

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS CAMPO MOURÃO

FERNANDO FELICIANO GUIMARÃES

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO
DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO**

CAMPO MOURÃO
2018

FERNANDO FELICIANO GUIMARÃES

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO
DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Michel Corci Batista
Coorientador: Prof. Dr Gilson Junior
Schiavon

CAMPO MOURÃO
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G963

Guimarães, Fernando Feliciano

Proposta de sequência didática para o estudo da radiação do corpo negro no ensino médio. — Campo Mourão, 2018.

124 f. : il. color ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Michel Corci Batista

Coorientador: Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon

Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2018.

Inclui bibliografias.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Aprendizagem ativa. 3. Ondas eletromagnéticas. 4. Física – Dissertações. I. Batista, Michel Corci. II. Schiavon, Gilson Junior. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. IV. Título.

CDD 530.07

FERNANDO FELICIANO GUIMARÃES

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO
DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

BANCA EXAMINADORA

Orientador Prof. Dr. Michel Corci Batista
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Bernardo Mattos Tavares
Universidade Federal do Rio de Janeiro- UFRJ

Campo Mourão, _____ de _____ 2018

A minha família pelo apoio de todos os dias, em especial a minha esposa Francieli Franco Locatalli Guimarães, que me incentiva a continuar lutando independente das situações. Dedico também, ao pequeno anjinho que ainda não posso embalar em meus braços mas já ouço seu pequeno e forte coração que a cada batida nos encanta e nos motiva a continuar vivendo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar comigo em todos os momentos, pela alegria nos momentos de tristeza, força nos momentos de fraqueza e motivação nos momentos de cansaço.

A minha eterna namorada, Francieli Franco Locatelli Guimarães, pela compreensão nos momentos de ausência, pelos olhares de carinho e amor nas horas mais precisas e pela cumplicidade que nos une e nos torna mais fortes.

Ao pequeno anjinho que ainda mora no coração de Deus, mas que se tornou combustível para dar continuidade a esse trabalho.

Agradeço a minha querida mãe, por me dar a vida, pelas orações e bênçãos e pelas palavras de apoio.

O meu querido pai, por ser uma base sólida quando precisei, me mostrando que podemos ir além, bastando ter fé.

Aos meus irmãos pelos momentos felizes que vivemos e ainda viveremos, e pelas palavras de apoio e conforto nos momentos de angústia.

Aos meus professores pelo ambiente de aprendizagem e dedicação que cada um demonstrou ao longo desse caminho.

Ao meu orientador Prof. Dr. Michel Corci Batista, por toda calma e dedicação nos momentos de orientação.

Aos meus eternos colegas de classe, por todos os momentos que passamos juntos.

“A maravilhosa disposição e harmonia do universo só pode ter tido origem segundo o plano de um Ser que tudo sabe e tudo pode. Isso fica sendo a minha última e mais elevada descoberta.”

Isaac Newton

GUIMARÃES, Fernando Feliciano. **Proposta De Sequência Didática Para O Estudo Da Radiação Do Corpo Negro No Ensino Médio**. 2018. 124 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018.

Resumo

Analisando o cenário educacional atual, e as práticas pedagógicas aplicadas em sala de aula, se faz necessário um repensar dos modelos de ensino utilizados por grande parte dos educadores. Os documentos que alicerçam o ensino da disciplina de Física no País indicam a necessidade da inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, a fim de se pensar um ensino mais atual. Nesse sentido, este trabalho objetivou investigar o potencial pedagógico de uma sequência didática para o estudo do tema radiação de corpo negro em uma turma da terceira série do Ensino Médio de uma instituição privada da cidade de Ivaiporã, Paraná. Para isso, seguiu-se os pressupostos da pesquisa qualitativa. A implementação da sequência didática se deu em onze aulas de cinquenta minutos, utilizando para a coleta de dados questionários, diário de campo, e todo material produzido pelos alunos durante a implementação da proposta. A análise dos resultados evidenciou que é possível criar um ambiente favorável a aprendizagem significativa, tendo este sido vivenciado pelos alunos. Os resultados indicam ainda que a sequência didática implementada se mostrou satisfatória visto que os alunos participaram ativamente das atividades propostas levantando questionamentos o que mostra a mudança de uma postura passiva para uma postura ativa durante as aulas.

Palavras-chave: Ensino de Física, Radiação do Corpo Negro, Experimentação.

GUIMARÃES, Fernando Feliciano. **Didactic Sequence Proposal For The Study Of Black Body Radiation In High School**. 2018. 124 f. Dissertation (Professional Master of Teaching Physics) - Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão, 2018.

ABSTRACT

Analyzing the current educational scenario and the pedagogical practices applied in the classroom, it is necessary to rethink the teaching models used by most educators. The documents that support the teaching of the discipline of Physics in the Country indicate the need for the insertion of Modern and Contemporary Physics in High School in order to think a more current teaching. In this sense, this work aimed to investigate the pedagogical potential of a didactic sequence for the study of the black body radiation theme in a third grade high school class from a private institution in the city of Ivaiporã, Paraná. For this, the assumptions of qualitative research were followed. The implementation of the didactic sequence was done in eleven fifty-minute classes, using for the data collection questionnaires, field diary, and all material produced by the students during the implementation of the proposal. The analysis of the results showed that it is possible to create a favorable environment for meaningful learning, which was experienced by the students. The results indicate that the didactic sequence implemented was satisfactory since the students participated actively in the proposed activities raising questions that shows the change from a passive posture to an active posture during the classes.

Keywords: Physics Teaching, Black Body Radiation, Experimentation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação do corpo negro elaborado por Kirchhoff.....	21
Figura 2 - Representação da incidência de radiação em um corpo negro.....	22
Figura 3 - Espectro de radiação do sol.....	23
Figura 4 - Demonstração da curva de Deslocamento de Wien	25
Figura 5 - Intensidade espectral como função do comprimento de onda	27
Figura 6 - Comparação de radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh ...	28
Figura 7 - Comparação da curva de radiação emitida por um corpo negro.....	31
Figura 8 - Reflexão das ondas eletromagnéticas	32
Figura 9 - Caixa de plástico com prisma acoplado em sua borda	53
Figura 10 - Termômetro de mercúrio com a ponta pintada de preto e preima de vidro.....	54
Figura 11 -Experimento da radiação do corpo negro	58
Figura 12 - Encontrando a potência de uma das lâmpadas	62
Quadro 2 – Estrutura da sequência didática.....	43
Quadro 2 - Divisão em módulos da sequência didática.....	45

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 Aprendizagem Sigificativa	15
2.2 A Importancia Da Física Moderna No Ensino Médio.....	18
3 UMA INTRODUÇÃO À RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	21
3.1 Catástofre Do Ultravioleta	23
3.2 A Solução De Planck Para A Catástofre Do Ultravioleta.....	29
3.3 Deduções Da Equação De Stefan-Boltzmann.....	32
3.4 Comfirmando A Lei De Deslocamento De Wien.....	36
3.5 Comfirmando A Lei De Estefan	37
3.6 Quantização De Energia Segundo Planck	37
3.6.1 Energias Médias.....	37
4 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO	41
4.1 Caracterização Da Pesquisa	41
4.2 Coleta De Dados	41
4.3 Estruturas Da Sequência Didática.....	41
4.3.1 A sequência Didática.....	41
4.3.2 O papel Do Professor Nessa Sequência Didática	44
4.3.3 Organizações Da Sequência Didática.....	44
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 Relato De Experiência: Aplicação Da Sequência Didática	46
5.1.1 Relato De Experiência – Primeiro Encontro	46
5.1.2 Relato De Experiência – Segundo Encontro	52
5.1.3 Relato De Experiência – Terceiro Encontro	57
5.1.4 Relato De Experiência – Quarto Encontro.....	61
5.1.5 Relato De Experiência – Quinto Encontro	64
5.1.6 Relato De Experiência – Sexto Encontro.....	66

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	70
REFERÊNCIAS.....	73
APENDICE.....	77
APENDICE A: Produto Educacional	78

1 INTRODUÇÃO

Muito se comenta sobre o cenário educacional e as práticas pedagógicas abordadas nos últimos anos, é de fato preocupante o rumo que nossa educação trilha nos dias atuais, principalmente quando o assunto é o ensino de ciências, em particular o ensino de Física que, por muitas vezes, é abordada de maneira matematizada e rasteira, não só por falta de preparo do professor, mas por motivos que vão desde material didático apropriado, até um ambiente seguro e adequado que possibilite a tão disputada atenção dos discentes.

De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs, 1998), a educação deve ser tal que forneça aos educandos subsídios para que entendam os fenômenos que os rodeiam e sejam capazes de debater assuntos relacionados ao momento histórico e social no qual estão inseridos.

Guimarães (2011, p.16) advoga: “a física no ensino médio têm uma importante função que é inserir as pessoas no mundo da ciência e tecnologia e torná-las conscientes com seus deveres e direitos”. Dessa forma, justifica-se uma tentativa de inserção dos tópicos de Física Moderna e Contemporânea no currículo escolar, considerando o grande avanço tecnológico apresentado pela sociedade nos últimos anos.

Nas décadas de 1960 e 1970, podia-se entender o ensino de Física pautado apenas em sua parte clássica, pois era o conhecimento que a sociedade demandava naquela época devido ao crescimento das indústrias no Brasil (Guimarães, 2011), mesmo havendo tentativas de introdução da Física Moderna como aponta Sanches (2006, p.1):

[...] desde a década de 70, pesquisas na área de ensino de Física vêm sendo realizadas com o objetivo de promover mudanças curriculares, como a inserção da História da Ciência¹, Física Moderna² e discussões acerca da Ciência, Tecnologia e Sociedade³ no Ensino Médio.

Considerando os novos estudos e descobertas apresentadas pela comunidade científica nos últimos anos, entende-se a necessidade da instauração da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio, permitindo aos educandos um nível de entendimento mais elaborado e abrangente, que explique e insira-os no momento por ele vivenciados, como preveem os PCNs:

[...] o aprendizado de física deve estimular os jovens a acompanhar as notícias científicas [...], notícias como uma missão espacial, uma possível colisão de um asteroide com a Terra, um novo método para extrair água do subsolo, uma nova técnica de diagnóstico médico envolvendo princípios físicos, o desenvolvimento da comunicação via satélite, a telefonia celular [...] (BRASIL, 1999, p. 235 *apud* Sanches 2006, p.17)

Diante dessa citação, encontra-se uma justificativa palpável para a escolha do tema dessa dissertação, sugerindo uma abordagem diferente daquela vista até então nas aulas de Física.

Sanches (2006) explica que uma análise dos livros didáticos utilizados pelos professores da rede pública demonstra uma tentativa de incluir temas de Física Moderna e Contemporânea (doravante, neste trabalho, FMC) no currículo escolar, mas este é barrado tanto pela falta de tempo que agora é ainda mais preocupante, quanto pelo despreparo por parte do educador em relação a esses conteúdos.

Como sugerem os PCNs (1998), a Física precisa ser tratada de maneira diferente, haja vista que é necessário que o aluno entenda que Física faz parte do seu dia-a-dia, e que alguns tópicos de FMC podem ser trabalhados de uma maneira diferente, propiciando o debate, o trabalho em conjunto e a exploração de ideias.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi investigar o potencial pedagógico de uma sequência didática para o estudo do tema “radiação de corpo negro” em uma turma da terceira série do Ensino Médio de uma instituição privada da cidade de Ivaiporã, Paraná.

Para subsidiar tal investigação, tornou-se necessário a elaboração de objetivos específicos: (i) estudar diferentes recursos didáticos a fim de selecionar aqueles com maior potencial para o estudo do tema radiação de corpo negro. (ii) estudar diferentes referências para produzir um texto base sobre o tema radiação de corpo negro. (iii) elaborar uma sequência didática sobre o tema radiação de corpo negro, buscando valorizar os conteúdos conceituais, procedimentais e principalmente atitudinais.

Dessa forma, no que diz respeito à organização, esse trabalho foi dividido em seis capítulos.

O primeiro capítulo constitui-se na introdução, a qual faz uma síntese, expondo, desta forma, todo o trabalho.

No segundo capítulo, será tratado acerca do referencial teórico adotado para essa proposta de sequência didática, bem como para a interpretação dos dados obtidos na aplicação desse trabalho. Ainda neste capítulo, será tratada a

aprendizagem significativa de David Ausubel, referencial teórico no qual se baseou a construção dessa sequência.

O capítulo três descreve os caminhos metodológicos percorridos por esse trabalho.

O quarto capítulo apresentará detalhadamente a aplicação da sequência didática junto à turma da terceira série.

O quinto capítulo apresentará os resultados e as discussões da aplicação desse produto.

O sexto capítulo apresenta as considerações finais e pontuam os dados coletados durante a implementação dessa sequência didática.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Aprendizagens significativa

A aprendizagem significativa, de acordo com Moreira (1999), é a aprendizagem adquirida por um indivíduo, o qual, por meio de suas vivências, atribui significados ao novo conhecimento. Segundo Guimarães (2009), muito se critica o ensino tradicional, por tratar o aluno como uma tábua rasa, desconsiderando essas experiências e vivências, porém, como discorre Tavares (2004, p.56):

[...] podemos ter uma aprendizagem receptiva significativa em uma sala de aula convencional, onde se usam recursos tradicionais tais como giz e quadro-negro, quando existirem condições de o aprendente transformar significados lógicos de determinado conteúdo potencialmente significativo, em significados psicológicos, em conhecimento construído e estruturado idiossincraticamente.

Quando o aprendiz é afetado pelo novo conhecimento, significa que este se ancorou em estruturas cognitivas já existentes em sua mente, como cita Moreira (1999), a antiga e a nova informação são reforçadas e passam a se comportar como ancoradouros para as informações e saberes seguintes, se transformando em conceitos mais gerais e abrangentes.

A pergunta mais recorrente quando se fala em aprendizagem é: Como ensinar de maneira significativa? Segundo Ausubel *apud* Moreira (1999, p. 163). “O fator isolado mais importante que influencia na aprendizagem significativa, é aquilo que o aluno já sabe”.

Desta maneira, é importante avaliar o que o educando já conhece e trabalhar em cima desses saberes de maneira que seja possível a ancoragem de novos entendimentos.

Ausubel chama essas estruturas específicas de conhecimentos já organizados na mente do indivíduo de subsunçores, e podem ser acessados segundo Moreira (1999, p.152), “na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do aluno”.

Neste mesmo raciocínio, Moreira (1999, p.152) cita o seguinte:

Ausubel vê o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizada, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimentos são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos.

É partindo desse princípio que o professor deve trabalhar de modo a fornecer subsídios para que o aprendiz construa uma ponte sólida para receber novas informações e as entenda de maneira que faça analogias e aplicações partindo do saber já modificado e estruturado pela nova informação.

Diferentemente da aprendizagem significativa, Ausubel ainda define a aprendizagem mecânica, a qual como cita Guimarães (2009), é o tipo de aprendizagem que não estabelece relações com subsunçores, ou seja, não faz relações com informações já estruturadas na mente do aprendiz.

Em uma aprendizagem significativa, novas informações se ligam a estruturas denominadas subsunçores, são eles os responsáveis pelo significado da nova informação. Mas como ensinar na ausência dos subsunçores?

Como descreve Moreira (1999), na ausência de subsunçores, é a aprendizagem mecânica que entra em atividade até que esses conhecimentos devidamente estruturados se tornem relevantes para aprendizagens posteriores da mesma área, tornando-se dessa forma um novo subsunçor para novas informações, pode-se dizer que é desse processo que nascem os subsunçores.

Outra alternativa seria o uso de organizadores prévios que, de acordo com Moreira (1999, p.155), “é uma estratégia proposta por Ausubel para, deliberadamente, manipular a estrutura cognitiva, afim de facilitar a aprendizagem significativa”. Os organizadores ativam os subsunçores em desuso na estrutura cognitiva do aprendiz, ligando o que o aprendiz sabe e o que ele deve aprender.

A aprendizagem significativa é evidenciada quando diante de uma questão que para ser respondida exija por parte do aprendiz uma modificação de conceitos, nesse sentido a pergunta direcionada ao aprendiz não deve seguir um padrão comum, ela deve ser pensada de maneira que leve o aluno a correlacionar esse conhecimento com outros saberes, não permitindo uma resposta carregada de memorização (MOREIRA, 1999).

De acordo com Ausubel, existem três tipos de aprendizagem: aprendizagem representacional, de conceitos e aprendizagem proposicional.

A aprendizagem representacional está ligada aos símbolos e o que eles representam para o indivíduo, podendo ser um fenômeno, objeto ou evento, que,

segundo Araújo (2014), não identificam ou reconhecem características ou atributos específicos inerentes a essa representação.

Já a aprendizagem de conceitos é um tipo de representacional, sendo diferenciada por entender os conceitos mais inclusivos de cada objeto representado pelo símbolo.

Na aprendizagem proposicional, Moreira afirma (1999, p.157):

[...] contrariamente à aprendizagem representacional, a tarefa não é aprender significativamente o que palavras isoladas ou combinadas representam, mas sim, aprender o significado de ideias em forma de proposições [..].

Neste último caso, a aprendizagem está relacionada com o entendimento de ideias na forma de proposições, entendendo primeiramente o conceito para então entender o significado das ideias que trazem esse conceito.

De acordo com Araújo (2014), Ausubel define duas ideias que ocorrem na estrutura do indivíduo durante a aprendizagem significativa: diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Na aprendizagem significativa, durante a relação dos conceitos com subsunçores, estes vão adquirindo novos significados, se diferenciando progressivamente, ou seja, o subsunçor se torna cada vez mais elaborado e geral sendo dessa forma, capaz de servir de ancoragem para novas informações, essa dinâmica na estrutura cognitiva do aprendente se chama diferenciação progressiva (ARAÚJO, 2014).

Já na reconciliação integradora ou integrativa, os conceitos na estrutura cognitiva podem se relacionar promovendo uma nova organização, esse rearranjo desenvolve novos significados se relacionando entre si, separando semelhanças e diferenças entre as ideias já existentes (ARAÚJO, 2014).

Mas quando o objeto de estudo se torna significativo para aquele que o estuda?

Moreira (1999, p.163) argumenta que “O significado emerge quando é estabelecida uma relação entre a entidade e o signo verbal que a representa”. O papel da linguagem, é de suma importância, é ela a responsável por armazenar informações na aprendizagem mecânica, ao observar uma criança durante sua aprendizagem de palavras, pode-se entender as relações que ela faz com símbolos a respeito dos objetos, relacionando-os e atribuindo significados (MOREIRA, 1999).

Da mesma maneira, pode-se entender como o aprendiz relaciona o novo conhecimento com o símbolo que o representa, dando significado ao novo saber por meio de suas vivências.

2.2 A importância da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio

Segundo Sanches (2006), a Física é a ciência que estuda com excelência os fenômenos que nos rodeiam, agindo não só em sua esfera, mas colaborando em outras disciplinas como ciência transversalizadora, permitindo a construção de um cidadão pleno, ativo e participativo na sociedade.

De acordo com Nascimento (2010), os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs, 1998) sugerem um ensino voltado às vivências do aprendiz, e que esses saberes possam estabelecer relações entre sociedade e informação científica, corroborando dessa forma para a construção de um ser crítico, preparado para debates e comprometido com meio onde vive. Nesse mesmo raciocínio, pode-se destacar o que sugere Oliveira (1995, p. 24), “O objetivo desta escola deve ser a formação do cidadão, do homem da polis, participante nos diferentes espaços, enquanto produtor e consumidor na sociedade”.

As pesquisas realizadas por Sanches (2006) mostram que o ensino de Física é pautado apenas na Física Clássica, divididas em blocos como: Mecânica, Termologia, Ótica, Ondulatória e Eletricidade, deixando de lado todas as contribuições do século XX, por vários motivos, como falta de materiais adequados, carga horária reduzida e o preparo do educador frente a esse conteúdo.

O que de fato acontece é que as escolas formulam e reformulam suas abordagens de acordo com os avanços apresentados pela sociedade, como cita Guimarães (2010), nas décadas de 1970 a 1980, a educação, mais precisamente o Ensino Médio, estava voltado para as competências ligadas a maquinários e sistemas de produção. Na década de 1990, as linhas de produção se informatizaram e as necessidades de acompanhar esses avanços determinaram novas medidas pedagógicas, foi nesse ambiente de evolução das tecnologias e da educação que nasceram os PCNs (1998).

A sociedade evolui, nossas tecnologias nos projetam para um mundo cada vez mais aberto, sem fronteiras, onde a informação é alcançada com um simples mover

de dedos, é nesse contexto que nasce a necessidade da implementação dos estudos de Física Moderna, como pode ser observado no PCNEM:

Mesmo considerando os obstáculos a superar, uma proposta curricular que se pretenda contemporânea deverá incorporar como um dos seus eixos as tendências apontadas para o século XXI. A crescente presença da ciência e da tecnologia nas atividades produtivas e nas relações sociais, por exemplo, que, como consequência, estabelece um ciclo permanente de mudanças, provocando rupturas rápidas, precisa ser considerada (PCNEM, 2000, p.12).

Com a implementação da LDB, o Ensino Médio (EM) deixa de ser considerada uma fase preparatória de uma formação continuada ou mais elaborada, para ser a etapa final de um ensino básico, proporcionando ao aprendiz competências necessárias para entender o mundo que o rodeia e continuar a agregar conhecimento (Guimarães, 2010). O que se pode concluir ao estudar os PCN+ é que se faz necessário levar o conhecimento a nível do “micro”, onde de fato se inicia a Física Moderna.

Alguns aspectos da chamada Física Moderna serão indispensáveis para permitir aos jovens adquirir uma compreensão mais abrangente sobre como se constitui a matéria, de forma que tenham contato com diferentes e novos materiais, cristais líquidos e lasers presentes nos utensílios tecnológicos, ou com o desenvolvimento da eletrônica, dos circuitos integrados e dos microprocessadores. A compreensão dos modelos para a constituição da matéria deve, ainda, incluir as interações no núcleo dos átomos e os modelos que a ciência hoje propõe para um mundo povoado de partículas (PCN+, p. 70, Brasília 2002).

É evidente a proposta norteada pelos PCNs em relação às mudanças no EM. Moreira explicita a questão:

Estes novos parâmetros apontam também para a necessidade de atualização dos conteúdos enfatizando a Física Contemporânea ao longo de todo o curso, em cada tópico, como um desdobramento de outros conhecimentos e não necessariamente como um tópico a mais no fim do curso (Moreira, 2000, p.98).

Os estudos da Física Moderna vão além de capacitar o educando para entender o mundo em sua volta, pois ela também insere o educando no momento histórico em que a sociedade vive, dando suporte para entender o mundo de informações que chegam até seu saber e subsídios para debater esses saberes.

É bem verdade que, muitas vezes, o ensino de Física chega até ao aluno de uma maneira descontextualizada, sem aplicações, matematizada apenas. O momento

tecnológico em que vivemos sugere uma época de mudanças, muitas vezes em nós mesmos.

Todo o conteúdo abordado não veio de um momento fragmentado da história, mas de uma série de acontecimentos devidamente sistematizados que culminam na existência daquele saber e que, por muitas vezes, não são abordados como deveriam, ora por falta de tempo, ora por não possuírem materiais didáticos adequados.

Todos os avanços apresentados pela humanidade existem devido às necessidades da sociedade. Foi dessa maneira com as máquinas a vapor, o desenvolvimento da internet, a produção de remédios e tantos outros.

Vivemos em uma era digital na qual as informações podem ser acessadas a qualquer momento e em qualquer lugar por qualquer indivíduo. Seria importante, dessa forma, introduzir os conceitos das novas tecnologias em nossas práticas pedagógicas, utilizando-se desses meios para compor e melhorar o método de ensino.

Foi pensando no cenário educacional atual que esse material foi desenvolvido, considerando o aprendiz como agente direto da construção do seu saber e os Parâmetros Curriculares Nacionais, essa proposta é uma tentativa de entrelaçar o que o aluno traz consigo em nível de conhecimento, e o desenvolvimento de um novo saber, mais elaborado, estruturado, oportunizando os debates, os levantamentos de hipóteses, os trabalhos em grupo, a organização e o raciocínio lógico.

3 UMA INTRODUÇÃO À RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Quando se pergunta em sala de aula sobre o que é radiação do corpo negro, a resposta mais recorrente é: um objeto na cor preta que emite radiação, pois é isso que a pergunta sugere.

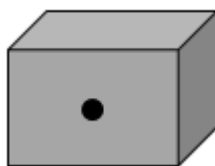
Todo corpo ao ser aquecido libera energia na forma de radiação eletromagnética, e quanto maior for sua temperatura maior é a energia dessa radiação, e conseqüentemente maior sua frequência e menor o seu comprimento de onda.

Mas voltando à ideia inicial. O que é corpo negro?

É todo corpo que absorve radiação independentemente da frequência incidida sobre ele e que, segundo Valadares (1998), as propriedades de absorção estão relacionadas com formato, acabamento da superfície e material com o que ele é feito. De acordo com Netto (2014), como os corpos negros são excelentes absorvedores de radiação, são também ótimos emissores quando em equilíbrio, possuindo a propriedade de absorver e emitir em uma mesma proporção. Para entender como um corpo negro se comporta, em 1859, Gustav Kirchhoff elaborou um modelo representativo que demonstraria uma propriedade muito importante a respeito da emissividade de radiação desse tipo de corpo.

Imagine um objeto cúbico e oco, com apenas uma abertura em uma das suas faces, com mostra a Figura 1:

Figura 1: Representação do corpo negro elaborado por Kirchhoff



Fonte: Autoria própria (2017).

Quando a radiação atinge o cubo, parte dela entra pelo orifício e acaba sendo refletida pelas paredes internas desse objeto. A quantidade de radiação que consegue escapar pelo orifício é mínima, e se as paredes desse cubo forem isolantes, não existirá troca de energia com o ambiente por condução. Essa situação, como mostra a Figura 2, descreve com certo grau de exatidão como um corpo negro se comporta ao receber uma quantidade de radiação.

Figura 2: Representação da incidência de radiação em um corpo negro



Fonte: O próprio autor (2017)

A respeito da emissão podemos concluir que, ao aquecer esse cubo, seria possível perceber que, no orifício, existe certa liberação de radiação, e quanto maior a temperatura do cubo, mais intensa ela será. É importante salientar que para fazer jus ao nome corpo negro, segundo Eleno (2016), essa emissão vale para temperaturas baixas, onde a faixa de frequência está no infravermelho, invisível aos sentidos visuais humanos, essa radiação é caracterizada por comprimento de onda entre 700 nm e 50 000 nm.

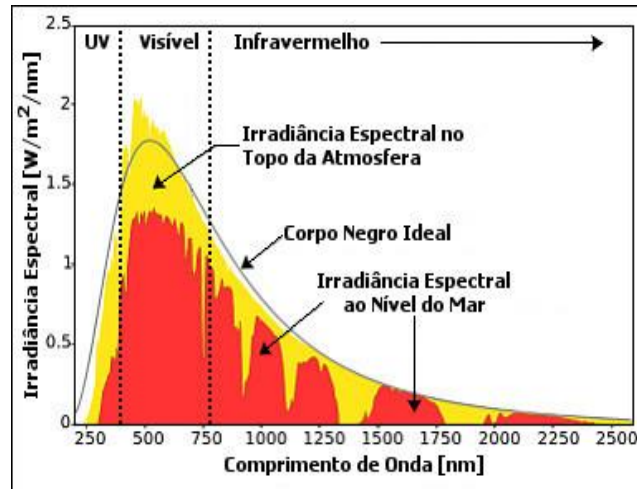
Se o copo for aquecido constantemente, devido à elevada temperatura, chegará um momento em que, ao observar o orifício feito no cubo, será possível não apenas sentir a radiação, mas também enxergá-la, pois passará a ocupar as frequências da luz visível, passando por todas as cores até chegar ao branco onde alcançará elevada temperatura. No momento em que o corpo irradiar na frequência do visível, não fará mais sentido chamá-lo de corpo negro, porque, ao olharmos de frente para o orifício, não veremos mais um buraco na cor preta emanando calor, mas uma variação de cores em função de sua temperatura.

Foi através desse experimento que Kirchhoff demonstrou que, para corpos negros, a emissão de radiação não depende do material com que ele é feito, mas apenas de sua temperatura.

Se o corpo absorve mais radiação do que emite, sua temperatura aumenta, se ele emite mais do que absorve sua temperatura abaixa. Quando os corpos absorvem e emitem radiação na mesma intensidade dizemos que ele está em equilíbrio com o ambiente onde se encontra. Absorvedores ideais em equilíbrio térmico com o ambiente, de acordo com Kirchhoff são chamados de corpo negro.

Um ótimo exemplo de corpo negro a nível de emissão de radiação são as estrelas, assim como o sol, seu espectro pode ser visto na Figura 3 a seguir, na qual a linha contínua mostra o comportamento do corpo negro.

Figura 3: Espectro de radiação do sol.



Fonte: http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html

A atenuação na irradiância demonstrada pela figura ocorre devido aos efeitos de absorção, espalhamentos e reflexões ocorridos desde a entrada da radiação solar no topo da atmosfera até atingir o nível mais baixo em que se localiza o nível do mar.

3.1 Catástrofes do ultravioleta

Um dos motivos que levaram os físicos do século XIX a estudar os aspectos da radiação dos corpos incandescentes é que, nessa época, a iluminação das cidades europeias era à base de gás e energia elétrica. O desafio dessa geração de pesquisadores era encontrar um material que pudesse fornecer uma grande intensidade luminosa a uma baixa temperatura. Os estudos da radiação térmica e a interpretação dos resultados experimentais levaram a um impasse, as análises não correspondiam com as previsões teóricas. Tais estudos realizados para solucionar esse problema levaram a Física a um grau maior de entendimento, podendo ser considerado o marco inicial da física quântica, a explicação da quantização de energia.

O que se sabia de fato naquela época, é que corpos a certa temperatura podiam absorver ou emitir radiação, apresentando um espectro com um ou mais picos de frequências máximas, as quais são influenciadas pelo tipo de material que compõe o corpo. De maneira análoga, corpos negros a uma mesma temperatura T emitem radiação com espectros iguais, os quais não dependem do material que os compõem, apenas da temperatura em que se encontra.

Foi na tentativa de entender as radiações térmicas que Kirchhoff introduziu o conceito de corpo negro, pois os corpos que possuem coloração escura apresentam grande capacidade de absorção das radiações incidentes sobre eles. Esse é o motivo das roupas pretas esquentarem tanto sob a luz do sol.

Tomando como base os estudos de Kirchhoff e os experimentos de Tyndall sobre o aquecimento de um fio de platina, Josef Stefan, em 1879, percebeu que seu resfriamento ou perda térmica por unidade de área era proporcional a quarta potência de sua temperatura absoluta. Essas observações passaram a ser conhecida como Lei de Stefan

Matematicamente a expressão de Josef Stefan pode ser representada da seguinte forma:

$$I = \frac{P}{A} = P = \sigma T^4 \quad (1)$$

Onde I é a intensidade luminosa, P é a potência total irradiada, T é a temperatura absoluta e σ ficou conhecida como constante de Stefan, sendo igual a $5,670367 \cdot 10^{-8} \text{ kg.s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$.

A equação acima é válida para corpo negro na qual a emissividade $\epsilon = 1$.

Para outros corpos ditos não ideais, a equação de Stefan-Boltzman, que primeiramente foi conhecida como Lei de Stefan, também é válida, mas com emissividade $0 < \epsilon < 1$, podendo ser reescrita da seguinte forma:

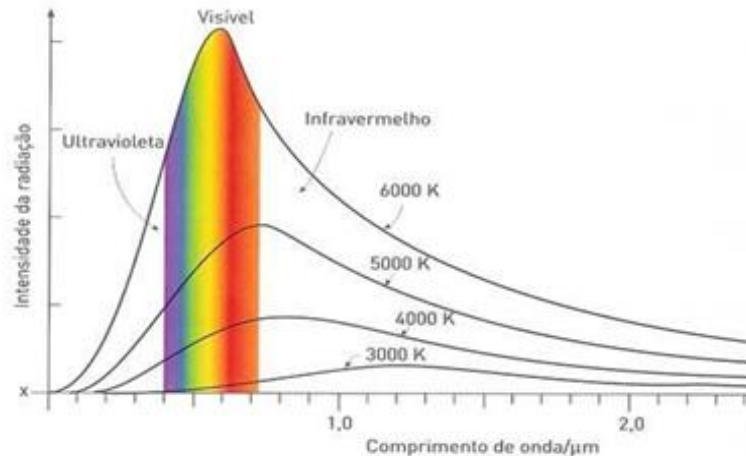
$$P = \epsilon \sigma T^4$$

Segundo Perez (2016, p. 17), o enunciado de Josef Stefan foi proposto da seguinte maneira: A potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura.

Mais tarde, Dahmen (2006) explicita que o ex-aluno de Josef Stefan, Ludwig Boltzmann, unindo os estudos de Maxwell sobre eletromagnetismo e seus conhecimentos sobre termodinâmica, obteve, teoricamente, o que seu antigo professor já havia deduzido empiricamente. Dessa forma, a lei de Stefan passou a ser conhecida como Lei de Stefan-Boltzman.

Alguns anos depois, em 1893, Perez (2016) assegura que Wilhelm Wien propôs o que hoje conhecemos como Lei de Deslocamento de Wien, que demonstra como os corpos negros emitem radiação em função de sua temperatura. A curva dessa equação pode ser vista na figura 4.

Figura 4: Demonstração da curva de Deslocamento de Wien



Fonte: www.estudopratico.com.br/energia-irradiada-lei-do-deslocamento-e-irradiacao-termica/

De acordo com o gráfico, para cada temperatura existe um pico de radiação, portanto, quanto maior o comprimento de onda, menor é sua intensidade luminosa, por isso se chama Lei de Deslocamento, pois, à medida que a temperatura aumenta, toda a curva sofre um deslocamento para comprimento de ondas menores.

A lei de Deslocamento pode ser escrita assim: “O comprimento de onda máximo irradiado por um corpo negro é inversamente proporcional a sua temperatura”

Matematicamente, sua lei pode ser descrita da seguinte forma:

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = b \quad (2)$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ representa o comprimento máximo de radiação do corpo negro, T é a temperatura absoluta (Kelvin) e b é uma constante conhecida como constante de dispersão de Wien, cujo valor é de $2,8977685 \cdot 10^{-3} \text{ m.k}$

Através dessa equação, pode-se estimar a temperatura de um corpo sabendo apenas o comprimento de onda de máxima intensidade correspondente, por exemplo, a cor amarelada do sol apresenta um comprimento de onda, de acordo com o espectro

de Newton sobre as cores da luz, de aproximadamente 570 nm, aplicando esse comprimento à equação do deslocamento de Wien, encontra-se:

$$T = 2,898.10^{-3} / 570.10^{-9}$$

$$T = 5084 \text{ K.}$$

Valor muito próximo para temperatura da superfície do sol que segundo o Observatório Astronômico Frei Rosário, vinculado à Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG, é de aproximadamente 5800K.

Em junho de 1896, Wien desenvolveu uma função que descreveria a densidade de energia da radiação do corpo relacionando-a com o comprimento de onda, essa lei foi expressa matematicamente da seguinte forma:

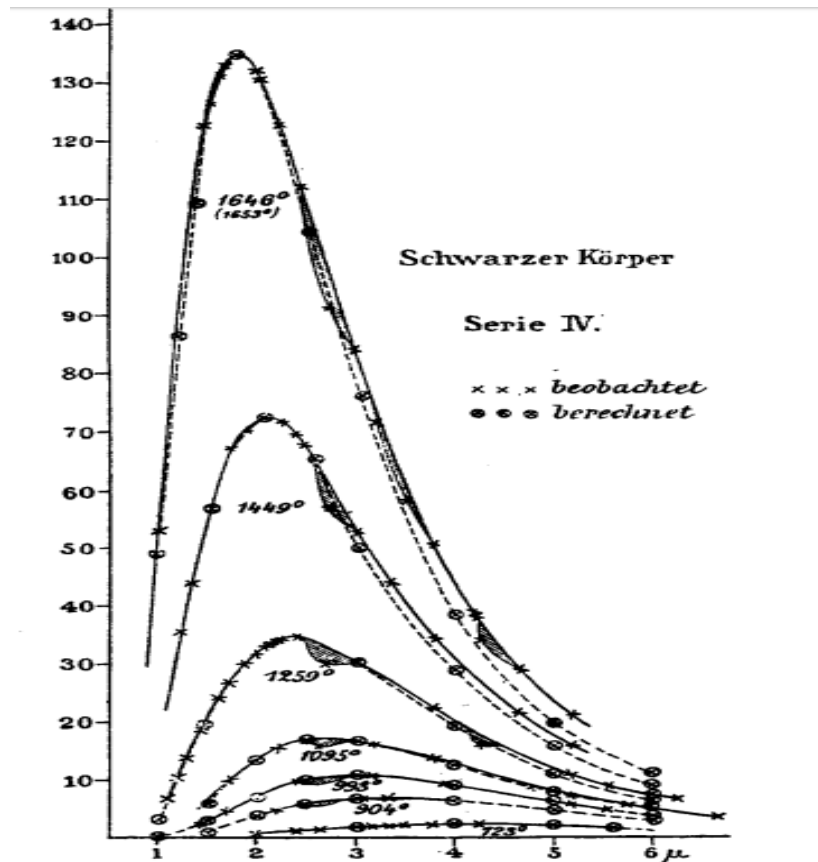
$$I(\lambda, T) = a\lambda^{-5}e^{-c/\lambda T} \quad (3)$$

Onde a e c são constantes.

Nelson Studart (2000, p. 526) enfatiza que houve várias verificações experimentais da lei de Wien, uma das mais cuidadosas foi elaborada por Friedrich Paschen (1865-1947), permitindo determinar a distribuição espectral para qualquer temperatura. Otto Lummer (1860-1925) e Ernst Pringshein (1859-1917), comprovaram a validade da equação de deslocamento (2) encontrando para **b** um valor de 0,294 cm.K.

Os resultados experimentais de Lummer e Pringshein sobre Intensidade espectral como função do comprimento de onda podem ser visualizados na figura 5 a seguir:

Figura 5: Intensidade espectral como função do comprimento de onda



Fonte: http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/historia/v22_523.pdf

Em junho de 1900, ao analisar a cavidade descrita por Kirchhoff, o físico John Rayleigh também apresentou um método para calcular a densidade de radiação de um corpo negro em função da temperatura, associando a radiação em equilíbrio com ondas estacionárias e os estudos de Maxwell-Boltzmann sobre equipartição de energia.

Segundo Studart (2000 p.529), “Seu método consistia em calcular o número de ondas estacionárias, ou seja, a distribuição de modos eletromagnéticos permitidos com frequência no intervalo entre ν e $\nu + d\nu$, $N(\nu)d\nu$, dentro da cavidade”.

Sua equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu} = \text{constante} \cdot T\nu^2 \quad (4)$$

Na equação acima, a constante ainda não havia sido estabelecida, ν é o volume da cavidade e $\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu}$ é a densidade de energia T é a temperatura absoluta (K).

Mais tarde, em 1905, Rayleigh completa sua equação encontrando a constante que faltava, ficando conhecida como Lei de Rayleigh- Jeans após James Jeans introduzir um fator de 8, que Rayleigh havia esquecido. Tal equação pode ser expressa da seguinte forma:

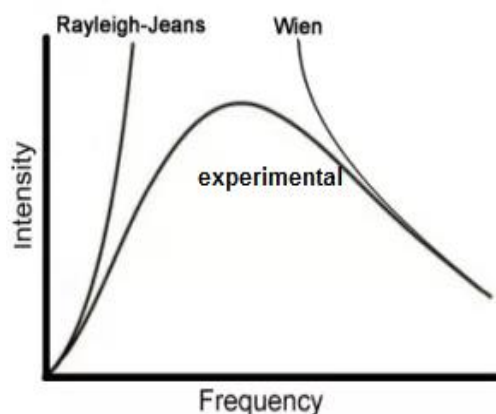
$$\frac{1}{V} \frac{du}{dv} = 8\pi \frac{K_B}{c^3} T v^2 \quad (5)$$

Onde K_B é a constante de Boltzmann e c é a velocidade da luz.

Foi grandioso o avanço alcançado por Wien e Rayleigh em relação à radiação do corpo negro, mas os dados experimentais não estavam em total concordância com suas respectivas equações, a aproximação de Wien tinha validade apenas para baixos comprimentos de ondas (altas frequências) e a equação de Rayleigh funcionava bem, apenas para altos comprimentos de onda (baixas frequências)

Uma ilustração dos dados experimentais em relação a suas equações pode ser vista na figura 6 a seguir:

Figura 6: Comparação de radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh



Fonte: Adaptado de <https://paralysisbyanalysis52.wordpress.com>

Este gráfico demonstra com clareza como a equação de Wien se ajusta para altas frequências e a lei de Rayleigh se ajusta para baixas frequências, apesar de demonstrar discrepâncias, Wien conseguiu empiricamente escrever a equação que demonstra uma proporcionalidade entre a frequência e temperatura, quando o corpo

emite uma radiação de intensidade máxima (2), o problema é que quando se projeta a equação de Rayleigh para os raios ultravioletas, a emissão explode para o infinito, essa discordância foi chamada de “**Catástrofe do Ultravioleta**”, que veio ter solução com um grande físico chamado Max Planck.

3.2 A solução de Planck para a catástrofe do ultravioleta

Para encontrar a solução desse problema, Planck tomou como base o modelo de corpo negro descrito por Kirchhoff (1860), no qual associou a oscilação dos átomos que constituía a parede do recipiente, com osciladores harmônicos.

Em perspicaz e pertinente análise, Halliday, Resnick e Krane p. 146 /5a edições- Física 4-Ed. LTC.

Ele também supôs que estes osciladores não poderiam oscilar com qualquer energia arbitrária, mas apenas com energias que fossem múltiplas inteiras de $h\nu$, onde ν é a frequência de radiação que estes osciladores absorvem e emitem à medida que interagem com a radiação existente na cavidade.

Foi essa questão de quantidade de energia que Planck modificou, pois antes se acreditava que, por meio da Física clássica, os elétrons poderiam oscilar em qualquer valor de energia de zero a um valor máximo, isso acabava explodindo na Catástrofe do Ultravioleta. O conceito adotado por Planck é que a energia do elétron deveria ser quantizada, ou seja, a energia adquirida por cada elétron deveria variar em quantidades inteiras, e que essa energia dependeria apenas da frequência de oscilação das moléculas. A dependência da quantidade de energia em função da sua frequência pode ser escrita da seguinte forma:

$$E = h\nu \quad (6)$$

Foi nesse período que o conceito de quantum foi introduzido, os osciladores não irradiam energia de forma contínua, mas por pulsos ou pacotes denominados quanta. Nessa expressão o h é denominado constante de Planck e seu valor é:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Laura Catarina Seco Antunes (2012 p.14), em sua dissertação sobre radiação do Corpo Negro- Lei de Estefan Boltzmann, expõe que " A solução de Planck resulta em substituir na fórmula de Rayleigh - Jeans, a energia média clássica correspondente a cada modo do campo, o valor $K_B T$, por uma nova expressão".

$$K_B T = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda K_B T}} - 1} = \frac{E_\lambda}{e^{\frac{E_\lambda}{K_B T}} - 1} \quad (7)$$

Onde $\frac{hc}{\lambda}$ é a quantidade de energia discreta apresentada por cada modo de oscilação ou pulso. O grande trabalho de Planck era ajustar uma equação que expressasse os dados experimentais da distribuição espectral da radiação, esse grande feito foi então apresentado à comunidade científica em 19 de Outubro de 1900. Esse foi o primeiro passo ao que conhecemos hoje como Física Quântica, sendo um dos maiores marcos no campo dessa ciência.

A forma mais completa da equação de Planck pode ser descrita da seguinte forma:

$$R(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda K_B T}} - 1} \quad (8)$$

Onde: R = radiância espectral.

T = Temperatura do corpo Negro (K).

h = Constante de Planck (J/HZ)

e = Número de Euler

c = Velocidade da luz

K_B = Constante de Boltzmann (Joule / Kelvin)

O comprimento de onda tem relação com sua frequência;

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (9)$$

A Lei de Planck pode ser escrita para densidade espectral ficando da seguinte forma:

$$u = \frac{8 \cdot \lambda \cdot h \cdot \nu^3}{c^3} \left\{ \exp\left(\frac{h\nu}{KT}\right) - 1 \right\}^{-1} \quad (10)$$

Ou

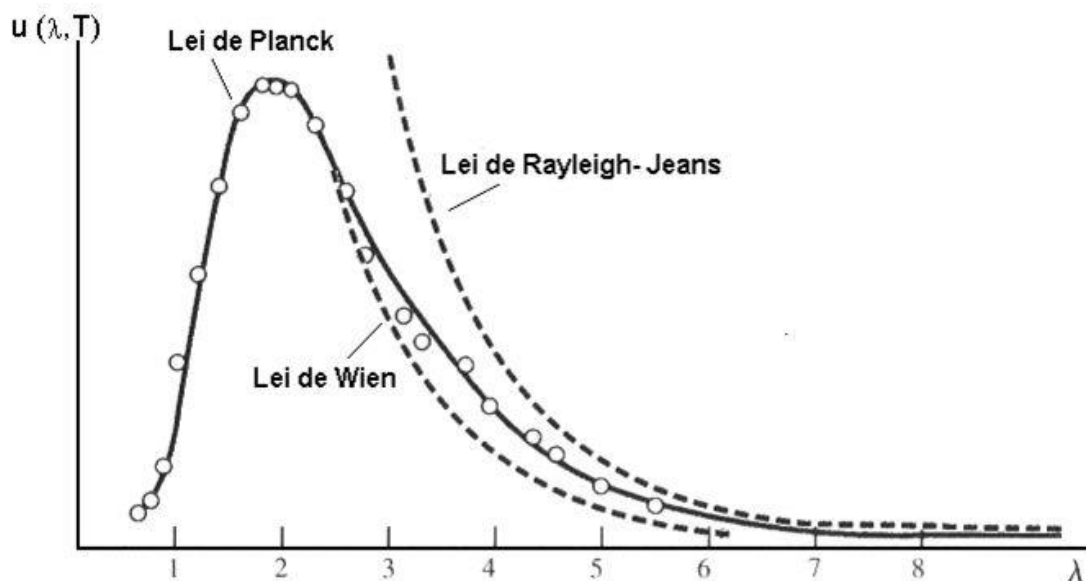
$$p(\nu) = \frac{N\nu}{V} U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{KT}} - 1} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{\frac{h\nu}{KT}} - 1} \quad (11)$$

Ou ainda em função do comprimento de onda:

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda T}} - 1} \quad (12)$$

O gráfico que compara as Leis de Rayleigh-Jeans e Wien com a Lei de Planck pode ser vista na figura 7 a seguir:

Figura7: Comparação da Curva de radiação emitida por um Corpo Negro



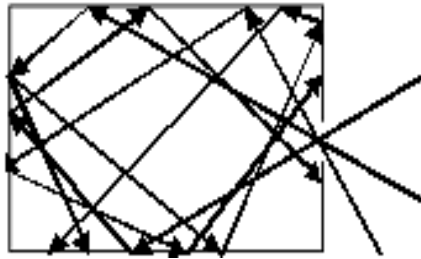
Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/2884196/>

De acordo com o gráfico, percebe-se que a Lei de Wien e Rayleigh-Jeans, falham em algumas projeções, enquanto que para a Lei de Planck, representado pelos pequenos círculos, ajusta-se perfeitamente aos dados experimentais.

3.3 Deduções da equação de Stefan-Boltzmann

Segundo o professor Luca Maricone da UFRJ, a pressão exercida pelas moléculas de um gás durante a reflexão nas paredes de um recipiente é semelhante à pressão exercida pelas ondas eletromagnéticas nas paredes refletoras de um corpo negro. Veja a figura 8.

Figura 8: Reflexão das ondas eletromagnéticas



Fonte: O próprio autor (2017)

Ondas eletromagnéticas monocromáticas possuem a capacidade de transportar momento linear $p = U/c$, (U é a energia eletromagnética total), as colisões dessas ondas ao longo da direção normal a parede transfere momento linear igual $2p \cos(\theta) = 2U \cos(\theta) / c$. A pressão $P(\theta)$ apresenta no momento da reflexão, segundo o Maricone “é igual a duas vezes a densidade de corrente de momento projetada na direção normal à parede, isto é: ”

$$P(\theta) = 2 \frac{U}{vc} \cos(\theta) \cdot [c \cdot \cos(\theta)] \quad (12)$$

As pressões exercidas em todas as paredes de um corpo negro são iguais à pressão média, que pode ser escrita da seguinte forma:

$$P = (P(\theta)) = \frac{1}{2\pi} \frac{U}{V} \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^{\pi/2} d\theta \sin(\theta) \cos^2 \theta = \frac{U}{3V} = \frac{u}{3} \quad (13)$$

Essa expressão é válida para todas as frequências de onda, apesar de ter sido desenvolvida para uma única onda de frequência fixa. Analogamente a expressão 14 é válida para a pressão total de um corpo negro, onde u é a densidade de energia da onda eletromagnética.

Segundo os passos do Prof. Dr. José Fernando Fragalli da Universidade do Estado de Santa Catarina, na dedução da equação de Stefan-Boltzmann, temos que:

Da 1ª lei da Termodinâmica:

$$T \cdot dS = dU + p \cdot dV \quad (15)$$

Escrevendo a energia interna em termos da densidade de energia, temos:

$$dU = u dV \quad (16)$$

Considerando a cavidade como sendo um corpo negro ideal, ao descrever a densidade de energia desta cavidade, estamos também descrevendo a densidade de energia do próprio corpo negro, que depende somente da temperatura, como pode ser observado:

$$u = u(T) \quad (17)$$

Como a energia interna é uma função de estado, podemos descrevê-la da seguinte forma:

$$U(T, V) = u(T) \cdot V \quad (18)$$

Aplicando a diferencial nos dois lados da equação, temos:

$$dU = u(T) \cdot dV + V \cdot du \quad (19)$$

Como a densidade de energia depende apenas de sua temperatura, conclui-se que:

$$du = \left(\frac{du}{dT}\right) \cdot dT \quad (20)$$

Substituindo du em dU , temos que:

$$dU = uT \cdot dV + V \left(\frac{du}{dT}\right) \cdot dT \quad (21)$$

Enfim, substituímos a equação 21 na equação 15

$$T \cdot ds = u(T) \cdot dV + V \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) \cdot dT + P \cdot dV \quad (22)$$

Ao reunirmos os termos semelhantes na diferencial dV , obtemos o seguinte:

$$T \cdot ds = [u(T) + P] \cdot dV + V \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) \cdot dT \quad (23)$$

P é a pressão de radiação e pode ser descrita em termos de densidade de energia, como se pode observar abaixo:

$$P = \frac{1}{3} \cdot u(T) \quad (24)$$

Substituindo a equação 24 na equação 23, temos:

$$T \cdot dS = \left[u(T) + \frac{u(T)}{3}\right] \cdot dV + V \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) \quad (25)$$

$$dS = \frac{4u(T)}{3T} \cdot dV + \frac{V}{T} \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) \cdot dT \quad (26)$$

Sendo S uma função de estado, conclui-se:

$$S = S(V, T) \quad (27)$$

Escrevendo a diferencial da entropia de maneira que:

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right) \cdot dV + \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right) \cdot dT \quad (28)$$

Comparando as equações 26 e 28, temos que:

$$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right) = \frac{4 \cdot u(T)}{3 \cdot T} \quad (29)$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right) = \frac{V}{T} \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) \quad (30)$$

Como:

$$\left(\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V}\right) = \left(\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V}\right) \quad (31)$$

Relacionando o lado esquerdo da equação 31 com a equação 29, temos que:

$$\left(\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V}\right) = \frac{\partial}{\partial T} \left[\frac{4 \cdot u(T)}{3 \cdot T} \right] = \frac{d}{dT} \left[\frac{4 \cdot u(T)}{3 \cdot T} \right] \quad (31)$$

$$\left(\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V}\right) = \frac{4}{3} \cdot \left[\frac{1}{T} \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) - \frac{u(T)}{T^2} \right] \quad (32)$$

Para o lado direito da equação 31, calcula-se a derivada da equação 19 em relação ao volume, como se pode observar abaixo:

$$\left(\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V}\right) = \frac{\partial}{\partial V} \left[\frac{V}{T} \left(\frac{du}{dT}\right) \right] = \frac{1}{T} \left(\frac{du}{dT}\right) \frac{dV}{dV} \quad (33)$$

A derivada do último da equação 33 nos leva a:

$$\left(\frac{\partial^2 S}{\partial T \partial V}\right) = \frac{1}{T} \left(\frac{du}{dT}\right) \quad (34)$$

Igualando as equações 32 e 34, obtemos:

$$\frac{4}{3} \left[\frac{1}{T} \left(\frac{du}{dT}\right) - \frac{u(T)}{T^2} \right] = \frac{1}{T} \cdot \left(\frac{du}{dT}\right) \quad (35)$$

Aplicando as regras matemáticas corretamente, conclui-se que:

$$\frac{du}{dt} = 4 \frac{u}{T'} \quad (36)$$

A solução geral para essa equação é: $u = \sigma T^4$ ou $R = \sigma T^4$ (1)

3.4 Confirmando a lei de deslocamento de Wien

Lei empírica $\lambda_{m\acute{a}x} = CW \frac{1}{T}$

Obtenção da equação a partir da lei de Planck

$$\frac{d}{dv} \rho(\lambda) = 0 ; \frac{d^2}{dv^2} \rho(\lambda) < 0 , \text{ Ponto m\acute{a}ximo} \quad (37)$$

Fazendo a derivada primeira da lei de Planck (8), em função do comprimento de onda, temos:

$$\frac{\partial \rho_T}{\partial \lambda} = \frac{\partial}{\partial \lambda} \left[\frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1} \right] = 0 \quad (38)$$

Ao igualar a derivada a zero, buscamos em qual comprimento de onda, encontramos a máxima radiação. Desse modo, chega-se a:

$$-\lambda \left(e^{\frac{hc}{\lambda kt}} - 1 \right) + e^{\frac{hc}{\lambda kT}} \cdot \frac{hc}{5KT} = 0 \quad (39)$$

$$\text{Como } x = \frac{hc}{\lambda kt} \quad (40)$$

Encontra-se $\frac{x}{5} + e^{-x} = 1$, essa expressão possui solução numérica única, podendo ser escrita da seguinte forma:

$$x = 4,96511423175275$$

Substituindo o valor de x na equação 24, obtemos:

$$4,96511423175275 = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{\lambda \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot T}$$

Multiplicando cruzado, chega-se em:

$$\lambda \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} = \lambda \cdot T = b$$

3.5 Confirmando a Lei de Stefan

$$R_T = \sigma T^4$$

Obtendo a Lei de Stefan por meio da equação de Planck.

$$R_T = \frac{C}{4} \rho T = \frac{C}{4} \int_0^\infty \rho(v) dv = \frac{C8\pi h}{4C^3} \int_0^\infty \frac{v^3}{e^{\frac{hv}{KT}} - 1} dv \quad (41)$$

$$q = \frac{hv}{KT} \quad (42)$$

$$= \frac{2\pi h}{c^2} \left(\frac{KT}{h}\right)^4 \int_0^\infty \frac{q^3}{e^q - 1} dq \quad (43)$$

Utilizando $\int_0^\infty \frac{q^3}{e^q - 1} dq = \frac{\pi^4}{15}$ teremos a seguinte expressão

$$R_T = \frac{2\pi^5 K^4}{15c^2 h^3} T^4 \quad (44)$$

Chegando a comprovar a constante de Boltzmann

$$\sigma = \frac{2\pi^5 K^4}{15c^2 h^3} = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ k}^4 \quad (45)$$

3.6 Quantização de energia segundo Planck.

3.6.1 Energia média.

A soma das probabilidades de se encontrar um sistema com alguma energia é 100% como pode observar na seguinte expressão:

$$\sum_E P(E) = 1 \quad (46)$$

Utilizando os conceitos da mecânica estatística, podemos determinar a possibilidade de se encontrar um sistema com determinada energia.

$$P(E) = \frac{1}{Z(T)} \cdot e^{-E/KT} \quad (47)$$

Onde $\frac{1}{Z}$ é chama de constante de normalização conhecida como função de partição que depende da temperatura.

$$1 = \frac{\sum e^{-\frac{E}{KT}}}{Z} \quad (48)$$

$$Z(T) = \sum_E e^{-E/KT} \quad (49)$$

Para determinar a radiação do corpo negro Max Planck, considerou a energia liberada pela radiação do corpo negro, como sendo em pacotes ($E = nh\nu$), e não continua como se acreditava, para isso, considerou que cada molécula se comportaria como sendo um oscilador harmônico simples, encontrando a energia média desses osciladores.

$$\langle E \rangle = \sum_E EP(E) = \frac{1}{Z} \sum_E E e^{-\frac{E}{KT}} = \frac{1}{Z} \left(-\frac{\partial}{\partial \left(\frac{1}{KT}\right)} \sum e^{-\frac{E}{KT}} \right) \quad (50)$$

Como $\sum e^{-\frac{E}{KT}}$ representa Z, obtemos a derivada de Z vezes (-1), com respeito a um sobre KT dividida por Z, que pode ser chamada de logaritmo natural (ln).

$$\langle E \rangle = -\frac{\partial}{\partial \left(\frac{1}{KT}\right)} \ln Z \quad (51)$$

Calculando Z encontramos a energia média.

Calculando a função da partição, temos:

$$Z(T) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-\frac{E}{kT}} \quad (52)$$

De acordo com a equação de Planck para energia do fóton ($E = nh\nu$).

$$Z(T) = \sum_{n=0}^{\infty} e^{-n\left(\frac{h\nu}{kT}\right)} \quad (53)$$

Se consideramos a série $1 + x + x^2 + x^3 \dots = \frac{1}{1-x}$, podemos verificar matematicamente que a multiplicação de membro a membro do 1º primeiro termo pelo denominador do 2º membro o resultado é 1.

Entendendo que x é: $e^{-\left(\frac{h\nu}{kT}\right)}$, conseqüentemente :

$$Z(T) = \frac{1}{1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}}} \quad (54)$$

Para energia, derivando com respeito a função logarítmica, temos:

$$\langle E \rangle = \frac{\partial}{\partial \left(\frac{1}{kT}\right)} \ln \left(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}} \right) \quad (55)$$

Derivando primeiramente o logaritmo, temos:

$$\frac{1}{(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}})} \quad (56)$$

Derivando o que está dentro dos parênteses fica da seguinte forma:

$$\frac{e^{-\frac{h\nu}{kT}}}{(1 - e^{-\frac{h\nu}{kT}})} h\nu \quad (57)$$

Passando o numerador para o denominador, a expressão fica:

$$\langle E \rangle = \frac{h\nu}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1} \quad (58)$$

A expressão acima é o resultado da energia média de um oscilador com frequência ν .

Para Planck, a energia de cada fóton é:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (59)$$

A distribuição espectral da densidade de energia por unidade de volume no intervalo entre λ , $\lambda + d\lambda$, é dada por:

$$u(\lambda) = \frac{hc}{\lambda} n(\lambda) = 8 \frac{hc}{\lambda} \pi \lambda^{-4} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \quad (60)$$

Multiplicando a expressão acima pela energia média, obtém-se a função de distribuição da densidade de energia no interior da cavidade, denominada Lei de Planck:

$$I = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{hc/\lambda}{e^{hc/\lambda kT} - 1} \quad (12)$$

4 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

4.1 Caracterização da pesquisa

Tendo em vista que o ambiente onde se pautou as investigações desse trabalho possui natureza social, utilizaremos o método de pesquisa classificado como qualitativa, indicado para análises nas quais os resultados não são interpretados por conjuntos numéricos ou relacionados a números. De acordo com Bogdan e Biklen (1994, p.47). “Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal”

Neste tipo de análise, o investigador preocupa-se em visitar o local de estudo, pois as ações são melhores entendidas quando elas se encontram em seu ambiente natural, facilitando a leitura dos acontecimentos (BOGDAN E BIKLEN, 1994). Neste entendimento, a pesquisa aqui apresentada tem como objetivo entender como os indivíduos dão significados aos acontecimentos e situações que os rodeiam, bem como se organizam mediante a uma situação problema.

4.2 Coletas de dados

A coleta de dados ocorreu com a implementação do produto educacional de tema Radiação do Corpo Negro no Ensino Médio, em turma de terceiro ano de uma instituição particular da cidade de Ivaiporã – PR. O produto aplicado é composto de uma sequência didática com duração de 11 aulas de 50 minutos. Para levantamento de dados, foram utilizados questionários, diário de campo do pesquisador, bem como todos os materiais produzidos pelos alunos durante a implementação.

4.3 Estruturas da sequência didática

4.3.1 A sequência didática

Um dos fatores que promovem o distanciamento entre teoria e experimentação dentro do âmbito escolar, é sem sombra de dúvidas, a falta de apoio materiais e suportes pedagógico, sendo que na falta desses recursos se torna impossível o

desenvolvimento de metodologias que favoreçam a união entre atividades experimentais e teóricas.

Pesando em como lidar com o presente cenário educacional, o material apresentando neste trabalho se constitui em uma sequência didática que servirá para auxiliar o professor nas aulas de Radiação do Corpo Negro, experimentação de absorção e experimentação para comprovação dos raios infravermelhos, promovendo em encurtamento entre o conhecimento prévio de aluno e o novo saber por meio da experimentação.

Segundo Kobashiwaga *et. al* (2008), *apud* Batista (2016, p.41), sequência didática é o “conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa pelo docente para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes”

Ao preparar uma sequência didática, o educador deve ter em mente qual o objetivo desse material e o que se espera que os alunos saibam no final dessa aplicação.

Nesta concepção, Zabala divide os conteúdos da seguinte forma:

Primeira: Conteúdos conceituais - estabelece a relação com o que se deve saber. Exemplos: sistema alfabético, fotossíntese, divisão, astronomia. Esses se caracterizam por uma construção pessoal, como pensar, comparar, compreender e estabelecer relações.

Segunda: Conteúdos procedimentais - faz referência ao que se deve saber fazer. Exemplos: dirigir carro, cozinhar, grafia das letras. Esses se caracterizam pela frequência com que se realiza. Nessa etapa é muito importante a ajuda daquele que já sabe tal conteúdo.

Terceira: Conteúdos atitudinais - esse explicita como se deve ser. Exemplos: responsabilidade, hábito de leitura, solidariedade. Essa etapa só se concretiza se os alunos vivenciarem situações que representem esses valores, (Zabala, 1998 *apud* Batista, 2016, p. 24).

É importante promover uma atividade educacional que tenha como centro o aprendiz, pois é ele o motivo dos estudiosos pesquisarem o método de assimilação de conhecimentos. O aprendiz não pode mais ser tratado como um recipiente vazio e de formato definido, são várias as vivências e tradições que cada um carrega consigo, por isso é que devemos ao ensinar, considerar o que aprendente sabe e carrega de conhecimentos, esses saberes podem se mostrar um poderoso aliado na elaboração de uma proposta de atividade.

Um dos maiores problemas observados a respeito do método tradicional de ensino, é que este, trata os conteúdos de forma acabada, não oportunizando a

formulação de certos conceitos e conclusões por parte dos alunos. Neste método, segundo Batista (2016), o aprendente se comporta passivamente, acumulando as informações apresentadas pelo educador que, muitas vezes, não apresentam uma aprendizagem significativa, por se tratar de mera memorização passageira dos conhecimentos.

Muitos dos modelos de ensino abordados pelos educadores, diz respeito à própria formação, tendo em vista que foram educados tradicionalmente e se utilizam dessa referência, como argumenta Batista (2006):

Esse tipo de ensino comumente reproduzido nas escolas tem uma ligação direta com a formação inicial desse professor e principalmente com suas experiências vividas ao longo de sua vida escolar, o que compõe o que já chamamos de saberes docentes, (Batista,2006, p.21)

É neste sentido que se faz necessário o estudo das teorias de aprendizagem, para que as novas concepções de ensino sejam também repassadas aos futuros educadores. Como abordar um conteúdo de maneira a provocar uma aprendizagem significativa e que sirva de exemplo para os professores de amanhã? Segundo Batista:

[...] acreditamos que, com um planejamento e um conjunto de atividades estruturadas, como o que se propõe na aplicação da uma sequência didática, seja possível alcançar os futuros professores de ciências dos anos iniciais. (Batista, 2016 p.21).

O que se percebe é que, ao mudar as estratégias de ensino, não se afeta somente o aprendente, mas também os futuros profissionais da educação, que podem aprender com os novos exemplos de se construir conhecimento.

O quadro 1 apresenta de forma geral a estrutura e os objetivos da sequência didática proposta:

Quadro 1: Estrutura da sequência didática

Disciplina: Física	Série: 3º ano - Ensino Médio
Tema: Física Moderna	Conteúdo Básico: Radiação do Corpo Negro
Nº de aulas previstas:	11 aulas
I. Conteúdo específico Radiação do corpo negro, radiação infravermelho.	
II. Pré-requisitos Os alunos devem ter noções básicas sobre meios de propagação do calor e ondulatória.	
III. Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> • Compreender os mecanismos de absorção da radiação por um corpo escuro. • Relacionar a absorção dos raios do espectro luminoso com o aumento de temperatura. • Entender os fenômenos relacionados à radiação bem como sua aplicação no dia-a-dia. • Permitir o trabalho em grupo. • Desenvolver a habilidade de manuseio de materiais e instrumentos. 	

Fonte: Autoria própria (2017)

4.3.2 O papel do professor nessa sequência didática

O papel do professor nessa sequência didática, além de distribuir as atividades, organizar e criar um ambiente adequado para aprendizagem é de mediador ativo e participativo, sendo sua ação imprescindível antes, durante e após o desenvolvimento do conteúdo a ser trabalhado.

Além disso, o educador deve promover o debate produtivo entre os alunos, dando espaço a liberdade de expressão de suas ideias, usando e explorando o conhecimento por ele já adquirido.

4.3.3 Organizações da sequência didática.

Esta sequência foi dividida em 2 etapas:

Primeiro foi apresentado o conteúdo teórico incluindo a parte histórica que trata sobre o porquê dos estudos sobre radiação do corpo negro e o que é radiação infravermelho.

Na segunda etapa, este trabalho tratou da parte experimental sempre unindo teoria e prática. Os materiais utilizados foram de baixo custo, para que o docente não tenha dificuldades financeiras em aplicá-lo em turmas numerosas como é de costume em salas de aula estaduais.

A sequência didática a seguir foi estruturada em 4 módulos totalizando 11 aulas de cinquenta minutos como demonstra o quadro abaixo.

Quadro 2: Divisão em módulos da sequência didática

MÓDULOS	TEMAS	Nº DE AULAS
MÓDULO 1	Introdução à parte teórica da radiação do corpo negro, iniciando com o um pequeno questionário relacionando vivências do dia-a-dia.	3
MÓDULO 2	Introdução à radiação infravermelho e experimento que demonstra sua existência	2
MÓDULO 3	Experimento de absorção de radiação do corpo negro e questionário referente à atividade	3
MÓDULO 4	Atividade prática para o estudo da radiação de corpo negro por meio da potência do Sol.	3

Fonte: Autoria própria (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Relato de experiência: aplicação da sequência didática.

A implementação dessa sequência didática foi realizada em um colégio particular da região de Ivaiporã - PR. Essa escola foca os seus esforços em preparar os alunos para o vestibular, seguindo um formato apostilado de ensino.

O referido colégio trabalha desde o maternal até o Ensino Médio, contando com apenas uma turma de 3º ano, cerca de 20 alunos. Como seu público alvo reside em grande parte nas regiões vizinhas a Ivaiporã, a possibilidade dos encontros acontecerem no contra turno estava comprometida, devido a questões relacionadas a transportes, mas esta questão foi resolvida devido ao interesse dos discentes aos conteúdos que o material oferecia, a nível de conhecimento. De maneira geral, a coordenação olhou com bons olhos a proposta de atividades extras, entendendo a importância do assunto abordado para o futuro de seus educandos.

A aplicação do referido produto ocorreu durante duas semanas em seis encontros, utilizando duas segundas-feiras com duas aulas cada uma, duas terças-feiras também com duas aulas, duas quintas-feiras, uma com 2 aulas e outra com 1 aula apenas.

5.1.1 Relatos de experiência – Primeiro encontro

O primeiro encontro aconteceu no dia 6 de Novembro de 2017. Neste dia iniciou-se a aula com a aplicação de um questionário individual com 8 perguntas (apêndice A) para verificar o nível de entendimento que cada educando trazia consigo a respeito do assunto: radiação do corpo negro. Ausubel corrobora com esta metodologia ao enunciar:

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fato isolado mais importante que informação na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie isso os seus ensinamentos. (AUSUBEL, 1968, p.31).

De acordo com Ausubel, é de suma importância considerar aquilo que o aprendiz carrega de conhecimento, mesmo que este seja substituído por outro mais elaborado e científico, não se pode considerar o aprendiz como uma lousa em branco,

pronta para ser preenchida, suas vivências poderão colaborar na compreensão de novos saberes.

Neste primeiro encontro, compareceram 18 alunos, sendo 10 meninas e 8 meninos.

Durante a aplicação do questionário não houve perguntas pertinentes ao tema abordado, os alunos se comportaram de maneira exemplar, aceitando com prontidão o desafio que estaria por vir.

A primeira pergunta do questionário foi a seguinte:

1. Ao sair em um dia ensolarado de verão, a cor da roupa que usará influenciará na sensação térmica da pele envolta pelo tecido?

A maioria dos educandos responderam apenas que sim, outros foram além, justificando suas respostas, como por exemplo:

“Sim, pois a cor negra absorve mais calor do que a branca por exemplo”
(Aluno B)

“Sim, a roupa de cor preta absorve mais calor do que a roupa de cor branca, aumentando a sensação térmica” (Aluno P)

“Sim, pois a cor preta é a única que não reflete, ela absorve” (Aluno L)

“Sim, pois algumas cores como o preto absorvem mais calor” (Aluno A)

É possível entender a facilidade dos alunos em responder tal questão, pois ela está relacionada as suas vivências diárias, ou seja, existe um conhecimento prévio adquirido por suas próprias experiências. De acordo com Ramos:

[...]a contextualização, na pedagogia, é compreendida como a inserção do conhecimento disciplinar em uma realidade plena de vivências, buscando o enraizamento do conhecimento explícito na dimensão do conhecimento tácito. Tal enraizamento seria possível por meio do aproveitamento e da incorporação de relações vivenciadas e valorizadas nas quais os significados se originam, ou seja, na trama de relações em que a realidade é tecida (2004, p.1).

O que se pode observar é que não houve dúvidas em relação a essa questão, todos sabiam que a cor do tecido utilizado influencia na sensação térmica, pois esse

conhecimento está arraigado em suas mentes devido à contextualização do fenômeno, mesmo que não conheçam cientificamente a sua essência.

A segunda questão está relacionada à primeira, pois pergunta a respeito das cores de roupas que um indivíduo deveria comprar se o objetivo fosse manter a sensação térmica agradável. Algumas respostas com justificativas foram escolhidas para ilustrar a compreensão de alguns alunos:

“Branca, cor clara”. (Aluno P)

“Compraria roupas de cores claras”. (Aluno M)

“Branca, bege ou azul”. (Aluno B)

Como se pode perceber existe um nível de conhecimento muito bem definido a respeito da absorção de radiação das cores mais escuras, mesmo que as respostas não venham com certo grau científico.

A quarta questão do questionário norteador inicial pergunta sobre o que seria um corpo negro de acordo com a Física, logo abaixo estão explícitas algumas respostas elaboradas pelos alunos sem a ajuda do professor.

“É um corpo que não reflete a luz, ela só absorve, a cor negra é a ausência da luz” (Aluno M)

“Um corpo que absorve calor”. (Aluno A)

“Um copo com ausência de cores”. (Aluno T)

“Estudo dos corpos que absorvem calor”. (Aluno Ma)

“Um corpo que absorve todos os raios coloridos, pois não há nenhuma cor em sua composição”. (Aluno P)

“Um corpo com ausência de cores”. (Aluno Mt)

“Não sei. Absorve calor? (Aluno L)

Nesta questão pode-se perceber a falta de argumento científico para a explicação do corpo negro, as respostas ainda são de cunho totalmente vivenciais, ou seja, já existe um conceito formado a respeito do assunto que foi adquirido pelas suas experiências, e este conhecimento empírico é um excelente aliado na construção do novo saber. As declarações dos entrevistados levam a concluir que Moreira está certo ao afirmar que:

[...] ao atingir a idade escolar, a maioria das crianças já possui um conjunto adequado de conceitos que permite a ocorrência da aprendizagem, significativa por recepção. Ou seja, após a aquisição de uma certa quantidade de conceitos pelo processo de formação de conceitos, a diferenciação desses conceitos e a aquisição de outros novos ocorre, principalmente, através da assimilação de conceitos (a qual envolve interação com conceitos preexistentes na estrutura cognitiva, i.e., com subsunções) (2009, p.12)

De acordo com Moreira, ao adquirir novo conhecimento, o aprendiz relaciona o novo saber com algo que já existe em sua mente, encorpando o anterior e fixando o novo.

As repostas da questão cinco não foram muito diferentes, ela questiona quais são as cores do arco-íris, e 100% dos alunos responderam certo, porém não em ordem como as enxergamos.

A questão 6 aborda conceitos relacionados ao poder de aquecimento que cada cor do espectro luminoso pode apresentar, ou seja qual das cores apresenta um maior poder de aquecimento. Algumas respostas estão listadas abaixo:

“Preta” (este aluno provavelmente não entendeu a pergunta) (Aluno L)

“Violeta” (Aluno T)

“Vermelha” (Aluno Ma)

“Violeta ou vermelho” (Aluno L)

Alguns educandos confundiram a questão que fala sobre cor do espectro luminoso, com a cor de tecidos ou substâncias que mais absorvem radiação, isso explica o motivo de algumas respostas como preta ou escuras que alguns alunos escreveram como resposta.

A questão de número 7 é voltada para a emissão de radiação, onde se pergunta:

7. Ao analisar dois corpos aquecidos emitindo luz, um com cor alaranjada e outro de cor azulada, qual delas apresentará maior temperatura?

Algumas respostas foram as seguintes:

“Alaranjada, pois tem maior frequência da luz visível” (Aluno M)

“Alaranjada” (Aluno J)

“A de cor azulada” (Aluno P)

“Os dois têm a mesma temperatura” (Aluno T)

Ao analisar as respostas, percebe-se que a maioria dos alunos responderam que o corpo mais quente é o alaranjado. Após a aplicação e a leitura do questionário, por curiosidade, o professor perguntou a alguns, qual o motivo da resposta para o corpo de maior temperatura ser o alaranjado, a resposta foi que fizeram uma analogia ao sol, pois sendo o sol tão quente, provavelmente, todos os corpos com brilho igual ou próximos a sua cor, apresentariam também temperaturas elevadas semelhantes a dele. De acordo com Santos:

[...] quem tenta solucionar um problema seleciona um análogo fonte de sua memória (seleção), mapeia o análogo fonte sobre o análogo alvo, gerando inferências a respeito do análogo alvo (mapeamento), avalia e adapta tais inferências a fim de se dar conta dos aspectos singulares do análogo alvo. (1990, p. 11)

O que salienta Santos justifica algumas respostas acima listadas, mesmo sendo uma analogia que produz um conceito errôneo, não deixa de buscar em sua mente aquilo que mais se aproxima de sua realidade. Podemos imaginar ainda que esta resposta esteja ligada ao que o aluno aprendeu na escola, pois, na disciplina de artes estudam-se cores quentes e cores frias (para pigmentos) e, nesse momento, as cores que se aproximam do vermelho são cores quentes e as que se aproximam do azul são as cores frias, o que, de certa forma, pode acarretar em um obstáculo didático

para o aluno aprender física, visto que para a luz, a cor azul possui maior energia e, conseqüentemente, maior temperatura que a vermelha.

A questão de número 8, para ser respondida, é necessário um conhecimento mais científico, pois se trata da vibração das moléculas. A pergunta foi a seguinte:

8. Por que determinados materiais quando aquecidos emitem luz?

A seguir, estão listadas algumas das respostas mais interessantes.

“Pois tem a capacidade de refletir e não de absorver” (Aluno M)

“Pelo fato de o elétron quando aquecido “pular” de uma camada de valência para outra e quando volta ele libera uma frequência pela qual emite ou devolve a energia que recebe e libera energia. (Aluno P)

“Porque nos átomos há elétrons que se movem e emitem luz” (Aluno J)

“ Pois em alta temperatura o material muda de cor pela potência da camada de valência” (Aluno C)

“Pois sua temperatura aumenta” (Aluno Jc)

O que se pode perceber é que existe uma tentativa de resposta que se aproxima da correta, mas por falta de conhecimento nesta área, o argumento científico para defini-la fica comprometido.

Após a aplicação do questionário, iniciou-se a leitura sugerida pelo professor presente no material dessa unidade, que se focou no início da radiação do corpo negro, até a catástrofe do ultravioleta.

Os alunos manifestaram interesse em relação ao assunto, pois nunca haviam estudo algo parecido. A apostila adotada pelo colégio não aborda esse conteúdo, isso os motivou a tentar entender o que de fato estuda a radiação do corpo negro e como e por que este estudo iniciou-se.

No total entre aplicação do questionário e leitura direcionada foram utilizadas duas horas aulas de 50 minutos cada uma.

Ao findar as duas aulas, muitas conclusões inesperadas e interessantes apareceram, como por exemplo:

“ A ciência só evolui devido à necessidade do homem” (Aluno P)

“Será que existirão pessoas como Planck e Einstein “ (Aluno C)

Foi um momento agradável ouvi-los falar, já que estão prestes a começar um novo ciclo em suas vidas, e existe um pensamento voltado à importância de continuar buscando o conhecimento.

5.1.2 Relatos de experiência - Segundo encontro

As atividades experimentais se mostram como um poderoso aliado na explicação de determinados fenômenos, e o papel do professor neste momento é fundamental. Adotando um caráter de mediador e orientador, é possível que através das investigações realizadas pelos educandos se alcance um resultado satisfatório. É necessário que o aprendiz faça parte dessa construção através do manuseio, do levantamento de hipóteses e de discussões em grupo, essa metodologia oportuniza-os a uma própria explicação do que está vendo e entendendo em relação às atividades propostas. Com arrimo nos conceitos propostos, Batista assevera:

Há de se considerar também que o processo de aprendizagem dos conhecimentos científicos é bastante complexo e envolve múltiplas dimensões, exigindo que o trabalho investigativo do aluno assuma várias formas que possibilitem o desencadeamento de distintas ações cognitivas, tais como: manipulação de materiais, questionamento, direito ao tateamento e ao erro, observação, expressão e comunicação, verificação das hipóteses levantadas. Podemos dizer que esse também é um trabalho de análise e de síntese, sem esquecer a imaginação e o encantamento inerentes às atividades investigativas (2009, p, 45).

Ao manipular um material para montagem de um experimento, o educador insere o aprendiz na construção do seu próprio saber, deixando de ser um mero receptor de conceitos e teorias acabadas para levantar suas próprias hipóteses conclusões e se, por muitas vezes, essas conclusões vierem arraigadas de erros, aí entra o papel do educador de mediar esse novo conhecimento, confrontando o velho e o novo saber para um entendimento sólido e verdadeiro.

O segundo encontro ocorreu no dia 7 de novembro. O professor iniciou a aula refratando a luz através de um prisma com base triangular. Após verificar as cores produzidas no anteparo, levantou a seguinte questão:

Qual dessas cores demonstradas pelo espectro eleva a temperatura de um corpo com maior velocidade ao receber sua radiação?

As respostas foram diversas, do vermelho até o anil, sem uma justificativa ou tentativa de explicar o motivo de tal resposta. Em seguida, o professor efetuou a leitura que está presente no material dessa sequência que trata da radiação infravermelha e como essa radiação foi descoberta. Após as discussões em sala de aula, os alunos foram reunidos no pátio da escola, neste momento, foi realizado um experimento a fim de investigar a radiação infravermelha, como pode ser visto nas figuras 9 e 10 a seguir:

Figura 9: Caixa de plástico com prisma acoplado em sua borda



Fonte: O próprio autor (2017).

Figura10: Termômetro de mercúrio com a ponta pintada de preto e prisma de vidro.



Fonte: O próprio autor (2017).

O objetivo desse experimento foi demonstrar a existência da radiação infravermelho. Na base da caixa de plástico foi fixado um prisma para que as sete cores que compõem o espectro luminoso pudessem aparecer. Em seguida, três termômetros foram utilizados para demonstrar o poder de aquecimento que cada cor apresenta, sobre as cores demonstradas pelo espectro, foi posto um termômetro na cor azul, outro sobre o vermelho e o terceiro, ao lado do vermelho. Os alunos se mostraram dispostos a realizar o experimento, algumas falas e questionamentos interessantes a respeito dessa atividade podem ser observados a seguir:

“ É legal sair da sala de aula e estudar ao mesmo tempo” (Aluno T)

“ Será que a intensidade luminosa é a mesma em qualquer horário? (Aluno J)

“ Eu acho que as três cores aumentam a temperatura em um mesmo grau” (Aluno M)

Percebe-se a interação dos educandos em relação ao tema, pode-se observar o levantamento de algumas hipóteses, antes mesmo do experimento ser realizado, o que é o primeiro passo para uma investigação.

Ao observar a velocidade com que os termômetros avançavam em temperatura, os olhos atônitos de alguns revelavam suas sensações. Os comentários mediante a realização desta atividade foram os seguintes:

“Nossa, achava que todos ficariam na mesma temperatura” (Aluno L)

“Meu Deus... como o do lado do vermelho sobe depressa” (Aluno T)

“ O que está no azul não subiu muito a temperatura” (Aluno Ma)

“ Agora sei porque devo utilizar protetor solar, a pele sofre muito com radiação, olha só a temperatura do que está do lado do vermelho” (Aluno M)

Nesse momento, os alunos puderam verificar suas hipóteses e, na discussão com os colegas, encontrar algumas explicações para o que estavam experimentando. A respeito da última resposta fica evidente a tentativa de ligação do novo conhecimento com aquele já formulado em sua mente, fato referendado pela afirmativa de Moreira:

[...] a assimilação é um processo que ocorre quando um conceito ou proposição a, potencialmente significativo, é assimilado sob uma ideia ou conceito mais inclusivo, já existente na estrutura cognitiva, como um exemplo, extensão, elaboração ou qualificação do mesmo (1999, p.158).

Após a realização deste experimento, chegou o momento de responder aos questionários que fazem parte desta etapa. A primeira pergunta está relacionada com a "velocidade das cores" do espectro luminoso ao passar pelo prisma, qual apresentaria maior e menor velocidade e quais apresentariam menor e maior desvio. Apenas algumas respostas foram selecionadas visto que todos deram a mesma resposta de uma maneira diferente.

“Menor velocidade violeta e maior vermelha, pois a vermelha se desvia menos em relação à violeta” (Aluno P).

“A maior é a vermelha (mais rápida dentro do prisma), a menor é violeta porque ela se aproxima da superfície dele”
(Aluno J).

“A cor mais rápida dentro do espectro luminoso é a vermelha e a ultravioleta é a mais lenta” (Aluno Jc).

Percebe-se nesta última resposta que o aprendiz está levando a questão para fora do visível, quando o questionei se sua resposta seria ultravioleta ou violeta a cor na faixa do visível, ele continuou afirmando sua resposta, levando em conta a brusca inclinação apresentada pelo violeta, logicamente, o ultravioleta apresentaria um desvio ainda maior.

A questão dois questiona sobre qual dos termômetros apresentou maior temperatura é de caráter observacional, bastava que os alunos olhassem o experimento e a pergunta poderia ser respondida sem dificuldades, como de fato foi, todos os alunos perceberam que o termômetro que estava posicionado na região do infravermelho, apresentou um maior aumento de temperatura em um curto intervalo de tempo.

A pergunta de número três refere-se a qual seria a média de temperatura alcançada pelos três termômetros. Mais uma vez pode-se notar que não foi difícil para todos chegarem a mesma conclusão, estavam bem atentos aos detalhes e, devido a essa atenção, puderam chegar a uma mesma resposta que foi $35,6\text{ C}^\circ$.

A questão de número 4 foi a seguinte: Ao analisar as variações de temperatura, verificamos que é possível concluir que existe uma radiação antes do espectro vermelho que provoca uma variação de temperatura ainda maior do que o aspecto vermelho e azul, qual foi a diferença de temperatura apresentada pelos termômetros?

Quando se responde à pergunta de número 3, fica muito claro para os alunos definirem uma resposta correta, essa questão serve para perceber com riqueza de detalhes o quanto diferente foi esse aumento em respeito às cores dos espectros, essas variações foram encontradas por todos os alunos, portanto, apenas uma resposta foi escolhida para ilustrar essa questão:

“Do infravermelho para o vermelho a diferença foi de 1,2
do vermelho para o azul foi de 1,8”(Aluno Jc)

É importante mostrar ao educando com riqueza de detalhes tudo o que puder tirar de conclusões a respeito do experimento.

5.1.3 Relatos de experiência –Terceiro encontro

De acordo com Saviani *apud* Oliveira (2015), o ambiente é fundamental para a descoberta, e é esse o papel do professor, propiciando ambientes que favoreçam as investigações, suposições e as relações entre humanidade sociedade e tecnologia. Nessa perspectiva o professor deve agir como um mediador como cita Moreira (1999), trabalhando para que o novo saber se instale em concepções já existentes, através de debates, questionamentos e atividades que oportunizem ao indivíduo construir seu próprio saber. Dessa Batista pontua que:

[...] a atuação do professor como orientador, mediador e assessor das atividades experimentais inclui: lançar ou fazer emergir do grupo uma questão-problema; motivar e observar continuamente as reações dos alunos, propiciando orientações quando necessário; salientar aspectos que não tenham sido observados pelo grupo e que sejam importantes para o encaminhamento do problema; produzir, juntamente com os alunos, um texto coletivo que seja fruto de discussões da comunidade de sala de aula sobre os conceitos estudados (2009, p.45).

O terceiro encontro aconteceu dia 9 de novembro de 2017, neste dia foi realizado o experimento que trata da absorção da radiação por corpos que apresentam superfícies de coloração escuras e claras, como pode ser visto nas figuras 11 a seguir:

Figura 11: Experimento da radiação do corpo negro



Fonte: O próprio autor (2017).

Como o termômetro utilizado para esse experimento era digital, ficou fácil a visualização do aumento de temperatura e a velocidade com que esse aumento ocorreu na lata de cor preta. Havia um aluno de frente para os termômetros narrando as respectivas medições, grau a grau. Esse experimento foi realizado em sala de aula por três vezes, até que as duas últimas medições não sofreram mais alterações, optou-se por repeti-lo devido às conclusões que alguns alunos chegaram sobre o tempo de exposição da lata mediante a radiação da luz. Suas falas foram as seguintes:

“Professor, acho que o experimento deve ser refeito, porque as latas agora devem estar mais quentes que antes” (Aluno P)

“Concordo, acho até que as duas agora estão na mesma temperatura” (Aluno M)

“Acho que não, mesmo passado esse tempo a lata de cor preta ainda apresenta temperatura maior, pois é a mesma coisa quando usamos uma camiseta pretas e saímos no sol, se usar camisa brancas quase não sentimos calor” (Aluno Ma)

“É verdade... você tem razão. Não é mesmo professor?” (Aluno A)

De fato, as conclusões e os debates neste momento foram interessantes, mas o que me chamou a atenção foi o penúltimo argumento, no qual o aluno conseguiu relacionar a atribuir um novo significado ao conhecimento que acabara de adquirir, e seu argumento influenciou todos em sua volta, pois se expressavam com movimentos de cabeça que reforçavam e confirmavam o que a amiga havia dito.

Ao término do experimento de radiação do corpo negro, todos foram para os seus respectivos lugares responder ao questionário pertinente a essa etapa. A primeira questão é de caráter observacional, na qual se pergunta qual das latas apresentou maior temperatura mediante a incidência de radiação, as repostas foram unânimes: todos responderam a lata preta, como já se era esperado até mesmo por eles.

A segunda questão envolve um pouco mais de conhecimento científico, pois se trata da Lei de deslocamento de Wien, como esse assunto já foi abordado em encontros anteriores, criou-se subsídios para alcançar a resposta correta. A questão foi a seguinte:

2. A radiação infravermelha apresenta um comprimento de onda na faixa de 700nm até 50000nm, utilizando a equação da lei de Wien para deslocamento, calcule qual é o comprimento de onda da radiação de maior intensidade irradiado nas paredes internas das duas latas, verificando se a faixa de comprimento de onda se encontra dentro da radiação infravermelha.

A temperatura alcançada pela lata preta foi de 36,9 °C e a lata branca atingiu 34,8 °C. Como o material teórico apresenta um cálculo que se utiliza da Lei de Deslocamento de Wien, o qual o professor já havia estudado com os alunos, poucos apresentaram dificuldade em resolver essa questão. Os educandos que apresentaram certa facilidade acabaram discutindo com os colegas que já haviam feito a fim de tentar entender o processo.

Destaco, aqui, a importância do debate durante a aula, mesmo ela sendo matematizada, é importante oportunizar aos educandos um momento de se manifestar e expressar suas ideias e conclusões. Kostiuik corrobora ao afirmar que o professor não deve apenas:

[...] transmitir ao discípulo determinados conhecimentos, a formar um mínimo de aptidões e hábitos. A sua tarefa é desenvolver o pensamento dos alunos, a sua capacidade de analisar e generalizar os fenômenos da realidade, de raciocinar corretamente (1991, p. 25).

A questão de número três pedia aos alunos o cálculo de quantidade de radiação que cada lata pode apresentar ao aquecer. Houve um diálogo mais intenso entre alunos, e a resposta correta para a radiância das duas latas, logo surgiu. O interessante foi que não houve uma qualidade de pergunta, que pudesse levá-los ou induzi-los a uma possível resposta. Todo o desenrolar dessa atividade partiu exclusivamente dos alunos e, somente ao chegar a uma conclusão, é que indagaram ao professor se o processo e a resposta estavam coerentes com o experimento.

Nesta atividade, percebe-se a tentativa de levantamento de subsídios para uma possível resposta, os alunos com certo grau de afinidade se juntaram, para colaborar um com o outro, quando uma fala servia para alguém, ouvia-se:

“Que página você encontrou? ”

Ou muitas vezes:

“É a questão de número três que vocês estão comentando?”

Devagar, o trabalho em pequenos grupos foi tomando forma e aparecendo e, antes mesmo de perceberem, estavam se ajudando para um bem comum.

O que marcou essa etapa da aplicação do produto foi que realmente os educandos entenderam o que seria um trabalho investigativo, tentaram caminhar sozinhos apenas com o conhecimento adquirido em outros encontros, utilizando-se de um novo estímulo para ligar com o conhecimento já adquirido anteriormente. Batista ressalta a ideia de que:

A criança tenta, dessa forma, continuamente adaptar os novos estímulos aos esquemas que ela possui até aquele momento. Uma maneira de apressar a construção de estruturas mentais por meio de experimentos é incluir nessas atividades situações desequilibradoras, que gerem conflitos cognitivos na mente do aluno (Batista, 2009, p.46).

O que se percebe por parte de alguns alunos, é a ansiedade por desafios, que os motive, que os questione, que os leve a um nível mais intenso de busca, mas que possa ser alcançado por eles. A resposta desta questão foi encontrada pelos educandos e chegaram a: 541,46 W para a lata preta e 508,96 W.

No final da aplicação do questionário, seguindo a sequência do experimento de radiação do corpo negro, existe um procedimento que ensina como demonstrar a lei de Planck por meio da construção de um gráfico. Para isso, os alunos foram reunidos no laboratório, para verificar se a Lei de Deslocamento de Wien estava de acordo com a lei de Planck para intensidade de radiação.

Durante a aplicação desta etapa, a primeira observação levantada por alguns alunos, foi que nunca haviam lidado com o Excel, e não sabiam ao menos para que ele servia. O impressionante é que, ao abrir o aplicativo, os próprios alunos, com o material em suas mãos, ditaram o passo a passo para construir a curva característica da Lei de Planck, em seguida, foi solicitado aos alunos que verificassem o máximo comprimento de onda apresentado pelo aplicativo por meio da Lei de Wien.

Deve-se esclarecer que nem todos os alunos apresentaram facilidade para resolver a última pergunta desse módulo, entretanto, o trabalho de mediação do professor deu um começo e um norte para alguns alunos, que puderam, ao final, aprender a manusear o programa e compreender a parte física que se discutia na questão.

5.1.4 Relatos de experiência – Quarto encontro

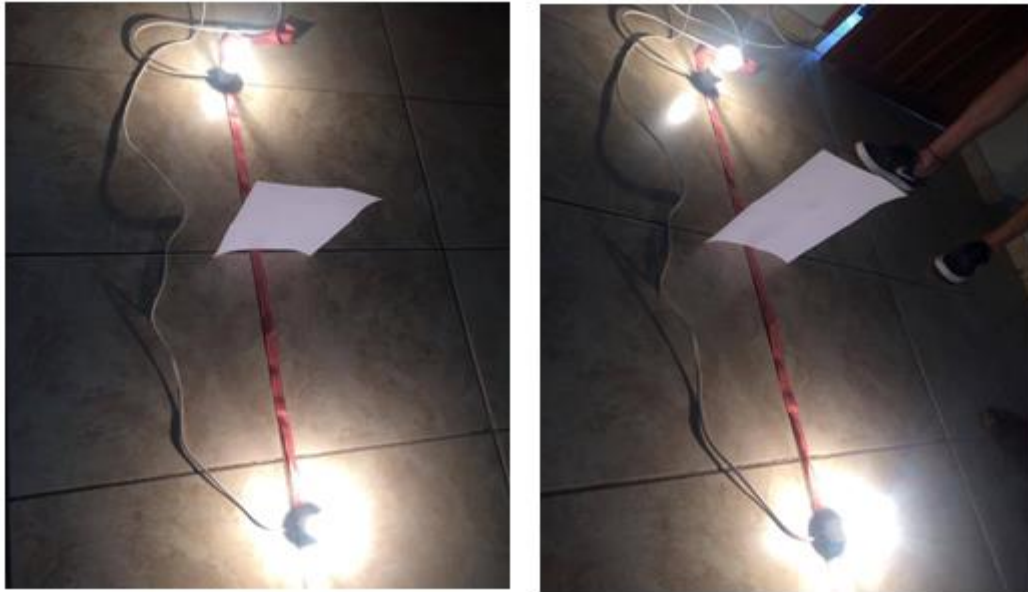
O quarto encontro ocorreu dia 13 de novembro de 2017, uma segunda feira na qual todos os vinte alunos compareceram. Aqui se iniciou o quarto módulo que se constitui tanto pela parte experimental quanto pela utilização de um simulador do *site Phet Colorado*.

O experimento inicial trata da determinação da potência do Sol por meio de um fotômetro, um experimento simples e de baixo custo, com margem de erro muito pequena.

A aula foi iniciada pela leitura do módulo quatro no qual contém todo o procedimento para montagem e aplicação, incluindo exemplos. Esta etapa foi passo a passo apresentada pelo professor, tomando cuidado para que a proposta apresentada nesta sequência fossem os mais detalhados possíveis.

Para sanar qualquer dúvida, o professor recriou em sala de aula o exemplo demonstrado nessa sequência, como pode ser observado na figura 12 a seguir:

Figura 12: Encontrando a potência de uma das lâmpadas



Fonte: O próprio autor (2017).

O objetivo desse primeiro momento era demonstrar a potência irradiada por uma das lâmpadas, uma vez conhecendo o valor nominal de uma delas. Nesta etapa, houve muita apreensão, pois sabiam que teriam que fazer algo parecido ou se utilizar de métodos contidos na explicação do experimento.

Ainda, nesta aula, o professor encontrou o valor da temperatura de uma das lâmpadas conhecendo o raio do filamento e determinou o erro porcentual, explicando detalhadamente todos os procedimentos.

Após a demonstração em sala de aula, chegou o momento de encontrar a potência irradiada pelo sol e responder ao questionário referente a esse experimento, para isso os alunos foram reunidos no pátio da escola onde havia grande incidência solar.

Com a ajuda de uma extensão, uma lâmpada de 70 W foi acoplada ao soquete, a folha manchada de azeite foi a mesma utilizada para demonstração em sala de aula, ao aproximar a folha manchada da lâmpada, foi possível verificar o sinal da macha desaparecer e sumir quase que por completo a exatos 6,5 cm do filamento, indicando que as intensidades luminosas eram iguais nos dois lados da folha.

Os olhares de alguns denunciavam a euforia em descobrir o quão potente era o sol, após as anotações, os educandos foram novamente reunidos em sala de aula para continuar o trabalho proposto nesta etapa da sequência didática.

Foi solicitado que formassem grupos com quatro pessoas, para facilitar o diálogo entre eles e praticar o trabalho em conjunto. Com as anotações em mãos, iniciaram o processo de determinação da potência do sol referente a primeira pergunta do questionário alusivo ao experimento. De início, o professor solicitou aos alunos que não fizessem uso da calculadora e que todo o cálculo fosse feito manualmente, para verificar possíveis dificuldades em realizar operações matemática. A resposta encontrada foi de $3,7 \cdot 10^{26} W$.

O que se pode perceber é que sem a utilização da calculadora, houve muita dificuldade por parte de alguns alunos. A fim de ilustrar o ocorrido, algumas falas foram observadas e transcritas abaixo:

“ É difícil calcular com tantos zeros” (Aluno M)

“ A divisão com decimais está complicada porque o divisor é muito pequeno professor” (Aluno T)

O que se pode notar é que as dificuldades de alguns não estavam na montagem da equação, mas em solucionar o problema matemático o que não desmotivou os alunos para a sequência do trabalho.

É importante salientar que quanto menos ofensivo for a fala em relação às deficiências apresentadas por um indivíduo, maior será o grau de evolução por ele apresentado, como afirma Moreira no livro Teorias da Aprendizagem:

Rogers ilustra esse princípio com o exemplo do aluno fraco em leitura que, por causa dessa deficiência, já se sente ameaçado e desajustado. Quando é forçado a ler em voz alta na frente do grupo, quando é ridicularizado, quando recebe notas baixas, não progride. Contrariamente, um ambiente de apoio e compreensão, a falta de notas, ou estímulo a auto avaliação reduzem a um mínimo as ameaças externas e lhe permite progredir (1999, p.143).

Nessa perspectiva, o professor deve agir como um facilitador, proporcionando um ambiente agradável e “seguro” para o progresso do conhecimento.

O quarto encontro chegou ao fim, e o que se pode verificar é que direcionar o aprendiz deixando-o expressar-se faz diferença na atmosfera escolar, nota-se o estar à vontade em um ambiente onde se pergunta e se expõe sem olhares de repreensão ou medo, oportunizando até mesmo o erro, mas com apoio para acertar.

5.1.5 Relatos de experiência – Quinto encontro

O quinto encontro ocorreu no dia 14 de novembro de 2017, no qual foi dado continuidade à resolução das questões referentes à atividade experimental 3.

Nesta aula, o professor solicitou aos alunos que voltassem à formação anterior, para retomar os trabalhos iniciados no encontro anterior.

A questão de número dois é de cunho matemático, na qual se pergunta o erro percentual encontrado pelos educandos em relação ao valor teórico de $3,8 \cdot 10^{26} \text{ W}$. Esta questão, alguns grupos resolveram por regra de três, outros se utilizaram da equação disponível no material deste módulo. Ficou evidente a dificuldade de alguns em lidar com números, algumas falas surgiram durante essa parte da aplicação e ficou claro que nem todos possuem aptidão para certas disciplinas, porém, não é devido a essa deficiência que o indivíduo não vá aprender determinada tarefa como calcular manualmente. Algumas dessas falas foram as seguintes:

“Definitivamente sou das humanas, esse negócio de cálculo não é comigo”
(Aluno T)

“Estava bom enquanto estava na teoria, agora a matemática do negócio é complicada” (Aluno M)

“Professor, já sabemos que chegou próximo do valor real, não precisamos calcular o erro” (Aluno J)

A questão três exige um pouco mais de atenção, pois precisa da junção de duas equações para ser respondida, portanto, nesse momento, o professor agiu como um mediador auxiliando os alunos nos cálculos. A pergunta foi a seguinte:

3-Com o resultado experimental, e sabendo que o raio do sol é de $7 \cdot 10^8 \text{ m}$., estime a temperatura do sol.

Não demorou muito e uma direção foi encontrada pelo aluno P, sua fala foi a seguinte:

“Professor eu acho que devemos utilizar as equações de potência do sol e a lei de Stefan Boltzmann, porque o exercício nos dá o raio do sol, que dá para encontrar a área e a temperatura ele está perguntando” (Aluno P)

Nota-se a percepção desse aluno em entender que o próprio exercício indica o caminho a ser seguido, haja vista que uma questão parecida havia sido resolvida no início desse módulo. A fala desse aprendiz ajudou muito os outros quatro grupos que tentavam unir as duas equações separando os valores já conhecidos das duas equações. Essa questão foi a mais demorada, alguns sabiam o caminho, pois se lembravam de como o professor determinou a temperatura da lâmpada, mas não entendiam de que maneira chegariam a uma resposta. Mediante a esse impasse, um aluno do grupo do P disse:

“Pessoal, lembram-se da determinação da potência do sol? A intensidade é igual a potência dividida pela área, e a equação de Stefan, é intensidade igual a $R\sigma$ vezes a temperatura elevada a quarta, basta substituir a intensidade da equação de Stefan pela equação de determinação de potência do sol.”
(Aluno Ma)

A resposta encontrada por esse aluno foi de 6280 K, logo em seguida, devido ao comentário do referido aluno, todos chegaram ao mesmo valor.

As questões a seguir estão ligadas a um simulador do *Phet Colorado*, para responder esse questionário, os alunos foram reunidos no laboratório de informática da escola onde foi possível dar continuidade aos trabalhos. A primeira questão pergunta sobre o comprimento de onda que resulta na máxima intensidade para o Sol devido a sua temperatura. Como os discentes já haviam feito esse cálculo algumas vezes, não apresentaram muita dificuldade e logo lembraram da Lei de Wien para comprimento de onda a uma dada temperatura.

Antes de qualquer resolução, foi necessário fazer uma pequena demonstração do simulador, já que é importante que os discentes se inteirem das mídias utilizadas e saibam como é seu funcionamento. O uso das TIC vai além de fazer melhor, de chamar atenção do indivíduo, como enfatiza Rolkouski “O uso da tecnologia está além do ‘fazer melhor’, ‘fazer mais rápido’, trata-se de um ‘fazer diferente’” (2011, p. 102).

É essa diferença que buscamos ao elaborar essa proposta de trabalho, tendo em vista que vivemos em uma constante evolução, principalmente em nível de tecnologia, não se pode comparar os alunos da década passada com os de hoje, e mesmo sendo de mesma época, são pessoas diferentes com hábitos diferentes e

culturas diferentes, mas com um ponto em comum, falam a mesma linguagem tecnológica.

A questão de número quatro e cinco são interligadas, pois essas questões demonstram o entendimento do discente em relação ao espectro do visível. Uma questiona sobre o comprimento de onda de máxima intensidade apresentado pelo sol, como já foi mencionado acima, e a outra pergunta se esta luz está na faixa do visível. A maioria dos alunos responderam que sim, pois se lembraram do experimento da comprovação da existência da radiação infravermelha, no qual foi mencionado o intervalo de comprimentos visíveis ao olho humano. Como o valor encontrado foi de 500nm, a resposta foi não difícil, porque todos entenderam que o comprimento encontrado era referente ao espectro da luz visível.

Vale salientar a dificuldade de alguns com cálculos matemáticos, até mesmo os mais simples, o que se pode perceber é que a parte teórica não se apresenta como uma dificuldade em fixar, mas quando o assunto parte para os modelos matemáticos, nota-se uma certa aversão por parte de alguns alunos, por vários motivos, professores que os ofenderam por não conseguirem, piadinhas preconceituosas por parte de amigos, etc.

Este foi o fim do quinto encontro, sendo que foi necessário demonstrar como o simulador funciona, portanto, não foi possível terminar esta etapa da sequência ficando para outro encontro.

5.1.6 Relatos de experiência – Sexto encontro

O sexto encontro ocorreu no dia 16 de novembro de 2017 com duração de 50 minutos, todos os alunos compareceram. Nesta etapa, os alunos foram reunidos em grupos com quatro integrantes, no laboratório de informática para dar continuidade aos trabalhos anteriores.

As questões de número seis e sete eram apenas de ajuste do simulador, a pergunta de número 8 solicitava aos alunos que calculassem o comprimento de onda de uma lâmpada incandescente mediante o ajuste descrito anteriormente. Nesta questão não apresentaram dificuldades em respondê-la devido a abordagens anteriores com o mesmo objetivo. A resposta encontrada pelos discentes foi de 941nm,

A pergunta número nove questiona se o comprimento de onda encontrado para a lâmpada se encontrava na faixa do visível. Devido a todos já conhecerem a faixa de comprimento de onda, também não apresentaram dificuldades em respondê-la. Alguns alunos, ao encontrar o comprimento de onda na questão anterior, já diziam que esse comprimento não correspondia à luz visível, sem mesmo saber que essa era a pergunta de número nove.

A questão número dez questionava se as lâmpadas incandescentes eram eficientes em seu objetivo. Os grupos discutiram entre si por alguns minutos e logo chegaram à conclusão que, devido ao alto comprimento de onda, seria impossível apresentar um alto nível de eficiência, pois o comprimento verificado na questão oito foi de 952nm, ou seja, a maioria da radiação emitida está na faixa do infravermelho, oferecendo mais calor do que luminosidade. A seguir, estão listadas algumas conclusões verbais apresentadas pelos discentes:

“ Agora entendi o porquê desse trabalho seguir esse roteiro, um experimento se liga ao outro” (Aluno P)

Como a conclusão do aluno P ficou vaga, foi-lhe solicitado que explicasse com mais precisão suas conclusões.

“O senhor fez primeiro o experimento da comprovação do infravermelho, lá nos vimos que essa radiação não aparece, mas ela é a maior responsável por esquentar os corpos, agora vimos que o comprimento de onda da lâmpada está na faixa do infravermelho, isso significa que a lâmpadas oferecem mais calor que luminosidade” (Aluno P)

A fala desse aprendiz colaborou para o entendimento do restante do grupo e da classe, pois perceberam como as atividades estavam devidamente planejadas para fechar a construção de um conhecimento. Assim sendo, rapidamente voltaram ao rascunho de toda a atividade que haviam feito, e com expressões de espanto, ouvia-se baixinho: “ É verdade, faz sentido”.

A pergunta de número onze questionou: Qual das estrelas apresenta maior temperatura, a de cor alaranjada ou a de cor azulada? Muitos alunos disseram que era a de cor alaranjada. Com o simulador aberto foi demonstrado as questões doze, treze e quatorze que são apenas de ajustes e anotações, onde se calibra a

temperatura para a estrela vermelha e para a azul. Ao ver que a estrela de maior temperatura era de coloração azul, várias observações e conclusões surgiram, como por exemplo:

“ É por isso que dizem que o Sol está em meia vida” (Aluno Ma)

“ É por isso que a chama azul do fogão é mais quente” (Aluno R)

“ É verdade! É por isso que quando se esquentam uma barra de ferro ela fica primeiro avermelhada e depois vai ficando amarela” (Aluno L)

No fim dessa sequência, existem duas atividades de aplicação que unem todo o conteúdo visto durante a aplicação do produto, essas duas últimas questões foram respondidas em sala mesmo, os educandos queriam respondê-las no quadro com as orientações do professor, assim foi feito, o aluno Jc e P, se dispuseram a resolver as questões. Durante a resolução, percebia-se que realmente haviam entendido o objetivo desse trabalho, houve nesse momento um trabalho em grupo muito bem sucedido, com pequenas intervenções pelo professor. As duas questões foram respondidas corretamente.

Foi interessante observar a construção do conhecimento a respeito desse assunto. Ao final, o docente perguntou aos discentes o que eles acharam dessa proposta de ensino, e se realmente aprenderam algo, as repostas foram as seguintes:

“ Professor, muitas vezes os professores passam matérias que não possuem uma sequência e nem um motivo para estudar, sua proposta conseguiu me atingir, sei muito bem o que é radiação de corpo negro, e como ela está presente no meu dia-a-dia.” (Aluno B)

“ Gostei professor, gostaria que as outras disciplinas pudessem nos mostrar um motivo como esse seu trabalho nos mostrou” (aluno P)

“ A história de como começou com os experimentos e atividades estão de um jeito que se percebe a amarração, ficou muito boa” (Aluno Jc)

Os comentários finais transcritos aqui mostram a importância de sistematizar e organizar o método de ensino, tendo em vista que todos os conteúdos podem ser

abordados levando em conta a vivência dos discentes. Trabalhar dessa forma demanda tempo e muita pesquisa para se alcançar os objetivos propostos, mas o profissional da educação deve ter a concepção que é possível, basta iniciar.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao finalizar esta sequência didática sobre Radiação do Corpo Negro, percebe-se a importância de considerar o educando como um agente de sua própria construção intelectual, dando a oportunidade de se colocar como um ser ativo na obtenção de conhecimentos. Neste sentido, este trabalho objetiva aplicar e validar a metodologia abordada na elaboração desse produto, para Ausubel:

[...] o fator isolado que mais influência a aprendizagem é aquilo que o aluno já sabe (cabe ao professor identificar isso e ensinar de acordo). Novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas, na medida em que conceitos relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do indivíduo e funcionem. (Moreira,1999, p. 152)

Tal unidade educativa foi elaborada com base nas perspectivas e teorias de Ausubel, levando em conta a vivência do aprendiz e seu dia-a-dia, fazendo com que ele não seja um mero receptor passivo e repetidor de conceitos pré-elaborados e terminados. O trabalho exposto insere o aprendiz no contexto, dando-o a oportunidade de se expressar, confrontar suas ideias, levantar hipóteses, opinar, ser um construtor do seu saber.

A aplicação desse material não serve apenas para o crescimento intelectual dos alunos que participam dos encontros, mas também para a formação particular dos docentes, mostrando vertentes que, na maioria das vezes, não são contempladas na formação acadêmica.

A grande maioria dos profissionais da educação não se preocupam em se reinventar ou de se elaborar uma maneira nova de se abordar conteúdos, pois nos livros didáticos, estes já estão preparados, basta seguir o roteiro e pronto. Entretanto, lidamos com uma sociedade em constante evolução, não se pode aplicar os mesmos métodos para todas as gerações e esperar resultados positivos em sua maioria. Moreira (1999) cita em seu livro Teorias da Aprendizagem que, para Rogers, o ser humano possui uma capacidade natural para aprender, e o que de fato move essa aprendizagem é a sua curiosidade. Dessa forma, ao conseguir aguçar a curiosidade dos alunos, ter-se-á um ponto a favor da classe docente, pois, dessa maneira, já será mais fácil, o professor conseguirá atrair a atenção dos alunos.

É fato que nem todos aprendem da mesma forma, e se pode notar e sentir essa verdade durante os trabalhos desenvolvidos em sala de aula, é bem verdade que, ao agir como um facilitador do conhecimento, o educador faz a diferença, não que o professor deve entregar tudo pronto e acabado para o aprendiz, mas ao dar um norte, o professor colabora para que o entusiasmo não se perca mediante as tentativas de buscar a compreensão.

De maneira geral, os alunos que participaram desta proposta aceitaram com prontidão o desafio que estaria por vir, tanto na parte teórica como na parte experimental, pois notava-se o interesse em buscar e compreender o que se estava abordando.

É importante salientar que os experimentos não ensinam por si só porque a postura do educador mediante as atividades propostas, questionamentos e confronto de ideias são fundamentais para aguçar a curiosidade humana. Segundo Azevedo:

[...] a tônica da resolução de problemas está na participação dos alunos e, para isso, o aluno deve sair de uma postura passiva e aprender a pensar, elaborando raciocínios, verbalizando, escrevendo, trocando ideias, justificando suas ideias (2004, p. 32).

Destaca-se a interessante experiência em presenciar o desenvolvimento do conhecimento por parte dos alunos ao unir experimentação e teoria, o que ocorreu no terceiro encontro dessa unidade educativa. Nessa oportunidade, houve uma grande apreensão em relação à atividade experimental que comprova a absorção de radiação dos corpos de cores pretas. Muitas hipóteses foram levantadas e discutidas, uma interessante foi a conclusão levantada pela turma a respeito dos aquecedores solares, todos apresentam coloração escura para absorver com mais eficiência a incidência de radiação sobre ele.

Faz-se importante dar voz ao aprendiz, deixa-lo refletir sobre o que vê, fazer ligações, e se vierem com conceitos errôneos, basta confrontá-lo com as verdades científicas e mostrá-lo o caminho da verdade.

A preparação deste material possibilitou repensar o método de ensino, refletir sobre a prática pedagógica e as ferramentas utilizadas para alcançar o educando. Após muita pesquisa, estudos e análises, comparando ideias, observando os alunos envolvidos, foi possível criar várias situações facilitadoras para alcançar o conhecimento.

Percebemos que muitos educadores se afastam da experimentação, talvez por despreparo inclusive da própria formação, ou por acreditar que não afetará o aluno a nível de conhecimento. Pensando nessas hipóteses é que este material foi elaborado, as atividades estão devidamente sistematizadas e organizadas, sendo que uma dá sequência a outra, e a maior confirmação de que esta proposta surtiu efeito é a fala dos educandos ao final da aplicação desse experimento.

Como já foi mencionado, nem todos apresentam a mesma facilidade e nem aprendem da mesma maneira, mas trabalhando com as diversas possibilidades dentro da experimentação na prática pedagógica, é possível alcançar a todos os alunos, levando em consideração que o maior desafio docente é atingir aqueles com mais dificuldades e fazê-los entender que o conhecimento é possível, sendo necessário encontrar o melhor caminho entre vários.

REFERÊNCIAS

ANTUNIES. L. C. S. **Radiação de Corpo Negro; Lei de Stefan-Boltzmann; Lei do Deslocamento de Wien.** Relatório de estágio (Mestrado) - Universidade da Beira Interior. Covilhã Portugal, 2012.

ARAÚJO. L. P. **Aprendizagem Significativa:** Dissertação (Mestrado) - Universidade Cidade de São Paulo/UNICID, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.unicid.edu.br/wpcontent/uploads/2015/08/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Liercio-Pinheiro-de-Ara%C3%BAjo.pdf>> Acesso em 16 de novembro de 2017.

AZEVEDO, M. C. P. S. de. Ensino por investigação: problematizando as atividades de sala de aula In: CARVALHO, A. M. P. de (Org.), **O Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática.** São Paulo: Pioneira Thomson, 2004. p.19-33.

BATISTA. M. C. **Um estudo sobre o ensino de astronomia na formação inicial de professores dos anos iniciais.** Dissertação (Mestrado – Universidade Estadual de Maringá (UEM). 2016. Disponível em <http://www.btdea.ufscar.br/arquivos/td/2016_BATISTA_T_UEM.pdf> Acesso em 11 de julho de 2017.

BATISTA, Michel Corci. FUSINATO, Polônia Altoé., BLINI, Ricardo Brugnole. **Reflexões sobre a importância da experimentação no ensino de Física.** *Acta Scientiarum Human and Social Sciences*, 2009.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNs+ Ensino Médio:** orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em 11 de novembro de 2017.

_____. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCNs+ Ensino Médio:** orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais - ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em 11 de novembro de 2017.

CARVALHO, M. A.; ALONSO, M. R. M. H. Formação continuada de professores e mudança na prática pedagógica. In: ALONSO, M. (Org.). **Prática docente: teoria e prática.** São Paulo: Pioneira, 1999.

DAHMEN, SÍLVIO R; A obra de Boltzmann em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 281 - 295, 2006.

ELENO. L. T. F. **Radiação do corpo negro**. Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL–USP), 2016. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1763087/mod_resource/content/1/corpo-negro.pdf> Acesso em 20 de abril de 2017.

FRAGALLI. J. F. **A Equação de Stefan-Boltzmann**. Departamento de Física – Centro de Ciências Tecnológicas - Universidade do Estado de Santa Catarina. Disponível em:< <http://studylibpt.com/doc/4965511/a-equa%C3%A7%C3%A3o-de-stefan-boltzmann---udesc>> Acesso em 28 de janeiro de 2018.

GUIMARÃES, A.V. **UMA ANÁLISE SOBRE A FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO**. Monografia (Licenciatura em Física) - Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Ceará 2011. Disponível em: <[file:///C:/Users/Lucas/Downloads/anderson-vieira-guimaraes%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Lucas/Downloads/anderson-vieira-guimaraes%20(1).pdf)>. Acesso em: 11 de dezembro de 2017.

GUIMARÃES, C. C. **Experimentação no Ensino de Química: Caminhos e Descaminhos Rumo à Aprendizagem Significativa**. Química Nova na Escola. v. 31, nº 3, 2009.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S, **Física 4**: Tradução de Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, D.Sc, Rio de Janeiro: LCT, 2004. v. 4.5^o ed.

KOBASHIGAWA, A.H.; ATHAYDE, B.A.C.; MATOS, K, F. De OLIVEIRA; CAELO, M, H.; FALCONI, S. **Estação ciência: formação de educadores para o ensino de ciências**. In: IV Seminário Nacional ABC na Educação Científica. São Paulo, 2008.

KOSTIUK, G. S. [et al.] Alguns aspectos da relação recíproca entre educação e desenvolvimento da personalidade. In: **Psicologia e pedagogia: bases psicológicas da aprendizagem e do desenvolvimento**. Tradução de Rubens Eduardo Frias. São Paulo: Editora Moraes, 1991, p. 20-36

MARICONI. L. **As Leis De Stefan-Boltzmann e Wien**. Instituto de Física – UFRJ. Disponível em < <http://www.if.ufrj.br/~moriconi/MecEst/corpo-negro.pdf>> Acesso em 15 de abril de 2017.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas.** Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 22, n.1, p. 94-99, mar. 2000. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/116896>> Acesso dia 12 de dezembro de 2017.

MOREIRA, M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo.** Porto Alegre, 2009, PDF online, Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf>> Acesso em 05 de abril de 2017.

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem.** São Paulo, E.P.U. 1999.

NASCIMENTO, T.L. **Repensando o ensino da Física no ensino médio.** Monografia (Licenciatura) - Centro de Ciências e Tecnologias da Universidade Estadual do Ceará 2010. Disponível em: <[file:///C:/Users/Lucas/Downloads/tiago_lessa_nascimento%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Lucas/Downloads/tiago_lessa_nascimento%20(1).pdf)>. Acesso 11 de dezembro de 2017.

NETO, O. G. **Análise da Didatização do Tema Radiação de Corpo Negro sob a Luz da Teoria Antropológica do Didático.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/123351/325650.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em abril de 2017.

Oliveira, R.A. e Silva, A.P.B. William Herschel, Os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 4603 (2014).

OLIVEIRA, A. F. M. **Ensino de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental: o que dizem os professores.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual Paulista(UNESP) – São Paulo, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/132653/000851582.pdf?sequence=1>> Acesso em 19 de dezembro de 2017.

PCN - **Bases Legais**, 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf>. > Acesso dia 11 de dezembro de 2017.

PEREZ, S. **Mecânica Quântica: Um curso para professores da Educação Básica.** Série mestrado nacional profissional em ensino de Física, v3. São Paulo: LF, 2016.

PHET – **Simulações Interativas.** Universidade do Colorado Disponível em

<http://phet.colorado.edu>. Acesso em 16 de novembro de 2017.

ROLKOUSKI, E. **Tecnologias no ensino de Matemática**. Curitiba: Ibpex, 2011.

SANCHES, M. B. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: qual sua presença em sala de aula?** 112f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, 2006. Disponível em:
<www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/fisica/dissertacoes/fisica_moderna.pdf> Acesso em: 12 de dezembro de 2017.

SANTOS, J N e TAVARES. Disponível em: R. <http://www.fisica.ufpb.br/prolicen>. Acesso em 12 de novembro de 2017.

SERÉ, M. G; COELHO, S.M. O Papel da Experimentação no Ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, Porto Alegre, abr. 2003.

STUDART, N. A invenção do conceito do quantum de energia segundo Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n.4, p. 523-535, 2000.

THORNDIKE, E. L. *Educational Psychology, vol. 1, The psychology of learning*, Nova York, Teachers College Press, 1913.

VALADARES. E. C. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, ago. 1998.

APÊNDICE

APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL

PRODUTO EDUCACIONAL

**PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA
RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO**

FERNANDO FELICIANO GUIMARÃES

Michel Corci Batista

Gilson Junior Schiavon

Campo Mourão

2018



FERNANDO FELICIANO GUIMARÃES

Produto Educacional

PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Michel Corci Batista
Coorientador: Prof. Dr Gilson Junior Schiavon

CAMPO MOURÃO
2018

1 APRESENTAÇÃO

Devido ao cenário educacional e aos avanços tecnológicos nos quais a sociedade está inserida, entende-se a necessidade de refletir e buscar por técnicas e estratégias de ensino que despertem e promovam uma aprendizagem significativa. Por muitos anos a transmissão de conhecimentos tem sido pautada somente em teorias, contudo, a experimentação não encontra lugar nessa aprendizagem passiva, e, no entanto, essas abordagens não podem ser tratadas dicotomicamente, uma é alicerce da outra, dando sentido e significado aos conhecimentos adquiridos.

Muitas vezes, a falta de material pedagógico e o despreparo do docente na formação acadêmica acabam limitando o educador na preparação de suas aulas.

Assim como cita Seré (2003), a experimentação proporciona um sentido à linguagem formal, levando o aprendente a um universo com significado e entendimento, interpretando o que antes era abstrato.

Para Piaget (1976), a assimilação do concreto se sobrepõe aos entendimentos gerados pelo abstrato, e se a mente do indivíduo funciona de tal maneira, a experimentação se torna um inigualável recurso de mediação do conhecimento, auxiliando o educando a alcançar um aprendizado significativo.

Ainda que os atuais professores tenham estudado em escolas do século XXI, suas práticas pedagógicas não acompanharam a mudança do século no qual hoje estão inseridos, pois os modelos apresentados em suas aulas refletem as práticas tradicionais das décadas passadas, no qual os modelos de ensino eram baseados apenas em instrumentos de repetição. (Thorndike 1913).

Na maioria dos casos os professores repassam suas informações da mesma maneira que as aprenderam, de uma forma matematizada e sem qualquer relação com o que o indivíduo presencia em seu dia-a-dia, desmotivando o aprendiz a buscar qualquer forma de entendimento.

Um dos maiores desafios do educador na atualidade é promover a aprendizagem significativa, fazendo com que a nova informação ancore em conhecimentos já existentes, estabelecendo analogias com ideias que se encontram na estrutura cognitiva do aprendiz. Nessa perspectiva, Moreira argumenta:

(...) não só novo conhecimento adquire significado, mas também o conhecimento anterior fica mais rico, mais elaborado, adquire novos significados. Interação (entre conhecimentos novos e prévios) é a característica chave para aprendizagem significativa (2009, p.31).

Pode-se observar que, ao se apropriar do conhecimento, o aluno interioriza essa nova informação, estabelecendo uma ponte entre conhecimento novo e o adquirido anteriormente.

Ainda, de acordo com Moreira:

O que determina a significatividade da aprendizagem de um novo conhecimento não é a maneira como o aprendiz tem acesso, por recepção ou descoberta, a tal conhecimento, mas o modo como ele é relacionado – literal ou substantivo, arbitrário ou não – à estrutura cognitiva do aprendiz. (2009, p.32).

Nessa perspectiva, esta sequência didática trabalhará com uma proposta experimental e investigativa, uma vez sendo o aluno a parte principal do processo de ensino/aprendizagem.

Um ensino que vise à aculturação científica deve ser tal que leve os estudantes a construir o seu conteúdo conceitual participando do processo de construção e dando oportunidade de aprenderem argumentar e exercitar a razão, em vez de fornecer-lhes seus próprios pontos de vista transmitindo uma visão fechada das ciências (CARVALHO, 2006, p.3).

Ao trabalhar uma atividade experimental, o professor deve aparecer como um facilitador, alguém que leve o educando a pensar, investigar o conteúdo abordado, de maneira que, passo a passo, o próprio aprendiz construa sua rede de conhecimento, tendo oportunidade de conhecer o mundo da ciência com seus próprios olhos.

A peça chave na concepção ausubeliana, para uma aprendizagem significativa, é o professor, é ele que deve “ensinar de acordo” relacionando a nova informação com ideias já conhecidas pelo indivíduo. Como cita Moreira, o professor deve ensinar.

Utilizando princípios facilitadores como a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa e fazendo uso de organizadores prévios para explicitar a racionalidade do novo material com os conceitos subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aluno. (MOREIRA, 2009, p.35)

Esta sequência didática tratará o conteúdo sobre radiação do corpo negro, seguindo a proposta apresentada por Ausubel sobre aprendizagem significativa, na qual o professor será o interlocutor entre o que o aluno já sabe e o novo conhecimento adquirido e organizado pelo aprendiz.

2 UMA INTRODUÇÃO À RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Quando se pergunta em sala de aula sobre o que é radiação do corpo negro, a resposta mais recorrente é: um objeto na cor preta que emite radiação, pois é isso que a pergunta sugere.

Todo corpo ao ser aquecido libera energia na forma de radiação eletromagnética, e quanto maior for sua temperatura, maior é a energia dessa radiação e, conseqüentemente, maior sua frequência e menor o seu comprimento de onda.

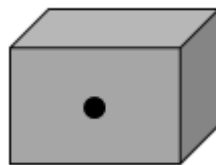
Mas voltando a ideia inicial. O que é corpo negro?

É todo corpo que absorve radiação independentemente da frequência incidida sobre ele. Segundo Valadares (1998), as propriedades de absorção estão relacionadas com formato, acabamento da superfície e material com o que ele é feito. De acordo com Netto (2014), como os corpos negros são excelentes absorvedores de radiação, são também ótimos emissores quando em equilíbrio, possuindo a propriedade de absorver e emitir em uma mesma proporção.

Para entender como um corpo negro se comporta, em 1859, Gustav Kirchhoff, elaborou um modelo representativo que demonstraria uma propriedade muito importante a respeito da emissividade de radiação desse tipo de corpo.

Imagine um objeto cúbico e oco, com apenas uma abertura em uma das suas faces, com mostra a Figura 1:

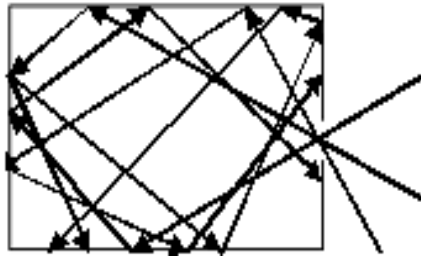
Figura 1: Representação do corpo negro elaborado por Kirchhoff



Fonte: Autoria própria (2017).

Quando a radiação atinge o cubo, parte dela entra pelo orifício e acaba sendo refletida pelas paredes internas desse objeto. A quantidade de radiação que consegue escapar pelo orifício é mínima, e se as paredes desse cubo forem isolantes, não existirá troca de energia com o ambiente por condução. Essa situação, como mostra a Figura 2, descreve com certo grau de exatidão como um corpo negro se comporta ao receber uma quantidade de radiação.

Figura 2: Representação da incidência de radiação em um corpo negro



Fonte: O próprio autor (2017).

A respeito da emissão, pode-se concluir que, ao aquecer esse cubo, seria possível perceber que, no orifício, existe certa liberação de radiação, e quanto maior a temperatura do cubo, mais intensa ela será. É importante salientar que para fazer jus ao nome Corpo Negro. Essa emissão vale para temperaturas baixas, onde a faixa de frequência está no infravermelho, invisível aos sentidos visuais humanos, essa radiação é caracterizada por comprimento de onda entre 700 nm e 50 000 nm (Eleno, 2016)

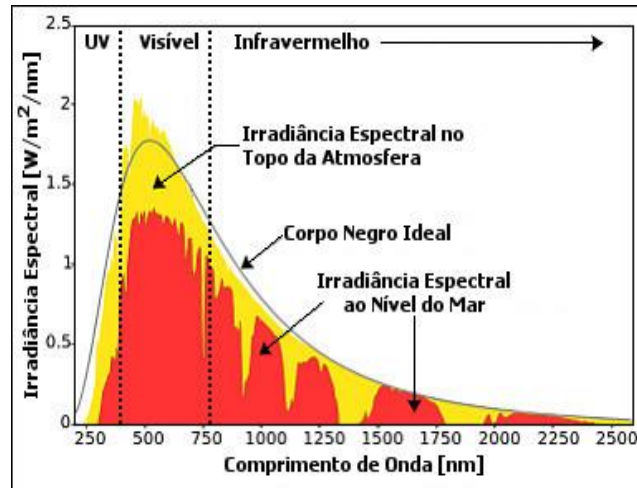
Se o copo for aquecido constantemente, devido à elevada temperatura, chegará um momento em que, ao observar o orifício feito no cubo, será possível não apenas sentir a radiação, mas também enxergá-la, pois passará a ocupar as frequências da luz visível, passando por todas as cores até chegar ao branco onde alcançará elevada temperatura. No momento em que o corpo irradiar na frequência do visível, não fará mais sentido chamá-lo de corpo negro, porque ao olharmos de frente para o orifício, não veremos mais um buraco na cor preta emanando calor, mas uma variação de cores em função de sua temperatura.

Foi através desse experimento que Kirchhoff demonstrou que para corpos negros a emissão de radiação não depende do material com que ele é feito, mas apenas de sua temperatura.

Se o corpo absorve mais radiação do que emite, sua temperatura aumenta, se ele emite mais do que absorve, sua temperatura abaixa. Quando os corpos absorvem e emitem radiação na mesma intensidade dizemos que ele está em equilíbrio com o ambiente onde se encontra. Absorvedores ideais em equilíbrio térmico com o ambiente segundo Kirchhoff são chamados de corpo negro.

Um ótimo exemplo de corpo negro em nível de emissão de radiação são as estrelas, assim como o sol, seu espectro pode ser visto na Figura 3 a seguir, onde a linha contínua mostra o comportamento do corpo negro.

Figura 3: Espectro de radiação do sol.



Fonte: http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Sol_Rad_Basic_RS.html

A atenuação na irradiância demonstrada acima ocorre devido aos efeitos de absorção, espalhamentos e reflexões ocorridos desde a entrada da radiação solar no topo da atmosfera até atingir o nível mais baixo onde se localiza o nível do mar.

2.1 Catástrofes do ultravioleta

Um dos motivos que levaram os físicos do século XIX a estudar os aspectos da radiação dos corpos incandescentes, é que nessa época a iluminação das cidades europeias era à base de gás e energia elétrica. O desafio dessa geração de pesquisadores era encontrar em material que pudesse fornecer uma grande intensidade luminosa a uma baixa temperatura. Os estudos da radiação térmica e a interpretação dos resultados experimentais levaram a um impasse, as análises não correspondiam com as previsões teóricas. Os estudos realizados para solucionar esse problema levaram a Física a um grau maior de entendimento, podendo ser considerado o marco inicial da física quântica, a explicação da quantização de energia.

O que se sabia de fato naquela época é que corpos a certa temperatura podiam absorver ou emitir radiação, apresentando um espectro com um ou mais picos de

frequências máximas, essas frequências são influenciadas pelo tipo de material que compõe o corpo. De maneira análoga, corpos negros a uma mesma temperatura T emitem radiação com espectros iguais, esses espectros não dependem do material que os compõem, apenas da temperatura a que se encontram.

Foi na tentativa de entender as radiações térmicas que Kirchhoff introduziu o conceito de corpo negro, pois os corpos que possuem coloração escura apresentam grande capacidade de absorção das radiações incidentes sobre eles, esse é o motivo das roupas pretas esquentarem tanto sob a luz do sol.

Tomando como base os estudos de Kirchhoff e os experimentos de Tyndall sobre o aquecimento de um fio de platina, Josef Stefan, em 1879, percebeu que seu resfriamento ou perda térmica por unidade de área era proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Essas observações passaram a ser conhecida como Lei de Stefan.

Matematicamente a expressão de Josef Stefan pode ser representada da seguinte forma:

$$I = \frac{P}{A} = P = \sigma T^4 \quad (1)$$

Onde I é a intensidade luminosa, P é a potência total irradiada, T é a temperatura absoluta e σ , ficou conhecida como constante de Stefan, sendo igual a $5,670367 \cdot 10^{-8} \text{ kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{K}^{-1}$.

A equação acima é válida para corpo negro onde a emissividade $\epsilon = 1$.

Para outros corpos ditos não ideais, a equação de Stefan-Boltzman, que, primeiramente, foi conhecida como lei de Stefan, também é válida, mas com emissividade $0 < \epsilon < 1$, podendo ser reescrita da seguinte forma:

$$P = \epsilon \sigma T^4$$

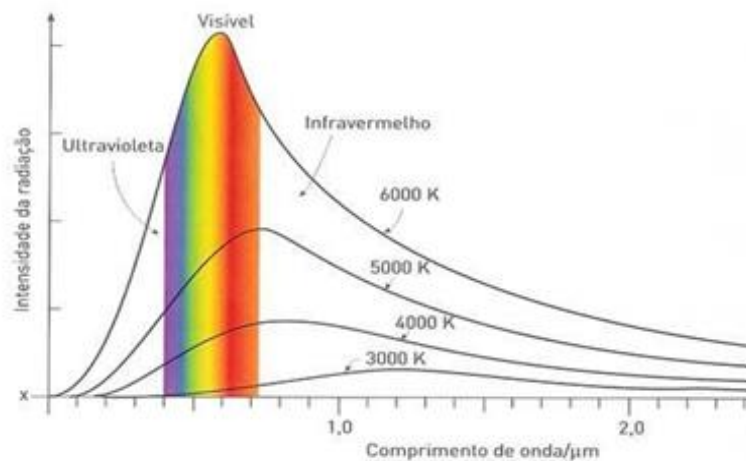
Segundo Perez (2016, p. 17), o enunciado de Josef Stefan foi proposto da seguinte maneira:

A potência total irradiada por unidade de área superficial de um corpo negro é diretamente proporcional à quarta potência de sua temperatura.

Mais tarde, segundo Dahmen (2006), o ex-aluno de Josef Estefan, Ludwig Boltzmann, unindo os estudos de Maxwell sobre eletromagnetismo e seus conhecimentos sobre termodinâmica obteve teoricamente o que seu antigo professor já havia deduzido empiricamente, dessa forma, a lei de Stefan passou a ser conhecida como Lei de Stefan-Boltzman.

Alguns anos depois, em 1893, segundo Perez (2016), Wilhelm Wien propôs o que hoje conhecemos como Lei de Deslocamento de Wien, que demonstra como os corpos negros emitem radiação em função de sua temperatura. A curva dessa equação pode ser vista na figura 4.

Figura 4: Demonstração da curva de Deslocamento de Wien



Fonte: www.estudopratico.com.br/energia-irradiada-lei-do-deslocamento-e-irradiacao-termica/

De acordo com o gráfico, para cada temperatura existe um pico de radiação, quanto maior o comprimento de onda menor é sua intensidade luminosa, por isso se chama Lei de deslocamento, pois à medida que a temperatura aumenta, toda a curva sofre um deslocamento para comprimento de ondas menores.

A lei de Deslocamento pode ser escrita da seguinte forma, “O comprimento de onda máximo irradiado por um corpo negro é inversamente proporcional a sua temperatura”

Matematicamente sua lei pode ser descrita da seguinte forma:

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = b \quad (2)$$

Onde $\lambda_{m\acute{a}x}$ representa o comprimento máximo de radiaao do corpo negro, T  a temperatura absoluta (Kelvin) e b  uma constante conhecida como constante de dispersão de Wien, cujo valor  de $2,8977685 \cdot 10^{-3} \text{ m.k}$

Através dessa equao pode-se estimar a temperatura de um corpo sabendo apenas o comprimento de onda de máxima intensidade corresponde, por exemplo,  cor amarelada do sol apresenta um comprimento de onda, de acordo com o espectro de Newton sobre as cores da luz, de aproximadamente 570 nm, aplicando esse comprimento  equao do deslocamento de Wien, encontra-se:

$$T = 2,898 \cdot 10^{-3} / 570 \cdot 10^{-9}$$

$$T = 5084 \text{ K.}$$

Valor muito próximo para temperatura da superfície do sol que segundo o Observatório Astronômico Frei Rosário, vinculado  Universidade Federal de Minas Gerais- UFMG,  de aproximadamente 5800K.

Em junho de 1896, Wien, desenvolveu uma funo que descreveria a densidade de energia da radiao do corpo relacionando-a com o comprimento de onda. Essa lei foi expressa matematicamente da seguinte forma:

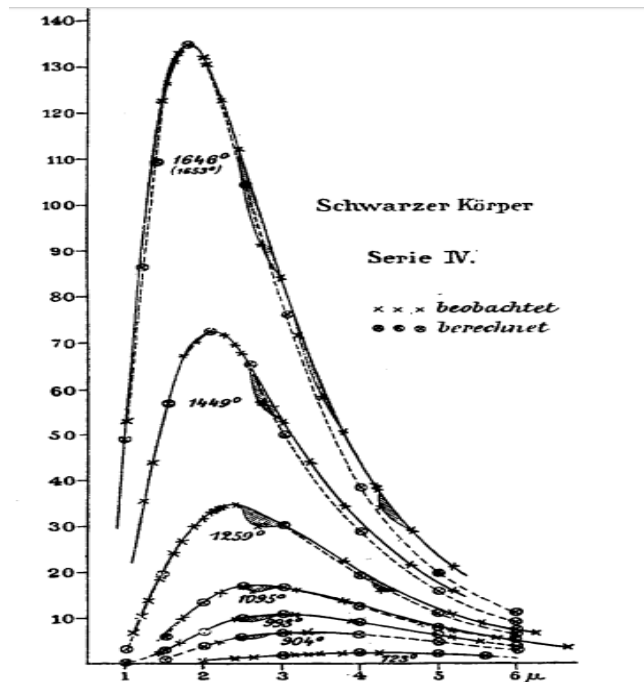
$$I(\lambda, T) = a\lambda^{-5}e^{-c/\lambda T} \quad (3)$$

Onde a e c são constantes.

Segundo Nelson Studart (2000, p.526), houve várias verificaes experimentais da lei de Wien, uma das mais cuidadosas foi elaborada por Friedrich Paschen (1865-1947), permitindo determinar a distribuio espectral para qualquer temperatura. Otto Lummer (1860-1925) e Ernst Pringshein (1859-1917), comprovaram a validade da equao de deslocamento (2) encontrando para **b** um valor de 0,294 cm.K.

Os resultados experimentais de Lummer e Pringshein sobre Intensidade espectral como funo do comprimento de onda podem ser visualizados na figura 5 a seguir:

Figura 5: Intensidade espectral como função do comprimento de onda



Fonte: http://www.cepa.if.usp.br/e-fisica/apoio/historia/v22_523.pdf

Em junho de 1900 analisando a cavidade descrita por Kirchhoff, o físico John Rayleigh também apresentou um método para calcular a densidade de radiação de um corpo negro em função da temperatura, associando a radiação em equilíbrio com ondas estacionárias e os estudos de Maxwell-Boltzmann sobre equipartição de energia.

Segundo Studart (2000 p.529), “Seu método consistia em calcular o número de ondas estacionárias, ou seja, a distribuição de modos eletromagnéticos permitidos com frequência no intervalo entre ν e $\nu + d\nu$, $N(\nu)d\nu$, dentro da cavidade”.

Sua equação pode ser expressa da seguinte forma:

$$\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu} = \text{constante} \cdot T\nu^2 \quad (4)$$

Na equação acima, a constante ainda não havia sido estabelecida, v é o volume da cavidade e $\frac{1}{V} \frac{du}{d\nu}$ é a densidade de energia T é a temperatura absoluta (K).

Mais tarde, em 1905, Rayleigh completa sua equação encontrando a constante que faltava, ficando conhecida como Lei de Rayleigh- Jeans após James Jeans

introduzir um fator de 8, que Rayleigh havia esquecido, essa equação pode ser expressa da seguinte forma:

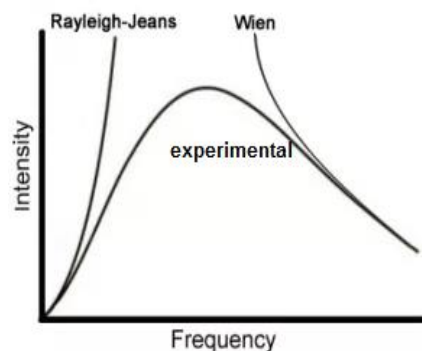
$$\frac{1}{V} \frac{du}{dv} = 8\pi \frac{K_B}{c^3} T v^2 \quad (5)$$

Onde K_B é a constante de Boltzmann e c é a velocidade da luz.

Foi grandioso o avanço alcançado por Wien e Rayleigh em relação à radiação do corpo negro, mas os dados experimentais não estavam em total concordância com suas respectivas equações, a aproximação de Wien tinha validade apenas para baixos comprimentos de ondas (altas frequências) e a equação de Rayleigh funcionava bem, apenas para altos comprimentos de onda (baixas frequências)

Uma ilustração dos dados experimentais em relação a suas equações pode ser vista na figura 6 a seguir:

Figura 6: Comparação da equação para radiação do corpo negro para Wien e Rayleigh



Fonte: Adaptado de <https://paralysisbyanalysis52.wordpress.com>

Este gráfico demonstra com clareza como a equação de Wien se ajusta para altas frequências e a lei de Rayleigh se ajusta para baixas frequências, apesar de demonstrar discrepâncias, Wien conseguiu empiricamente escrever a equação que demonstra uma proporcionalidade entre a frequência e temperatura, quando o corpo imite uma radiação de intensidade máxima (2), o problema é que quando se projeta a equação de Rayleigh para os raios ultravioletas, a emissão explode para o infinito,

essa discordância foi chamada de “**Catástrofe do Ultravioleta**”, que veio ter solução com um grande físico chamado Max Planck.

2.2 A solução de Planck para a catástrofe do ultravioleta

Para encontrar a solução desse problema, Planck tomou como base o modelo de corpo negro descrito por Kirchhoff (1860), no qual associou a oscilação dos átomos que constituíam a parede do recipiente, com osciladores harmônicos.

Segundo Halliday, Resnick e Krane (p.146) /5a edições- Física 4-Ed. LTC.

Ele também supôs que estes osciladores não poderiam oscilar com qualquer energia arbitrária, mas apenas com energias que fossem múltiplas inteiras de $h\nu$, onde ν é a frequência de radiação que estes osciladores absorvem e emitem à medida que interagem com a radiação existente na cavidade.

Foi essa questão de quantidade de energia que Planck modificou, pois antes se acreditava, por meio da Física clássica, que os elétrons poderiam oscilar em qualquer valor de energia de zero a um valor máximo, isso acabava explodindo na Catástrofe do Ultravioleta. O conceito adotado por Planck é que a energia do elétron deveria ser quantizada, ou seja, a energia adquirida por cada elétron deveria variar em quantidades inteiras, e que essa energia dependeria apenas da frequência de oscilação das moléculas. A dependência da quantidade de energia em função da sua frequência pode ser escrita da seguinte forma:

$$E = h\nu \quad (6)$$

Foi nesse período que o conceito de quantum foi introduzido, os osciladores não irradiam energia de forma contínua, mas por pulsos ou pacotes denominados quanta. Nessa expressão, o h é denominado constante de Planck e seu valor é:

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Segundo Laura Catarina Seco Antunes (2012 p.14), em sua dissertação sobre radiação do Corpo Negro- Lei de Stefan Boltzmann, “A solução de Planck resulta em

substituir na fórmula de Rayleigh - Jeans, a energia média clássica correspondente a cada modo do campo, o valor $K_B T$, por uma nova expressão”

$$K_B T = \frac{hc}{\lambda} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda K_B T}} - 1} = \frac{E_\lambda}{e^{\frac{E_\lambda}{K_B T}} - 1} \quad (7)$$

Onde $\frac{hc}{\lambda}$ é a quantidade de energia discreta apresentada por cada modo de oscilação ou pulso. O grande trabalho de Planck era ajustar uma equação que expressasse os dados experimentais da distribuição espectral da radiação, esse grande feito foi então apresentado à comunidade científica em 19 de Outubro de 1900. Esse foi o primeiro passo ao que conhecemos hoje como Física Quântica, sendo um dos maiores marcos no campo dessa ciência.

A forma mais completa da equação de Planck pode ser descrita da seguinte forma:

$$R(\lambda) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda K_B T}} - 1} \quad (8)$$

Onde: R = radiância espectral.

T = Temperatura do corpo Negro (K).

h = Constante de Planck (J/HZ)

e = Número de Euler

c = Velocidade da luz

K_B = Constante de Boltzmann (Joule / Kelvin)

O comprimento de onda tem relação com sua frequência;

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad (9)$$

A Lei de Planck pode ser escrita para densidade espectral ficando da seguinte forma:

$$u = \frac{8\lambda h v^3}{c^3} \left\{ \exp\left(\frac{hv}{KT}\right) - 1 \right\}^{-1} \quad (10)$$

Ou

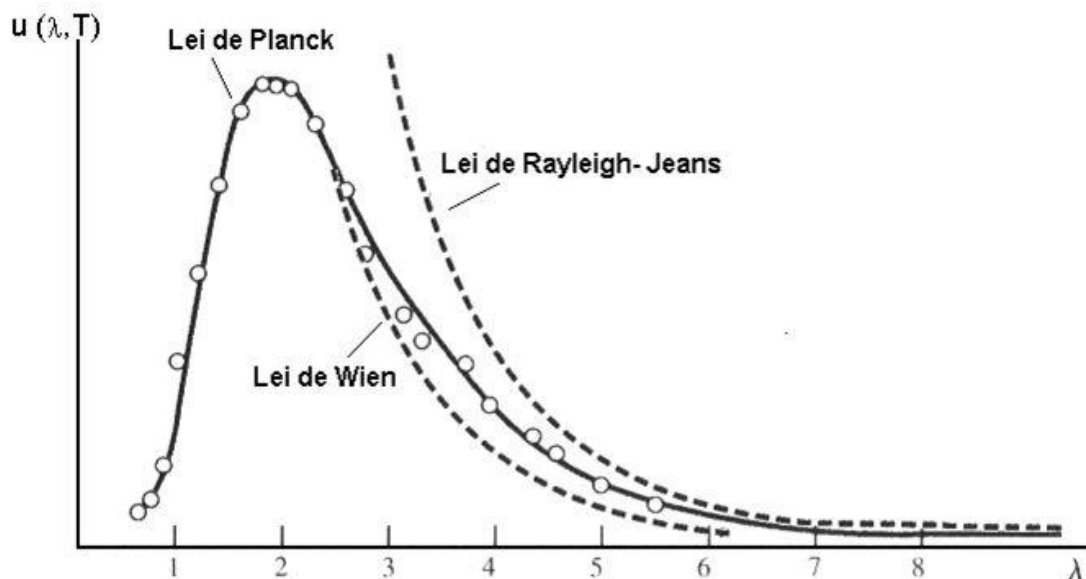
$$p(\nu) = \frac{N\nu}{V} U(\nu, T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} \frac{h\nu}{e^{K\nu T} - 1} = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{K\nu T} - 1} \quad (11)$$

Ou ainda em função do comprimento de onda:

$$U(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{K\lambda T} - 1} \quad (12)$$

O gráfico que compara as Leis de Rayleigh-Jeans e Wien com a Lei de Planck pode ser visto na figura 7 a seguir:

Figura7: Comparação da Curva de radiação emitida por um Corpo Negro



Fonte: <http://slideplayer.com.br/slide/2884196/>

De acordo com o gráfico, percebe-se que a Lei de Wien e Rayleigh-Jeans, falha em algumas projeções, enquanto que para a Lei de Planck, representado pelos pequenos círculos, ajusta-se perfeitamente aos dados experimentais.

3 A SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Um dos fatores que promovem o distanciamento entre teoria e experimentação dentro do âmbito escolar é a falta de apoio, materiais e suportes pedagógico, na falta desses recursos torna-se impossível o desenvolvimento de metodologias que favoreçam a união entre atividades experimentais e teóricas.

Pesando em como lidar com o presente cenário educacional, o material apresentando neste trabalho se constitui em uma sequência didática que servirá para auxiliar o professor nas aulas de Radiação do Corpo Negro, experimentação de absorção e experimentação para comprovação dos raios infravermelhos, promovendo um encurtamento entre o conhecimento prévio de aluno e o novo saber por meio da experimentação.

Segundo Kobashiwaga (*et. al*, 2008, *apud* Batista 2016, p.41), sequência didática é o “conjunto de atividades, estratégias e intervenções planejadas etapa por etapa pelo docente para que o entendimento do conteúdo ou tema proposto seja alcançado pelos discentes”

Ao preparar uma sequência didática, o educador deve ter em mente qual o objetivo desse material e o que se espera que os alunos saibam no final dessa aplicação.

Nesta concepção, Zabala (1998) divide os conteúdos da seguinte forma:

Primeira: Conteúdos conceituais - estabelece a relação com o que se deve saber. Exemplos: sistema alfabético, fotossíntese, divisão, astronomia. Esses se caracterizam por uma construção pessoal, como pensar, comparar, compreender e estabelecer relações.

Segunda: Conteúdos procedimentais - faz referência ao que se deve saber fazer. Exemplos: dirigir carro, cozinhar, grafia das letras. Esses se caracterizam pela frequência com que se realiza. Nessa etapa é muito importante a ajuda daquele que já sabe tal conteúdo.

Terceira: Conteúdos atitudinais - esse explicita como se deve ser. Exemplos: responsabilidade, hábito de leitura, solidariedade. Essa etapa só se concretiza se os alunos vivenciarem situações que representem esses valores (ZABALA, 1998 *apud* BATISTA, 2016, p. 24).

É importante promover uma atividade educacional que tenha como centro o aprendiz, é ele o motivo dos estudiosos pesquisarem o método de assimilação de conhecimentos. O aprendiz não pode mais ser tratado como um recipiente vazio e de formato definido, são várias as vivências e tradições que cada um carrega consigo, por isso é que devemos, ao ensinar, considerar o que aprendente sabe e carrega de

conhecimentos, esses saberes podem se mostrar um poderoso aliado na elaboração de uma proposta de atividade.

Um dos maiores problemas observados a respeito do método tradicional de ensino é que este trata os conteúdos de forma acabada, não oportunizando a formulação de conceitos e conclusões por parte dos alunos. Neste método, segundo Batista (2016), o aprendiz se comporta passivamente, acumulando as informações apresentadas pelo educador, que muitas vezes não apresentam uma aprendizagem significativa, por se tratar de mera memorização passageira dos conhecimentos.

Muitos dos modelos de ensino abordados pelos educadores, diz respeito a própria formação, foram educados tradicionalmente e se utilizam dessa referência, como reforça Batista:

Esse tipo de ensino comumente reproduzido nas escolas tem uma ligação direta com a formação inicial desse professor e principalmente com suas experiências vividas ao longo de sua vida escolar, o que compõe o que já chamamos de saberes docentes, (2006, p.21)

É neste sentido que se faz necessário o estudo das teorias de aprendizagem, para que as novas concepções de ensino sejam também repassadas aos futuros educadores. Como abordar um conteúdo de maneira a provocar uma aprendizagem significativa e que sirva de exemplo para os professores de amanhã?

Segundo Batista:

[...] acreditamos que, com um planejamento e um conjunto de atividades estruturadas, como o que se propõe na aplicação de uma sequência didática, seja possível alcançar os futuros professores de ciências dos anos iniciais (2016 p.21).

O que se percebe é que, ao mudar as estratégias de ensino, não se afeta somente o aprendiz, mas também os futuros profissionais da educação, que podem aprender com os novos exemplos de se construir conhecimento.

O quadro 1 apresenta de forma geral a estrutura e os objetivos da sequência didática proposta.

Quadro 1: Estrutura da sequência didática

Disciplina: Física	Série: 3º ano - Ensino Médio
---------------------------	-------------------------------------

Tema: Física Moderna	Conteúdo Básico: Radiação do Corpo Negro
Nº de aulas previstas:	11 aulas
I. Conteúdo específico Radiação do corpo negro, radiação infravermelho.	
II. Pré-requisitos Os alunos devem ter noções básicas sobre meios de propagação do calor e ondulatória.	
III. Objetivos: <ul style="list-style-type: none"> • Compreender os mecanismos de absorção da radiação por um corpo escuro. • Relacionar a absorção dos raios do espectro luminoso com o aumento de temperatura. • Entender os fenômenos relacionados à radiação bem como sua aplicação no dia-a-dia. • Permitir o trabalho em grupo. • Desenvolver a habilidade de manuseio de materiais e instrumentos. 	

Fonte: O próprio autor (2017).

3.1 O papel do professor nessa sequência didática

O papel do professor nessa sequência didática, além de distribuir as atividades, organizar e criar um ambiente adequado para aprendizagem é de mediador ativo e participativo, sendo sua ação imprescindível antes, durante e após o desenvolvimento do conteúdo a ser trabalhado.

Além disso, o educador deve promover o debate produtivo entre os alunos, dando espaço à liberdade de expressão de suas ideias, usando e explorando o conhecimento por ele já adquirido.

3.2 Organizações da sequência didática.

Esta sequência será dividida em 2 etapas:

Primeiro será apresentado o conteúdo teórico incluindo a parte histórica que trata sobre o porquê dos estudos sobre radiação do corpo negro e o que é radiação infravermelho.

Na segunda etapa, este trabalho tratará da parte experimental sempre unindo teoria e prática. Os materiais utilizados serão de baixo custo, para que o docente não tenha dificuldades financeiras em aplicá-lo em turmas numerosas como é de costume em salas de aula estaduais.

A sequência didática a seguir, foi estruturada em 4 módulos totalizando 11 aulas de cinquenta minutos como demonstra o quadro 2 abaixo.

Quadro 2: Divisão em módulos da sequência didática

MÓDULOS	TEMAS	Nº DE AULAS
MÓDULO 1	Introdução à parte teórica da radiação do corpo negro, iniciando com o um pequeno questionário relacionando vivências do dia-a-dia.	3
MÓDULO 2	Introdução à radiação infravermelho e experimento que demonstra sua existência	2
MÓDULO 3	Experimento de absorção de radiação do corpo negro e questionário referente à atividade	3
MÓDULO 4	Determinando a potência do sol	3

Fonte: O próprio autor (2017).

4 EMCAMINHAMENTO DO MÓDULO 1

A introdução desta aula se dará por meio de um questionário norteador cujo objetivo é verificar o que o aluno já sabe sobre o tema a ser discutido, bem como despertar sua curiosidade pela temática.

Questões norteadoras.

1. Ao sair em um dia ensolarado de verão, a cor da roupa que usará influenciará na sensação térmica da pele envolto pelo tecido?
2. Se você fosse comprar uma camisa ou uma blusinha dessas para ir à praia, quais cores você escolheria se sua intenção fosse a de manter a pele sempre fresquinha?
3. Quais processos de transmissão de calor estão envolvidos quando nos aquecemos junto a uma lareira?
4. O que é um Corpo Negro de acordo com a Física?
5. A luz que sai do sol é denominada policromática, pois é formada por 7 sete cores visíveis ao olho humano, que são as cores do arco-íris. Quais são essas cores?
6. Cada cor do espectro luminoso está relacionada a uma dada frequência ou a um comprimento de onda uma vez sendo uma inversamente proporcional à outra, ou seja, cada cor representa uma faixa de frequência da luz visível. Qual das cores apresenta um maior poder de aquecimento?
7. Ao analisar dois corpos aquecidos um com cor alaranjada e outro de cor azulada, qual delas apresentará maior temperatura?
8. Por que determinados materiais, quando aquecidos, emitem luz?

Após a aplicação do questionário, inicia-se a parte teórica sobre a radiação do corpo negro, aqui se faz uma aula dialogada sobre o tema, buscando responder às questões norteadoras, permitindo aos alunos uma participação efetiva da aula.

5 ENCAMINHAMENTOS DO MÓDULO 2

Após a aplicação do questionário norteador e das discussões iniciais na aula dialogada, inicia-se a parte experimental da comprovação da radiação infravermelha. Para isso, o professor pode explorar com um pouco mais de detalhes esse tipo de radiação.

5.1 RADIAÇÃO INFRAVERMELHO

Como já foi dito em capítulos anteriores, todo corpo acima do zero absoluto emite radiação na forma de ondas eletromagnéticas, e uma em especial é denominada infravermelho, a maior responsável por provocar aumento de temperatura.

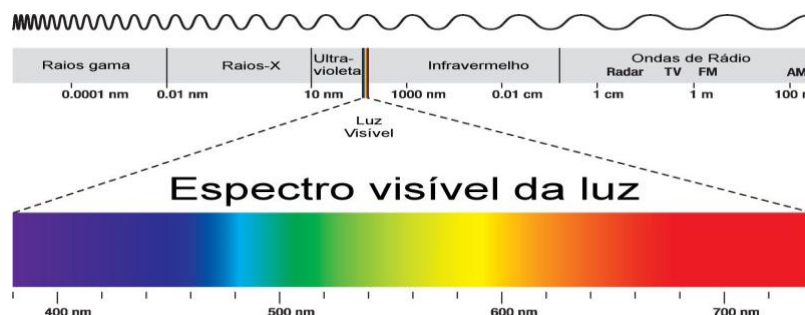
De acordo com Oliveira e Silva (2014), a radiação infravermelha (IV), foi descoberta, em 1880, pelo astrônomo inglês, Willian Herschel, é um tipo de radiação não ionizante, ou seja, não é capaz de arrancar elétrons da periferia dos átomos, não apresentando efeitos danosos à saúde humana, como o câncer por exemplo.

Os estudos apresentados por Willian comprovaram a existência de uma região do espectro luminoso onde a radiação era invisível, mais altamente energética, capaz de provocar um aumento na temperatura muito maior do que qualquer outra frequência do espectro luminoso.

Com o auxílio de um prisma, William desfragmentou a cor branca nas sete cores do arco-íris, em seguida para cada cor do espectro, colocou um termômetro de mercúrio, alguns minutos depois, notou que cada cor apresentava uma capacidade calorífica diferente, o termômetro da região avermelhada apresentava maior temperatura, mas ao colocar um termômetro na região logo após o vermelho, notou que esse produzia um aumento ainda maior do que aquele produzido pela radiação vermelha, comprovando então a existência da radiação infravermelha.

O espectro visível da radiação eletromagnética compreende um espaço muito pequeno do total de radiação do espectro luminoso, como mostra a figura 9 abaixo.

Figura 9: Espectro eletromagnético



Fonte: www.infoescola.com/fisica/espectro-eletromagnetico

Como podemos observar, a radiação IV, apresenta uma baixa frequência seguido de um grande comprimento de onda, podendo ser mais facilmente difratada do que todas as outras radiações do espectro eletromagnético.

5.2 Atividades experimental

1: Comprovando a existência da radiação infravermelho

Objetivo: Comprovar experimentalmente a existência da radiação infravermelho.

Materiais:

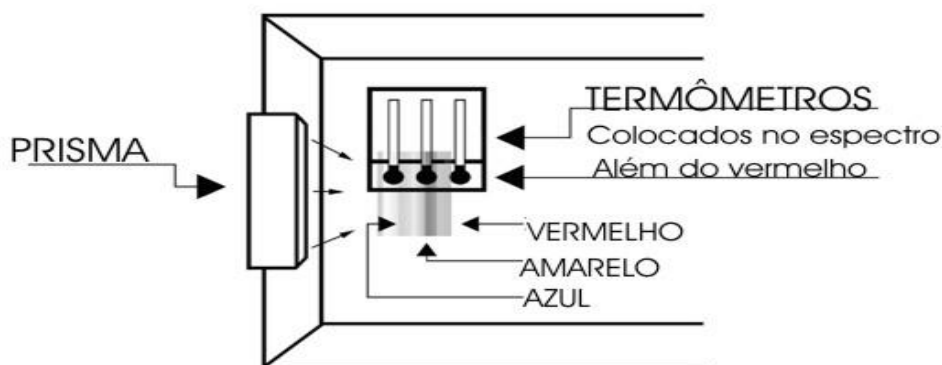
- uma caixa de plástico de 30 cm por 10 cm.
- três termômetros de mercúrio.
- um prisma com base triangular.

Montagem do experimento vide figura abaixo 10:

Procedimentos para montagem

Prenda o prisma no topo da caixa de plástico direcionando a caixa para captar a maior incidência de luz solar possível. É necessário que os raios solares passem por dentro do prisma atingindo o fundo da caixa, como mostra a figura acima. Em seguida, para garantir uma melhor precisão nas medidas, com uma caneta preta de tinta permanente, pinte o bulbo de cada termômetro (esse procedimento vai garantir uma melhor absorção da radiação), deixando-os alinhados para cobrir os aspectos de cores vermelho, azul, para registrar a incidência do raio infravermelho, deixe um termômetro antes da cor vermelha, como indicado na figura 10 abaixo.

Figura 10: Posição dos termômetros em relação ao espectro luminoso



Fonte: Fonte: <http://www.observatorio.ufmg.br/pas76.htm>

Antes de direcionar os termômetros para luz visível, certifique-se que todos os termômetros estão na mesma temperatura, em seguida posicione os termômetros de acordo com o esquema acima deixando-os por aproximadamente 5 minutos, meça a temperatura dos raios de luz nos respectivos termômetros, registrando os seus valores em uma tabela minuto a minuto.

Antes de direcionar os termômetros para luz visível, certifique-se que todos os termômetros estão a mesma temperatura, em seguida posicione os termômetros de acordo com o esquema acima deixando-os por aproximadamente 2 minutos, meça a temperatura dos raios de luz nos respectivos termômetros, registrando os seus valores no quadro 3.

Quadro 3: Variação de temperatura das cores vermelho azul e radiação infravermelho

Espectros	0,5 MIN.	1 MIN.	1,5 MIN.	2 MIN.
VERMELHO TEMPERATURA				
AZUL TEMPERATURA				
INFRAVERMELHO TEMPERATURA				

Fonte: O próprio autor (2017).

Após a montagem do experimento, responda as questões a seguir:

Questionário referente ao experimento da comprovação da radiação infravermelho

1. Quando a luz passa de um meio de propagação para outro, sofre o fenômeno chamado de refração, esse fenômeno nos mostra que para cada cor do espectro luminoso existe um índice de refração, e basicamente as cores com maiores velocidades se desviam menos tentando manter sua trajetória inicial. Pensando nessas questões qual das cores apresentam maior e menor velocidade respectivamente?

2. Qual dos termômetros apresentou maior elevação de temperatura com o passar do tempo?

3. Qual foi a média de elevação de temperatura dos três termômetros?

4. Ao analisar as variações de temperatura, verificamos que é possível concluir que existe uma radiação infravermelho que provoca uma variação de temperatura ainda maior do que o aspecto vermelho e azul, qual foi a diferença de temperatura apresentada pelos termômetros?

6 ENCAMINHAMENTOS DO MÓDULO 3

6.1 Atividade experimental 2: Experimento de absorção de radiação do corpo negro

Objetivo: Comprovar experimentalmente que os corpos de cores escuras absorvem mais radiação do que os de cores claras.

Materiais:

- Duas latas de alumínio.
- Tinta preta e tinta escura.
- Dois termômetros digitais.
- Uma lâmpada de 60 W de farol de automóvel.
- Um soquete.
- Um metro e meio de fio fino paralelo.
- Um conector para conectar o fio à tomada.

Procedimentos para montagem

Pinte uma lata de preto outra de branco como mostra a figura 11.

Figura 6: Latas tingidas de branco e preto para demonstrar absorção e reflexão dos RI



Fonte: O próprio autor (2017).

Coloque dentro de cada uma das latas um termômetro digital como mostra a figura 12.

Figura 12: Lata com termômetro



Fonte: O próprio autor (2017)

Com a ajuda de uma furadeira, faça um furo de modo que permita a passagem do fio de luz como mostra figura ilustrativa 13, em seguida instale o fio no soquete e fixe-o na base de madeira parafusando-a no suporte como mostra a figura 14, acople a lâmpada no soquete de madeira de forma que ela fique equidistante das lâmpadas a mais ou menos 10 cm, certifique-se que os termômetros estão à mesma temperatura e acenda a lâmpada aguardando 5 minutos. Se certifique que os respectivos termômetros atingiram a temperatura final máxima, após essa certificação, por meio da equação de Wien chegou o momento de calcularmos o máximo comprimento de onda possível para esse corpo em sua máxima temperatura.

Figura 13: Aparato experimental ilustrativo



Fonte: Empoeirados.com.br

Figura 14: Aparato experimental ilustrativo



Fonte: Autoria própria (2017).

Questionário referente ao experimento de absorção de radiação do corpo negro

1. Qual das latas apresenta maior variação de temperatura, a preta ou a branca?

2. A radiação infravermelha apresenta um comprimento de onda na faixa de 700nm até 50000nm, utilizando a equação da lei de Wien para deslocamento, calcule qual é o máximo comprimento de onda irradiado nas paredes internas das duas latas, verificando se a faixa de comprimento de onda se encontra dentro da radiação infravermelho.

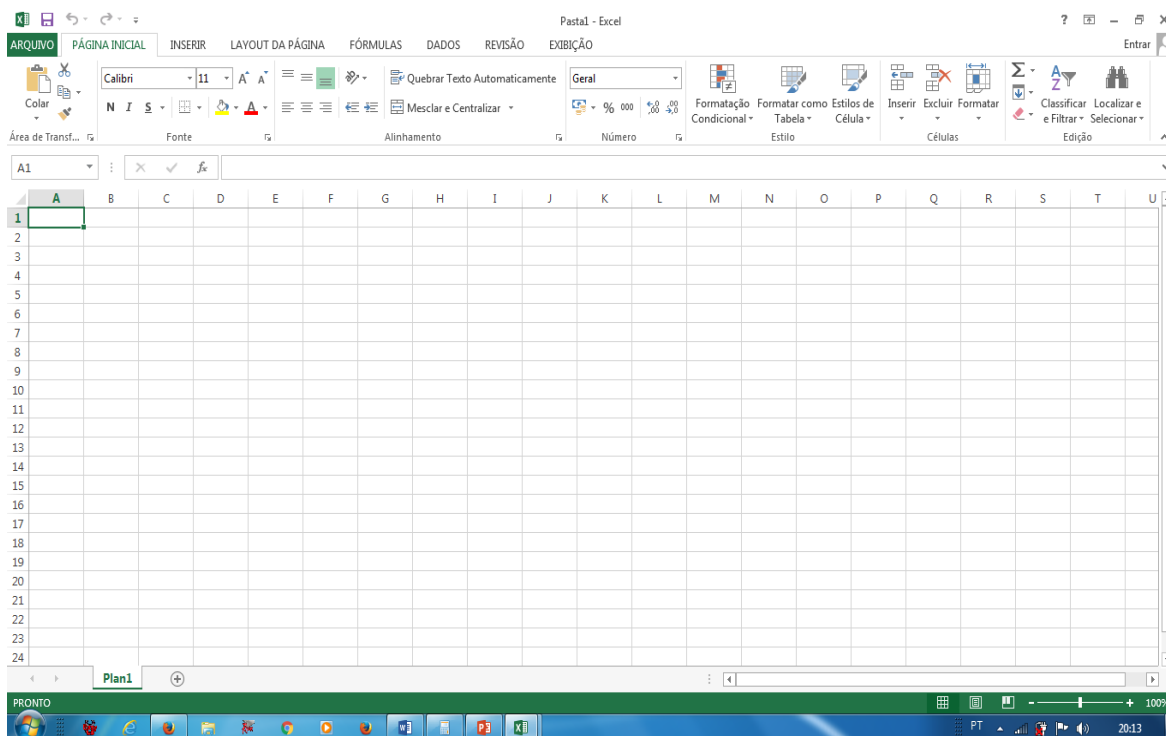
3. Tomando como base a lei de radiância de Stefan Boltzman, calcule quantidade de radiação das paredes internas de cada lata.

Após a aplicação do questionário, o professor utilizará o *software Excel* para construção do gráfico referente à Lei de Planck para intensidade de radiação, em seguida, utilizando a Lei de Wien (2) para máximo comprimento de onda, o educador poderá confrontar se os dados apresentados pelo gráfico coincidem com os encontrados matematicamente.

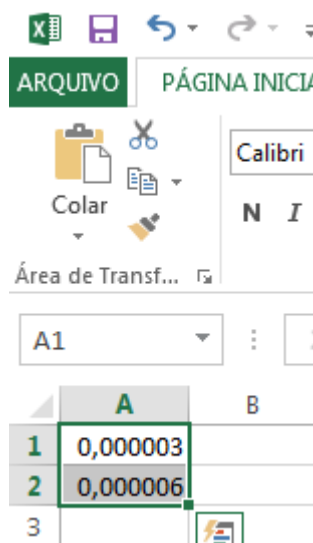
6.2 Expressando graficamente a lei de Planck.

6.2.1 Roteiros para a utilização do software Excel.

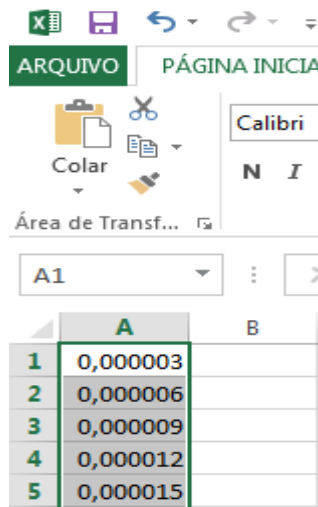
Para demonstrar a lei de Planck graficamente, utilizaremos o *Excel*.
Ao abrir o *software* a página de apresentação será:



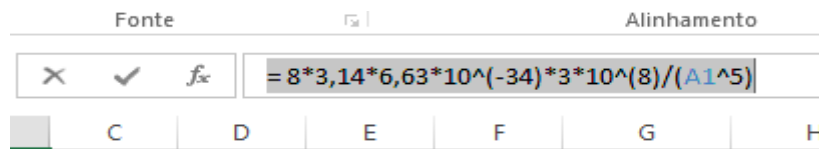
Selecione a célula **A** escreva os valores referentes aos comprimentos de onda, por exemplo:



Selecione as duas colunas ao mesmo tempo e arraste para baixo até cédula de número de 100, da seguinte forma.



Em seguida selecione a cédula B e no campo da função, escreva o seguinte:

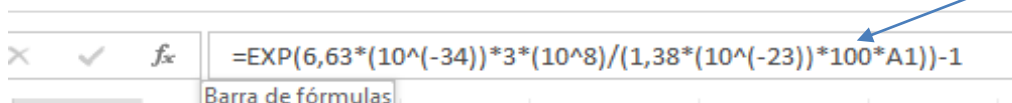


Em seguida selecione a cédula B e arraste até o número 100 da seguinte forma:

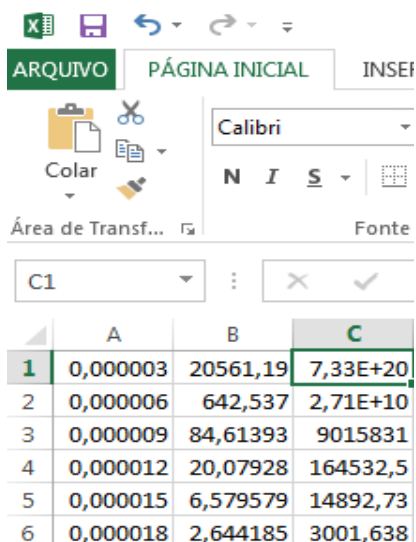
	A	B
1	0,000003	20561,19
2	0,000006	642,537
3	0,000009	84,61393
4	0,000012	20,07928
5	0,000015	6,579579
6	0,000018	2,644185

O número 100, representa a temperatura do corpo em kelvin, que poderá assumir outros valores de acordo com o desejo de representação.

Selecione a cédula C e escreva no campo da função o seguinte:



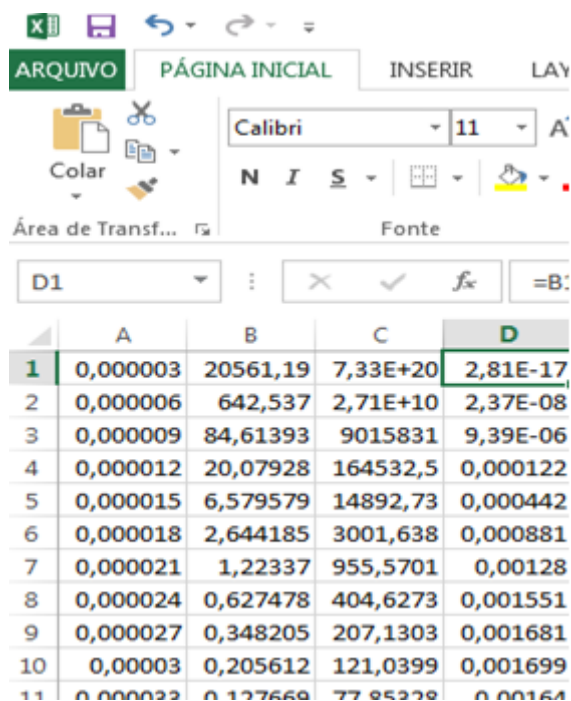
Selecione a célula C e arraste até a célula correspondente ao número 100, dessa forma:



	A	B	C
1	0,000003	20561,19	7,33E+20
2	0,000006	642,537	2,71E+10
3	0,000009	84,61393	9015831
4	0,000012	20,07928	164532,5
5	0,000015	6,579579	14892,73
6	0,000018	2,644185	3001,638

Selecione a coluna D, e escreva no campo da função o seguinte:

Esse comando é para obter o resultado da intensidade de radiação para a função de Planck, a célula D deverá ficar da seguinte forma:

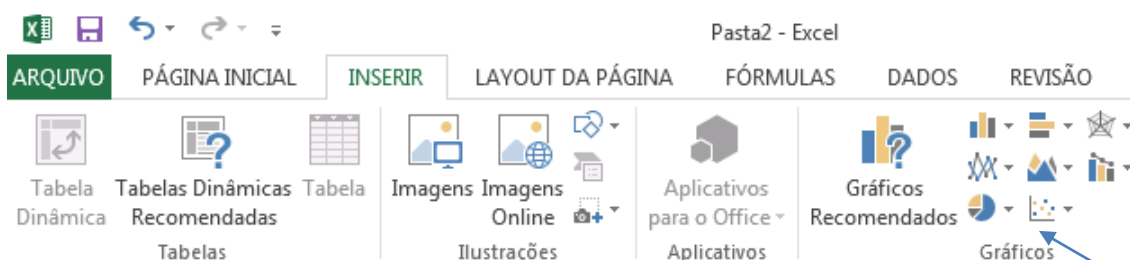


	A	B	C	D
1	0,000003	20561,19	7,33E+20	2,81E-17
2	0,000006	642,537	2,71E+10	2,37E-08
3	0,000009	84,61393	9015831	9,39E-06
4	0,000012	20,07928	164532,5	0,000122
5	0,000015	6,579579	14892,73	0,000442
6	0,000018	2,644185	3001,638	0,000881
7	0,000021	1,22337	955,5701	0,00128
8	0,000024	0,627478	404,6273	0,001551
9	0,000027	0,348205	207,1303	0,001681
10	0,00003	0,205612	121,0399	0,001699
11	0,000033	0,127668	77,85228	0,00164

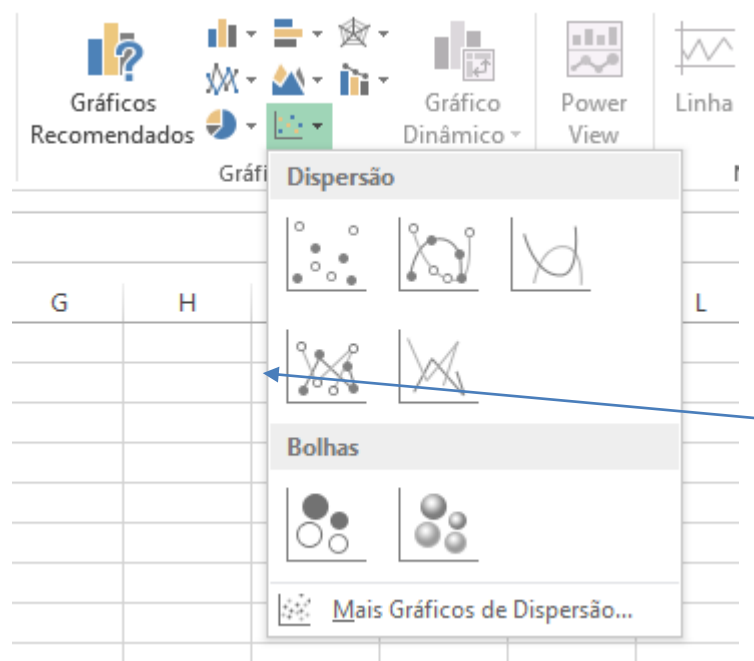
Após arrastar a cédula até o número cem, vá na aba superior do *Excel* e clique em inserir como mostra a seguinte figura:



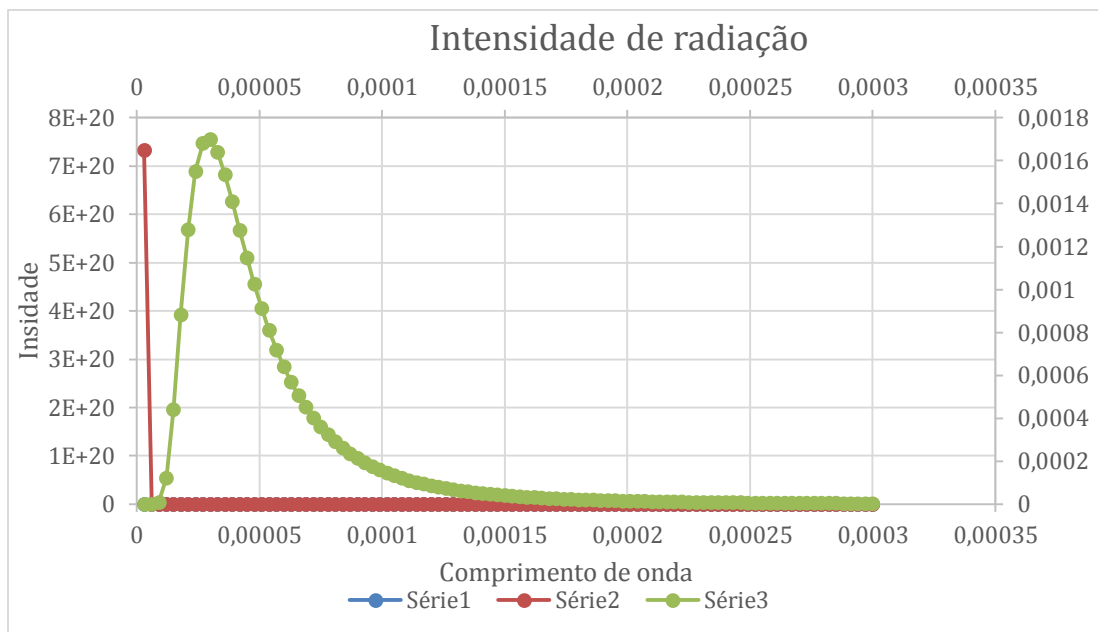
Após clicar em inserir, vá em gráficos e clique na seguinte figura:



Após clicar no gráfico indicado aparecerá a seguinte figura:



Clique na figura indicada pela seta, automaticamente a apresentação do gráfico deverá se apresentar da seguinte forma.



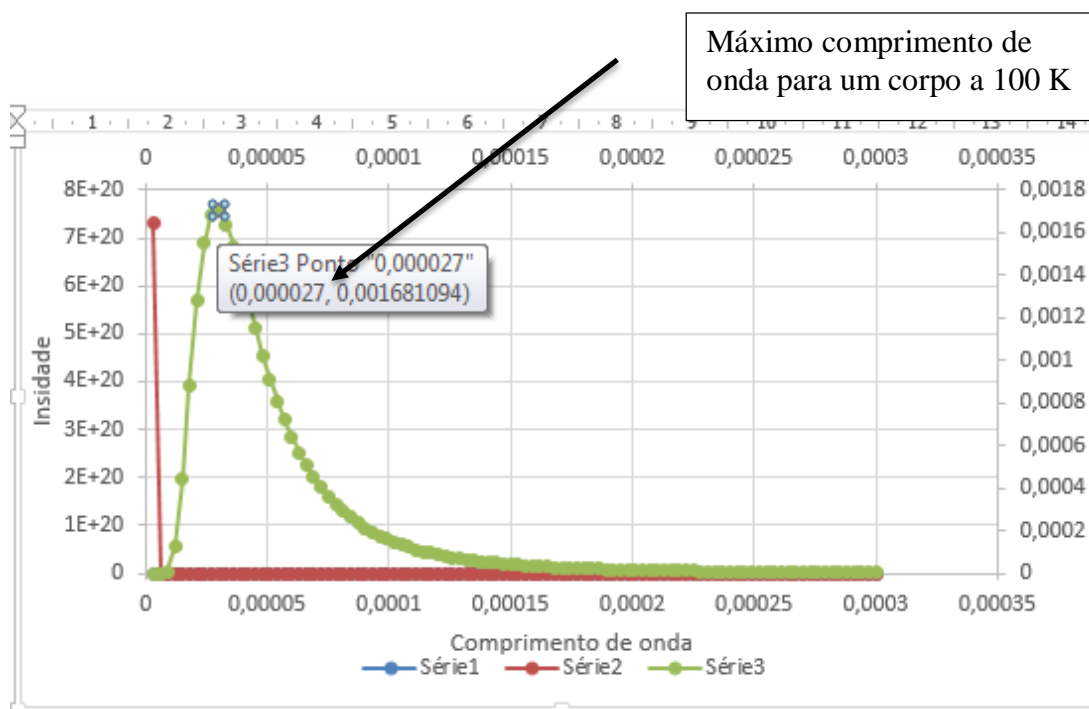
De acordo com o gráfico, a intensidade máxima irradiada por um corpo, apresenta um certo comprimento de onda que pode ser verificado pela equação de Wien (2). Verifique se os dados apresentados pelo cálculo estão de acordo com aqueles apresentados pelo gráfico.

$$\lambda_{m\acute{a}x} T = b$$

$$b = 2,8977685 \cdot 10^{-3}$$

Resposta:

Para verificar se os dados do cálculo estão de acordo com dados do gráfico, basta, com o cursor, clicar sobre o ponto mais alto da linha descrita graficamente, como podemos observar na seguinte figura:



7. ENCAMINHAMENTO DO MÓDULO 4

7.1 Atividades experimental 3: Determinação da potência do sol por meio de um fotômetro.

Objetivo: Determinação experimental da potência do sol.

A luminosidade é a quantidade de energia emitida em um segundo por um copo a certa temperatura, para calcular essa luminosidade ou potência, basta utilizar a equação:

$$I = P/A$$

Onde I é a intensidade luminosa medida em W/m^2 , P é a potência, cuja unidade de mediada é Watt (J/s) e A , é a área formada pela radiação medida em m^2 , como a luz emite luminosidade em três dimensões podemos considera-la como sendo uma esfera que aumenta conforme a distância, portanto, sua área será representada por $4\pi R^2$.

Sabe-se que a potência irradiada pelo sol é realmente muito grande, mas podemos, com o auxílio de um fotômetro caseiro, mensurar essa potência comparando-a com uma lâmpada de 70W, veja como isso é possível.

Materiais:

- Duas lâmpadas incandescentes, uma de 70W e outra de 42W;
- Dois soquetes para as lâmpadas incandescentes;
- Dois pinos machos;
- Uma folha de sulfite;
- Azeite;
- Dois fios de 4 metros;
- Fita adesiva;
- Plugue do tipo T, ligação direta na tomada;
- Fita métrica ou trena;

Procedimentos para montagem

Primeiramente, faça a conexão macho em uma das extremidades do fio, conectando o soquete na extremidade oposta, da forma como mostra a figura 15.

Figura 15: fio conectado a lâmpada ao soquete e ao pino macho.



Fonte: autoria própria (2017)

Em seguida, com a fida adesiva, fixe os soquetes em uma superfície plana separadas por uma distância de mais ou menos um metro, assim como mostram as figuras 17 e 18:

Figura 17: soquete preso a superfície por fita isolante.



Fonte: Autoria própria (2017).

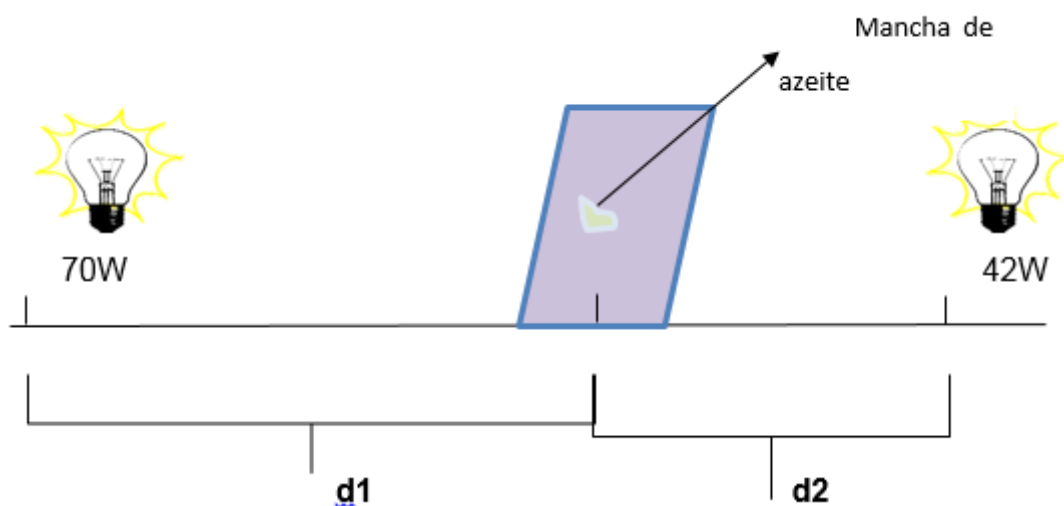
Figura 18: lâmpadas separadas por um metro de distância.



Fonte: Autoria própria (2017)

Com as lâmpadas devidamente acopladas aos soquetes, faça uma pequena mancha de azeite no centro da folha de sulfite deixando essa superfície translúcida, como pode ser observado na figura abaixo, esse será nosso fotômetro. Segure a folha

manchada entre as duas lâmpadas acesas, se a intensidade luminosa que chegar até a folha for a mesma para os dois lados, a mancha não poderá mais ser vista. É necessário mover a folha entre as lâmpadas acesas até observar o desaparecimento da mancha.



Testando o experimento

Para exemplificar, em seguida, será apresentado um pequeno teste de como é o funcionamento do experimento.

Com a folha de sulfite entre as lâmpadas, aproxime e afaste-a entre as fontes luminosas, parando no ponto onde a mancha desaparece por completo.

Isso significa que as intensidades luminosas dos dois lados são iguais, podendo ser expressa matematicamente da seguinte forma:

$$I_1 = I_2$$

$$\frac{P_1}{A_1} = \frac{P_2}{A_2}$$

$$\frac{P_1}{4\pi R_1^2} = \frac{P_2}{4\pi R_2^2}$$

Como 4π existe dos dois lados, pode ser cancelado, e como o raio representa a distância entre as fontes luminosas e o anteparo, pode ser substituído por d , ficando da seguinte forma:

$$\frac{P_1}{d_1^2} = \frac{P_2}{d_2^2} \quad (1)$$

$$\frac{70}{d_1^2} = \frac{42}{d_2^2}$$

No momento em que a mancha desaparece, medimos a distância de uma das lâmpadas até o sulfite e substituímos na equação acima, dessa forma:

$$\frac{70}{d_1^2} = \frac{42}{43^2}$$

$$\frac{70}{d_1^2} = \frac{42}{1849}$$

$$42d_1^2 = 129430$$

$$d_1^2 = \frac{129430}{42}$$

$$d_1^2 = 3081,66666667$$

$$d_1 = \sqrt{3081,66666667}$$

$$d_1 = 55,51276 \text{ cm}$$

Para verificar a precisão do experimento basta calcular o erro percentual, como será demonstrado a seguir:

Cálculo de erro

Como as lâmpadas distam 1 metro entre si, o valor que deveria ser encontrado seria de 57 cm, pois 100 cm menos 43cm é igual a 57 cm, e não 55,12 aproximadamente, como podemos observar. Calculando a porcentagem de erro deste experimento, por meio da regra de três, encontramos 2,6 %, que seria uma ótima aproximação para uma atividade tão simples. Agora faremos a mesma prática, mas utilizando o sol como uma das fontes luminosas.

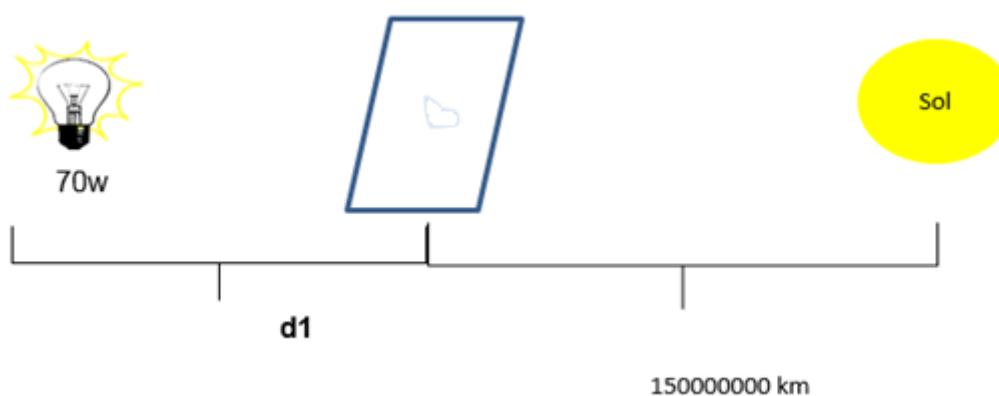
Determinação experimental da potência do sol

Da mesma maneira que calculamos a distância entre as lâmpadas na atividade anterior, iremos calcular a potência luminosa do sol, para tanto utilizaremos a mesma equação descrita anteriormente sobre intensidade luminosa.

Procedimento

Em seguida será apresentado um pequeno roteiro de como obter a potência experimental do sol.

Para essa atividade utilizaremos a lâmpada de maior potência, como conhecemos a distância da Terra ao sol, basta montar o experimento com a folha de sulfite manchada de azeite, entre as duas fontes luminosas (lâmpada acesa e o sol), movimentando-a entre as fontes de luminosidade até que a mancha desapareça, como pode ser observado na figura...



Quando a mancha desaparecer, basta medir a distância da folha até a lâmpada (d), substitua os valores conhecidos na equação acima demonstrada e pronto. O resultado obtido deve estar muito próximo do real apresentando uma margem de erro muito baixo.

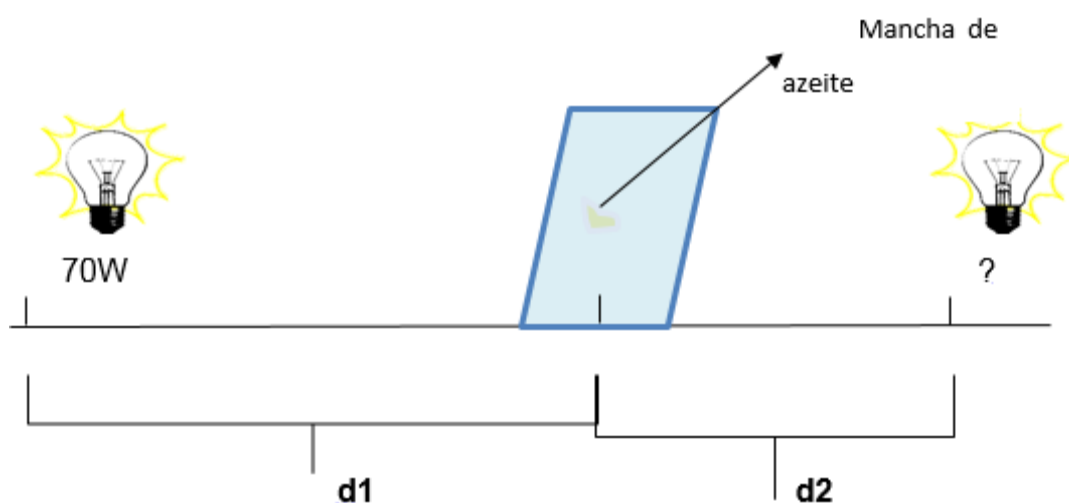
Após a explicação de como se proceder para encontrar a potência luminosa do sol, chegou a momento dos alunos aprenderem na prática.

Encaminhamento do experimento.

Ainda em sala de aula com a proposta da atividade experimental devidamente explicada, o professor deverá acompanhar os alunos na resolução das questões a seguir:

Para responder às questões 1 e 2, o experimento deve ser montado em sala de aula pelos alunos com o auxílio do professor.

Após a montagem escolha uma das potências apresentadas nominalmente pelas lâmpadas, como mostra a figura abaixo respondendo as questões:



$$\frac{P_1}{d_1^2} = \frac{P_2}{d_2^2}$$

1) Determine a potência experimental da lâmpada.

2) Determine o erro percentual.

$$E\% = \left(\frac{P_{Teórica} - P_{exp}}{P_{teórica}} \right) \cdot 100\%$$

3) O raio do filamento de tungstênio da lâmpada incandescente que determinamos sua potência, é de aproximadamente $1,098 \cdot 10^{-3}$ metros, considerando-a como um corpo negro ideal, estime o valor da sua temperatura.

7.1.2 Determinações da potência do sol pelos alunos

Nesta etapa o professor deverá reunir os alunos no pátio da escola ou em um local com boa incidência solar, aqui é fundamental auxiliar os alunos certificando que as medições estejam corretas.

1) Segundo o mesmo procedimento da atividade 1 e sabendo que a distância média da terra ao sol é de 150000000 km determine a potência do sol.

$$P_{sol} = \dots\dots\dots$$

2) Sabendo que o valor teórico $3,8 \cdot 10^{26}$ W determine o erro percentual relativo.

3) Com o resultado experimental, e sabendo que o raio do sol é de $7 \cdot 10^8$ m estime a temperatura do sol.

Após as atividades experimentais, temos:

$$T_{lâmpada} = \dots\dots\dots$$

$$T_{sol} = \dots\dots\dots$$

Esta etapa da sequência didática exige a manipulação do simulador sobre a intensidade luminosa encontrado na plataforma do *site* Phet Colorado, para tanto, após a aplicação do experimento, o professor deverá reunir os educandos na sala de informática, organizando-os em grupos de quantidade a gosto do educador.

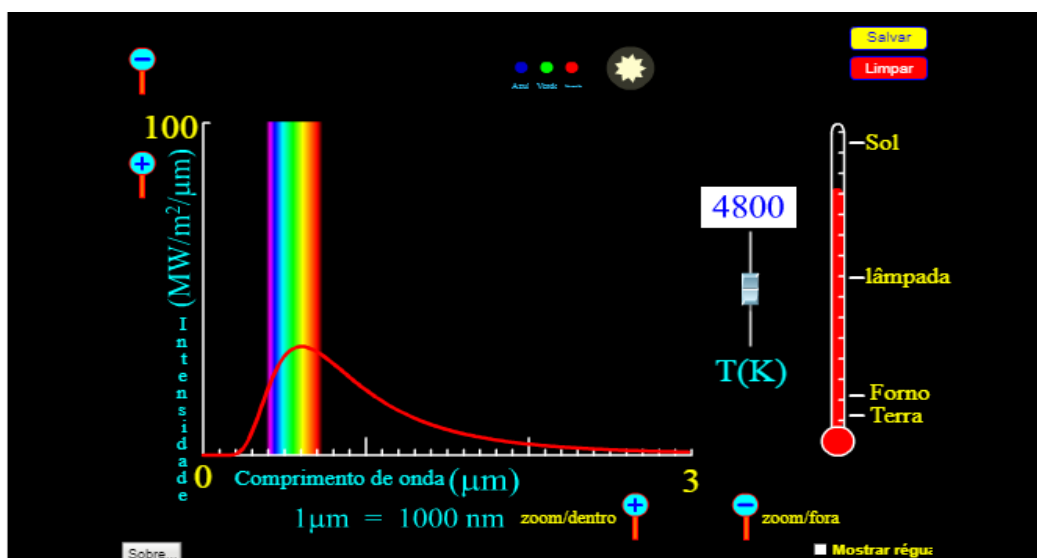
O simulador poderá ser encontrado em:

https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_pt_BR.html

Após sua abertura, é de suma importância que o professor demonstre todas as suas funções inteirando o aprendiz de suas configurações.

7.1.2 Roteiros para a utilização do simulador

1. Abra o simulador.



Fonte: https://phet.colorado.edu/sims/blackbody-spectrum/blackbody-spectrum_pt_BR.html

2. No cursor da temperatura, coloque o valor experimental da temperatura do sol obtido na atividade experimental (ou indique o valor mais próximo possível dela)

3. No cursor do *zoom* regule para 1,5.

4. Determine o comprimento de onda de máxima intensidade.

$$\lambda_{m\acute{a}x} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3}$$

$$\lambda_{m\acute{a}x} = \frac{2,9 \cdot 10^{-3}}{T_{Sol}} =$$

5. O máximo comprimento de onda para o sol está compreendido na região do nível?

6. Volte ao cursor da temperatura e coloque o valor experimental da temperatura da lâmpada

7. Mantenha o *zoom* do comprimento de onda em 1,5 e coloque o zoom da intensidade em 3,16.

8. Determine o comprimento de onda de máxima intensidade para a lâmpada

$$\lambda_{\text{máx}} \cdot T = 2,9 \cdot 10^{-3}$$

9. O máximo comprimento de onda para a lâmpada está compreendido na região do visível?

10. Com base na resposta anterior, as lâmpadas (incandescentes) seriam eficientes para utilização residencial?

11. Imagine que você observa duas estrelas (*astro*, corpo celeste produtor e emissor de energia, com luz própria) uma com coloração alaranjada e outra com coloração azulada. Qual das duas estrelas apresenta maior temperatura? Justifique:

12. Com o auxílio do simulador, mova o cursor da temperatura de forma a ajustar o comprimento de onda máximo na região da cor alaranjada. Registre a temperatura.

$T_{\text{estrela alaranjada}} = \dots\dots\dots$

13. Repita o procedimento e ajuste o comprimento de onda máximo para a região do azul. Registre a temperatura.

$T_{\text{estrela azul}} = \dots\dots\dots$

14. Verifique os valores das temperaturas das estrelas encontradas com o simulador e compare com a sua resposta do item 11. As respostas convergem ou divergem? Justifique:

Considerações finais

A construção desse produto se resume em uma tentativa de um novo olhar para as práticas pedagógicas, entendendo o aprendiz como um ser integrado ao processo de ensino e aprendizagem, considerando suas vivências e experiências. Nesse viés, o presente trabalho busca um perfeito entendimento sobre a radiação do corpo negro, passeando e se aprofundando na historicidade dos acontecimentos e os motivos que levaram a ciência a interessar-se pelo assunto. Aborda, ainda, todos os processos e recursos utilizados pelos principais nomes da ciência para chegar a uma conclusão palpável a respeito do tema em questão, bem como suas confirmações por métodos matemáticos.

Espera-se que a sequência aqui apresentada provoque um encurtamento das distâncias entre professor e aluno, oportunizando o diálogo, a socialização e o levantamento de hipóteses. Pode-se destacar também a importância da experimentação no ensino de Física aqui demonstrado que, devidamente trabalhado, mostra-se um poderoso aliado na construção do entendimento do aprendente, dando sentido e significado à teoria que, muitas vezes, carregadas de abstração, impedem o aprendiz de relacioná-la ao seu dia-a-dia.

A aplicação desse produto em uma turma de 3º ano do ensino médio mostrou um resultado muito positivo, tanto com relação à motivação e participação dos alunos nas atividades propostas, quanto no desempenho nas avaliações bimestrais de conteúdos conceituais.

Os alunos participantes da aplicação da presente sequência didática avaliaram satisfatoriamente a proposta abordada nesse trabalho, acatando com prontidão todas as etapas desenvolvidas durante o processo. Os relatos dos discentes demonstraram com clareza o quão importante e enriquecedor foi trabalhar esse tema da maneira como foi abordado, entendendo os conceitos mais simples como a importância de se usar filtro solar mesmo em dias nublados até os mais complexos, como a comprovação da eficiência luminosa de uma lâmpada incandescente por meios experimentais e matemáticos.

REFERÊNCIAS

ANTUNIES. L. C. S. **Radiação de Corpo Negro; Lei de Stefan-Boltzmann; Lei do Deslocamento de Wien.** Relatório de estágio (Mestrado) - Universidade da Beira Interior. Covilhã Portugal, 2012.

BATISTA. M. C. **Um estudo sobre o ensino de astronomia na formação inicial de professores dos anos iniciais.** Dissertação (Mestrado – Universidade Estadual de Maringá (UEM). 2016. Disponível em <http://www.btdea.ufscar.br/arquivos/td/2016_BATISTA_T_UEM.pdf> Acesso em 11 de julho de 2017.

CARVALHO, M. A.; ALONSO, M. R. M. H. Formação continuada de professores e mudança na prática pedagógica. In: ALONSO, M. (Org.). **Prática docente: teoria e prática.** São Paulo: Pioneira, 1999.

DAHMEN, SÍLVIO R; **A obra de Boltzmann em Física. Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 281 - 295, 2006.

ELENO. L. T. F. **Radiação do corpo negro.** Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo (EEL-USP), 2016. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1763087/mod_resource/content/1/corpo-negro.pdf> Acesso em 20 de abril de 2017.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; KRANE, Kenneth S, **Física 4:** Tradução de Pedro Manuel Calas Lopes Pacheco, D.Sc, Rio de Janeiro: LCT, 2004. v. 4.5º ed.

MOREIRA. M. A. **Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências: Comportamentalismo, Construtivismo e Humanismo.** Porto Alegre, 2009, PDF online, Disponível em <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/Subsidios5.pdf>> Acesso em 05 de abril de 2017.

NETO. O. G. **Análise da Didatização do Tema Radiação de Corpo Negro sob a Luz da Teoria Antropológica do Didático.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/123351/325650.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em abril de 2017.

Oliveira, R.A. e Silva, A.P.B. William Herschel, Os raios invisíveis e as primeiras ideias sobre radiação infravermelha. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, 4603 (2014).

PEREZ, S. **Mecânica Quântica**: Um curso para professores da Educação Básica. Série mestrado nacional profissional em ensino de Física, v3. São Paulo: LF, 2016.

PHET – **Simulações Interativas**. Universidade do Colorado.

Disponível em: <http://phet.colorado.edu>. Acesso em 16 de novembro de 2017.

PIAGET, J. **Seis estudos de Psicologia**. Rio de Janeiro. Forense Universitária, 1976.

SERÉ, M. G; COELHO, S.M. O papel da experimentação no ensino da Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 20, n. 1, Porto Alegre, abr. 2003.

STUDART, N. A invenção do conceito do *quantum* de energia segundo Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo, v. 22, n.4, p. 523-535, 2000.

THORNDIKE, E. L. Educational Psychology, vol. 1, **The psychology of learning**, Nova York, Teachers College Press, 1913.

VALADARES. E. C. Ensinando Física Moderna no Ensino Médio: Efeito fotoelétrico, laser e emissão de corpo negro. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 15, n. 2, ago. 1998.