



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA  
CATARINA  
LICENCIATURA EM CIÊNCIAS DA NATUREZA COM HABILITAÇÃO EM FÍSICA  
CAMPUS JARAGUÁ DO SUL**

**Radiação Térmica da Física Clássica à Física Moderna: Uma proposta de  
abordagem da Física Moderna no Ensino Médio**

**Acadêmico: Bruno Antônio Emmerich  
Orientador: Dr. Luiz Fernando M. Morescki Jr.**

Jaraguá do Sul  
Fevereiro de 2022

BRUNO ANTÔNIO EMMERICH

**Radiação Térmica da Física Clássica à Física Moderna: Uma proposta de abordagem da Física Moderna no Ensino Médio**

Projeto de Pesquisa do Curso de Licenciatura em Física, do Instituto Federal de Santa Catarina, apresentado como requisito para a conclusão do curso.

Jaraguá do Sul  
Fevereiro de 2022

## Sumário

<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>4</b>
<b>2 JUSTIFICATIVA</b>	<b>6</b>
<b>3 OBJETIVOS</b>	<b>11</b>
3.1 Objetivo Geral:	11
3.2 Objetivos Específicos	11
<b>4 PROBLEMA DE PESQUISA</b>	<b>12</b>
<b>5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b>	<b>13</b>
5.1 Ensino de Física Moderna e contemporânea no E.M e o Ensino Da Epistemologia Da Ciência	13
5.2 Radiação Térmica	18
5.2.1 Radiação Térmica Clássica	19
5.2.2 Radiação Térmica de Planck.	22
<b>6 METODOLOGIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA</b>	<b>23</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>28</b>
<b>8 SEQUÊNCIA DIDÁTICA E OS TEXTOS DE APOIO</b>	<b>29</b>
8.1 Sequência Didática proposta	29
8.2 Textos de apoio	37
8.2.1 Texto de Apoio 1	37
8.2.2 Texto de Apoio 2	39
8.2.3 Texto de Apoio 3	43
<b>9 REFERÊNCIAS</b>	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O presente projeto tem como tema geral a abordagem de Física Moderna no Ensino Médio, sendo o enfoque a radiação térmica, especificamente, a transição do modelo clássico para o modelo moderno, procurando também trabalhar questões sobre a história e a filosofia da ciência presentes no período.

Pesquisadores como Terrazzan (1992), Sanches e Neves (2011) Ostermann e Moreira (2000), apresentam que muitos professores não abordam os temas de Física Moderna no Ensino Médio (EM), seja por falta de tempo, por uma deficiência na formação do professor ou seja pela limitação presente sobre o assunto em muitos livros didáticos.

Tendo isso em mente, este trabalho tem o objetivo construir uma sequência didática sobre o assunto radiação térmica, destacando o período de passagem do modelo clássico para o modelo moderno objetivando demonstrar as questões conceituais e históricas.

O uso da História da Ciência tem o potencial de demonstrar ao aluno que a ciência não é algo criado por gênios isolados, mostrando como a criação científica está relacionada com a sociedade e como a ciência é afetada por ela.

Este trabalho foi realizado para que outros professores possam utilizar-se dele como base para abordagem da Física Moderna, mais especificamente o tema da radiação térmica, no Ensino Médio, pois pesquisadores como Terrazzan(1992), Ostermann e Moreira(2000), Pinto (1999), demonstram importância de sua abordagem, pois ela está intrinsecamente relacionada com o cotidiano, nas tecnologias por exemplo, além de ter o potencial de desconstruir fraudes geralmente relacionadas a conceitos presentes na Física Moderna.

O processo de ensino utilizado na sequência criada é a combinação do IcP (Instrução pelo Colegas) e do EsM (Ensino sob Medida), apresentado por Araujo e Mazur (2013), que consiste no estudo prévio por parte do aluno de um material disponibilizado pelo professor. Ao ler este material, o aluno deve também responder questões sobre o texto, além de escrever suas dúvidas e dificuldades que encontrou durante a leitura. O professor deve formular a aula, portanto, com base nas respostas dos alunos e suas dificuldades. Durante a aula, o professor apresenta uma questão conceitual de múltipla escolha que os alunos devem primeiramente responder individualmente. Depois do professor ter analisado todas as respostas, deve separar os alunos em grupos para que possam discuti-las, fazendo com que o aluno tenha uma postura ativa durante esse processo. Caso o professor perceba, pelas respostas e discussão, que os

conceitos não foram bem absorvidos, deve construir novas questões conceituais e reapresentar o assunto em uma nova aula.

## 2 JUSTIFICATIVA

A Física Moderna é pouco abordada no E.M. se dando preferência a temas relacionados à Física Clássica, criando uma defasagem entre o que é ensinado nas escolas e a física atual. O que para muitos pesquisadores é algo problemático, pois, os conhecimentos da Física Moderna abrangem uma nova realidade da nossa sociedade, no que tange a novas pesquisas ou mesmo a aparatos tecnológicos, como trazido por Batista (2015).

A desatualização do ensino de Física, por exemplo, além de contribuir para a disseminação de uma visão de Ciência ultrapassada, não ajuda a compreender a nova realidade, cujo cenário é permeado pelos aparatos tecnológicos avançados, novas compreensões sobre a natureza da matéria, por exemplo, o Bóson de Higgs, a própria forma de fazer ciências, teoria da relatividade, pelos experimentos do Large Hadron Collider (LHC) em português, Grande colisor de Hádrons, tornam-se frutos de conhecimentos científicos modernos e desafios cotidianos que não dialogam mais com modelos ultrapassados de ensino. (BATISTA, 2015, p.12)

Há também pesquisadores que apontam que a Física Moderna tem, com a História da Ciência, uma grande capacidade de mostrar seu funcionamento, mostrando-a como uma construção humana que é afetada pela época que foi desenvolvida, com um caráter social e não uma criação de gênios isolados. Porém, é preciso considerar o levantamento feito pelos autores Arthury e Garcia (2020), que ressaltam que mesmo que o cientista e a ciência estejam realmente condicionados pelos paradigmas de sua época. A importância do indivíduo, de sua própria criatividade e visão da ciência e da natureza tem um papel de relevância similar para a física. Essa ideia pode ser observada, por exemplo, como apontado novamente pelos autores Arthury e Garcia (2020), em cientistas como Einstein que dentro dos paradigmas científicos do séc.XIX, demonstrou ideias muito originais para a época.

O ensino a partir da história demonstra um grande potencial de despertar interesse dos alunos pela ciência, retirando o enfoque de uma aprendizagem voltada para a resolução de problemas matemáticos, geralmente observada em sala de aula.

Na maioria das vezes, as aulas de Física têm se resumido às resoluções de problemas matemáticos que, por si só, não permitem aos estudantes estabelecerem relações entre os conceitos e os fenômenos envolvidos na produção do conhecimento, nem desenvolver uma compreensão razoável desta Ciência como construção humana. (BATISTA, 2015, p.12)

Essa não abordagem da Física Moderna pode ocorrer por muitos motivos: o despreparo por parte do professor, a baixa carga horária da disciplina e a deficiência do seu

ensino nos cursos de licenciatura, conforme Terrazan (1992) explica acerca da programação do currículo do E.M.

Além disso, dificilmente se cumpre toda essa programação. É comum os programas mais completos de física no 2º grau se reduzirem apenas à Cinemática, Leis de Newton, Termologia, Óptica Geométrica, Eletricidade e Circuitos Simples. Assim, os conteúdos que comumente obrigamos sob a denominação de Física Moderna, não atingem os nossos estudantes. Menos ainda os desenvolvimentos mais recentes da Física Contemporânea. (TERRAZAN, 1992, p. 210)

Portanto, pretende-se demonstrar uma maneira de abordar um tema da Física Moderna, pois, assim como dito por Sanches e Neves (2011), no livro “A física moderna e contemporânea no Ensino Médio”:

A situação, hoje, na educação pública brasileira demonstra que os professores possuem formação deficiente e, conseqüentemente os alunos não consolidam uma base suficiente para a construção não somente do conhecimento da física, mas do conhecimento como uma trama interdisciplinar e doadora de significados ao mundo que os rodeia  
(SANCHES; NEVES 2011, p.9)

Já a Base Nacional Comum Curricular do Ensino Médio (BNCC-EM, 2018), inicialmente, deixa de maneira implícita a Física Moderna entre os conteúdos obrigatórios para o E.M., dentro da área de conhecimento das ciências da natureza e suas tecnologias. Subseqüentemente no texto, ao abordar a temática de Matéria e Energia, a BNCC propõe de forma específica a abordagem de temas relacionados à temperatura das matérias e à radiação térmica. Assim, o presente projeto encontra-se justificado a partir da abordagem do tema de radiação térmica e sua relação com a temperatura do material, partindo do conceito clássico para o moderno, utilizando-se da História da Ciência.

Outro ponto que se mostra importante para que se estude a Física Moderna e a Epistemologia da Ciência, em geral, é a sua importância nos dias atuais, tanto tecnologicamente, como para potencializar a desconstrução de possíveis fraudes relacionadas a teorias e ao seu funcionamento (colchões quânticos, água magnetizada, entre outros). Já na parte do funcionamento da ciência, é possível afirmar que suas implicações são ainda mais perigosas, como o crescente movimento anti-vacina, que além de botar em risco pessoas imunocomprometidas, pode fazer com que doenças já erradicadas voltem a circular. Como dito por Arthur e Garcia (2020) quando discutindo a ideia da desconfiança aos testes científicos, e a relativização entre a importância de diferentes tipos de conhecimentos.

Se acreditarmos que os testes científicos duplo-cego na área da saúde, na avaliação da eficácia de uma vacina, por exemplo, têm nos dado um indicativo matematicamente confiável de eficácia, não poderemos tolerar acriticamente práticas que atuem no sentido inverso, defendendo que essas mesmas vacinas causam mais males do que benefícios. Isso não significa que devemos aceitar acriticamente os resultados desses testes, mas que nossas posições a respeito deveriam estar pautadas por avaliações bem informadas e objetivas dos dados disponíveis. (ARTHURY e GARCIA, 2020)

A não aplicação da ciência leva muitos a caírem nesse tipo de fraude, por não conhecerem conceitos razoavelmente básicos da Física Moderna e por não entenderem o seu funcionamento. Nesse sentido, a BNCC-EM atribui à área de Ciências da Natureza o ensino do método científico, os conceitos que ajudem esse conhecimento e o letramento científico da população. Levando implicitamente ao ensino da Física Moderna, pois, conforme previsto pela BNCC-EM:

Poucas pessoas aplicam os conhecimentos e procedimentos científicos na resolução de seus problemas cotidianos (como estimar o consumo de energia de aparelhos elétricos a partir de suas especificações técnicas, ler e interpretar rótulos de alimentos etc.). Tal constatação corrobora a necessidade de a Educação Básica – em especial, a área de Ciências da Natureza – comprometer-se com o letramento científico da população. (BNCC-EM, 2018, p. 547)

Assim, também para Terrazzan (1992) a ideia de atualizar o currículo para incluir a Física Moderna se mostra importante pois:

A influência crescente dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mesmo mundo, define, por si só, a necessidade de debatermos e estabelecermos as formas de abordar tais conteúdos na escola de 2º grau. (TERRAZAN, 1992, p.210)

Adicionalmente, segundo Stannard (1990, *apud* OSTERMANN; MOREIRA 2000), a maioria dos universitários de física escolheram a área por causa da Física Moderna. Já em outro trabalho, Stannard (1990, *apud* OSTERMANN; MOREIRA,2000) entrevistou 250 crianças com uma média de 12 anos, ele levantou que são tópicos relacionados à Física Moderna que tem maior potencial de levá-las a escolher carreiras relacionadas à ciência e deixa-as mais interessadas em seu estudo.

Ao discutir sobre o uso da história, filosofia, sociologia da ciência e sobre a crise do ensino de ciências Matthews (1992), que considera que tal crise é “evidenciada pela evasão de



alunos e de professores das salas de aula bem como pelos índices assustadoramente elevados de analfabetismo em ciências” (Matthews, 1992, p. 165):

A história, a filosofia e a sociologia da ciência não têm todas as respostas para essa crise, porém possuem algumas delas: podem humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; podem tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; podem contribuir para um entendimento mais integral de matéria científica, isto é, podem contribuir para a superação do mar de falta de significação que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; podem melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. (Matthews, 1992, p. 165)

Assim também como trazido por Prado & Carneiro (2018) o uso da História da Ciência é uma forma de deixar o ensino mais motivador e dinâmico, que demonstra o conhecimento científico como algo contextualizado historicamente, afetado por fatores culturais, econômicos e sociais da época.

Outro ponto que justifica o uso da História da Ciência é a demonstração da Natureza da Ciência (NC), ou método científico, e como ela funciona, possibilitando demonstrar o porquê da confiança do cientista em suas teorias, como ocorre os processos científicos e potencialmente o funcionamento da academia científica. Mostrando o diferencial entre a ciência e a pseudociência, como dito por Santos (2018) quando discutindo o ensino da Natureza da Ciência contextualizando com a sua história.

Isto porque, trabalhar os aspectos de NC de maneira contextualizada pode favorecer o desenvolvimento de uma visão mais ampla sobre ciências, ou seja, acerca dos processos de construção do conhecimento científico, tais como: produção, comunicação, avaliação, revisão e validação. (SANTOS, 2018, p. 642)

A abordagem histórica que será utilizada na sequência didática também pode ser justificada pela BNCC-EM (2018, p. 549) que prevê: “A contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais”.

Outra justificativa para a criação de uma sequência didática que apresente o uso da Física Moderna é a deficiência com que ela é trabalhada nos livros didáticos, geralmente tendo apenas pequenas menções ou tratadas como assuntos bônus. Como dito por Sanches e Neves (2011 p.51), “O livro didático é uma referência básica, por representar a principal, senão a única fonte de consulta do professor na preparação de suas aulas. Na maioria das

vezes, é o livro que define a sequência e quais os conteúdos a serem trabalhados em sala de aula.”.

A partir do assunto geral Física Moderna, foi delimitado o tema, radiação térmica. Assim, pensou-se em uma sequência didática como uma forma de inclusão dos professores, que não se sentem preparados para ensinar física moderna, ou para oferecer uma sugestão de como abordar esse assunto em sala. Também se espera que haja uma continuidade da discussão sobre a História e sobre a Epistemologia da Ciência nas próximas aulas do professor, após o uso da sequência proposta neste projeto, para aprofundamento e para apresentar questões epistemológicas que não foram trabalhadas.

O tema foi escolhido pelo grande potencial que ele apresenta para o trabalho com a História da Ciência e sua Epistemologia, já que o foi sobre a radiação térmica que Planck pesquisava quando ele utiliza pela primeira vez a ideia da quantização de energia. Assim o tema demonstra um grande potencial histórico e epistemológico que apresenta o início da transição da Física Clássica para a Física Moderna, podendo demonstrar as divergências que ocorreram durante esse período.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo Geral:

Discutir questões epistemológicas e históricas sobre a emissão de radiação térmica, do modelo clássico ao modelo quântico, verificando a contribuição de diferentes cientistas e demonstrando os comos e os porquês da transição da Física Clássica para a Física Moderna, por meio de uma sequência didática para o uso no Ensino Médio.

#### 3.2 Objetivos Específicos

- a. Pesquisar artigos que apresentem o período histórico, com o intuito de utilizá-los como embasamento para um material didático.
- b. Construir uma sequência didática para uso no Ensino Médio sobre radiação térmica, utilizando-se de uma abordagem histórica, partindo do modelo clássico para o moderno.
- c. Elaborar textos de apoio ao professor ou para uso na sequência didática, referente ao tema radiação térmica e a história e epistemologia da ciência.

#### **4 PROBLEMA DE PESQUISA**

O presente trabalho tenta responder à pergunta: Qual é a importância do tema radiação térmica no bojo do estudo da Física Moderna e como este tema pode ser trabalhado no ensino médio, numa perspectiva de História e Filosofia da Ciência?

## 5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 5.1 Ensino de Física Moderna e contemporânea no E.M e o Ensino Da Epistemologia Da Ciência

Desde 1996 as diretrizes e parâmetros da educação nacional já apresentavam o trabalho da física para o desenvolvimento e ampliação da visão de mundo do aluno, que deve ser capaz de utilizar o que aprendeu em sua vida cotidiana, tanto para entendimento de fenômenos naturais, quanto para avaliação de fatos e notícias. Assim como também já previam o uso da Física Moderna como uma parte necessária do ensino do aluno, já que apresentavam a necessidade dele ser capaz de acompanhar e entender notícias científicas atuais. Mesmo com as diretrizes apresentando a algum tempo a ideia de se utilizar a Física Moderna no Ensino Médio, e o crescente número de trabalhos sobre o seu uso no meio acadêmico, o que ainda é visto hoje em dia é utilização exagerada da matematização e a falta de temas da Física Moderna (SANCHES E NEVES 2011).

Terrazzan (1992) aponta também que a influência da Física Moderna e Contemporânea para o entendimento do mundo atual é tão grande, que seu conhecimento se torna indispensável para a participação consciente e modificadora do cidadão e isso por si só já supriria a necessidade de justificativa para sua introdução no Ensino Médio.

Pesquisadores como Forato; Martins; Pietrocola (2011), apontam para o uso da História da Ciência como uma ferramenta para se trabalhar sua epistemologia com o potencial de demonstrar como ocorre a construção dos conceitos da física, como a época influencia os métodos abordados para se chegar a esses conceitos e as diferentes visões da natureza que os cientistas tiveram durante a história.

Relatos de episódios históricos cuidadosamente reconstruídos configuram-se modelos de natureza da ciência de cada contexto sócio-histórico-cultural, e podem conferir significado às noções epistemológicas abstratas desvendando os diferentes processos que levaram à construção de conceitos (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA; 2011)

A utilização da frase “cuidadosamente reconstruídos” se mostra importante pela grande quantidade de informações falsas, ou sem fundamentação suficiente para comprovação, disponível em vários meios sobre a história da física e sua evolução. Além da

necessidade do cuidado na elaboração de materiais que apresentam a história do desenvolvimento da ciência, para não apresentá-lo de forma individualista e arbitrária, onde o cientista é um gênio que retira suas ideias do nada. Outro problema que pode ocorrer devido ao mau uso da História da Ciência é o reforço da ideia da ciência como verdades absolutas que trabalham de maneira igual a dogmas (FORATO; MARTINS; PIETROCOLA; 2011, MARTINS 2005, OSTERMANN; MOREIRA; MASSONI, 2007).

Outro ponto para o “cuidadosamente reconstruídos” é devido ao uso geralmente encontrado em sala da História da Ciência, que apesar de ser mais comum que o ensino da epistemologia. Apresenta o problema que as histórias trabalhadas se resumem a parábolas quase que folclóricas do avanço da ciência que não apresentam relevância para a educação, como dito por Arthury (2009). Que acrescenta que esse tipo de história pode ser problemático, pois, passa uma visão errônea de seu desenvolvimento e mistifica o cientista e a própria ciência.

Já a história da ciência parece estar presente de um modo mais efetivo, mas esta é uma aparência bastante enganosa. Em nossa prática de professor de física, ao compartilhar experiências de sala de aula, temos percebido que o que muitos professores chamam de história é, em verdade, arremedos de história jocosos e sem importância do ponto de vista educacional, como o famoso “eureka!” de Arquimedes, ao descobrir o empuxo tomando banho em uma banheira, ou a célebre queda da maçã na cabeça de Newton, que teria desencadeado a teoria da Gravitação Universal na mente do grande gênio (ARTHURY 2009)

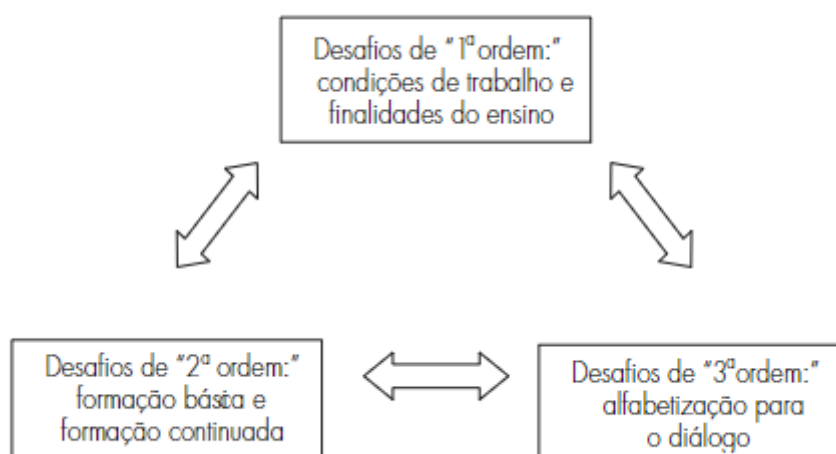
Para um bom uso da História da Ciência, da Física Moderna e Contemporânea e da Epistemologia da Ciência em sala de aula, além do cuidado na hora da criação de materiais, também é fundamental a preparação e capacitação dos professores. Que devem estar por dentro das notícias e dos avanços da física atual e terem acesso a esses conteúdos em sua primeira faculdade, tendo caminhos para uma formação continuada que os ajude a se manter informados e por dentro do meio científico, dos novos desenvolvimentos tanto da ciência quanto das formas de seu ensino. (TERRAZAN 1992, MARTINS 2005, OSTERMANN; MOREIRA; MASSONI, 2007, MONTEIRO; NARDI; FILHO, 2009, SANCHES; NEVES, 2011)

Porém, essa preparação e capacitação dos professores dificilmente acontecem no Brasil. Sanches e Neves (2011), entrevistaram 5 professores que lecionam física em escolas do Paraná, onde fizeram 13 perguntas sobre o uso e implementação da Física Moderna e

Contemporânea (FMC) todos os cinco apresentaram que concordam com a importância de lecionar FMC no ensino médio, entretanto, 4 responderam se sentir pouco ou completamente despreparados para ensinar em sala. Sanches e Neves (2011) concluem novamente da necessidade da revisão e atualização dos cursos de licenciatura. Outro ponto que aparece nessa pesquisa é o fato que 3 dos 5 professores, tinham especialização inicial em matemática, demonstrando não só a necessidade da reformulação dos cursos de física, mas caso licenciados em matemática possam ministrar aulas de física, a necessidade de tópicos de FMC serem trabalhados em licenciatura em matemática, além de retratar a realidade da falta de profissionais para o ensino de ciências.

Nas últimas questões do questionário, Sanches e Neves (2011) perguntaram sobre as dificuldades encontradas pelos professores para o ensino de FMC. Os principais pontos levantados por eles foram, a carga horária da disciplina de física, a própria falta de capacitação, a formulação dos vestibulares que geralmente não cobram tópicos de FMC, a dificuldade dos assuntos para entendimento do aluno e os livros didáticos. Muitos dos pontos vão ao encontro com o trabalho feito por Martins (2005), que apresenta 3 grandes desafios para se ensinar ciência no Brasil, onde ele separa em três ordens que se entrelaçam, demonstrado na figura abaixo. Mostrando que alguns dos problemas levantados impactam não só o ensino de FMC, mas o ensino de ciência em geral.

Figura.1 - Os 3 desafios para o ensino de ciências no Brasil



Fonte: Martins, 2005.

Apresentando de forma sucinta, os desafios de primeira ordem tem a ver com a imagem do professor na sociedade. Onde geralmente é visto a sua desvalorização social,

presentes em frases como “além de dar aulas, você trabalha?”, e é reforçada também pela baixa remuneração, levando a necessidade da adoção de uma alta jornada de trabalho, que impossibilita o uso de seu tempo para se manter atualizado sobre os desenvolvimentos na ciência. Essa ordem também engloba o objetivo da escola para o ensino da ciência, onde a maioria das vezes é a aprovação em vestibulares, e não para a construção de um cidadão inserido no meio científico (MARTINS, 2005).

Já os de segunda ordem, têm a ver com a formação e capacitação do professor que, como discutido anteriormente, está defasada e precisa ser revista no Brasil. Tais desafios enfatizam a necessidade de uma maior inserção do professor dentro da ciência atual, sobre a área de ciências e sobre seu ensino, e sobre uma formação continuada, onde ele esteja em constante conversa com as universidades e suas pesquisas. (TERRAZAN 1992; MARTINS 2005, OSTERMANN; MOREIRA; MASSONI, 2007; MONTEIRO; NARDI; FILHO, 2009, SANCHES; NEVES 2011). Segundo Arthur e Garcia (2020), mesmo professores da área podem apresentar visões erradas sobre a Epistemologia da Ciência, a vendo de forma “empírico-indutivista, rígida e cumulativa, possivelmente decorrente da falta de reflexão crítica e de um ensino que se limita a uma simples transmissão dos resultados da ciência” (ARTHURY; GARCIA 2020 p. 2), o que leva ao ensino dessas visões a seus alunos. Esse apontamento reforça a necessidade de uma melhor formação de professores e da sua formação continuada.

Os desafios de terceira ordem se relacionam com a ensino, caso a resposta para a pergunta “pra que ensinar ciências?”, não seja mais a necessidade do aluno passar no vestibular, e sim, passe a ser a alfabetização científica e a capacitação do aluno para viver e entender o meio científico. O desafio se encontra no enfoque desse ensino, não podendo, para o autor, ser utilitarista, onde o enfoque, seria na necessidade da compreensão do funcionamento dos aparatos tecnológicos atuais do cotidiano e nas necessidades científicas do “mercado”. O enfoque deveria então ser no funcionamento da ciência, sua lógica e seus métodos, sendo necessário que o aluno seja capaz de se posicionar de forma autônoma e crítica perante a questões da sociedade que envolvem conhecimentos científicos e de seu funcionamento. Questões de natureza científicas teriam um espaço público mais amplo, onde o cidadão seria capaz de transitar dentro desse espaço de debate (MARTINS, 2005).

Sanches e Neves (2011) também aplicaram um questionário sobre as aulas de física e sobre seus conhecimentos de FMC, para 47 alunos do terceiro ano do ensino médio. A partir dos dados coletados, os autores chamam a atenção a 3 pontos 1) os alunos não conseguem diferenciar tópicos de Física Moderna e Contemporânea de tópicos da Física Clássica, 2) a



grande maioria dos alunos se queixam do enfoque em fórmulas, onde eles requerem mais aulas práticas e aprofundamento de conceitos teóricos e, 3) que os alunos demonstraram forte confusão sobre os conceitos de temas de FMC. Com isso, os autores concluem que os alunos estão completamente afastados do meio científico, e que os métodos de ensino utilizados, não atingem o objetivo de introduzir o aluno ao funcionamento da ciência.

Outro ponto tocado por Sanches e Neves (2011) é o livro didático, onde é primeiramente enfatizada a importância que o livro tem dentro do ensino brasileiro, que serve muitas vezes, como o único material de consulta e apoio para os alunos, e para o professor.

Devido a essa importância, Sanches e Neves (2011) analisaram 12 livros que eram muito utilizados na rede pública da época, procurando entender, como e quais assuntos da FMC, eram tratados nos livros. Após a análise, os autores concluem quatro principais pontos: 1) 10 dos 12 livros apresentam FMC, demonstrando um interesse pelos autores, na inserção do assunto em sala, 2) Apesar de apresentarem tópicos de FMC a forma como elas são apresentadas são inadequadas, geralmente apresentadas no final do capítulo, como uma leitura opcional, como se tivessem menor importância, 3) Os livros apresentam um enfoque na apresentação e na resolução de questões matemáticas, tanto em assuntos da física clássica, quanto da FMC e 4) em média 50% dos livros são voltados para questões de vestibular e questões matemáticas, dedicando nenhuma ou poucas páginas para temas de FMC. É possível notar que, apesar dos autores introduzirem assuntos sobre a FMC, a forma como ela é trabalhada no livro, passa a ideia de um assunto secundário ou de menor importância, assim como apresenta a física de forma matemática, sem o trabalho de questões históricas ou filosóficas da ciência, dando maior importância para fórmulas e resolução questões de vestibular.

Outro ponto importante a destacar é o que Arthury e Garcia (2020) apresentam em seu trabalho “Em prol do Realismo Científico no ensino” , que apresenta entre outros, a importância de na hora de se trabalhar a epistemologia da ciência, passá-la para os estudantes. Assim como não se deve apresentar a ciência como um trabalho individual de gênios, quase místicos, que não são influenciados por questões humanas ou período histórico que se encontra, não se pode retirar da ciência a necessidade da criatividade e visão de cada cientista individualmente.

Um último ponto que se mostra necessário a abordagem, também apresentado por Arthury e Garcia (2020), é a possível relativização dos resultados científicos, ao se trabalhar as características da ciência, presentes na troca de teorias vigentes e a ideia da ciência como uma criação humana, que podem levar o aluno, se mal trabalhada, a entender a física atual

como algo que está fadado a ser substituído, podendo estar tudo errado, e assim levá-lo a conclusão que as ideias da física tem a mesma relevância e mesmo grau de verdade que ideias pseudocientíficas, ou ideais individuais embasados em vivências próprias. Isso demonstra a necessidade do professor se preocupar, na hora de apresentar a epistemologia da física. Deve procurar mostrar que a física está em constante teste e revisão, assim como quais são as diferenças entre hipóteses, teorias e leis, o que é o poder de previsão das teorias, e o que isso implica para o conhecimento físico e para a segurança que se tem, ao afirmar que a ciência como conhecimento, é superior a ideias pseudocientíficas. (PEDUZZI; RAICIK, 2020 e ARTHURY; GARCIA 2020.)

## 5.2 Radiação Térmica

A radiação térmica é o nome que damos à radiação que um corpo emite devido à sua temperatura. Um corpo em estado líquido, ou sólido, emite radiação em um espectro contínuo, sendo esse espectro praticamente independente do material de que o corpo é composto, porém, totalmente dependente da temperatura em que o corpo se encontra. Em temperaturas ambientes não enxergamos os corpos pela radiação que eles emitem, mas sim pela luz que eles refletem. Isso muda em temperaturas muito altas, onde o corpo adquire luminosidade própria.

Esse fenômeno pode ser visto, por exemplo, quando observamos a mudança de cor de um objeto quando o aquecemos. Quando esse objeto está em temperatura ambiente, o pico de radiação emitida está no espectro do infravermelho longo, então, ele não emite luz própria, e nós o enxergamos pela reflexão da luz emitida sobre ele. Se aumentarmos a temperatura continuamente, o corpo começara a emitir comprimentos de ondas cada vez menores, até que o pico de emissão esteja no infravermelho curto, onde uma pequena parcela da radiação emitida, se encontra na região da luz visível, a região do vermelho, mudando a cor perceptível do objeto. Quando continuamos a aquecê-lo, o pico continua a se movimentar para comprimentos de ondas menores, ou seja, se deslocando para região da luz visível, emitindo além do vermelho, comprimentos de ondas correspondentes a região de outras cores, assim ele passa a emitir uma cor alaranjada, passando para um amarelo, até chegar num branco azulado, ainda que 90% ou mais da radiação emitida, ainda seja em espectros que não podemos enxergar, como o objeto está emitindo ondas do espectro visível, afirmamos que ele

adquiriu luz própria, isso permite, por exemplo, definirmos a temperatura de uma estrela pela sua cor.

Todo corpo emite essa radiação para o meio em que está inserido, e dele, a absorve, sendo o principal meio de um corpo chegar ao equilíbrio térmico, onde a taxa de absorção de radiação eletromagnética pelo corpo, é igual à taxa em que o corpo a emite. Ou seja, o corpo está na mesma temperatura que o ambiente quando o corpo está mais quente que o meio em que ele está inserido, sua taxa de emissão é maior que a sua taxa de absorção, e por esse efeito ele irá esfriar. Simplificando, o corpo está emitindo uma quantidade maior de energia por unidade de tempo, do que a quantidade em que ele está a absorvendo, fazendo que ele perca energia e esfrie, chegando ao equilíbrio térmico.

Como quase tudo na física, considera-se muito relevante a criação de um caso ideal, e especificamente, na radiação térmica, utilizou-se a denominação de “corpo negro” ou radiação de cavidade, que serve para indicar o absorvedor ideal e, subsequentemente, o emissor ideal. Isto é, esse corpo absorve toda radiação térmica que é emitida sobre ele, sem refletir nada, por isso corpos negros e, em qualquer temperatura dada, ele emite a maior quantidade de radiação por unidade de área possível.

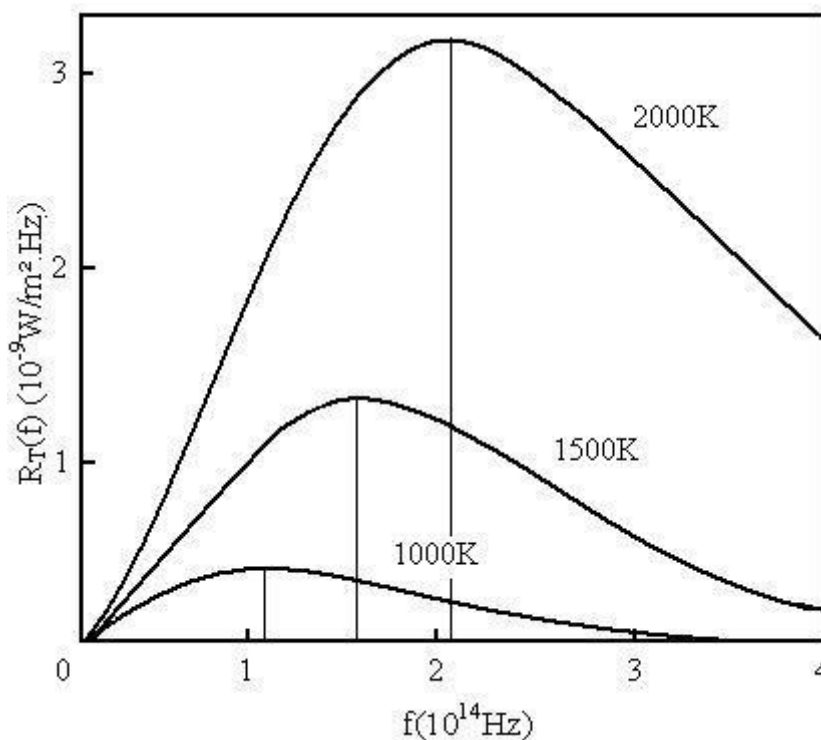
Nas subseções abaixo, serão demonstrados como a radiação térmica, incluindo a de corpo negro, é descrita classicamente e na Física Moderna.

### 5.2.1 Radiação Térmica Clássica

A radiância espectral  $R_T(f)$ , é a quantidade de emissão que um corpo efetua em equilíbrio térmico em uma frequência “ $f$ ”, em relação com sua temperatura “ $T$ ”, de forma que a energia emitida por tempo num intervalo de frequência compreendido de  $f$  a  $f + df$  pela área de uma superfície a uma determinada temperatura seja igual a  $R_T(f)df$ .

As primeiras medidas precisas foram feitas por Lummer e Pringsheim em 1899, com os resultados é possível montar o gráfico abaixo, que apresenta a radiação espectral de um corpo negro, em função da frequência em diferentes temperaturas:

Figura 2 - Gráfico da radiação espectral de um corpo negro em função da frequência



A partir do gráfico, é possível observar que a frequência para que ocorra a radiância máxima, aumenta linearmente, quando se aumenta a temperatura. Também é possível enxergar que, a potência total emitida, dada pela área sob a curva, aumenta rapidamente com a temperatura.

Para se conseguir a energia total emitida pelo corpo, por unidade de tempo e por unidade de área em determinada temperatura, é preciso fazer a integral da radiância espectral sobre todas as frequências:

$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(f) dF$$

Como  $R_T$  cresce rapidamente com o aumento da temperatura, o seguinte resultado para a integral foi enunciado empiricamente, em 1879, e denominou-se Lei de Stefan:

$$R_T = \sigma T^4$$

Onde:

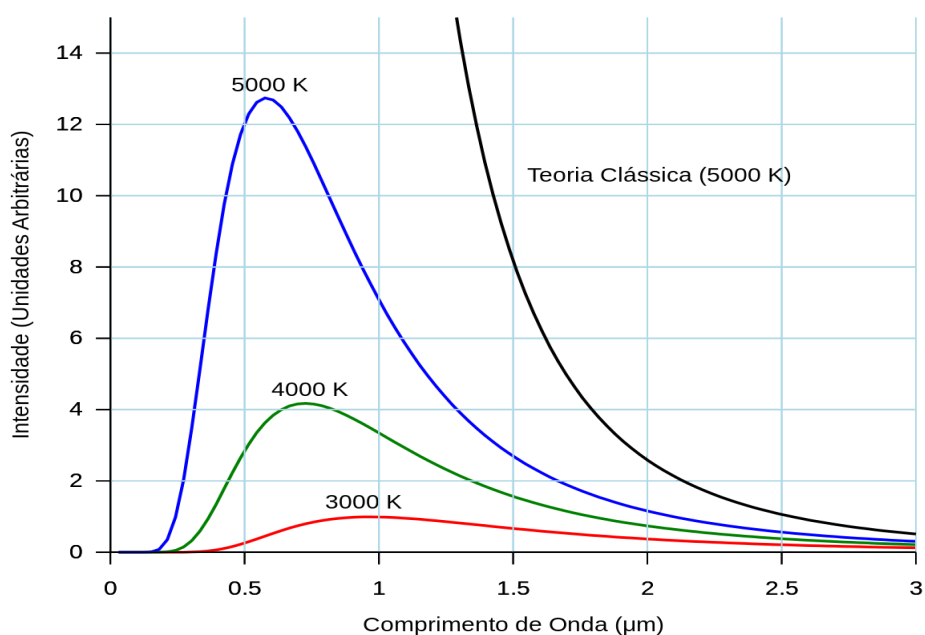
$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

A constante “ $\sigma$ ” é chamada de constante de Stefan-Boltzmann.

Rayleigh e Jeans utilizando-se dos conhecimentos e aparelhos matemáticos da época, chegaram a uma equação, para calcular a densidade de energia da radiação de um corpo negro, essa formula leva em consideração a lei da equipartição da energia, utilizada em muitas áreas da física clássica, que diz que a emissão de energia media de um corpo, é independente de sua forma, um corpo em uma mesma temperatura, deve emitir uma energia media igual em todos os seus componentes. Na radiação térmica, esse conceito foi utilizado para determinar que a emissão média de energia de um corpo, deveria ser igual, independente da frequência, dependendo assim, apenas da temperatura do corpo.

Os resultados teóricos demonstravam que para manter a equipartição de energia do sistema, a emissão de radiação, de um corpo negro, deveria tender ao infinito quando maior for a frequência, esses resultados não foram correspondidos pelos experimentos realizados, demonstrando uma grande discrepância entre os dados teóricos e experimentais, principalmente nas maiores frequências, essa discrepância ficou conhecida como a catástrofe do ultravioleta. Demonstrada no gráfico abaixo:

Figura - 3: Gráfico da radiação espectral de um corpo negro em função da frequência demonstrando a diferença entre os resultados teóricos da física clássica e os resultados obtidos experimentalmente



Pode-se notar a grande diferença entre os resultados esperados pela teoria, e os adquiridos experimentalmente, principalmente em frequências maiores, onde era esperado

uma tendência ao infinito, e o que se analisa é uma queda a zero. Foi tentando solucionar esse problema, que a física daria o primeiro passo para a física moderna.

### 5.2.2 Radiação Térmica de Planck.

A radiação térmica clássica, colocava como uma de suas bases principais, que a energia média era independente da frequência, o que resultaria numa energia média tendendo ao infinito, junto com o aumento da frequência. Analisando essa diferença, Planck pensou que poderia resolver o problema, se conseguisse estabelecer um motivo para que a energia fosse a zero, quando a frequência aumenta, que é o observado nos gráficos adquiridos pelos experimentos.

Foi essa linha de pensamento que levou a desconsiderar a lei da equipartição, e pensar na energia não como uma variável contínua, mas como pequenos pacotes de energia quantizadas, ou seja, a transmissão de energia só poderia acontecer em pequenos pacotes de energia, em quantidades bem definidas, que obedecem a uma constante de proporcionalidade “h” entre a frequência e a energia emitida, que obedecem a equação:

$$\Delta E = hf$$

onde  $\Delta E$  é a energia média emitida

$h$  é a constante de Planck

e  $f$  é a frequência da onda associada.

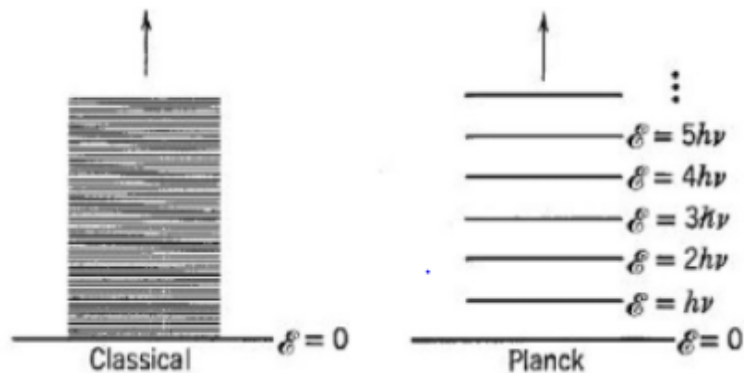
A constante de Planck foi calculada por ele e matemáticos da época, que chegaram ao valor de  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J.s.

Levando em consideração os trabalhos de Planck, é possível descrever o seguinte postulado, conhecido como o postulado de Planck: “Qualquer entidade física com um grau de liberdade que obedece a uma função sinusoidal de tempo, apresenta apenas um número específico de energias, que podem satisfazer a relação:

$$E = n \cdot h \cdot f \qquad n = 0,1,2,3,\dots$$

onde  $f$  é a frequência de oscilação e  $h$  é uma constante universal

Figura 4 - Esquerda: demonstra as energias possíveis no sistema clássico, que é distribuída de forma contínua. Direita: demonstra as energias possíveis segundo o postulado de Planck, que é distribuída de forma discreta pois só podem assumir valores de  $nh\nu$ .



Fonte: Eisberg; Resnick, 1979

Esse postulado é apresentado na figura 4, em comparação ao sistema clássico na figura, são mostrados os estados de energia possíveis de cada sistema, como na teoria clássica, o corpo pode ter qualquer estado sendo de zero ao infinito, a linha é contínua até o infinito. Já se aplicado o postulado de Planck, o corpo pode apresentar apenas específicos estados de energia, os quais seguem uma constante, essa energia é então descrita como quantizada, os estados de energias possíveis, são chamados de estados quânticos, e a totalidade  $n$ , é chamada de número quântico.

## 6 METODOLOGIA DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

A estrutura e embasamento do funcionamento das aulas da sequência, são baseadas no IcP e do EsM apresentados por Araujo; Mazur (2013), sendo IcP sigla para Instrução pelos colegas, e EsM, sigla para Ensino sob Medida, que serão apresentados em maior detalhes nesta seção.

A ideia do conteúdo ser trabalhado em apenas 3 aulas foi deliberada, apesar de ainda parecer pouco tempo, não só devido à pequena carga horária da disciplina de física, mas também pela visão do autor, dessa sequência ser utilizada como uma pequena parte de um trabalho maior, onde após o uso dessa sequência, abordaria temas referentes por exemplo aos trabalhos de Einstein (que acredito que seria a continuação histórica mais lógica), seriam então assim aprofundados tanto conceitos físicos, que foram trabalhados aqui, como também, conceitos da epistemologia da ciência. Outro ponto para o pequeno número de aulas, é para o professor não descartar, devido a falta de tempo, a ideia das aulas complementares, que são sugeridas caso os alunos apresentem dificuldade com os conceitos trabalhados.

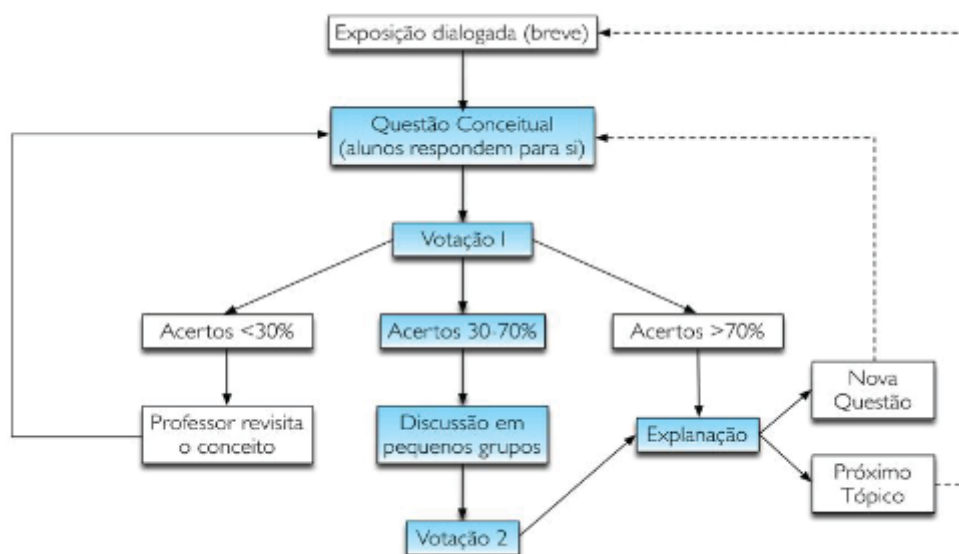
Já o uso da história da ciência, do ensino da filosofia da ciência e da física moderna e contemporânea, foram escolhidos devido aos pontos já apresentados durante a fundamentação teórica deste trabalho, como sua capacidade de demonstrar a ciência como uma construção humana, que sofre influências tanto das individualidades e visões de mundo do cientista, como dos costumes e paradigmas do período histórico em que foi desenvolvida, além de contextualizar historicamente a física, e apresentar como ocorre seu desenvolvimento, com o potencial de demonstrar o porquê, da confiança dos cientistas nas teorias da ciência, assim como o porquê, de ideias pseudocientíficas, não poderem ser comparadas, ou colocadas, no mesmo nível das teorias e leis da ciência, tendo assim o potencial de desenvolver um aluno crítico e inserido na sociedade científica.

Como apresentado anteriormente, os processos didáticos da sequência, foram pensados em cima das ideias de utilização conjunta do IcP (Instrução pelos Colegas) e do EsM (Ensino sob Medida), apresentados por Araujo; Mazur (2013). O IcP, se baseia nos alunos terem acesso a um material sobre o assunto que será trabalhado, antes de sua discussão em sala, para que esse tempo em sala, possa ser utilizado para o professor discutir, sem a necessidade da apresentação do assunto. O foco pode ser direto, para o levantamento de questões conceituais que os alunos devem responder individualmente, e para os alunos discutirem com os colegas sobre o assunto.



De maneira mais detalhada, os processos do IcP são: o aluno deve ler em casa um material disponibilizado a ele pelo professor, já em sala de aula, o professor inicia com uma apresentação sobre o assunto, reforçando os conceitos chaves e aprofundando o tema, finalizando sua apresentação oral, o professor fornece uma questão conceitual aos alunos, geralmente múltipla escolha, o aluno individualmente escolhe a sua resposta, e apresenta ao professor junto aos outros colegas, de maneira que as respostas de outros, não influenciem a sua. O professor tendo acesso as respostas dos alunos, deve decidir o próximo passo dependendo da quantidade de acertos. Ele pode passar para o próximo tópico, pode rerepresentar o tema oralmente, ou dividir os alunos em grupos para discussão, refazendo a votação no final. Ou até, apresentar uma nova questão conceitual, sendo após a rerepresentação ou após discussão em grupos, uma explicação sobre a questão conceitual e passar para o próximo tópico (ARAUJO; MAZUR, 2013), no diagrama abaixo é melhor apresentado:

Figura 5 - Diagrama sobre os passo do IcP



Fonte: Araujo e Mazur, 2013, adaptado de Lazry, Mazur e Watkins, 2008

O EsM tem como principal ideia, a preparação da aula com base nas dificuldades que os alunos apresentam. O aluno deve, previamente à aula, realizar uma atividade com base num material de apoio, disponibilizado pelo professor, podendo ser essa atividade, a resolução de questões conceituais, ou qualquer atividade que possibilite ao professor, o levantamento das dificuldades dos alunos e o pensamento crítico por parte do

aluno sobre o texto, para que em cima delas, o professor possa preparar a próxima aula. Essa atividade anterior a aula, deve proporcionar ao aluno também, a possibilidade do aluno refletir sobre o assunto, e argumentar com suas próprias palavras sobre o mesmo.

Após o recolhimento das respostas, o professor prepara a próxima aula em cima das dificuldades dos alunos, optando por atividades que possam ajudar o aluno na superação dessas dificuldades, podendo utilizar-se das respostas como um estopim para uma discussão, não apresentando o nome dos alunos nas respostas que forem utilizadas, evitando assim, o constrangimento, podendo com isso, trazer ideias alternativas sobre o tema, e apresentar seus erros e falhas. É de total importância nesse período, que o aluno tenha conforto de se expressar e participar da discussão.

O aluno deve participar de atividades individuais ou em grupos, para se trabalhar o assunto de diferentes formas. Como pequenos experimentos ou exercícios intercalados entre as apresentações do professor e as discussões em sala, para fazer assim, com que pratique os conceitos. (ARAÚJO; MAZUR, 2013)

O processo que foi utilizado na sequência proposta, foi o uso integrado desses dois métodos, apresentado também por Araujo e Mazur (2013)

O processo inicial seria o mesmo do IcP e do EsM, a disponibilização de um material de apoio ao aluno previamente, ao início da primeira aula. Os alunos devem ler e responder as questões presentes no material e enviar suas respostas ao professor. O professor avalia as respostas, e elabora tanto uma exposição inicial, focada nos principais erros conceituais apresentados pelos alunos, quanto uma questão conceitual, já em aula. O professor faz sua exposição inicial, e apresenta a questão conceitual, os alunos respondem individualmente a essa questão, e disponibilizam a resposta ao professor, de forma que o professor possa analisar as respostas. O professor então, requisita uma discussão em grupo sobre a questão conceitual, e após a discussão, os alunos apresentam a resposta da questão novamente. O professor avalia as novas respostas, e decide se apresenta um novo teste conceitual, ou se passa para o próximo tópico.

A justificativa para o uso do método apresentado, se dá pela possibilidade de tornar o aluno um agente ativo, que participa do seu processo de aprendizagem. O que torna o ensino mais significativo. Com resultados que demonstram um entendimento tanto de conteúdo científicos, como habilidades sociais e cognitivas, quanto para a resolução de problemas cotidianos. O principal ponto que o IcP tenta trazer para a preparação do aluno, é o tempo em sala ser mais focado no pensamento e na discussão de conceitos, em vez de focar apenas na exposição única e exclusiva por parte do professor. Já o EsM faz o professor levar em

consideração os conhecimentos prévios dos alunos, e concentra o enfoque da preparação das aulas, nas dificuldades que os alunos apresentaram (ARAÚJO; MAZUR, 2013).

A meta segundo Araujo e Mazur (2013) do uso desses modelos de forma conjunta “é incentivar a adoção de um modelo de ensino que valorize o tempo em sala de aula, destinando-o para a aprendizagem ativa dos conteúdos por parte dos alunos, e não quase exclusivamente para transmissão de informações”. Os autores apresentam que várias pesquisas que utilizaram-se do IcP e do EsM numa sequência didática, demonstraram um significativo aprendizado dos conceitos trabalhados, e um engajamento maior e mais espontâneos dos alunos que foram expostos ao métodos.

Um desses trabalhos (DESLAURIERS; SCHELEW; WIEMAN, 2011 apud ARAÚJO; MAZUR, 2013), que ganhou destaque fora do país (devido em parte, por um dos autores ser um ganhador do prêmio nobel da física), apresenta uma pesquisa que compara dois grupos de estudantes da disciplina da física geral, que se mostraram um desempenho similar anteriormente a aplicação da pesquisa. Um dos grupos recebeu aulas de um professor conceituado pelos alunos, experiente na área, que utilizou de métodos mais comuns, como aulas expositivas, demonstração de experimentos e resolução de problemas. Já o outro grupo foi ministrado por um estudante de pós-graduação, que utilizou-se da combinação do IcP e do EsM. Ao final da pesquisa, se constatou que os estudantes do grupo que tiveram aulas no formato do IcP e do EsM, apresentaram tanto um maior engajamento e frequência nas aulas, quanto melhores resultados em testes padronizados, estimando-se, através desses testes, um nível de aprendizagem obtido maior que o dobro nos estudantes do IcP e EsM comparados com os da aulas comuns.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo apresentado neste trabalho, é a criação de uma sequência didática sobre a radiação térmica, que trabalhasse tanto o desenvolvimento físico, que ocorreu durante a transição da física clássica, para a moderna, apresentando a história da ciência e levantando questões epistemológicas da física, que se mostram nesse período. É após a criação dessa sequência, de maneira que achei que englobasse tudo que tinha como objetivo, por meio das pesquisas e do próprio resultado da sequência, observei que o uso único e exclusivo dessa sequência, não é o suficiente para abordar todas as questões epistemológicas que abrangem a física. E a partir desse momento, passei a considerar esse trabalho como um pequeno passo, que necessita de uma continuação, abordando tanto questões conceituais apresentadas aqui, como aprofundando sobre a filosofia e o funcionamento da ciências.

Outro ponto que se percebe ao rever a sequência, é a falta de fatores externos do meio científico, que influenciaram no seu desenvolvimento, e na falta de um contexto mais aprofundado do período histórico, em questão de seus acontecimentos culturais e sociais, que influenciaram na maneira que os cientistas agiam, e em como a ciência era vista. Esses fatores, poderiam ser trabalhados em outras aulas, ou se possível, incrementados aos textos já propostos, para se apresentar uma ainda melhor imagem do contexto histórico e social que existe na ciência.

Uma possível maneira de se melhorar esse trabalho, é a implementação da sequência em uma sala de aula, onde o autor poderia, em primeira mão, ver as principais falhas do trabalho, e também receber o feedback dos alunos participantes, tanto nas suas opiniões sobre o funcionamento das aulas, quanto na análise dos resultados sobre a aprendizagem dos mesmos. Para assim, se repensar a forma e a profundidade que são trabalhados os assuntos. Outra maneira, seria o envio dessa sequência a professores da área, para que esses passem suas ideias e colocações sobre o funcionamento, a viabilidade de implementação, e sobre os conteúdos das aulas. Ambas foram descartadas por falta de tempo, assim como o envio para os professores foi descartado devido a outros trabalhos. Tenho conhecimento, onde foi enviado para análise e não tiveram retorno dos professores.

Outro ponto que é importante trazer nessas considerações é o uso do IcP e do EsM, que apesar de apresentarem uma ideia para o ensino de ciência, com possibilidades muito positivas, e demonstrarem resultados de certa forma surpreendentes em outros trabalhos, não podem ser considerados como salvação para o ensino de ciência. Ainda é necessário a pesquisa e aprofundamento de suas ideias.

## 8 SEQUÊNCIA DIDÁTICA E OS TEXTOS DE APOIO

Nesta seção será apresentada a sequência didática proposta e os textos de apoio desenvolvidos para uso como o material de leitura entregue aos alunos em momentos posteriores às aulas.

### 8.1 Sequência Didática proposta

#### SEQUÊNCIA DIDÁTICA

<b>IDENTIFICAÇÃO</b>
Escola: Professor Disciplina: Física Turma: 3º do ensino médio Número de aulas: 3
<b>SABERES</b>
Tema: Radiação Térmica Saberes Envolvidos: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Radiação Térmica Clássica;</li> <li>- Radiação Térmica Moderna;</li> <li>- Radiação de Cavidade;</li> <li>- História da Ciência;</li> <li>- Filosofia da Ciência.</li> </ul>
<b>OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM</b>
O aluno deverá ser capaz de: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Compreender a Radiação Térmica Clássica e a Radiação Térmica Moderna.</li> <li>- Entender o contexto histórico em que ocorreu a transição da Radiação Térmica Clássica para a Moderna, ressaltando os aspectos históricos e filosóficos que levaram à transição;</li> <li>- Articular aspectos de natureza da ciência presentes no recorte histórico.</li> </ul>
<b>PROCEDIMENTOS DIDÁTICOS</b>
Aula 01 - Introdução do assunto: Radiação Térmica.

Antes do início da primeira aula é necessário que o professor tenha disponibilizado o texto 1 (Anexo 1) “O que é a Radiação térmica?”, seja por meio do email ou por uma cópia física entregue em momento anterior para cada aluno, os alunos em casa devem ler e responder às questões propostas e entregar ao professor alguns dias antes da aula 1, de maneira que o professor tenha tempo de avaliar as respostas e preparar sua apresentação.

O professor deve ler as respostas dos alunos e as perguntas formuladas por eles para preparar uma introdução oral que aborda os principais pontos e revisa os principais erros conceituais que os alunos apresentaram dificuldade.

1º Momento (5 min) - O que é Radiação Térmica?

O professor apresenta a introdução preparada em cima das respostas e questões dos alunos, pretendendo reforçar os conceitos principais: o que é a radiação térmica e como ela funciona e quando um corpo adquire luz própria e outros apresentados pelos alunos.

2º Momento (5 min) Os alunos devem responder individualmente à questão conceitual: como é possível estimar através da radiação térmica a temperatura de um corpo que emite luz própria (como as estrelas)?

- a) Utilizando-se da cor do corpo.
- b) Observando se o corpo está emitindo ou absorvendo radiação
- c) Pelo material que o corpo é composto
- d) Tocando no objeto

O professor deve apresentar a questão conceitual e deixar que os alunos respondam individualmente em um papel ou em uma plataforma digital de forma que os outros alunos não saibam quem respondeu o que, mas é necessário que o professor tenha essa informação.

3º Momento (10 min) discussão em grupo sobre as respostas

Nessa etapa o professor faz o levantamento das respostas dos alunos e os separa em grupos, de 3 a 5 pessoas, tentando colocar alunos com respostas diferentes no mesmo grupo, o professor não revela a resposta ainda.

Os alunos devem então discutir entre si e chegar em uma resposta única para o grupo, tendo que justificar sua resposta.

#### 4º Momento ( 20 min) Socialização das respostas e discussão

Cada grupo então deve socializar de forma sucinta o que foi discutido e sua justificativa, o professor deve escutar e avaliar as respostas. Após todos os grupos terem socializado, o professor deve apresentar a resposta certa, sendo ela a resposta “a”, pois quando um corpo é aquecido ele emite comprimentos de ondas menores, ou seja, se desloca para região da luz visível, emitindo inicialmente cores do espectro do vermelho (se tornando visivelmente vermelho) quanto mais o aquece, ele passa a emitir comprimentos de ondas correspondentes a região de outras cores, obtendo uma cor alaranjada, passando para um amarelo até chegar num branco azulado, então sabendo a cor do objeto é possível estimar a temperatura de um corpo aquecido, e discutir junto aos alunos sobre a resposta tentando trazer o por que das outras estarem erradas e reforçar os conceitos como espectro da radiação e a emissão de radiação por corpos aquecidos.

#### 5º Momento ( 5 min) Finalização da aula.

O professor reforça os conceitos trabalhados nessa aula e se necessário entregar o Texto 2 que será trabalhado na próxima aula. É nesse momento também que o professor avalia a necessidade de uma nova atividade sobre a radiação térmica, e decide se passa para o novo tópico ou trabalha novamente esse assunto com uma nova questão conceitual.

Caso o professor veja a necessidade ele pode se utilizar do simulador:

[https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt_BR.html)

na discussão após a socialização das respostas dos grupos para demonstrar e exemplificar como a temperatura afeta a cor perceptível do objeto

Essa aula serve como um momento introdutório ao assunto radiação térmica e a introdução aos alunos a forma de como vai ser trabalhado os próximos textos, para demonstrar a importância das respostas das questões do texto e da participação na discussão em sala.

Aula 02 - Filosofia da ciência, importância dos estudos anteriores, e a ideia de cientistas serem gênios solitários e a catástrofe do ultravioleta;

Antes do início da segunda aula é necessário que o professor tenha disponibilizado o texto 2 (Anexo 2) “Radiação Térmica - Física Clássica”, seja por meio do email ou por uma cópia física entregue em momento anterior para cada aluno, os alunos em casa devem ler e responder às questões propostas e entregar ao professor alguns dias antes da aula 2, de maneira que o professor tenha tempo de avaliar as respostas e preparar sua apresentação..

O professor deve ler as respostas dos alunos e as perguntas formulada por eles para preparar uma introdução oral que aborda os principais pontos e revisa os principais erros conceituais que os alunos apresentaram dificuldade

1º Momento (10 min) Apresentação do professor preparada anteriormente em cima das respostas dos alunos ressaltando principalmente sobre os conceitos que os alunos apresentaram maior dificuldade e os conceitos: o que é o corpo negro ou radiação de cavidade, e a catástrofe do ultra violeta.

2º Momento (5 min) Os alunos devem responder individualmente à questão: Qual a importância da catástrofe do ultravioleta para a física?

- a) Expressa o quanto os cientistas da época não tinham conhecimento sobre física.
- b) Relativiza toda a física e mostra a fraqueza da física como ciência
- c) Demonstra a necessidade de novas maneiras de se ver a radiação térmica
- d) Comprova o quanto as teorias clássicas estavam corretas sobre a radiação térmica

O professor deve apresentar a questão e deixar que os alunos respondam individualmente em um papel ou em uma plataforma digital de forma que os outros alunos não saibam quem respondeu o que, mas é necessário que o professor tenha essa informação

3º Momento (10 min) discussão em grupo sobre as respostas

Nessa etapa o professor faz o levantamento das respostas dos alunos e os separa em grupos de 3 a 5 pessoas, tentando colocar alunos com respostas diferentes no mesmo grupo, o professor não revela a resposta ainda. Os alunos devem então discutir entre si e chegar em uma resposta única para o grupo tendo que justificar sua resposta.

4º Momento (15 min) Socialização das respostas e discussão



Cada grupo então deve socializar de forma sucinta o que foi discutido e sua justificativa, o professor deve escutar e avaliar as respostas, após todos os grupos terem socializados o professor deve apresentar a resposta certa, sendo ela a “c,” pois a catástrofe do ultravioleta exemplifica que os aparatos físicos da física clássica não conseguem chegar a uma concordância entre os resultados experimentais e os obtidos através das hipóteses/teorias vigentes na época, o professor deve trazer a tona e deixar claro que não é por que elas não apresentam resultados condizentes que elas não tiveram sua contribuição para a evolução da física como ciência, trazendo nesse momento a resposta da questão 4 do texto de apoio, para abordar a ideia de que mesmo que alguns cientistas tiveram uma maior contribuição ou apresentaram mais ideias ou melhores ideias para o assunto, a ciência (física) não é feita por cientistas geniais e solitários que retiram suas ideias do nada, mas sim uma construção feita com várias pessoas capacitadas de situações e culturas diferentes, que se utilizaram dos trabalhos de cada um para aperfeiçoar e avançar a física para uma teoria mais condizente com o observado na natureza, tentando trazer também o por que das outras respostas estarem erradas.

5º Momento (5 min) Finalização da aula

O professor reforça os conceitos, tanto os conceitos físicos como os filosóficos trabalhados nessa aula e se necessário entregar o Texto 3 que será trabalhado na próxima aula. É nesse momento também que o professor avalia a necessidade de uma nova atividade/aula sobre os conceitos o que é o corpo negro e a radiação de cavidade, e a catástrofe do ultra violeta e se é necessário uma nova aula sobre sobre a ideia da física como uma construção social..

Caso o professor veja a necessidade o professor pode se utilizar do simulador:

[https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_certeleso&l=pt](https://www.vacak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_certeleso&l=pt)

na sua introdução oral para expressar e exemplificar a discordância entre a catástrofe do ultravioleta e os resultados experimentais ou na discussão após a socialização das respostas dos grupos.

Aula 03 - Radiação Térmica Física Moderna.

1º Momento (10 min) Apresentação preparada pelo professor anteriormente e apresentação do vídeo;

Nesse momento acontece a apresentação do professor preparada anteriormente em cima das respostas dos alunos ressaltando principalmente sobre os conceitos que os alunos apresentaram maior dificuldade e os conceitos: Quantização da energia e espera-se também que o professor passe o vídeo: <https://www.youtube.com/watch?v=YOVRHo1LFSU>, Até aos 7min e 24s, como parte de sua apresentação inicial para auxiliar no aprofundamento dos conceitos e para introduzir fatores históricos que ficaram de fora do texto.

Dando enfoque no trabalho de Planck, na resolução de Planck (quantização), na importância desse período para a física e na Lei de Planck

2º Momento (5 min) Os alunos devem responder individualmente à questão: Qual a principal contribuição da quantização da energia apresentada por Planck para a física?

- a) Ela vai contra paradigmas da física da época e inicia a transição da física clássica para a moderna.
- b) Ela inicia os estudos sobre a radiação térmica
- c) Ela demonstra que a radiação de corpo negro não tem solução
- d) Ela exemplifica a genialidade e superioridade de Planck e seus estudos

O professor deve apresentar a questão e deixar que os alunos respondam individualmente em um papel ou em uma plataforma digital de forma que os outros alunos não saibam quem respondeu o que, mas é necessário que o professor tenha essa informação

3º Momento (10 min) discussão em grupo sobre as respostas

Nessa etapa o professor faz o levantamento das respostas dos alunos e os separa em grupos de 3 a 5 pessoas, tentando colocar alunos com respostas diferentes no mesmo grupo, o professor não revela a resposta ainda. Os alunos devem então discutir entre si e chegar em uma resposta única para o grupo tendo que justificar sua resposta.

4º Momento (15 min) Socialização das respostas e discussão

Cada grupo então deve socializar de forma sucinta o que foi discutido e sua justificativa, o professor deve escutar e avaliar as respostas, após todos os grupos terem socializados o professor deve apresentar a resposta certa, sendo ela a “a”, pois a ideia da quantização da energia vai contra paradigmas da época como a obrigatoriedade da radiação fluir de forma contínua e foi a

quantização que iniciou a transição da física clássica para a moderna, o professor deve em cima desse período histórico e da questão da quantização da energia e sua contribuição, apontar para a necessidade de momentos históricos como esse para o desenvolvimento da física e substituição da teoria vigente. demonstrando que uma teoria vigente anterior pode ser substituída por uma com maior abrangência em fenômenos que ela consegue explicar, ou por uma com resultados mais apurados, sendo assim a física uma ciência em constante mudança tendo suas teorias e leis testadas, averiguadas e evoluídas por cientistas do mundo todo, tentando deixar claro que para uma ideia ganhar força dentro da ciência, ela precisa demonstrar resultados condizentes, tentando trazer também o por que das outras respostas estarem erradas .

5º Momento (5 min) Finalização da aula

O professor reforça os conceitos, tanto os conceitos físicos como os filosóficos trabalhados nessa aula. É nesse momento também que o professor avalia a necessidade de uma nova atividade/aula sobre os conceitos: o que é quantização de energia e quais suas implicações para a física da época e a transição para a física moderna..

### **RECURSOS DIDÁTICOS**

*Video:* <https://www.youtube.com/watch?v=YOVRHo1LFSU> Até 7:24

*Simuladores:* [https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum\\_pt\\_BR.html](https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_pt_BR.html)

e

[https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt\\_certeleso&l=pt](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=opt_certeleso&l=pt)

*Quadro*

*Texto de Apoio*

### **AValiação**

### **REFERÊNCIAS CONSULTADAS**

ARAÚJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis. v. 30, n. 2, p. 362-384, ago. 2013.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins. A COSMOLOGIA MODERNA À LUZ DOS ELEMENTOS DA EPISTEMOLOGIA DE LAKATOS. 2010. 133 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis, 2010.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins. O ENSINO DE NATUREZA DA CIÊNCIA NA ESCOLA POR MEIO DE UM MATERIAL DIDÁTICO SOBRE GRAVITAÇÃO. 2016. 133 p. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis, 2016.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins; GARCIA, João Otavio. EM PROL DO REALISMO CIENTÍFICO NO ENSINO. *Ciência & Educação*. Bauru. v, 26, 2020.

EISBERG, Robert; RESNICNK, Robert. Radiação Térmica e o Postulado de Planck. In: EISBERG, Robert; RESNICNK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier Ltda, 1979.

FLEMING, Henrique. Max Planck e a ideia do quantum in: HUSSEIN, Mahir S.; SALINAS, Silvio R. A. (org.) **100 anos de física quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001, p. 1-12.

LIMA, Carlos R. A. Tópicos de Laboratório de Física Moderna. 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.

Martins, R. de A., Rosa, P. S. (2014). História da teoria quântica - a dualidade onda-Partícula, de Einstein a De Broglie. Livraria da Física.

MOZENA, Erika Regina. A SOLUÇÃO DE PLANCK PARA O PROBLEMA DA RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO (PRCN) E O ENSINO DE QUÂNTICA. Orientador: João Zanetic. 2003. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - Modalidade Física) - USP, São Paulo, 2003.

## ANEXOS

Anexo 1 - Texto de Apoio 1 - O que é a Radiação Térmica?:

<https://docs.google.com/document/d/1Hc3ed2zAwnbh6anl97YfFmnfXB-SqPN9hQ08fUME-Ag/edit?usp=sharing>

Anexo 2 - Texto de Apoio 2 - RADIAÇÃO TÉRMICA - FÍSICA CLÁSSICA:

<https://docs.google.com/document/d/19p0ZVWvRw9OsQ4GUoKkeVRX-3OY98xc8knBHTXaXtow/edit?usp=sharing>

Anexo 3 - Texto de Apoio 3 - RADIAÇÃO TÉRMICA - FÍSICA MODERNA:

[https://docs.google.com/document/d/1pAAGi85JGHT2eh\\_7rhUepFobfLMO64i4Y258W9CL-U/edit?usp=sharing](https://docs.google.com/document/d/1pAAGi85JGHT2eh_7rhUepFobfLMO64i4Y258W9CL-U/edit?usp=sharing)

## 8.2 Textos de apoio

Nesta seção serão apresentados os textos de apoio sugeridos.

### 8.2.1 Texto de Apoio 1

#### O QUE É RADIAÇÃO TÉRMICA?

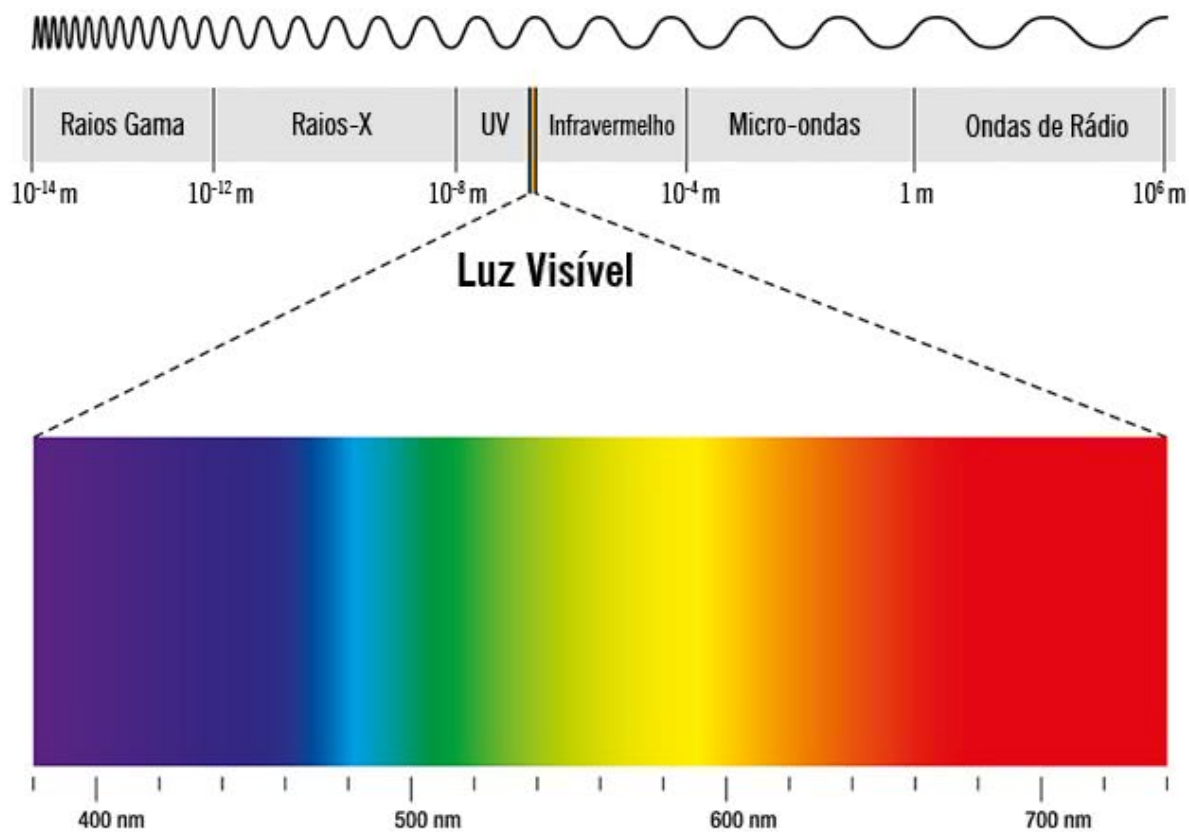
A radiação térmica é o nome que damos à radiação que um corpo emite devido à sua temperatura. Todo corpo emite essa radiação para o meio em que está inserido, e dele a absorve, sendo o principal meio de chegar ao equilíbrio térmico.

Quando o corpo está muito quente devido a essa alta temperatura, sua taxa de emissão de radiação é maior que a taxa de absorção, e por esse efeito ele irá esfriar, chegando ao equilíbrio térmico, onde a taxa de absorção é igual a taxa de emissão.

Quando aquecido, um corpo em estado líquido, ou sólido, emite radiação em um espectro contínuo, sendo esse espectro praticamente independente do material de que o corpo é composto, porém totalmente dependente da temperatura em que o corpo se encontra. Por exemplo, a maior parte da radiação emitida por objetos à temperatura ambiente, encontra-se na região da radiação infravermelha, cujo comprimento de onda situa-se acima dos 700 nm., porém ao aquecermos esse corpo ele passa a emitir radiação em comprimentos menores (e mais energéticas). Esse fenômeno pode ser verificado, por exemplo, quando observamos a mudança de cor de um objeto ao aquecê-lo. Em temperatura ambiente, o pico de radiação encontra-se localizado na região do infravermelho do espectro (comprimento de onda, aproximadamente, entre 700 nm e 50 000 nm), ele não emite luz própria, e nós o enxergamos pela reflexão da luz incidida sobre ele. Se aumentarmos a temperatura continuamente, o objeto começará a emitir comprimentos de ondas cada vez menores até que o pico de emissão esteja na região do infravermelho curto (perto dos 700 nm), em que uma pequena parcela da radiação emitida se encontra na região da luz vermelha (entre 700 nm e 600 nm) do espectro visível (comprimentos de ondas entre 700 nm a 400 nm), mudando a cor perceptível do objeto para o vermelho. A medida em que o objeto continua a ser aquecido, o pico se movimenta para comprimentos de ondas menores, ou seja, se desloca para região da luz visível, emitindo além do vermelho, comprimentos de ondas correspondentes a região de outras cores, emitindo uma cor alaranjada, passando para um amarelo até chegar num branco azulado, ainda que

90% ou mais da radiação emitida ainda esteja em regiões do espectro que não podemos enxergar.

Figura 1 - Visualização do espectro das radiações com enfoque na luz visível



Questões:

- O que é a Radiação Térmica?
- Quando e por que um corpo adquire luz própria?
- Quais os principais pontos que você sentiu dificuldade para entender?

Questões ao professor

Caso haja alguma questão sobre os conceitos apresentados no texto, formule abaixo.

## 8.2.2 Texto de Apoio 2

### RADIAÇÃO TÉRMICA - FÍSICA CLÁSSICA

Os primeiros estudos de radiação térmica aprofundados utilizaram-se como base de análise a luz solar e apareceram após o desenvolvimento da espectroscopia (Parte da física que estuda a interação entre a radiação eletromagnética e a matéria).

Após a invenção do espectroscópio (instrumento que decompõe a luz que incide sobre a fenda de entrada produzindo um espectro na saída) pelo físico e óptico Joseph von Fraunhofer (1787-1826) e seu aperfeiçoamento por outros cientistas da área, Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) e Robert Wilhelm Eberhard von Bunsen (1811-1899), foi possível chegar a uma importante lei empírica: todo elemento químico tem um espectro próprio, o que possibilitou aos cientistas da época a pesquisar a composição e o espectro do sol.

Sabendo dessas pesquisas e baseado em seus próprios estudos, Kirchhoff desenvolveu a Lei de Kirchhoff que simplificadamente diz: as características de emissão de radiação por um corpo a uma dada temperatura são sempre iguais às características de absorção de radiação por este corpo, independentemente de sua natureza e constituição.

Em 1860 Kirchhoff apresentou a ideia de um corpo perfeitamente negro, um corpo negro, seria aquele corpo capaz de absorver toda a radiação, visível ou não, que fosse incidida sobre ele, uma vez que um objeto aparenta ser negro ao absorver totalmente o espectro visível, assim, não refletindo luz alguma para os nossos olhos. É importante ressaltar que esse conceito é algo idealizado e corpos perfeitamente negros não existem.

Para a lei de Kirchhoff ser verdadeira, se o corpo negro absorve toda a radiação incidida sobre ele, ou seja, um absorvedor ideal, deve também apresentar emissão máxima, sendo então um emissor ideal.

Kirchhoff também demonstrou que a radiação de um corpo negro tem qualidade e intensidade muito similares à radiação de uma cavidade de paredes adiabáticas (impenetráveis ao calor) e temperatura  $T$ , facilitando o estudo de corpos negros, que ficou conhecido também como o estudo da radiação de cavidade.

O estudo da radiação de cavidade proporcionou muitos cientistas a estudar a emissão de um corpo negro. A partir dos resultados John Tyndall (1820-1893), Josef Stefan (1835-1893) disse que a emissão de radiação era proporcional a  $T^4$  (medidas em Kelvin), porém essa derivação foi puramente empírica e acidental, já que os trabalhos de Tyndall não

correspondiam a um corpo negro. Poucos anos depois, Boltzmann (1844-1906), aplicando algumas considerações da termodinâmica e do eletromagnetismo ao estudo da radiação de cavidade demonstrou que a radiação emitida pela cavidade deveria ser proporcional a  $T^4$ , formalizando os resultados empíricos de Stefan e formulando que a emissão de radiação total ( $R_T$ ) de um corpo negro deve obedecer a Lei de Stefan-Boltzmann que é expressada pela fórmula:

$$R_T = \sigma T^4$$

Onde:

$$\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 K^4}$$

A constante “ $\sigma$ ” é chamada de constante de Stefan-Boltzmann.

### **Equipartição de energia.**

Todo corpo possui energia interna que apresenta-se em várias formas, ou seja, as moléculas desse corpo apresentam energia cinética de movimento linear e de movimento rotacional. Quando um corpo está em equilíbrio térmico sua energia partilhada igualmente entre suas várias formas, por exemplo, a energia cinética média de uma molécula em seu movimento linear será igual a energia cinética média do seu movimento rotacional, esse princípio é conhecido como equipartição de energia.

Apesar de que quando foi primeiramente apresentado, em 1845 por J.J. Waterston (1811-1883), o teorema da equipartição de energia não foi muito bem aceito, e só começou a ganhar relevância dentro do meio acadêmico devido o seu uso por James Clerk Maxwell (1831-1879) e o seu maior desenvolvimento por Boltzmann e pelo próprio Maxwell, muitos trabalhos começaram a apresentar a equipartição de energia como objeto de estudo apesar de ainda ser de difícil compreensão e seus resultados ainda não encaixarem com dados experimentais.

Em 1900 Lord Rayleigh (1842-1911) tenta utilizar a equipartição no estudo da radiação de cavidade e chega em resultados que não condizem com os dados experimentais principalmente em comprimentos de ondas pequenos (espectro do ultravioleta), demonstrando uma tendência de energias ilimitadas para altas frequências, em 1911 essa tendência ganhou o nome de catástrofe do ultravioleta.



Figura 1 - Gráfico da intensidade (Radiância espectral) pelo comprimento de onda, comparando o resultado de Rayleigh (Catástrofe do ultravioleta) com o resultado experimental.

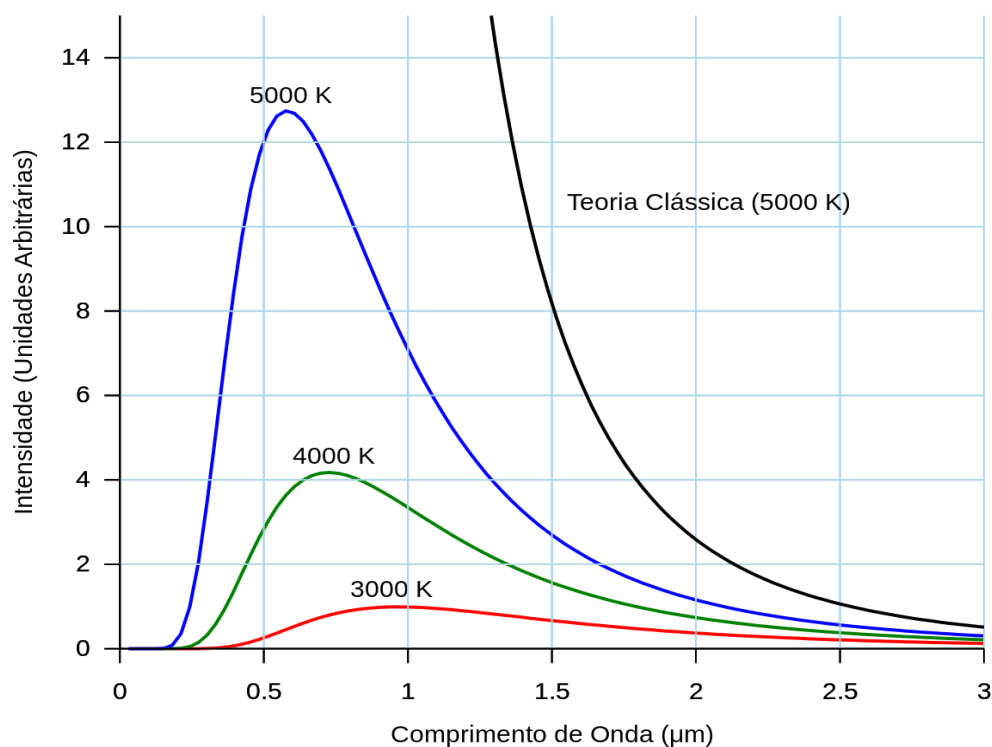
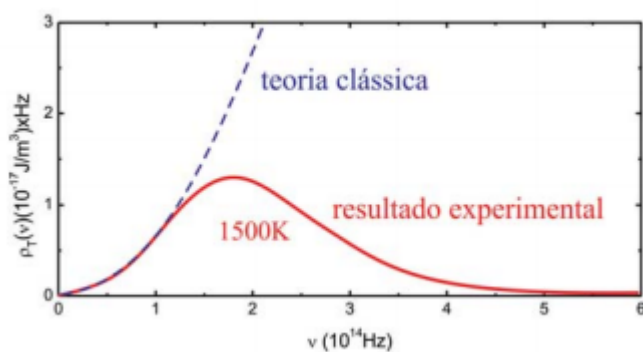


Figura 2 - Gráfico da Radiância espectral pela frequência, comparando o resultado de Rayleigh (teoria clássica ou catástrofe do ultravioleta) com o resultado experimental de 1500 K.



É possível observar nos gráficos acima a grande discrepância entre os resultados obtidos pelos estudos experimentais e os resultados obtidos ao se utilizar a teoria da física clássica, demonstrando a necessidade de dados mais acurados, um novo aparato teórico ou possivelmente a necessidade de uma maneira nova de ver o comportamento das radiações e suas interações com a natureza,

Questões:

- a) O que é a radiância espectral do corpo?
- b) O que é um corpo negro no estudo de radiação térmica?
- c) O que é a catástrofe do ultravioleta?
- d) Utilizando-se do texto qual físico (cientista) apresentado você considera o mais importante? Por que?
- e) Quais os principais pontos que você sentiu dificuldade para entender?

Questões ao professor

Caso haja alguma questão que sobre os conceitos apresentados no texto formule abaixo.

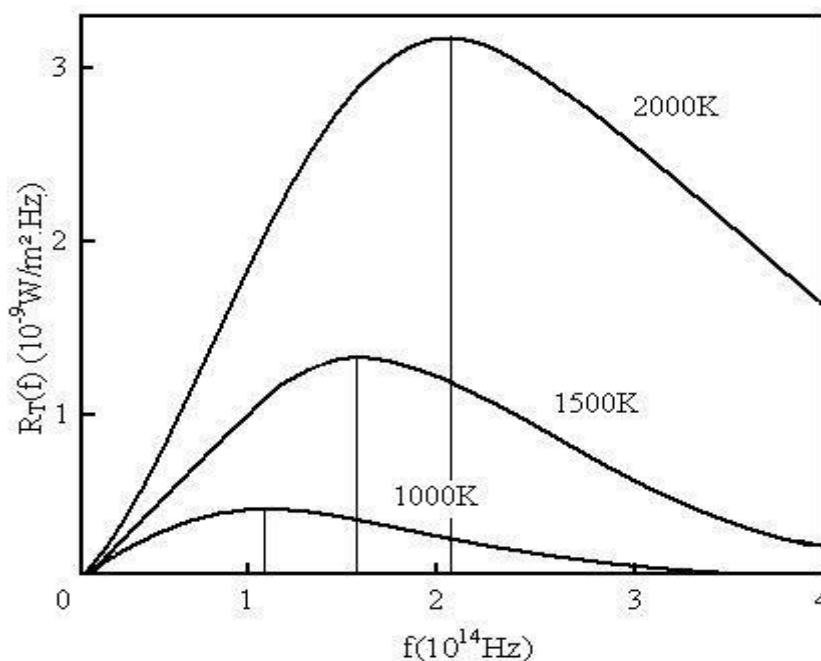
## 8.2.3 Texto de Apoio 3

## RADIAÇÃO TÉRMICA - FÍSICA MODERNA

O primeiro físico a desenvolver uma tentativa satisfatória de teoria para a radiação de corpo de negro foi Wilhelm Wien (1864-1928) em 1894, inicialmente ele apenas esboçou uma equação se baseando nas considerações de Boltzmann sobre o eletromagnetismo e a termodinâmica. Porém mais tarde sua maior contribuição se desenvolveu quando Wien notou que reduzindo o volume da cavidade com o auxílio de um pistão em movimento é possível aumentar a densidade de energia dentro da cavidade, já que a radiação exerceria pressão sobre o pistão, conseqüentemente realizando trabalho durante a compressão. já que nessa situação há uma fonte luminosa em movimento (as paredes da cavidade) também ocorreria a alteração no comprimento de onda na radiação que fossem refletidas, devido ao efeito Doppler.

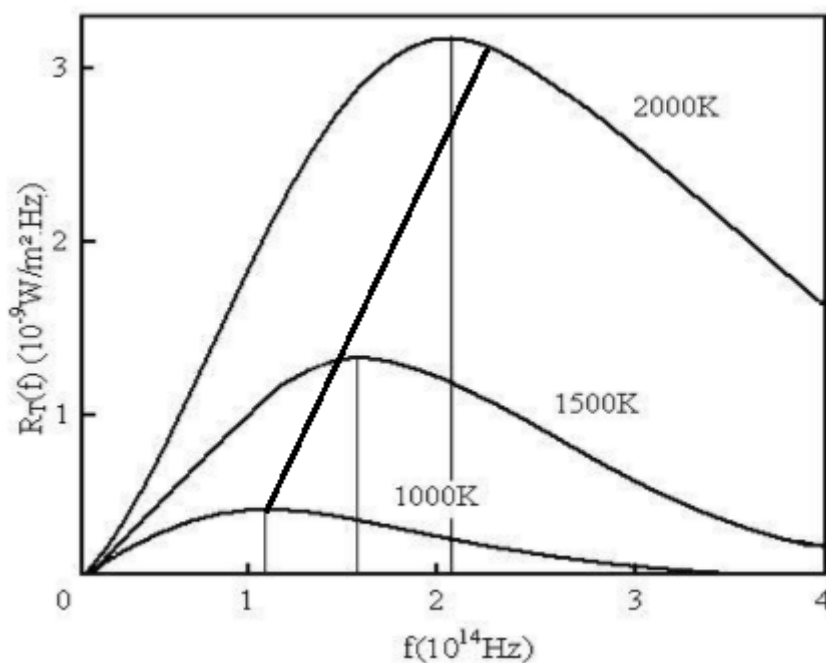
Wien concluiu que caso o volume sofra uma variação adiabática (não há perda de energia térmica para o ambiente) tanto a temperatura  $T$  quanto a Frequência  $f$  devem variar proporcionalmente, assim como a distribuição espectral da radiação mantém sua forma porém todos os pontos da curva se deslocam, mantendo a proporção  $f/T = constante$  essa afirmação ficou conhecida como “lei do deslocamento de Wien”.

Figura 1 - Visualização da lei do deslocamento de Wien



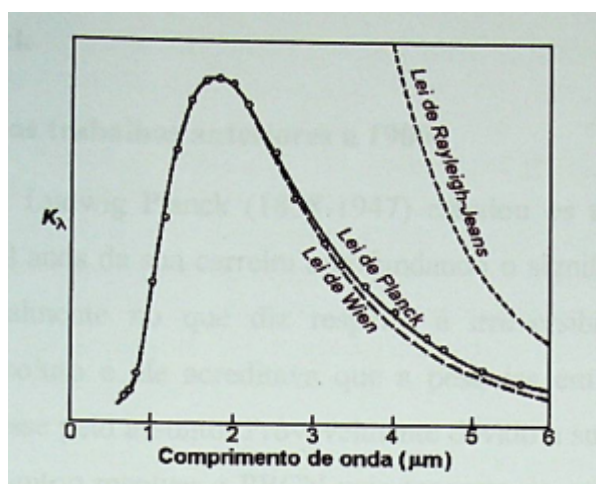
É possível e importante notar no gráfico que o pico da frequência (frequência máxima emitida) varia de forma proporcional ao aumento da temperatura.

Figura 2 - Visualização da variação da frequência máxima pela temperatura..



Com base na sua lei de deslocamento e a equação de Stefan-Boltzmann, Wien chega numa lei que descreve a distribuição de energia no espectro da radiação de corpo negro, essa lei conseguia resultados que estavam de acordos com os experimentos da época.

Figura 3 - Pontos experimentais comparado com as leis da radiação



Fonte: Mozena, 2003

É possível notar pelo gráfico que os resultados de Wien apesar de mais apurados apresentavam ainda uma considerável variação com os resultados experimentais quando comparados resultados em comprimentos de onda maiores (apresentados no gráfico, aproximadamente, entre os pontos  $4\mu\text{m}$  a  $6\mu\text{m}$ ).

#### PLANCK E O INÍCIO DA FÍSICA MODERNA:

Max Karl Ernest Ludwig Planck (1858-1947) que dedicou seus primeiros anos de carreira no aprofundamento da segunda lei da termodinâmica e nos estudos do eletromagnetismo, inicia seus estudos sobre o corpo negro em 1895, devido a sua área de atuação anterior no estudo da segunda lei da termodinâmica Planck não utilizou da equipartização de energia quando começou a pesquisar sobre radiação de corpo negro, mas sim partiu da segunda lei da termodinâmica que diz que a tendência de um corpo é se modificar de forma que sua entropia aumente, já em um estado de equilíbrio o corpo apresenta uma entropia máxima.

Planck visualiza então a ideia de estudar a radiação do corpo negro partindo do cálculo da entropia máxima de uma cavidade adiabática (impenetrável ao calor) em temperatura constante, que configura em um sistema constante, para isso ele utilizou-se das ideias sobre eletromagnetismo de Maxwell, o auxílio de osciladores e os conceitos da termodinâmica.

Planck durante os anos de 1895 e 1899, escreveu vários artigos sobre suas tentativas de derivar o deslocamento de Wien utilizando-se da termodinâmica em processos eletromagnéticos e achou ter encontrado uma resposta para a distribuição de energia da radiação de cavidade, porém Boltzmann apresentou um erro nas equações de Planck que ocorriam devido a natureza probabilística das equações da termodinâmica na forma como Planck estava aplicando-as levando-o a reavaliar seus estudos.

Já no início de 1900 Otto Lummer (1860-1925) junto com Ernst Pringsheim (1859-1917) mostraram através de medidas experimentais que a Lei de Wien apresentava falhas consideráveis ao ser aplicado em intervalos de radiação com pequena frequência (comprimentos de ondas maiores), levando muitos cientistas a tentar criar uma nova formulação.

Em outubro do mesmo ano Heinrich Rubens (1865-1922) e Ferdinand Kurlbaum (1857-1927) estabeleceram novamente através de novas medidas que a lei de Wien não funcionava em pequenas frequências e apresentaram seus resultados a Planck, que passou a

procurar por uma nova formulação. Ainda no mesmo mês Planck introduziu uma equação que obtia resultados satisfatórios porém faltava desenvolvimento teórico para suportar sua expressão, já que Planck havia empregado expressões arbitrárias para a entropia que satisfaziam os requisitos porém não continham nenhum significado físico para justificar sua aplicação.

Seus próximos trabalhos então procuraram dar um significado físico para sua expressão, em Dezembro de 1900 Planck utilizou a ideia de dividir a energia em unidades idênticas com um número finito de energia para unidades dirigidas pela fórmula.

$$\Delta E = hf$$

Porém Planck não havia estabelecido significado físico a essa igualdade, e a aplicou apenas como um aparelho matemático, foi apenas no seu próximo artigo em 1901 que Planck desenvolveu um significado físico para a utilização dessa igualdade e chegou a calcular a constante  $h$  (hoje conhecida como a constante de Planck) chegando ao valor de  $6 \times 10^{-27} \text{ J.s}$ , futuramente Planck aperfeiçoaria junto com matemáticos da época o valor chegando à  $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Joule-sec (J.s)}$ .

Para Planck essa constante seria um quantum de ação pois estaria relacionada à quantidade de energia para cada tempo, dando a ideia de uma ação, apesar de hoje em dia não utilizarmos mais esse significado.

Planck também não estendeu a aplicação das suas ideias para outras áreas, atribuído apenas a situação de corpo negro, hoje, devido a trabalhos de físicos posteriores a Planck, sabemos que suas ideias são aplicadas em muitos casos da física quântica.

Foi devido ao trabalho que Planck apresentou no dia 14 de Dezembro de 1900, “Sobre a Teoria da Lei de Distribuição do Espectro Normal” que essa data ficou conhecida como o início da transição da Física Clássica para a Física Moderna, e o nascimento da Física Quântica

Questões:

- a) O que é a quantização da energia?
- b) Quais os principais pontos que você sentiu dificuldade para entender?
- c) Quais pontos mais te interessam tanto quanto o processo histórico, quanto os conceitos físicos apresentados?

Questões ao professor

Caso haja alguma questão que sobre os conceitos apresentados no texto formule abaixo..

## 9 REFERÊNCIAS

ARAUJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. Instrução pelos colegas e ensino sob medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Florianópolis. v. 30, n. 2, p. 362-384, ago. 2013.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins. A COSMOLOGIA MODERNA À LUZ DOS ELEMENTOS DA EPISTEMOLOGIA DE LAKATOS. 2010. 133 p. Dissertação (Mestrado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis, 2010.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins. O ENSINO DE NATUREZA DA CIÊNCIA NA ESCOLA POR MEIO DE UM MATERIAL DIDÁTICO SOBRE GRAVITAÇÃO. 2016. 133 p. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Florianópolis, 2016.

ARTHURY, Luiz Henrique Martins; GARCIA, João Otavio. EM PROL DO REALISMO CIENTÍFICO NO ENSINO. *Ciência & Educação*. Bauru. v, 26, 2020.

BATISTA Carlos Alexandre dos Santos. **Física Moderna E Contemporânea No Ensino Médio**: subsídios teórico-metodológicos para a sobrevivência do tópico radioatividade em ambientes reais de sala de aula. Orientador: Prof. Dr. Maxwell Siqueira. 2015. 180 p. Dissertação (Pós-Graduação em Educação em Ciências) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2015. Disponível em: <http://www.biblioteca.uesc.br/biblioteca/bdtd/201370016D.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2019.

BATISTA, Carlos Alexandre dos Santos; SIQUEIRA, Maxwell. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Ilhéus, v. 34, n. 3, p. 880-902, 1 dez. 2017 Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6231321>. Acesso em: 27 ago. 2019.

BRASIL. MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018. Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2018. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_versaofinal\\_site.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf) Acesso em: 17 jun. 2019.

DAMASIO, Felipe; PEDUZZI, Luiz O. Q., HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA: PARA QUÊ? *Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 19, 2017

EISBERG, Robert; RESNICNK, Robert. Radiação Térmica e o Postulado de Planck. In: EISBERG, Robert; RESNICNK, Robert. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Elsevier Ltda, 1979.

FLEMING, Henrique. Max Planck e a ideia do quantum in: HUSSEIN, Mahir S.; SALINAS, Silvio R. A. (org.) **100 anos de física quântica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2001, p. 1-12.



FORATO, Thaís C. de M; PIETROCOLA, Maurício; MARTINS, Roberto de A. HISTORIOGRAFIA E NATUREZA DA CIÊNCIA NA SALA DE AULA. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. Florianópolis. 29, n. 1, p. 27-59, 2011.

LIMA, Carlos R. A. Tópicos de Laboratório de Física Moderna. 2013. Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisica/files/2010/03/Labfismodroteiro.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.

MARTINS, André Ferrer Pinto. ENSINO DE CIÊNCIAS: DESAFIOS A FORMAÇÃO DE PROFESSORES. Revista Educação em Questão. v. 23, n. 9, p. 53-65, 2005

MARTINS, André Ferrer P. HISTÓRIA E FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO: HÁ MUITAS PEDRAS NESSE CAMINHO. **Cad. Bras. Ens.**, Natal, v. 24, n. 1, p. 112-121, 1 mar. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/download/6056/12761>. Acesso em: 21 ago. 2019.

MARTINS, R. de A., Rosa, P. S. (2014). História da teoria quântica - a dualidade onda-Partícula, de Einstein a De Broglie. Livraria da Física.

MATTHEWS, Michael R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Science & Education**, Auckland, Nova Zelândia, 1992. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7084/6555>. Acesso em: 11 mar. 2019.

MAZUR, E.; WATKINS, J. Just-in-Time Teaching and Peer Instruction. In: SIMKINS, S.; MAIER, M. (Eds.). Just-In-Time Teaching: Across the Disciplines, Across the Academy Just-In-Time Teaching. 1.ed. Sterling: Stylus Publishing, 2010. p.39-62.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. A Sistemática Incompreensão Da Teoria Quântica E As Dificuldades Dos Professores Na Introdução Da Física Moderna E Contemporânea No Ensino Médio. *Ciência & Educação*. Bauru. v. 15, nº 3, p. 557-580, 2009.

MOREIRA, Marco Antonio, MASSONI, Neusa Teresinha, OSTERMANN, Fernanda. “História E Epistemologia Da Física” Na Licenciatura Em Física: Uma Disciplina Que Busca Mudar Concepções Dos Alunos Sobre A Natureza Da Ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Florianópolis. 29, nº 1, p. 127-134, 2007.

MOZENA, Erika Regina. A SOLUÇÃO DE PLANCK PARA O PROBLEMA DA RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO (PRCN) E O ENSINO DE QUÂNTICA. Orientador: João NETTO, J., Cavalcanti, C., & OSTERMANN, F. (2019). Dificuldades e Estratégias para Compreensão do Conceito de Emaranhamento Quântico: Um Estudo na Formação Inicial de Professores de Física. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, v.19, p. 1-36. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2019u136>.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antônio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 5, nº. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/600/390>. Acesso em: 10 mar. 2019.

PEDUZZI, Luiz O. Q.; RAICIK, Anabel Cardoso. SOBRE A NATUREZA DA CIÊNCIA: ASSERÇÕES COMENTADAS PARA UMA ARTICULAÇÃO COM A HISTÓRIA DA CIÊNCIA. *Investigações em ensino de Ciências*. v. 25, n. 2, p. 19-55, 2020.

PEREIRA, Alexsandro P.; OSTERMANN, Fernanda. **Sobre O Ensino De Física Moderna E Contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente.** *Investigações em Ensino de Ciências*, Porto Alegre, v. 14, n. 3, p. 393-420, 1 nov. 2009. Disponível em: <https://www.if.ufrgs.br/cref/ojs/index.php/ienci/article/view/349>. Acesso em: 29 ago. 2019.

PIETROCOLA, Maurício *et al.* **Física em contextos 3.** [S. l.]: Editora do Brasil, 2016.

POLYCARPO, Érica; BARROSO, Marta F. **Uma breve história do mundo dos quanta.** [S. l.], 17 mar. 2019. Disponível em: <https://www.if.ufrj.br/~marta/cederj/quanta/mq-unidade2.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2019.

PRADO, Leticia do; CARNEIRO, Marcelo Carbone. O episódio histórico das teorias do flogisto e calórico: criando interfaces entre a História e Filosofia da Ciência e o Ensino de Química na busca pela humanização do trabalho científico. **História da Ciência e ensino: Construindo Interfaces**, [S. l.], v. 18, p. 153-180, 31 maio 2018. Disponível em: <http://200.144.145.24/hcensino/article/view/36818/27109>. Acesso em: 27 ago. 2019.

SANCHES, Monica Bordim; NEVES, Marcos Cesar Danhoni. **A Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio: Uma reflexão Didática.** 1. ed. Miranga: UEN, 2011. 128 p. v. 1.

SANTOS, M. (2018). Uso da História da Ciência para Favorecer a Compreensão de Estudantes do Ensino Médio sobre Ciência. *Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências*, v.18, n.2, p. 641-668. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2018182641>.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Cad.Cat.Ens.Fís**, Florianópolis, v. 9, nº. 3, p. 209-214, 1992. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/7392>. Acesso em: 10 mar. 20

ZANETIC. 2003. 144 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências - Modalidade Física) - USP, São Paulo, 2003.