitos dentro da eletricidade de tensão elétrica, corrente elétrica, resistência elétrica e medidor elétrico (multímetro) ficando no cognitivo do aluno, sendo aprofundados no terceiro ano do EM (Portal do professor, MEC).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta aqui apresentada visa introduzir o conceito de corpo negro, um dos conceitos fundamentais que originou a teoria da Física Quântica, no ensino médio a partir de uma questão simples que pode ser feita por qualquer pessoa que tenha a curiosidade de conhecer a natureza. A pergunta “como medir a temperatura do sol?” é uma questão que pode surgir da observação da natureza associada as práticas cotidianas de verificar a temperatura climática, corporal, dos objetos, entre outras coisas. Além de atender as recomendações de contextualização do ensino de física, o trabalho pressupõe que o papel da educação básica é, entre outras coisas, desenvolver a curiosidade dos estudantes e incentivar a busca pelo conhecimento. As características da emissão de radiação por um Corpo Negro não conseguiam explicação a partir do conhecimento da Física existente no final do século XIX. Quando em equilíbrio termodinâmico a taxa de emissão é igual à taxa de absorção. Sabia-se que o espectro de radiação emitida dependia da temperatura do corpo, de forma que obtido o espectro se podia determinar a temperatura. A explicação veio a partir da proposta de Max Planck, essencialmente teórica, de introduzir nas fórmulas conhecidas um valor de energia que era números inteiros de uma constante  $h$ , que ficou conhecida como constante de Planck, que significava a quantização da energia e o início de uma revolução nas estruturas da Física.

Evidentemente que o conhecimento foi evoluindo até chegar ao ponto em que não havia explicação plausível nos paradigmas vigentes. Com as possibilidades de medição de temperatura em escalas confiáveis, foi possível estudar os fenômenos térmicos. Tornou-se possível a caracterização de propriedades físicas que modificam com a temperatura e como cada corpo absorve ou emite energia. Grandezas como capacidade térmica, calor específico, calor latente das transições de fase surgem na construção da Termodinâmica e serão fundamentais tanto tecnologicamente quanto na estruturação da Física. Deve-se destacar a importância da temperatura na identificação do espectro não visível, da radiação infravermelha e ultravioleta.

Contudo isso, foi possível estudar os gases e obter espectros que levaram ao surgimento do conceito de corpo negro. Esse dinamismo da ciência e suas consequências para o cotidiano da sociedade, pode ser usado para sensibilizar o aluno. É importante mostra que a ciência está em constante evolução. Mas, só evolui por causa do seu rigor metodológico de duvidar, testar e provar.

Em termos metodológicos, na área pedagógica, pode-se afirmar que a proposta do trabalho flerta com a Metodologia de Ensino pela Pesquisa, ou pela Metodologia Baseada em Problemas. Pois, partindo-se de um questionamento, ou problema inicial, se desenvolve estudos, atividades e ações que buscam a construção do conhecimento necessário para respondê-la. A forma como a sequência é desenvolvida em sala de aula é uma decisão do professor considerando a realidade do ambiente e condições de trabalho.

Na sequência de aprendizagem proposta aqui há uma preocupação de que as atividades sejam objetivas com foco no que deve ser aprendido evitando que as dificuldades de produção, construção e montagem dos experimentos tragam distrações ou perdas de tempo. Acredita-se que estas dificuldades desestimulam os estudantes, principalmente os menos ativos. Além disso, o resultado perde importância, e o tempo para observações, análises e outros questionamentos que levam ao aprendizado pretendido e discussão daqueles subjacentes, que necessariamente surgem, torna-se inexistente ou muito pouco.

No entanto, dos conhecimentos subjacentes que aparecem é possível destacar é exatamente a metodologia científica. Um dos métodos da pesquisa científica mais básico é aquele que envolve a observação, a definição da pergunta, a elaboração das hipóteses, o estudo, a construção do conhecimento que possibilitará comprovar ou não as hipóteses. A abordagem deste trabalho permite o desenvolvimento das competências e se inseri em dois eixos estruturantes da BNCC para o ensino médio: Investigação Científica e Processos Criativos.

A abordagem proposta não segue a linearidade cronológica dos estabelecimentos dos conceitos, nem a linearidade do desenvolvimento padrão

dos currículos e livros textos. Talvez a linearidade e a morosidade dos livros textos e currículos sejam fatores que desestimulam os estudantes. No cotidiano os conceitos físicos, ou das ciências, não se apresentam de forma organizada em áreas, nem de forma cronológicas ou por períodos. De uma pergunta simples, advinda de uma observação curiosa, relacionada a terminologia se estrutura uma sequência de aprendizagem que envolve a Termodinâmica, o Eletromagnetismo, a Óptica, a Astronomia e a Física Moderna buscam-se estudos nessas áreas para estabelecer o conhecimento capaz de dar conta da resposta. Evidentemente que se mergulha no mar da Termodinâmica, mas se usa o barco, os remos e as velas da Óptica e da Astronomia para se chegar a praia da Física Quântica. Para os estudantes isto é um exemplo de quão amplo é o conhecimento necessário para se responder uma pergunta simples. Além disso, é possível mostrar quantas outras perguntas são respondidas, ou outras não. Por exemplo, como medir a distância da terra ao sol? Ou como medir a massa da terra e do sol? Não temos régua, ou fita métrica e balança, capaz dessa proeza. Então, como é possível que os cientistas conseguem? É evidente que no ensino médio não se está formando físicos ou engenheiros. A formação é de cidadãos que decidiram sua formação mais adiante. Portanto, não se torna necessário ensinar o rigor da estrutura teórica da física. Do jeito que os livros didáticos apresentam seguindo um modo baseado apenas na estrutura matemática da física, onde o estudante é avaliado se sabe fazer as contas, não deve ser a melhor forma de ensinar física.

Muito se critica em relação a matematização das aulas de física, isso não significa ser contrário a utilização da matemática no ensino de física. Um dos problemas é a matemática se tornar o foco, são as equações se tornarem foco e a fonte das frustrações do aprendizado. Para os alunos o sucesso significa encontrar o resultado numérico exato solicitado no problema, qualquer solução diferente é frustrante. É certo que problemas de formação em matemática leve a dificuldade de trabalhar com as equações. No entanto, a matemática é uma linguagem e uma ferramenta essencial para a física. Mas, é importante entender essa linguagem expressa comportamentos físicos observáveis que se pretende resumir e comunicar. Então, torna-se necessário

focar o ensino no fenômeno físico para expor o comportamento das variáveis e conceitos observáveis e derivados. Esse comportamento pode ser expresso por equações matemáticas exatas, no entanto há limitações físicas, há condições do mundo real que não importa para matemática. Contudo, as equações permitem fazer previsões em relação as variáveis, ou até mesmo variável não prevista, que pode levar a testar a ampliação das hipóteses e interpretações do fenômeno observado.

Aqui surgem equações que relacionam variáveis observáveis, equações que são testadas e aprovadas para descrever fenômenos físicos. O propósito de seu uso não é trabalhar matematicamente, é mostrar qual o fenômeno que ela representa e que seu uso permite calcular, prever uma situação, um comportamento e obter resultados que nos dá uma ideia inclusive de valores. Para o caso do Sol é certo que há detalhes e conhecimentos mais profundos para descrever as características do comportamento da sua temperatura, mas não um estudo, ou pesquisa completa não é objetivo do trabalho.

Quando a questão inicial é exposta para os alunos as respostas virão sustentadas nas concepções espontâneas a partir do conhecimento, pode ser até escolar, decorrente de aprendizagens anteriores. Assim, é um bom momento para registro e posterior análise do conhecimento prévio da turma.

A pergunta seguinte deve ser uma provocação para o estudo e a pesquisa que possibilite responder à questão inicial. É importante ouvir os alunos mais é fundamental que se lance perguntas que direcione o estudo. Questões como “o que é temperatura?”, “que é o sol?”, pode direcionar o estudo para a caracterização e levantamento de dados sobre o sol, e buscar a definição de temperatura.

Perguntar “como percebe-se o sol?”, significa como interagimos com o sol, leva a questão da luz do sol, da gravidade e podendo chegar aos ventos solares. Nesses questionamentos podem surgir como medir a distância da terra ao sol ou como medir a massa do sol. A importância de um estudo sobre o sol passa por sua importância para a vida na terra e agora, mais do nunca, como uma fonte de energia. Neste momento pode-se avaliar se a curiosidade inerente a um cientista foi despertada. A definição de temperatura leva a observação

de propriedades termométricas que conduz ao estudo da absorção e liberação de energia, de calor, ao estudo da capacidade térmica dos materiais e até transição de fase. A questão de como é possível modificar a temperatura das coisas, pode levar ao estudo da transferência de calor por condução, convecção e irradiação. Das propriedades termométricas é importante destacar a mudança de cor. Isto aliada a irradiação conduzirá o estudo para o campo que envolve o espectro de radiação. Mostrando-se a dependência do espectro de radiação com a temperatura, se introduz o conceito de corpo negro, se encaminha o estudo para mostrar as relações entre variáveis e a entrada triunfal das equações de Wien e de Stefan – Boltzmann. Na introdução do conceito de corpo negro uma pesquisa histórica gera uma possível leitura sobre o início da quantização da radiação, e da física quântica, destacando-se a proposta de Planck.

Finalmente, observa-se que este produto educacional pode gerar uma dinâmica de estudos que proporciona uma possibilidade de aprendizagem que se amplia a medida em que pode agregar a capacidade de ensino do professor, com sua iniciativa e boa formação, a curiosidade e interesse dos alunos em aprender mais sobre a natureza e a ciência. Evidentemente, as condições de trabalho é um definidor das ações e atividades, mas a proposta atende os parâmetros e as recomendações do ensino básico nacional com conteúdo curricular e promoção de desenvolvimento de habilidades e competências.

## REFERÊNCIAS

BACHELARD, G. A filosofia do não. In: **Os pensadores**. PESSANHA, J. A. M. São Paulo: Abril Cultural, p. 4-87, 1978.

BARBOSA, Gabriel José Guimarães. Termodinâmica. Projeto Rumo ao ITA. 2017. **Apostila**. Disponível em: <[https://rumoaoita.com/wpcontent/uploads/2017/02/gases\\_termodinamica\\_teoriam\\_ita.pdf](https://rumoaoita.com/wpcontent/uploads/2017/02/gases_termodinamica_teoriam_ita.pdf)>. Acesso em: 06 set. 2017.

BORGES, O. Formação inicial de Professores de Física: Formar mais! Formar melhor! **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 28, nº 2, p. 135-142, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Lei nº 9.394/96, de 20 de dezembro de 1996.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Fundamental. **Parâmetros curriculares nacionais**. Brasília: MEC/SEF, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros curriculares nacionais – Ensino Médio**. Brasília: SEMTEC/MEC, 2000.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura – Secretaria de Educação Básica. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCN+)**, 2002.

BRASIL, Ministério da Educação e Cultura. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+)**. Ciências da Natureza e Matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais**. Ciência da Natureza e Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular – BNCC 2ª versão**. Brasília, DF, 2016.

BRITO, Rosa Maria Cavalcanti; **O Professor, a Aprendizagem Significativa e a Avaliação: Base para o Sucesso Escolar Do Aluno**. Disponível em PDF em: <[http://www.anpae.org.br/seminario/ANPAE2012/1comunicacao/Eixo03\\_38/Rosa%20Maria%20Cavalcanti%20Brito\\_int\\_GT3.pdf](http://www.anpae.org.br/seminario/ANPAE2012/1comunicacao/Eixo03_38/Rosa%20Maria%20Cavalcanti%20Brito_int_GT3.pdf)>. Acesso em: 01 set. 2017.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula.** São Paulo, 2013.

COLLINS, A., JOSEPH, D.; & BIELACZYK, K. (2004). **Design research: Theoretical and methodological issues.** *Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.

DINIZ, Leonardo Gabriel. Através do universo – Qual é a idade do universo? **Grupo de Estudos e Divulgação de Astronomia – GEDAI.** INTERCAMP do CEFET. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <<http://www.gedai.cefetmg.br/2018/07/12/atraves-do-universo-qual-e-a-idade-douniverso/>>. Acesso em: 02 fev. 2018.

GOUVEIA, Rosimar. **Condução Térmica.** 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/conducao-termica/>>. Acesso em: 11 set. 2017.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: mecânica.** Volume 1. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: gravitação, ondas e termodinâmica.** Volume 2. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo.** Volume 3. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

HALLIDAY D.; RESNICK R. e WALKER J. **Fundamentos de Física: óptica e física moderna.** Volume 4. 8ª edição. Editora LTC, 2009.

HAMILTON, Calvin J. **O sol.** Traduzido por Kepler Oliveira. 1997. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/ast/solar/portug/sun.htm>>. Acesso em: 01 set. 2017.

KEPLER S. Oliveira e Saraiva; OLIVEIRA Maria F. **Astronomia e Astrofísica.** Porto Alegre. 1994.

KIKUCHI, L. A.; ORTIZ, A. J.; BATISTA, I. L. Ensino de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: uma análise do que se tem discutido a respeito do assunto. *In: IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013, Águas de Lindóia. Anais [...] IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, 2013. v. 1. p. 1-9.*

KNEUBIL, Fabiana Botelho; PIETRECOLA, Maurício. **A PESQUISA BASEADA EM DESIGN: VISÃO GERAL E CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS,** 2017. Artigo.

LEMKE, J.L., **Aprender a hablar Ciencia,** Buenos Aires, Paidós, 1997.

LEITHOLD, Angelo Antonio. PEREIRA, Oneide José. **O Sol**. Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE - Faculdades Integradas Espírita - FIES - Campus de pesquisas geofísicas Major Edsel de Freitas Coutinho - Convênio 2006-2012.

2010. Disponível em:

<<https://sites.google.com/site/anomaliamagneticaatlanticosul2/home/sol>>.

Acesso em: 06 set. 2017.

MARTINI, Gloria; SPINELLI, Walter; Reis, Hugo Carneiro; SANT'ANNA, Blaidi. **Conexões com a Física 2**. São Paulo – Editora Moderna, 2014.

MÉHEUT, M.; PSILLOS, D. **Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research**. *International Journal of Science Education*. v.26.n 5. 2004.

MOREIRA, Marco A. **Teoria da aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999. 195p. ISBN 851232140.

MOREIRA, M.A. **Aprendizagem significativa crítica. Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa**, Lisboa (Peniche), 2000.

MOREIRA, M.A. OSTERMANN, F.; **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no ensino médio"**. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 5, nº. 1, 2000.

MOREIRA, Marco A.; MASSORI, Neuza. **Noções básicas de epistemologias e teorias de aprendizagem como subsídios para a organização de seqüências de ensino-aprendizagem em ciências/física**. Instituto da física – UFRGS, 2016

MOREIRA, Marco Antônio; **Aprendizagem Significativa: Um Conceito Subjacente** (pdf), 2017. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>>. Acesso em novembro de 2017.

MULLER, Alexei Machado; Saraiva, Maria de Fátima Oliveira; Saraiva, Kepler de Souza Oliveira. Aula 6 - Teoria da Radiação. **Apostila**. PDF. Disponível em: <[https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n30\\_Muller/aula2/aula2f.pdf](https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n30_Muller/aula2/aula2f.pdf)>. Acesso em: 10 out. 2017.

NOVAES, Marcel e Studart, Nelson. **Mecânica Quântica Básica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. (Série MNPEF)

NUSSENZVEIG, H.M., **Curso de Física Básica**, v. 1, São Paulo: Edgar Blücher LTDA, 1987.

NUSSENZVEIG, H.M., **Curso de Física Básica**, v. 3, São Paulo: Edgar Blücher LTDA, 1987.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica** – vol. 4. 1ª ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso Básico de Física 2 - Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**, 4ª edição, Ed. Edgard Blücher Ltda., São Paulo 2002.

PEREZ, Silvana. **Mecânica Quântica. Um curso para professores da Educação Básica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016. (Série MNPEF, v. 3).

PIAGET, Jean. **A Equilibração das Estruturas Cognitivas. Problema central do desenvolvimento**. Trad. Álvaro Cabral. Rio de Janeiro: Zahar, 1976.

PIAGET, Jean. **Conversando com Jean Piaget**. Rio de Janeiro: Difel, 1978.

PIAGET, Jean. **Fazer e Compreender**. Trad. Cristina L. de P. Leite. São Paulo: Melhoramentos; EDUSP, 1978. 186p.

PIETROCOLA, M., OLIVEIRA, R. C. (2005). A. Análise do Sucesso das Estratégias e Recursos Didáticos Utilizados em uma Proposta Curricular de Física Moderna e Contemporânea para o Ensino Médio. In **Anais... V ENPEC – SP**. Bauru, SP.

PIETROCOLA, Maurício. **Inovação curricular em física: transposição didática e a sobrevivência dos saberes**. Trabalho apresentado em mesa redonda no Encontro de Pesquisa em Ensino de Física – 2008

POLITO, Antony M. M. **A Construção da Estrutura Conceitual da Física Clássica**. Série MNPEF, v. 2, São Paulo: Editora Livraria da Física, 2016.

PSILLOS, D., TSELFES, V.; KARIOTOGLOU, P. An Epistemological analysis of the evolution of didactical activities in teaching-learning sequences: the case of fluids. **International Journal of Science Education**, 2004.

RIGDEN, J.S. **American Journal of Phisycs**. P.1067, 12 de dezembro, 1986.

ROCHA, José Fernando; PONCZEK, Roberto I. Leon; PINHO, Suani T.; ANDRADE, Rubim de; SILVA, Roberto F.; JUNIOR, Olival Freire; FILHO, Aurino Ribeiro. **Origens e Evolução das Ideias da Física**. Ed. EDUFBA, 1ª ed., Salvador, 2002.

ROONEY, A., **A História da Física: Da Filosofia ao Enigma da Matéria Negra**. Ed. M.Books do Brasil, 2013.

RUDOLF. **A temperatura mais baixa é...** 2017. Disponível em:

<<http://rudolf.pt/ciencia/temps/kelvin.htm>>. Acesso em: 09 set. 2017.

STENSMANN, Berenice Helena Wiener. Propagação do Calor. 2017. **Instituto de Física**. Mestrado Profissionalizante em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008\\_02/Berenice/aula3.html](http://www.if.ufrgs.br/mpef/mef008/mef008_02/Berenice/aula3.html)>. Acesso em 01 set. 2017.

SILVA, Sandra Maria da. **Uma Experiência de inserção de astronomia e física moderna no ensino médio a partir do sol**. Natal, 2015.

SILVA JÚNIOR, Joab Silas da. O que é infravermelho? **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilestola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-infravermelho.htm>>. Acesso em 10 de set. de 2017.

SCHUTZ, B. **A First Course in General Relativity**. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

TERRAZAN, E. A. **A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau**. Caderno Catarinense de Ensino de Física. Florianópolis, v. 9, n. 3, p. 209-214, dez. 1992.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. Rio de Janeiro, LTC Editora, 2010.

VALADARES, E. C; MOREIRA, A M. **Ensinando Física Moderna no segundo grau: efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro**. Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 15, n. 2: p. 121-135, ago. 1988.

VERONEZ, Wanderley Marcílio. **Experimentos sobre absorção e emissão de radiação térmica e visível com adaptação do Cubo de Leslie**. Ponta Grossa, 2016.

VYGOTSKY, L. S. (1962). **Thought and language** (E. Hanfmann & G. Vakar, Eds. and Trans.). Cambridge, MA: MIT Press. (Original publicado em 1934)

WADE, Elton. **A interpretação quântica e relativística da natureza - as ciências naturais e a matemática no mundo atual**. Conscientização do espectro autista. 2017. Disponível em: <<https://medium.com/@eltonwade/cap%C3%ADtulo-3-efeitofotoel%C3%A9trico-3de7f9fd9416>>. Acesso em: 04 set. 2017.

WIKIWAND. **Radiação eletromagnética**. Artigo coletivo. Disponível em: <[https://www.wikiwand.com/pt/Radia%C3%A7%C3%A3o\\_eletromagn%C3%A9tica](https://www.wikiwand.com/pt/Radia%C3%A7%C3%A3o_eletromagn%C3%A9tica)> . Acesso em: 01 set. 2017.

## **APÊNDICE -Orientações da TLS**

### Aula 1: Mobilização.

#### **(1h/a) Incentivando os alunos.**

Caro professor, o objetivo desta aula inicial é incentivar os alunos na busca da resposta à pergunta COMO MEDIR A TEMPERATURA DO SOL?, na forma de mapa mental. Portanto já no início da aula faça a pergunta aos alunos, apresente alguns fatos importantes sobre o Sol e deixe que interajam entre si sobre a pergunta. Ande pela sala e interaja com os alunos de forma que pensem ainda mais de como responder a pergunta, quais conhecimentos serão necessários para isso.

#### **Seguindo em frente.**

Nesta etapa explique a pergunta, fale sobre processos de medição, sobre instrumentos de medida de Temperatura e explique mapa mental a turma. Em seguida distribua uma folha com as perguntas: O que medimos? O que é temperatura? O Sol tem temperatura muito alta? Quais as dificuldades dessa medição? O que precisamos aprender para responder a pergunta? Definir temperatura? Aprender o que significa variar temperatura? Como conseguimos variar a temperatura? Como observar que a temperatura variou? Há propriedades dos materiais que variam com a temperatura? O que isto significa? Como construir equipamentos que medem temperatura? O que medimos? Como medir a temperatura do Sol? deixando que os alunos interajam entre si por um tempo. Agora monte com eles o mapa mental no quadro direcionando a turma sobre os conhecimentos necessários para se chegar a resposta da pergunta. Explique a eles que os conhecimentos necessários expostos no mapa mental serão distribuídos em uma sequência de ensino-aprendizagem (TLS) com início na próxima aula. Professor, espera-se que ao final da aula os conceitos físicos necessários para responder à pergunta, Como medir a temperatura do Sol? sejam: Termômetro, equilíbrio térmico, temperatura, lei zero, propriedades térmicas, energia, propagação da energia, calor, Lei zero, transferência de energia, propriedades térmicas, agitação das moléculas, energia das moléculas,

calor, capacidade térmica, dilatação, calor específico, transição de fase, calor latente, transferência de energia, contato, condução, convecção, radiação, estrutura da matéria, energia cinética e potencial, Stefan-Boltzmann, corpo negro, Lei de Planck, Lei de Wien, Microscópico x Macroscópico.

Aula 2: A sequência de ensino-aprendizagem (TLS). (2h/a)

**O início, entrando no clima. (1h/a)**

O objetivo neste ponto professor é conceituar temperatura, temperatura de um corpo e escalas termométricas. Professor, no início da aula faça as perguntas: O que vocês entendem por temperatura? Como você sabe que está com febre? O que é temperatura? dando um tempo para discutir e formular uma resposta no caderno. Discuta com os alunos as respostas, direcionando a conversa para o conceito de temperatura. Use o software phet do colorado estados da matéria: básico, uma aproximação do mundo microscópico das moléculas, no laboratório de informática ou na tv para mostrar ao aluno que a energia interna das substâncias neônio, argônio, oxigênio e água são diferentes para uma mesma temperatura, generalizando para todas as substâncias. Neste ponto o conceito de temperatura deve estar claro ao aluno. Em seguida distribua termômetros para os alunos manusearem e vivenciar o mundo macroscópico da temperatura, buscando observar o aumento ou diminuição da coluna líquida, a substância termométrica do termômetro, dando ênfase na medição da temperatura, o tempo que isso leva e quando cessa o que aconteceu? Levando o aluno ao conceito de equilíbrio térmico, a Lei zero da termodinâmica. Para finalizar esta aula falar de escalas termométricas e estabelecer uma relação entre as três principais, escala Celsius, escala Fahrenheit e escala Kelvin. Deixe três exercícios para os alunos fazerem e entregar na próxima aula.

**Preparando para o estudo do calor. (1h/a)**

Professor, o objetivo aqui é que o aluno consiga diferenciar calor específico, de capacidade térmica e calor sensível de calor latente. No

início da aula fazer uma breve explicação com exemplos do cotidiano do aluno como por exemplo: se for fazer uma xícara de café quanto de água coloco na chaleira para esquentar? e se colocar o dobro o que ocorre? por quê? com o café pronto que tipo de recipiente devo utilizar para tomar? posso utilizar um recipiente de alumínio? por quê? De posse das respostas, partiu experimentar.

#### Experimento 1: Conceituando Calor específico

Materiais: 3 balões, 3 velas, areia, água, suporte para prender os balões, colocar a areia e a água dentro do balão com mesma quantidade, ficando um balão com areia, um com água e outro com ar, prender os balões no suporte e abaixo deles colocar as velas acesas ao mesmo tempo e observar o que ocorre. A figura 1 abaixo mostra como ficou a montagem do experimento.

Figura 1: Montagem do experimento calor específico.



Foto: O autor

Professor, este experimento é feito por você, os alunos observam e buscam justificar o ocorrido. O professor lembra os alunos das respostas das perguntas iniciais e direciona os alunos dando informações sobre o calor específico da areia, do ar e da água, respectivamente, diz também que quanto menor o calor específico mais a substância consegue variar sua temperatura, conseqüentemente estourando o balão. Um exemplo como um dia de Sol na praia citando a areia e a água e suas respectivas temperaturas durante o dia e durante a noite pode ajudar no entendimento do conceito de calor específico, chegando a resposta de

que é uma característica da substância. Peça relatório do experimento com detalhes.

Experimento 2: Agora os conceitos estudados serão, calor latente, calor sensível e capacidade térmica.

**Materiais:** 2 lamparinas, 4 vasilhas, fósforo ou similar, gelo, água, 2 velas, termômetros, acender as lamparinas, colocar em uma das vasilhas 100 ml de água e na outra 200 ml de água, colocar os termômetros dentro dos recipientes com água, verificar a temperatura e levar ao fogo, observar o que ocorre. Nas outras duas vasilhas fazer o mesmo procedimento só que agora inserir pedras de gelo em mesma quantidade e observar o que ocorre. A figura 2 mostra a montagem do experimento.

Figura 2: Montagem experimento capacidade térmica, calor sensível e calor latente.

$$\begin{array}{l} T_0 = 20,6^\circ\text{C} \\ T = 24,7^\circ\text{C} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} T_0 \\ T \end{array}} \right\} \Delta T = 4,1^\circ\text{C}$$


---


$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$


---


$$Q = 250 \cdot 1 \cdot 4,1$$


---


$$Q = 1025 \text{ cal}$$

Foto: O autor

Professor, chame a atenção dos alunos sobre a substâncias dentro dos recipientes ser a mesma, logo, o calor específico também será o mesmo, em seguida, pergunte aos alunos se a variação de temperatura dos recipientes está sendo na mesma proporção. Conceitue junto com os alunos capacidade térmica como sendo característica da massa de substância em cada recipiente. Na continuidade do experimento continue motivando o aluno na observação da variação de temperatura nos recipientes, para perceberem que chega um momento em que a temperatura não estará mudando, explicando que houve uma variação na temperatura, sem mudança na estrutura física das moléculas, e isso, é o calor sensível. Na sequência do experimento professor, chame a atenção do aluno para o fato de que a temperatura não está variando,

permanecendo constante, agora o calor trocado está sendo utilizado para alterar o grau de ligação entre as moléculas, mudando seu estado físico e isso é chamado de calor latente. Professor, faça uma discussão sobre os conceitos aprendidos nos experimentos, formalize os conceitos, mostre como a matemática ajuda nas quantidades necessárias de calor para que cada etapa da experimentação ocorra e suas respectivas unidades de medidas (SI). Peça relatório dos experimentos com detalhes.

Aula 3: Segue a TLS. (1h/a)

### **Propagando calor**

O objetivo aqui professor, é entender como ocorre as transferências de calor por condução, por convecção e por radiação e a diferença entre temperatura e calor. Para motivar a turma neste novo conhecimento científico o professor faz uma explicação com situações do cotidiano do aluno, para que a construção deste conhecimento parta do senso comum ao científico. Perguntas como: a transferência de energia ocorre da mesma forma? O que vocês percebem quando colocam uma mão na parte de madeira e a outra mão na parte de metal da carteira onde estão sentados? alguém pode descrever o aquecimento de uma chaleira cheia de água? Por que nas geladeiras comuns o freezer fica na parte de cima com prateleiras gradeadas e nas geladeiras mais modernas pode estar em cima ou em baixo com prateleiras inteiriças? O que ocorre quando nos aproximamos de uma churrasqueira em funcionamento? Por quê? após a discussão sobre as respostas destas perguntas o aluno percebe que o calor não se transfere de uma parte a outra da mesma maneira. Agora professor, partiu experimentar, relacionando teoria-prática. O primeiro experimento o conceito abordado será condução de calor em diferentes substâncias, vejamos:

### **Experiência 3:** Transferência de energia por condução.

Um fio de cobre de 6mm com 30 cm de comprimento, um fio de alumínio de 6mm com 30 cm de comprimento, um fio de ferro de 6mm com 30 cm de comprimento e um palito de madeira de 6mm com 30 cm de comprimento e papel alumínio na ponta do palito de madeira. Em cada

haste citada (cobre, alumínio, ferro e madeira) deve grudar com vela aproximadamente 5 percevejos com uma distância de 2 cm um do outro. Fixar as hastes no suporte e ajustar uma vela na ponta de cada haste, quando tudo estiver organizado em seu devido lugar acender as velas ao mesmo tempo e verificar o que ocorre num tempo de 10 minutos. A figura 3 mostra como ficou a montagem do experimento.

Figura 3: Montagem experimento de como ficam dispostas as hastes de diferentes materiais condução de calor.



Foto: O autor

Professor, chame a atenção do aluno para o fato dos percevejos grudados com vela começam a cair devido a condução de energia térmica e em tempos diferentes devido a diferença no tipo de material de cada haste. Então, além da condução de calor é perceptível o calor específico de cada material e a condutividade térmica, característica do mesmo.

#### **Experiência 4:** Transferência de energia por convecção.

Um espiral impresso em folha A4, uma linha de aproximadamente 30 cm que pode ser de costura ou de pescaria bem fina e uma agulha. Recortar o espiral na folha A4 e no centro fixar a linha com a agulha, acender uma vela e após segurar o fio na extremidade oposta ao espiral acima da vela o suficiente para que não queime o espiral. A figura 4 mostra a disposição do experimento.

Figura 4: A imagem do meio mostra o espiral cortado e como deve ficar disposto acima da vela no experimento convecção de calor.

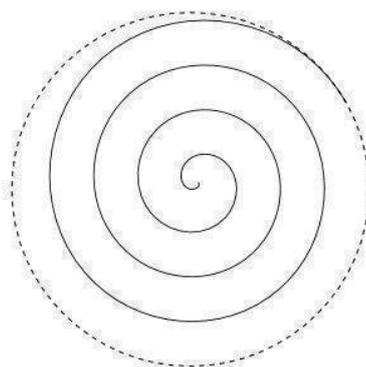


Foto: O autor

Professor, quando a espiral começar a girar, motive o aluno a justificar o ocorrido. Nessa conversa fale que o ar está se deslocando para cima e para baixo devido à diferença de densidade, ocasionada pela chama da vela. Então, o deslocamento de fluidos devido uma variação na temperatura chamamos de convecção térmica diferente da condução que se dá de molécula a molécula. Professor, agora é hora de falar sobre nosso Sol, pois, a energia de reações termonucleares vai do centro da estrela a superfície pelo processo de convecção solar.

#### Experiência 5: Transferência de energia por irradiação.

Uma vela e a mão. Com a vela acesa, aproxime, com cuidado, sua mão da vela até sentir calor, justificando qual o processo de propagação de calor neste caso.

A figura 5 mostra como deve colocar a mão próximo a vela.

Figura 5: O esquema mostra como se deve posicionar a mão no experimento sobre irradiação de calor.



Foto: O autor

Professor, inspire os alunos a pensarem sobre a condução de calor e convecção de calor. Essa reflexão fará o aluno perceber que por condução precisa de um meio material para se propagar e por convecção o ar aquecido sobe ao invés de ir para os lados ou para baixo, descartando estas possibilidades. Então, percebendo que a propagação de calor está ocorrendo de forma diferente, por irradiação. Explique aos alunos que esta propagação do calor ocorre na forma de onda eletromagnética, e não precisa de um meio material para se propagar. Um exemplo é nosso Sol, pois, sentimos o calor irradiado por ele. Entre o Sol e a Terra, no espaço sideral não existe matéria, então, podemos descartar a condução térmica através de algum tipo de material e a convecção térmica, pois, esse tipo de transporte de calor precisa de matéria para se propagar, logo, nosso Sol emite calor na forma de irradiação eletromagnética. Agora, retome as perguntas iniciais e motive o aluno a responder e justificar elas com os novos conhecimentos científicos aprendidos. Peça também ao aluno um relatório detalhado dos experimentos.

Aula 4: Continuando a TLS. (2h/a)

### **Iniciando a Física Moderna**

Caro professor, esta aula é muito importante para respondermos a pergunta inicial, como medir a temperatura do Sol? portanto um cuidado especial é necessário. O objetivo desta aula é que o aluno entenda a relação entre cor de um objeto, radiação eletromagnética, absorção térmica devido a cor, frequência, comprimento de onda e Corpo Negro. Para motivar o aluno faça algumas perguntas como: como o Sol transmite o seu calor até nós? Tem diferença usar uma camiseta branca ou uma preta em um dia ensolarado? Do que a luz visível é composta? Como vemos as cores? tem a ver com comprimento de onda e frequência? tem a ver com radiação eletromagnética? qual a cor que absorve mais o calor? Por quê? Ouviram falar em corpo negro? isso faz o aluno pensar, buscando de uma explicação coerente as perguntas. Após, uma breve

discussão sobre as respostas das perguntas o professor deve iniciar a aula falando e mostrando a figura 6 sobre frequência, comprimento de onda e a relação com as cores.

Figura 6: A figura pode ser explorada na visualização ao aluno sobre Frequência x Comprimento de Onda x Cores



Fonte: WADE (2017)

Professor, de ênfase, mostrando ao aluno que as cores estão em certas faixas de frequência e comprimento de onda, sendo uma decomposição da luz do Sol, formando as cores do arco-íris e todas são ondas eletromagnéticas. Evoluindo este conhecimento para explicar corpo negro usamos o software phet do colorado espectro de corpo negro, o software mostra graficamente a relação entre temperatura e intensidade luminosa com a frequência, associando a Lei de Wien, Lei de Planck e Boltzmann para corpo negro (OBS: deixe bem claro ao aluno isso).

No estudo seguinte usaremos outro software, mas agora de celular para medir intensidade luminosa de lâmpadas e do Sol, o luxímetro. Peça para que os alunos baixem antecipadamente o software. Como vamos realizar o experimento no laboratório precisamos de uma lâmpada que se

aproxime da radiação luminosa do Sol. Após, as medições percebemos que a lâmpada infravermelha de 2500K e 250W utilizada para secagem e aquecimento seria a mais indicada. A figura 7 mostra imagem do celular e a medida do lux do Sol e da lâmpada respectivamente.

Figura 7: As imagens abaixo mostram a intensidade luminosa do Sol (a direita) e da lâmpada (a esquerda).

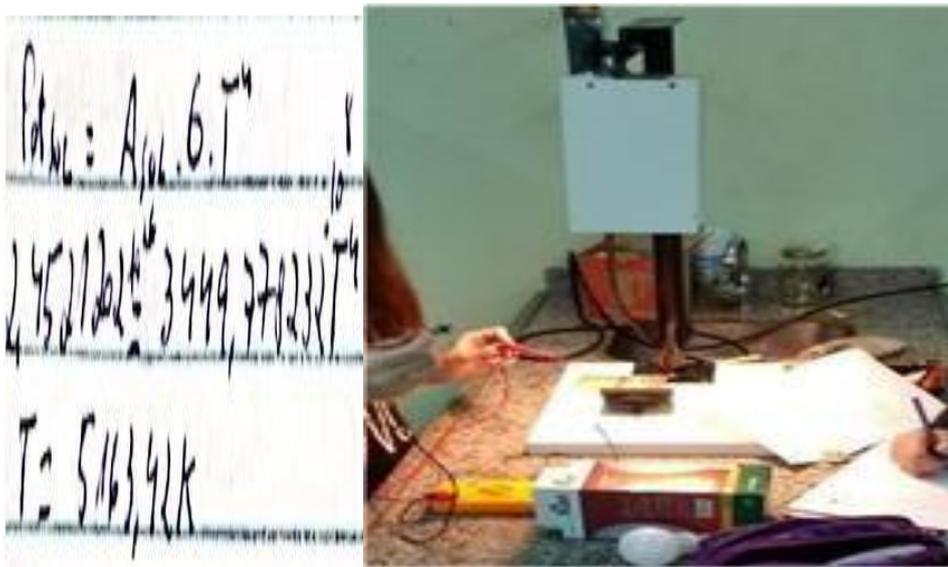


Foto: O autor

Agora professor, partiu experimentar.

#### Experimento 07: Radiação Térmica e Cor de um Objeto

Latas de alumínio pintadas com cores diferentes, termômetros e 250 ml de água dentro de cada lata. Deixar o conjunto sobre a lâmpada em torno de 10 minutos fazendo movimentos de rotação a cada 2 minutos, observar a temperatura e registrar.

A figura 8 mostra como ficou a montagem do experimento.

Figura 8: A imagem mostra a disposição dos materiais necessários para o estudo de Radiação térmica e cor de um objeto.



Foto: O autor

O experimento confirma o conceito de corpo negro, neste caso pela absorção e no caso do Sol pela emissão. Outro ponto forte deste experimento é de que a cor da lata está diretamente relacionada a temperatura da água dentro dela, mostrando a característica da absorção da radiação eletromagnética devido a cor. Pergunte ao aluno qual cor a lata variou menos a temperatura? qual variou mais a temperatura? qual absorve mais calor? qual absorve menos calor? e por fim, para calcular a temperatura do Sol, qual cor devo usar na lata? Com estas respostas seguimos em frente.

Aula 5: Pegando fogo a TLS. (2h/a)

### **Como calcular a temperatura do Sol?**

Professor, esta parte da TLS é onde respondemos a pergunta inicial, como calcular a temperatura do Sol? então o objetivo é medir a temperatura do Sol, corpo negro, radiação eletromagnética e o uso matemático da Lei de Stefan-Boltzmann. Para motivar os alunos fazemos as perguntas: Como calcular a temperatura do sol daqui da Terra? Vimos nas aulas anteriores conceitos de física moderna e conceitos de termodinâmica, como relacioná-los com a temperatura do sol? buscando nos conhecimentos aprendidos reviver toda a TLS estabelecendo uma

relação da Física Clássica à Física Moderna, é importante deixar claro isso para aluno.

### **Primeira parte**

Nesta primeira parte vamos realizar o experimento com latas de alumínio de tamanhos distintos pintadas com tinta preta fosca (para evitar a reflexão de calor ao máximo) como vimos no experimento anterior ela absorve quantidade maior de calor e precisamos disso. Colocamos nas latas 250 ml de água medimos a temperatura inicial e seguimos o roteiro da aula anterior. Veja na figura 9 como ficou a montagem do experimento.

Figura 9: A imagem mostra a disposição dos materiais no estudo de Corpo negro x Lei de Stefan Boltzmann



Foto: O autor

Deixamos durante 10 minutos com movimentos giratórios a cada 2 minutos, medimos a temperatura novamente e calculamos qual lata absorve melhor o calor e usamos na segunda parte do experimento.

### **Segunda parte.**

Professor, agora os alunos devem pegar a lata pintada com tinta fosca preta que decidiram no experimento anterior colocar 250 ml de água, registrar a temperatura inicial, levar o conjunto ao Sol durante 10 minutos com movimentos giratórios a cada 2 minutos. Lembre a sombra da lata também é importante, veja na figura 10 exemplos de como dispor as latas ao Sol.

Figura 10: Absorvendo radiação solar.



Foto: O autor

Agora segue roteiro do experimento.

Experimento 08: Lei de Stefan-Boltzmann e Temperatura do Sol

- 1º) Pegar uma lata de cor preta, um termômetro, um cronômetro e colocar 250 ml de água na lata.
- 2º) Anote a temperatura inicial do conjunto, posicione a lata ao sol de maneira que projete a maior sombra, formando um retângulo.
- 3º) Permaneça com a lata no Sol durante 3 a 10 minutos (a critério do aluno). Durante a exposição agite a lata para tornar mais homogênea à temperatura da água.
- 4º) Após anote o tempo e a temperatura final do sistema.
- 5º) A quantidade de calor,  $Q = m_{\text{C\u00e1gua}} \Delta T$  recebida pela água durante o tempo de exposição no Sol, considerando  $c_{\text{\u00e1gua}} = 1,0 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$ . Não será considerado o calor recebido pela lata porque a massa da lata é pequena em relação à massa de água e o calor específico da lata também pequeno em relação com o da água.
- 6º) Determine a potência da radiação solar ( $E_{\text{total}}$ ) equivalente recebida por segundo,  $P = E_{\text{total}}/\Delta t$ , considerando que  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ .
- 7º) A energia da radiação recebida pela água por segundo e por unidade de área,  $Q_{\text{sol}} = (P/A)$ . Onde A é a área da sombra da lata.
- 8º) A área da esfera que a energia irradiada pelo Sol atravessa:  $A_{\text{total}} = 4\pi R^2$ , onde R é a distância Terra-Sol. Onde:  $R = 150\,000\,000 \text{ km} = 1,5 \times 10^{13} \text{ cm}$ .

9º) A energia total ( $E_{\text{total}}$ ) ou potência total irradiada pelo Sol por segundo, isto é, a potência do Sol e o tempo será dada pela equação  $P_{\text{total}} = Q_{\text{sol}}$ .

$A_{\text{terrasol}}$

10º) Pela Lei de Stefan-Boltzmann  $P_{\text{total}} = A \cdot \sigma \cdot T^4$  radiação de Corpo Negro. Com esta equação determinaremos a temperatura do Sol.

Onde:

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzmann (com valor de  $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

$r_{\text{sol}} = 6,96 \times 10^8 \text{ m}$

11º) Comparação dos resultados com valor de referência  $P_{\text{total referência}} = 3,92 \times 10^{26} \text{ W}$  e  $T_{\text{sol}} = 5\,727 \text{ K} = 6\,000^\circ\text{C}$ .

Professor ajude os alunos nos cálculos, muitos apresentam dificuldades em extrair raiz de quarta potência, mesmo com uso da calculadora. Ao final da aula discuta com eles os resultados obtidos, as diferenças, o porquê não se chegaram na exata temperatura do Sol, mostre a eles o conhecimento científico e as dificuldades experimentais e por fim relacione corpo negro, Lei de Stefan-Boltzmann, Lei de Wien e a Lei de Planck. Peça relatório com os mínimos detalhes.

Aula: Terra, Sol e aplicações tecnológicas na TLS. (2h/a)

### **Expandindo o conhecimento científico**

Caro professor, o objetivo desta aula é mostrar ao aluno as implicações tecnológicas que envolvem a Termodinâmica e a Física Moderna no cotidiano. No início da aula abre uma discussão com o aluno sobre radiação eletromagnética na forma de calor e seu uso em tecnologias. Para motivar o aluno a pensar e buscar na mente o conhecimento prévio fazer perguntas como: O que é radiação eletromagnética? O que é um corpo negro? O que é um painel solar? Como funciona o painel solar? O que é transformação de energia? Como podemos usar essa energia transformada? O que é tensão elétrica? O que é corrente elétrica? O que é resistência elétrica? O que é multímetro? as respostas a estas perguntas terão o conhecimento científico o que

aprenderam na TLS e conhecimento do senso comum, que aprenderam com a experiência de vida até aqui.

Professor, insira o conceito de painel solar e deixe que o aluno fale sobre isso, ao final explique que o painel solar pode ser utilizado na forma fotovoltaica e térmica, dependendo da finalidade desejada. Faça uma pequena explanação do funcionamento do painel solar falando dos elétrons, semicondutores, condutor, campo elétrico, corrente elétrica, resistência elétrica e tensão elétrica. Após, mostre o circuito elétrico que será utilizado, como funciona o multímetro, circuito em série e em paralelo e por fim que o painel solar depende da luminosidade (potência luminosa), use lâmpadas de potência diferente para isso e segue a experimentação.

**Experimento 09:** Painel Solar, Corpo negro e Energia Elétrica

1º) Pegar uma lâmpada e colocar no suporte. (incandescente, fluorescente ou led) 2º) Pegar o painel solar e multímetro, tampar 2/3 do painel solar e colocar abaixo da lâmpada, anotar o que acontece no multímetro, em seguida fazer o procedimento com 1/3 tampado e após totalmente livre, sempre anotando o que acontece no multímetro.

3º) Pegar o circuito led e resistor, conectar em série e em paralelo com o multímetro. 4º) Após fazer estes procedimentos respondam as perguntas: Qual a função da lâmpada? Qual a função do painel solar? Qual a função do multímetro? Qual a função do circuito elétrico?

5º) Discussão dos resultados com a turma: Verifiquem se os resultados foram os mesmos, Por que os resultados foram diferentes? Quais os conceitos físicos abordados no experimento? Como eles foram abordados? Segue figura 11 de da montagem do experimento.

Figura 11: A imagem à direita mostra os materiais utilizados no experimento com o suporte que direciona a radiação luminosa, multímetro, painel solar e lâmpadas e a imagem à direita destaca o painel solar e o multímetro.



Fonte: O autor

Ao final da aula peça relatório da aula com detalhes.

**SÉRIE**  
**PRODUTOS EDUCACIONAIS EM ENSINO DE FÍSICA**

VOLUME 1 – **Automatização de Experimentos de Física Moderna com o Kit Lego NXT Mindstorms**  
Wanderley Marcílio Veronez, Gelson Biscaia de Souza, Luiz Américo Alves Pereira,

VOLUME 2 – **O Arduino na Programação de Experiências em Termodinâmica e em Física Moderna**  
Marilene Probst Novacoski, Luiz Américo Alves Pereira, Gelson Biscaia de Souza

VOLUME 3 – **Do Magnetismo à Lei da Indução Eletromagnética de Faraday** Marlon Labas, Fábio Augusto Meira Cássaro

VOLUME 4 – **Estudando Astronomia, Aprendendo Física: Atividades Práticas de Observação do Sol**  
Ana Caroline Pscheidt, Marcelo Emílio

VOLUME 5 – **Simulador Didático de Acomodação do Olho Humano**  
Gustavo Trierveiler Anselmo, Júlio Flemming Neto, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 6 – **Ensino dos Conceitos de Movimento e Inércia na Mecânica, a partir de uma Concepção de Ciência que não Utiliza a Lógica Binária**  
Luiz Alberto Clabonde, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 7 – **Uma Proposta de Utilização de Mídias Sociais no Ensino de Física com Ênfase à Dinâmica de Newton**  
Heterson Luiz De Lara, Alexandre Camilo Junior, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 8 – **O Eletromagnetismo e a Física Moderna através de Atividades Experimentais**  
Ademir Kreпки Henisch, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 9 – **Física Nuclear e Sociedade**  
Tomo I – **Caderno do Professor**  
Tomo II – **Caderno do Aluno**  
Josicarlos Peron, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 10 – **Conceituação e Simulação na Dinâmica do Movimento**  
Tomo I – **Caderno do Professor**  
Tomo II – **Caderno do Aluno**  
Leandro Antonio dos Santos, Antônio Sérgio Magalhães de Castro

VOLUME 11 – **Montagem de um Painel Didático e Atividades Experimentais em Circuitos de Corrente Contínua**  
Renato Dalzotto, Sérgio da Costa Saab, André Maurício Brinatti

VOLUME 12 – **Nas Cordas dos Instrumentos Musicais**  
Luís Alexandre Rauch, André Maurício Brinatti, Luiz Fernando Pires

VOLUME 13 – **O Fóton em Foco: Relações entre Cor, Frequência e Energia de Radiações Eletromagnéticas**  
Romeu Nunes de Freitas, André Maurício Brinatti, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 14 –  
Tomo I - **Iniciação em Robótica e Programação com Algumas Aplicações em Física**  
Tomo II – **Tutorial: Tela Interativa com Controle do Nintendo Wii**  
Hernani Batista da Cruz, Luiz Antônio Bastos Bernardes, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 15 – **O Uso do Software Tracker no Ensino de Física dos Movimentos**  
Edenilson Orkiel, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 16 – **Acústica: Uma Nova Melódia de Ensino**  
Elano Gustavo Rein, Luiz Antônio Bastos Bernardes

VOLUME 17 – **Caderno de Orientação a Educadores para a Transformação da Horta como Eixo Norteador de Ensino e Aprendizagem**  
Roberto Pereira Strapazzon Bastos, Silvio Luiz Rutz da Silva

VOLUME 18 – **Proposta de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas para o Ensino de MRU e MRUV Utilizando Experimentos Visuais**  
Gustavo Miguel Bittencourt Morski, André Vitor Chaves de Andrade

VOLUME 19 – **Cor à Luz da Física Moderna e Contemporânea**  
Marcos Damian Simão, André Maurício Brinatti

VOLUME 20 – **Aplicação do Experimento de Hertz Atualizado no Ensino de Ondas Eletromagnéticas**  
Luís Carlos Menezes Almeida Júnior, Luiz Américo Alves Pereira

VOLUME 21 – **Uma Proposta de Aplicação do Ensino de Termodinâmica no Ensino Fundamental I**  
Cláudio Cordeiro Messias, Paulo César Facin

VOLUME 22 – **Uma Proposta de Ensino dos Conceitos Fundamentais da Mecânica Quântica no Ensino Médio: Espectroscopia com Lâmpadas**  
Evandro Luiz De Queiroz, Antônio Sérgio Magalhães de Castro, Jeremias Borges da Silva

VOLUME 23 – **Produção de um Aparato Experimental para Medição de Campo Magnético Usando Arduino**  
Ivonei Almeida, Luiz Américo Alves Pereira

VOLUME 24 – **Um Pouco Sobre a Natureza das Coisas**

*Robson Lima Oliveira, André Maurício Brinatti*

VOLUME 25 – **Equilibrium: Uma Abordagem Experimental e Contextualizada do Conceito de Equilíbrio dos Corpos**

*Osni Daniel De Almeida, André Vitor Chaves de Andrade*

VOLUME 26 – **Como Medir a Temperatura do Sol? Inserindo Conceitos de Física Moderna no Ensino Médio**

*Vilson Finta, Jeremias Borges da Silva*

VOLUME 27 – **Elaboração de um Produto Educacional para a Materialização de Conceitos no Aprendizado de Óptica Geométrica Aplicada às Anomalias da Visão**

*Danilo Flügel Lucas, Gérson Kniphoff da Cruz*

VOLUME 28 – **Entendendo as Fases da Lua a Partir de um Material Instrucional Baseado no Método de Orientação Indireta**

*Pâmela Sofia Krzysynski, Gérson Kniphoff da Cruz*

VOLUME 29 – **“PEPPER’S GHOST”: Como Ensinar/Aprender Conceitos de Física Através de uma Simples Ilusão de Óptica**

Tomo I - **Caderno do Professor**

Tomo II - **Caderno do Aluno**

*Gilvan Chaves Filho, Luiz Antônio Bastos Bernardes*

VOLUME 30 – **O Movimento: do Clássico ao Relativístico**

*Josué Duda, André Maurício Brinatti*

VOLUME 31 – **Uma Sequência Didática Abordando a Eficiência Energética: Economizando Energia na Cozinha.**

Tomo I - **Caderno de Ensino**

Tomo II - **Caderno de Aprendizagem**

*Rosivete Dos Santos Romaniuk, Julio Flemming Neto*

VOLUME 32 – **Armazenamento e Produção de Energia Elétrica: Uma Abordagem para seu Estudo no Ensino Médio**

*Jairo Rodrigo Corrêa*

VOLUME 33 – **Palestras de Astronomia para a Educação Básica**

*Sergio Freitas, Silvio Luiz Rutz da Silva*

Atribuição-NãoComercial-  
Compartilha Igual 4.0 Internacional



**MNPEF** Mestrado Nacional  
Profissional em  
Ensino de Física

**UEPG**  
Universidade Estadual  
de Ponta Grossa

**PPG**  **F**  
ensino de física

**SÉRIE**  
**Produtos Educacionais em Ensino de Física**

**UEPG - PROEX**