



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DE ENSINO DE FÍSICA - MNPEF

HAYLAN CLEITON MONTELES DE SOUSA

PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA EM
RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO

SANTARÉM - PA
2023

HAYLAN CLEITON MONTELES DE SOUSA

**PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA EM
RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Oeste do Pará (UFOPA) no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja

UFOPA CAMPUS SANTARÉM

Coorientador: Prof. Dr. Wagner Pinheiro Pires

UFOPA CAMPUS SANTARÉM

**SANTARÉM - PA
2023**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/Ufopa

S725p Sousa, Haylan Cleiton Monteles de
Proposta de unidade de ensino potencialmente significativa em radiação do corpo negro e efeito fotoelétrico./ Haylan Cleiton Monteles de Sousa. – Santarém, 2023.
142 p. : il.
Inclui bibliografias.

Orientador: Glauco Cohen Ferreira Pantoja.
Coorientador: Wagner Pinheiro Pires.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Ciências da Educação, Mestrado Nacional Profissional Em Ensino de Física.

1. Ensino de física. 2. Física Moderna. 3. Teoria dos campos conceituais.
I. Pantoja, Glauco Cohen Ferreira, *orient.* II. Pires, Wagner Pinheiro, *coorient.* III. Título.

CDD: 23 ed. 530



Universidade Federal do Oeste do Pará
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ATA Nº 23

Aos dezoito dias do mês de maio do ano de dois mil e vinte e três, às dezesseis horas, na Sala H303 - Campus Rondon, reuniram-se os membros da Banca Examinadora composta pelos(as) professores(as) Drs(as). Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja (orientador e presidente), Profa. Dra. Silvana Perez (membro externo) e Prof. Dr. Ednilson Sérgio Ramalho de Souza (membro interno) a fim de arguirem o mestrando HAYLAN CLEION MONTELES DE SOUSA, com a dissertação intitulada "PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA EM RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO". Aberta a sessão pelo presidente, coube ao candidato, na forma regimental, expor o tema de sua dissertação, dentro do tempo regulamentar, em seguida a banca fez as arguições, o candidato respondeu e, após as deliberações na sessão secreta foi:

- (x) Aprovado, fazendo jus ao título de Mestre em Física.
() Reprovado.

Dr. SILVANA PEREZ, UFPA

Examinador Externo à Instituição

Dr. EDNILSON SERGIO RAMALHO DE SOUZA, UFOPA

Examinador Interno

Dr. GLAUCO COHEN FERREIRA PANTOJA, UFOPA

Presidente

HAYLAN CLEION MONTELES DE SOUSA

Mestrando



Universidade Federal do Oeste do Pará

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

FOLHA DE CORREÇÕES

ATA Nº 23

Autor: HAYLAN CLEION MONTELES DE SOUSA

Título: PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA EM RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO

Banca examinadora:

Prof. SILVANA PEREZ

Examinador Externo à Instituição

Prof. EDNILSON SERGIO RAMALHO DE SOUZA Examinador Interno

Prof. GLAUCO COHEN FERREIRA PANTOJA

Presidente

Os itens abaixo deverão ser modificados, conforme sugestão da banca

1. [] INTRODUÇÃO
2. [] REVISÃO BIBLIOGRÁFICA
3. [] METODOLOGIA
4. [] RESULTADOS OBTIDOS
5. [] CONCLUSÕES

COMENTÁRIOS GERAIS:

Declaro, para fins de homologação, que as modificações, sugeridas pela banca examinadora, acima mencionada, foram cumpridas integralmente.

Prof. GLAUCO COHEN FERREIRA PANTOJA

Orientador(a)



Emitido em 22/05/2023

ATA Nº 134/2023 - ICED (11.01.07)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 23/05/2023 00:26)
EDNILSON SERGIO RAMALHO DE SOUZA

ICED (11.01.07)
Matrícula: ###971#1

(Assinado digitalmente em 22/05/2023 17:05)
GLAUCO COHEN FERREIRA PANTOJA

ICED (11.01.07)
Matrícula: ###805#8

(Assinado digitalmente em 13/08/2023 06:35)
SILVANA PEREZ

CPF: ###.###.228-##

(Assinado digitalmente em 11/06/2023 11:39)
HAYLAN CLEYTON MONTELES DE SOUSA

Matrícula: 2020#####1

Visualize o documento original em <https://sipac.ufopa.edu.br/documentos/> informando seu número: 134, ano: 2023, tipo: ATA, data de emissão: 22/05/2023 e o código de verificação: c393aa5e71

Dedico esta dissertação a todos apaixonados pelo ensino e aprendizagem em Ensino de Física.

AGRADECIMENTO

Agradeço as contribuições dos meus orientadores no desenvolvimento da dissertação e na produção do produto educacional.

Agradeço os ensinamentos dos docentes do MNPEF/UFOPA Campus Santa-rém pela contribuição no crescimento pessoal, na vida acadêmica e aprendizado no Ensino de Física.

Agradeço aos colegas docentes que contribuíram no desenvolvimento do projeto, como no caso especial Prof. Eliesio e outros.

Agradeço aos discentes que participaram ativamente no projeto.

À minha família pelo apoio e paciência em relação a divisão de tempo com o projeto.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

*“Porque o Senhor dá a sabedoria, e de Sua boca vem a inteligência e o entendimento.”
(Bíblia Sagrada, Provérbios 2:6)*

RESUMO

Diversos trabalhos na literatura descrevem a dificuldade que os alunos, especificamente do ensino médio, enfrentam ao abordar os conteúdos da disciplina de Física. Dentre esses, os relacionados à Física Moderna, devido ao nível de abstração e pouco contato com as experiências cotidianas, são objeto de especial complexidade de aprendizado. Nesse contexto, apresentamos nesse trabalho o desenvolvimento de uma sequência didática que trabalha mais especificamente os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, aplicado com alunos do 3º ano de um curso técnico integrado ao Ensino Médio de uma Instituição de Ensino da Rede Federal. O objetivo geral deste trabalho é propor um facilitador para os processos de aprendizagem sobre a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico de alunos do Ensino Médio, por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa - UEPS. O referencial teórico de aprendizagem usado no projeto é a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), cujo autor é Gérard Vergnaud. O enfoque do projeto é uma sequência didática, em que a metodologia de ensino é baseada nas UEPS de Moreira e a análise dos dados é feita através da Análise de Conteúdo de Bardin, conjuntamente com apoio do referencial teórico da TCC, para enfatizar os possíveis invariantes operatórios expressos pelos estudantes em interação com as situações-problemas. Foi aplicado produto educacional durante o segundo semestre de 2022, no período de outubro a dezembro, com os seguintes etapas de execução: interação com simuladores virtuais, exposição pelo docente dos assuntos propostos, demonstração de experimentos de conceitos físicos, resolução de problemas à lápis e papel pelos discentes, estudo de temáticas relacionados a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Foram usados os seguintes instrumentos de coleta de dados durante a aplicação do produto educacional: entrevista, respostas a perguntas abertas, gravação de vídeo, gravação de áudio e formulário *online* com link enviado via *WhatsApp*. Houve nos primeiros encontros a participação ativa dos discentes nos primeiros encontros, com tempo foi decaindo quando próximo ao fim do semestre letivo. Nas primeiras coletas de dados verifica-se uma demanda de atenção em compreender os efeitos que estavam acontecendo nos simuladores da Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Após exposição dos assuntos, os discentes se interessaram bastante também nos efeitos que ocorreram da demonstração experimental no laboratório de Física. Os principais conceitos em ação encontrados em relação ao trabalho final foram: buraco negro, radiação, energia, ondas eletromagnéticas e suas características, massa, temperatura, calor, potência, elétrons e circuito elétrico simples. Espera-se que os resultados desse trabalho e outros dentro desse contexto sejam cada vez mais acessíveis e lidos pelos docentes, gerando assim bons impactos no Ensino de FMC/MQ em sala de aula. Uma perspectiva futura seria fazer uma análise mais aprofundada dos

invariantes operatórios (conceitos em ação e teoremas em ação) e comparar com a literatura.

Palavras-chaves: Ensino de física. Física Moderna. Teoria dos campos conceituais.

ABSTRACT

Several works in the literature describe the difficulties that students, specifically of high school, face when approaching the contents of the discipline of Physics. Among these, those related to Modern Physics, due to the level of abstraction and little contact with everyday experiences, are objects of special learning complexity. In this context, we present in this work the development of a sequence didactic that works more specifically with the concepts of Black Body Radiation and Photoelectric Effect, applied with 3rd year students of a technical course integrated to the High School of a Teaching Institution of the Federal Brazilian Network. The overall objective of this work is to propose a facilitator for the learning processes about radiation from the black body and the photoelectric effect of high school students, through a Unit of Potentially Significant Teaching - UEPS. The theoretical framework of learning used in the project is the Theory of Conceptual Fields (CBT), whose author is Gérard Vergnaud. The focus of the project is a didactic sequence, in which the methodology of teaching is based on Moreira's UEPS and data analysis is done through Analysis of Bardin's Content, together with support from the theoretical framework of CBT, to emphasize the possible operational invariants expressed by students in interaction with problem situations. An educational product was applied during the second half of 2022, from October to December, with the following execution stages: interaction with virtual simulators, presentation by the professor of proposed subjects, demonstration of experiments of physical concepts, resolution of pencil and paper problems by the students, study of topics related to Radiation Black Body and Photoelectric Effect. The following data collection instruments were used during the application of the educational product: interview, answers to open questions, recording video, audio recording and online form sent the link via Whatsapp. During the first meetings, the students were participating actively, but with time the participation of the students decreased towards the end of the school semester. In the first collection of data, there is a demand for attention in understanding the effects that were happening in the Black Body Radiation and Photoelectric Effect simulators. After exposition of the subjects, the students were also very interested in the effects that occurred from the experimental demonstration in the Physics laboratory. The main concepts in action found in relation to the final work were: black hole, radiation, energy, electromagnetic waves and their characteristics, mass, temperature, heat, power, electrons and simple electric circuit. It is expected that the results of this work and others within this context will be increasingly accessible and read by teachers, thus generating good impacts on the Teaching of FMC/MQ in the classroom. A future perspective would be to make a deeper analysis of the operative invariants (concepts in action and theorems in action) and compare them with the literature.

Key-words: Physics teaching. Modern physics. Theory of conceptual fields.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1	– Espectro eletromagnético do maior comprimento de onda, no topo, ao menor, embaixo. Também estão ilustrados alguns exemplos de aplicações tecnológicas modernas de cada um dos tipos de radiação.	36
FIGURA 2	– O interferômetro de Michelson, peça central do experimento de Michelson-Morley.	37
FIGURA 3	– Uma cavidade com um pequeno furo se comporta como um corpo negro ideal.	39
FIGURA 4	– Função distribuição espectral $R(\lambda)$ para as diversas temperaturas. As retas tracejadas indicam a faixa do espectro visível. O comprimento de onda (λ_m) está indicado para as curvas de 5000 K e 6000 K.	41
FIGURA 5	– Comparação da Lei de Planck com as predições das fórmulas de Rayleigh e Wien	42
FIGURA 6	– Projeção da Lei de Planck e a de Rayleigh-Jeans. Na linha azul, projeção da Lei de Rayleigh-Jeans e em laranja, projeção da Lei de Planck para uma temperatura arbitrária.	45
FIGURA 7	– Esquema do Efeito Fotoelétrico	46
FIGURA 8	– Fotocorrente i em função da tensão do anodo V para uma luz de frequência f e duas intensidades I_1 e I_2	47
FIGURA 9	– Potencial de corte versus frequência de luz incidente, medido por Millikan para o sódio.	47
FIGURA 10	– Variação de corrente i com a frequência da luz incidente em um metal alcalino, como o potássio.	48
FIGURA 11	– Variação de potencial de corte com a frequência da luz incidente para dois materiais diferentes.	50
FIGURA 12	– Simulador virtual da Radiação do Corpo Negro	57
FIGURA 13	– Encontro no laboratório de Informática	58
FIGURA 14	– Simulador virtual do Efeito Fotoelétrico	58
FIGURA 15	– Encontro no laboratório de Física	59
FIGURA 16	– Modelo 1 do esquema Efeito Fotoelétrico	69
FIGURA 17	– Modelo 2 do esquema Efeito Fotoelétrico	69
FIGURA 18	– Resolução da questão 3 do Apêndice A do Produto Educacional	72

FIGURA 19 – Resolução da questão 7 do Apêndice A do Produto Educacional	73
FIGURA 20 – Gráfico da 1ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes	78
FIGURA 21 – Gráfico da 2ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes	78
FIGURA 22 – Gráfico da 3ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes	79
FIGURA 23 – Gráfico da 4ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes	79

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Funções trabalho de algumas substâncias	49
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
ENPEC	Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FQ	Física Quântica
MQ	Mecânica Quântica
TCC	Teoria dos Campos Conceituais
UEPS	Unidade de Ensino Potencialmente Significativa
UFOPA	Universidade Federal do Oeste do Pará
ZDP	Zona de desenvolvimento proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3	REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO E APRENDIZAGEM	27
3.1	Referencial teórico cognitivista: Teoria dos Campos Conceituais	27
3.1.1	Conceito	28
3.1.2	Situação	28
3.1.3	Esquemas	29
3.1.4	Invariantes Operatórios	30
3.1.5	Representações Linguísticas e Simbólicas	30
3.1.6	O papel do professor na TCC	32
3.1.7	A importância da TCC no Ensino de Ciências	33
4	REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA	35
4.1	A Radiação do Corpo Negro	38
4.1.1	Aspectos quantitativos da Radiação do Corpo Negro	39
4.1.2	A Lei de Planck	43
4.1.3	A Equação de Rayleigh-Jeans	44
4.2	Efeito Fotoelétrico	45
5	METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	51
5.1	Metodologia de ensino	51
5.1.1	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas	52
5.2	Construção do Produto Educacional	55
5.2.1	Etapas do Produto Educacional	56
5.3	Relato dos acontecimentos das aulas e das coletas dos dados	56
5.4	Análise de conteúdo	60
5.4.1	Análise de Categoria	62
6	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS	64
6.1	Entrevistas dos discentes sobre o simulador Radiação do Corpo Negro	64
6.2	Respostas a questões subjetivas do simulador Efeito Fotoelétrico	68
6.3	Resolução de Problemas à lápis e papel	71
6.4	Apresentação de temática pelos discentes	74

6.5	Avaliação do Projeto por parte dos discentes	77
6.6	Evidências de invariantes operatórios	83
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
	REFERÊNCIAS	88
	APÊNDICES	92
	APÊNDICE A ENTREVISTA COM OS ALUNOS	93
	APÊNDICE B ATIVIDADE QUESTÕES SOBRE SIMULADOR II ..	94
	APÊNDICE C QUESTIONÁRIO ONLINE DE AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DO PROJETO EXECUTADO	95
	APÊNDICE D PRODUTO EDUCACIONAL	101

1 INTRODUÇÃO

No contexto do Ensino de Física, em geral, todos os conteúdos são percebidos como de difícil compreensão por parte dos discentes. Desde conteúdos mais fundamentais como a mecânica ou a termodinâmica, até aqueles mais recentes como a Física Moderna e Contemporânea, todos exigem conhecimentos, atitudes e procedimentos com os quais os alunos não estão habituados ou motivados a aprender, isso em virtude do contexto da sala de aula ser focado na transmissão e recepção de conhecimentos (CLEMENT et al., 2004).

Além disso, por algum motivo do cotidiano escolar, não se leva em conta os conhecimentos prévios dos discentes para propor materiais didáticos potencialmente significativos. Acrescentando a isso também a parte que nas avaliações escolares se valoriza mais o conhecimento explícito em detrimento da parte implícita presente na ação do discente em interação com conhecimento. Tudo isso dificultando na aprendizagem do conhecimento científico pelo discente.

Pretendendo diminuir a rejeição em relação especificamente à Física Moderna, apresentamos nessa dissertação o desenvolvimento de uma sequência didática que trabalha os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. São conteúdos abordados geralmente no final do terceiro ano, sendo às vezes marginalizados a serem trabalhados de forma compacta com os demais conceitos de Física Moderna e Contemporânea em um período de um bimestre.

As questões norteadoras do projeto são: quais as principais dificuldades de estudantes do Ensino Médio em compreender determinados conceitos da Mecânica Quântica? Como é possível abordar os conteúdos escolhidos do projeto para prover condições de contornar as adversidades de aprendizagem dos alunos?

O objetivo geral deste trabalho é propor um facilitador para os processos de aprendizagem sobre a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico de alunos do Ensino Médio, por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. Para cumprir a meta geral, serão executadas as seguintes etapas:

- Construir uma sequência didática nos moldes das UEPS de Moreira (2011);
- Aplicar a UEPS em uma turma de Ensino Médio;
- Estudar como os estudantes de Ensino Médio mobilizam seus invariantes operatórios durante a UEPS;
- Sugerir melhorias no produto educacional a partir das limitações percebidas.

O referencial teórico de aprendizagem usado no projeto é a Teoria dos Campos Conceituais (TCC), cujo autor é Gérard Vergnaud. Ele foi diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) da França, discípulo de Piaget. Baseado nas ideias do seu mestre, adaptou as contribuições deste para entender o processo de desenvolvimento cognitivo do sujeito em situação (MOREIRA, 2002).

O enfoque do projeto é um sequência didática, em que a metodologia de ensino é baseada nas UEPS de Moreira e a análise dos dados serão feitas através da Análise de Conteúdo de Laurence Bardin (BARDIN, 1977), conjuntamente com apoio do referencial teórico TCC, para assim pode enfatizar os possíveis invariantes operatórios expressos pelos estudantes em interação com as situações-problemas.

As expectativas de aprendizagem dos estudantes após a aplicação do produto educacional são as seguintes:

- Descrição do que acontece com espectro da radiação do corpo negro, no caso da forma e pico da curva, à medida que aumenta ou diminui a temperatura;
- Explicação do Efeito Fotoelétrico através da quantização da radiação incidente em um material;
- Entendimento da natureza quantizada de energia nas interações entre a radiação e matéria;
- Compreensão da natureza corpuscular das radiações eletromagnéticas em algumas situações experimentais.

Assim, esperamos que os estudantes desenvolvam competências específicas de Ciências da Natureza e suas Tecnologias para o Ensino Médio de acordo com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Este é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de aprendizagens essenciais que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica. Acreditamos que o produto educacional contempla as três competências específicas a serem desenvolvidas, que são:

I. Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, [...]; II. Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, [...]; III. Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) (BRASIL, 2017).

No próximo capítulo faremos uma revisão bibliográfica sobre o que foi abordado em artigos em relação a pesquisa em Ensino de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no País. Assim, dando uma visão geral, do período de 1970 em diante, relatando inicialmente a importância de abordar os assuntos de FMC no Ensino Básico, até o prosseguimento efetivo de aplicação de propostas didáticas em sala de aula.

No capítulo seguinte será detalhado mais sobre o Referencial teórico de aprendizagem adotado no projeto, que é a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud. Trata-se de uma teoria cognitiva de desenvolvimento do sujeito que se baseia na conceitualização da situação em que interage constantemente. Dá-se assim um destaque à interação essencial entre esquema-situação para conceitualização.

Em seguida será vista a parte teórica da Física, abordando de forma detalhada as partes conceituais, representacionais e atitudinais que envolveram o desenvolvimento dos conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

Nos capítulos finais, detalharemos a metodologia que foi utilizada no projeto, a análise dos dados coletados da aplicação do produto educacional e as considerações finais sobre a dissertação e o produto educacional desenvolvido.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica vem nos auxiliar a observar o panorama da pesquisa em Ensino de Mecânica Quântica (MQ), principalmente o das últimas décadas. Inicialmente se levantou a importância da abordagem dos conceitos de FMC no currículo escolar do Ensino Básico nos artigos produzidos nas décadas de 70 em diante.

Com o tempo, as instituições de Ensino da Rede Estadual ou Federal do Ensino Básico começaram a abordar conceitos básicos de FMC no Ensino Médio. E também foram se consolidando documentos sobre a importância desses conteúdos no Ensino Básico.

Assim foi observado que a quantidade de artigos relacionados com a importância de se abordar FMC no Ensino Básico foi diminuindo. Em contrapartida, as propostas de implantação de situações didáticas que auxiliassem os docentes na abordagem dos conteúdos de forma compreensível aos discentes foram crescendo consideravelmente.

Mesmo assim, atualmente, ainda são escassos os artigos relacionados a divulgação de resultados de aplicação de propostas didáticas em sala de aula e também os que se referem à formação continuada dos docentes do Ensino Médio, para capacitação no Ensino de Mecânica Quântica.

Essas conclusões foram obtidas através da leitura de algumas revisões bibliográficas já realizadas, como é caso dos artigos de Ostermann e Moreira (2000); Greca e Moreira (2001); Pereira e Ostermann (2016); Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011); Silva e Almeida (2011); Rocha, Herscovitz e Moreira (2018); e Marques et al. (2019). Esses trabalhos contemplam análises de produções de artigos sobre FMC ou ligadas a este assunto, abrangendo assim o período do ano de 1970 a 2018.

Na revisão de literatura de Ostermann e Moreira (2000) foi feita a análise de artigos em revistas, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e navegações pela internet, que abordavam no contexto do ensino médio a FMC. O período da revisão contempla o período de 1970 até 2000, sendo mais de 50 artigos consultados.

As referências consultadas estão classificadas da seguinte forma: justificativas para a inserção de FMC no ensino médio; questões metodológicas, epistemológicas, históricas referentes ao ensino de FMC; estratégias de ensino e currículos; concepções alternativas dos estudantes acerca de tópicos de FMC; temas de FMC apresentados como divulgação ou como bibliografia de consulta para professores de nível médio; propostas testadas em sala de aula com apresentação de resultados de aprendizagem; livros didáticos de nível médio que inserem temas de FMC.

A revisão de literatura aponta nesse período uma maior concentração de produções de cunho de divulgação e material de consulta para docentes. Também foi destacada a necessidade de mais pesquisa em relação a quais conteúdos de FMC devem ser ministrados nas escolas, sobre a implantação de propostas didáticas em salas de aulas e sobre as percepções prévias dos discentes em relação a FMC. Os autores esperam que essa revisão possa contribuir no processo de atualização curricular do ensino de Física no ensino médio.

A revisão de literatura feita Greca e Moreira (2001) engloba publicações produzidas entre 1970 a 2000, referentes a cursos introdutórios de Mecânica Quântica (em nível médio e superior). Os mais de 40 artigos consultados foram divididos nos seguintes grupos: concepções dos estudantes a respeito de conteúdos de Mecânica Quântica, críticas aos cursos introdutórios de Mecânica Quântica e propostas de novas estratégias didáticas.

Os autores verificaram que ainda são poucos os artigos produzidos referentes ao primeiro e terceiro grupo. Evidenciando assim, mesmo não muito explícito nos artigos, que os alunos submetidos à abordagem tradicional de ensino de Mecânica Quântica não compreendem os principais conceitos relacionados, realizando de forma mecanizada o processo, e depois que passam pela disciplina introdutória, enveredam por outros caminhos. Destaca-se dessa revisão que é importante fazer um aporte mais conceitual dos conteúdos de Mecânica Quântica em sala de aula nos cursos introdutórios, devido ao pouco aproveitamento de aprendizagem proporcionado por modelos tradicionais.

A revisão de literatura feita por Pereira e Ostermann (2016) abordam uma revisão de 102 artigos sobre o ensino de FMC em todos os níveis de ensino, no período de 2001 a 2006, divulgados nas revistas mais importantes de Ensino de Ciências do país e do exterior, conforme a Qualis da CAPES. Os artigos consultados foram divididos em quatro categorias: propostas didáticas testadas em sala de aula; levantamento de concepções; bibliografia de consulta para professores; análise curricular.

Nesta revisão constata-se um aumento de artigos referentes ao ensino de FMC, em comparação com as revisões anteriores, mas a maioria dos artigos consultados está relacionada a materiais de consulta para professores. Destaca-se também a importância de se investigar os processos de ensino e aprendizagem que ocorrem dentro da sala de aula, sendo possível trabalhar junto o cuidado com o rigor científico que os conteúdos exigem durante o processo de transposição didática.

A revisão de literatura feita por Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011) aborda uma investigação sobre 60 trabalhos de pesquisa em ensino de MQ no período de 1999 a 2009 divulgados em revistas de Ensino de Física/Ciências que possuem índices A1,

A2, B1 e B2, segundo a classificação do Qualis da Capes, no ano de 2009. Os trabalhos consultados foram divididos em cinco grupos: propostas didáticas, implementações de propostas didáticas, análise curricular e crítica a cursos de MQ, estudos de concepções e análise teórica/epistemológica.

Foi destacado na investigação o aumento representativo de artigos destinados à implementação de propostas didáticas para o Ensino em sala de aula, principalmente nos dois últimos anos dessa revisão. E também foi percebido o aumento, ao longo do período consultado, do aspecto referente as concepções prévias que servem de base para realização de implementação de propostas didáticas que visam a facilitação de aprendizagem dos conteúdos de MQ pelos estudantes.

A revisão de literatura feita por Silva e Almeida (2011) aborda uma investigação de 23 artigos científicos relacionados ao ensino de Física Quântica (FQ) no Ensino Médio (EM), entre os anos de 1997 e 2010. Os trabalhos consultados foram organizados em cinco grupos: Revisão da literatura sobre o ensino de FQ/FMC; Análise curricular; Análise dos conteúdos em livros que abordam FQ/FMC; Elaboração e/ou aplicação de propostas de ensino; Concepções de professores sobre o ensino de FQ/FMC no EM.

Na revisão os autores apontam a importância de ensinar FQ no Ensino Médio enfatizando uma abordagem mais qualitativa, conceitual, cultural, histórica, filosófica, sem focar muito ou de forma exageradamente rigorosa na parte matemática dos conceitos. Acrescentam também a necessidade de não se limitar somente à abordagem de conteúdos da Velha Teoria Quântica, mas também os da Moderna MQ. Além disso, destacam a ideia de ser necessário o aumento de pesquisas sobre o ensino de MQ no EM, para visualizar o panorama da atual situação da temática em questão e assim ajudar o professor no processo de ensino dos conteúdos da MQ em sala de aula.

A revisão de literatura efetuada pelo Rocha, Herscovitz e Moreira (2018), aborda 80 artigos relacionados ao Ensino de MQ, os quais foram divulgados em periódicos avaliados com conceitos A1, A2, B1 e B2, segundo o Qualis da CAPES, no período de 2010 a 2016. A análise dos artigos foi dividida em seguintes categorias: propostas pedagógicas; propostas didáticas implementadas; estudos sobre concepções de estudantes ou professores acerca de tópicos fundamentais de MQ; análise de material didático; estudos sobre formação continuada.

Os autores desta revisão constatam que há preocupações dos pesquisadores em analisar profundamente o processo de compreensão da parte conceitual dos tópicos de MQ e das concepções adotados pelos estudantes em todos os níveis de ensino. Em contrapartida, há poucos artigos que visam a implementação de propostas didáticas de MQ para o Ensino Médio. E acrescentando também a esse fato a escassez de artigos de formação continuada para docentes do EM, para capacitarem no ensino de MQ.

Contribui também em termo de revisão de literatura em ensino FMC, o artigo de Marques et al. (2019), analisando artigos científicos publicados em periódicos nacionais da área de ensino de ciências durante os anos de 2008 a 2018. A escolha de artigos se baseou na busca do banco de dados dos periódicos com as seguintes palavras chave “Física Moderna”, “Física Contemporânea” e “Ensino Médio”, que logo depois foram submetidos a uma análise de conteúdos, ficando como resultado 40 artigos relacionados ao tema da revisão.

Os artigos selecionados foram divididos em quatro categorias: Artigos sobre História e Filosofia da Ciência, Propostas de intervenção didáticas, Estudos de Caso e Revisão de Literatura. Os autores dessa revisão apontam que não há mais necessidade de justificar a importância dos conteúdos de FMC no Ensino Médio, pois já é reconhecida pelas pesquisas feitas anteriormente e também é orientado nos documentos legais da Educação Nacional a ministração dos temas de MQ nesse nível de ensino.

Além disso, eles destacam que aumentou a quantidade de pesquisas destinadas à orientação de propostas didáticas sobre a área de FMC para serem trabalhadas em sala de aula. Mas ainda é escassa a divulgação de artigos sobre o resultado da aplicação das propostas didáticas sobre o ensino de MQ em ambiente escolar, o que ocasiona uma preocupação de saber a razão dos motivos que dificultam os docentes na aplicação dos conceitos de MQ em sala de aula e assim evidencia a necessidade de investimento na formação continuada destes na temática.

As revisões de literatura Ostermann e Moreira (2000) e Greca e Moreira (2001), realizadas no mesmo período, se concentram em temáticas diferentes, a primeira se dedica a investigar artigos relacionados a FMC no EM e a segunda aos referentes a cursos introdutórios de Mecânica Quântica (em nível médio e superior).

A revisão feita por Ostermann e Moreira (2000) enfatiza que os artigos analisados se concentram em produções de cunho de divulgação e material de consulta para docentes e a de Greca e Moreira (2001) há uma concentração no aspecto referente a críticas aos cursos introdutórios de Mecânica Quântica. O que elas têm de comum são o destaque de mais produções de artigos que levem em conta os levantamentos das concepções dos estudantes em relação a FMC/MQ.

As revisões de literatura Pereira e Ostermann (2016), Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011) e Silva e Almeida (2011) analisam artigos quase no mesmo período. Elas demonstram um aumento de artigos referentes ao ensino de FMC/MQ, a primeira citada destaca ainda a maior concentração de artigos relacionados a materiais de consulta para professores em relação a FMC.

Entretanto as duas últimas revisões citadas no parágrafo anterior abordam artigos relacionados ao ensino de MQ, o qual cada uma delas compreendem um

período maior de análise de periódicos em relação a primeira citada. A revisão Pantoja, Moreira e Herscovitz (2011) destaca o aumento representativo de artigos destinados à implementação de propostas didáticas para o Ensino em sala de aula e das concepções prévias, ao longo do período consultado. Enquanto que a análise de artigos por Silva e Almeida (2011) enfatiza a necessidade de que o ensino de MQ use uma abordagem mais qualitativa, conceitual, cultural, histórica e filosófica.

Ambas as revisões de literatura Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) e Marques et al. (2019) englobam os artigos produzidos no período entre 2008 a 2018. As duas enfatizam a necessidade de mais produções e divulgações de resultados de implementação de propostas didáticas em sala de aula e também o incentivo de formação inicial e continuada dos docentes em ensino de FMC/MQ.

Portanto, este trabalho se insere no contexto levantado nessa revisão bibliográfica, como a proposição do desenvolvimento de uma proposta didática aplicada em sala de aula, cujos resultados deverão ser divulgados para as comunidades acadêmica e científica. Neste intuito, começaremos a discutir no capítulo seguinte as bases teóricas educacionais relevantes a esse desenvolvimento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO EM ENSINO E APRENDIZAGEM

3.1 Referencial teórico cognitivista: Teoria dos Campos Conceituais

O pesquisador Gérard Vergnaud, autor da Teoria dos Campos Conceituais, foi diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) na França. Ele foi discípulo de Piaget e, baseado nas ideias de seu mestre, adaptou sua contribuição em compreender o processo de desenvolvimento cognitivo do sujeito em situação (MOREIRA, 2002).

Segundo Moreira (2002), Piaget fez contribuições significativas para a educação mas nunca chegou a trabalhar em sala de aula, principalmente com conteúdos escolares. Vergnaud entendeu, diferentemente do mestre, que a cognição depende de situações e conceitos específicos para ser desenvolvida.

Interessado pela sala de aula, Vergnaud aplicou-se ao ensino da matemática, utilizando principalmente estruturas aditivas e multiplicativas para compreender as dificuldades dos alunos. Sua teoria, no entanto, pode ser usada em outros campos, como o ensino de ciências. Vergnaud enfatiza que o processo de domínio cognitivo pelos alunos é influenciado por fatores como linguagem, interação social e simbolização, um legado da teoria de Vygotsky.

Vergnaud vê a aprendizagem do campo conceitual do sujeito como um processo que leva um longo período de tempo, com fases de continuidade e descontinuidade, além de uma jornada com progressões e retornos, falhas e sucessos na conceitualização da realidade.

A TCC é baseada no fato de que o desenvolvimento cognitivo depende do domínio de situações e problemas, cujo rigor é inerente ao uso de conceitos, procedimentos, relações e representações. A fundamentação da TCC é feita em três argumentos:

I) Um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações; II) Uma situação não se analisa com um só conceito; III) A construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes (MOREIRA, 2002).

As palavras chaves da TCC são o próprio conceito de campo conceitual, a definição de conceitos, situações, esquemas, invariantes operatórios e representações, e que podem ser refletidos no contexto educacional (CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

3.1.1 Conceito

Conceito é composto por um conjunto de tripletos de composição denominados S, I e R, sendo S relacionado a conjunto de situações, I aos operadores invariantes e R a representação simbólica.

Conforme Moreira (2002), para Vergnaud as situações são referências ao conceito, pois por meio delas a conceitualização inicia o processo de construção do próprio conceito. Eles representam uma realidade ou problema proposto para o sujeito.

O conjunto I contém em sua composição invariantes (objetos, propriedades e relacionamentos) sobre os quais o conceito está operando, ou um conjunto de invariantes operatórios associados ao conceito, ou um conjunto de invariantes que os sujeitos podem usar e reconhecer para analisar e gerenciar as situações do conjunto S (MOREIRA, 2002).

O R é um conjunto de representações simbólicas (sentenças formais, gráficos e diagramas, linguagem natural, etc.) que pode ser usado para representar e apontar invariantes existentes e, assim, representar situações e procedimentos para lidar com eles (MOREIRA, 2002).

O último conjunto citado, representações simbólicas, é o significante do conceito, o segundo de invariantes operatórios é o significado do conceito, enquanto que o primeiro conjunto de situações é o referente do conceito (VERGNAUD, 2011 apud CAMPELO, 2019).

A associação S, I e R não podem ser dissociadas e são composição essenciais do conceito, pois sem estes elementos não se constitui completamente o sentido do conceito (MOREIRA, 2002).

3.1.2 Situação

As situações são os processos de entrada de conceitualização e dão significado ao conceito. Vergnaud entende o conceito de situação como uma tarefa e, à medida que a situação se torna mais complexa, pode ser entendida como um aumento no número de tarefas relacionadas a esse aspecto (MOREIRA, 2002).

Para o melhor entendimento elas podem ser agrupadas pelos seguintes critérios: historicidade e variedade.

As situações de história referem-se a acontecimentos que o sujeito já controlava, conforme o costume que prevalecia no momento de sua experiência. Essas situações já controladas estão associadas ao aumento do controle decorrente do encontro do sujeito com elas, e sua compreensão tornou-se conceitualmente funcional e significativa ao longo do tempo (CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

De acordo com o tema, a convivência com determinadas situações do cotidiano leva à formação de conceitos no sujeito. É preciso entender o conhecimento prévio que este possui, para entender as possibilidades de descontinuidade ou continuidade de novos conhecimentos, sejam eles científicos ou não.

As situações de variedade são agrupamentos de várias situações que pertencem a um determinado domínio conceitual e fazem parte da experiência de um indivíduo, como atividades cotidianas, tarefas escolares. Situações desse tipo refletem situações vividas ou não vividas, acidentais ou não, que contribuem para a formação de um conceito.

3.1.3 Esquemas

Segundo VERGNAUD (1990 apud MOREIRA, 2002) esquema é um arranjo invariante de comportamento para uma dada classe de situações. O esquema mostra o conhecimento do sujeito em ação, ou seja, os elementos cognitivos que tornam a ação deste funcional (CAMPELO, 2019).

A herança da palavra esquema para o TCC advém da teoria de Piaget para o desenvolvimento cognitivo. Influenciado pelas obras de Kant, para Piaget o conceito esquema leva em conta tanto o sensório-motor quanto as formas de organização das capacidades intelectuais (MOREIRA, 2002).

São quatro componentes do esquema: I) objetivos, submetas e expectativas; II) Regras para gerar ação, busca de informação e controle de decisões; III) Invariantes operatórios (teoremas-em-ação e conceitos-em-ação); IV) Possibilidades de inferência.

O primeiro componente indica que a partir da reflexão das necessidades, o sujeito age com base nos objetivos que deseja alcançar. As situações também os promovem, e elas podem ser negociadas com outras pessoas. Para realizar a atividade, as metas podem ser divididas em submetas que são gerenciadas antes ou durante o processo e que formam possíveis expectativas (VERGNAUD, 2013 apud CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

O segundo componente é toda atividade do sujeito envolvendo gerenciamento, coordenação, recuperação e gerenciamento de informações. Por ser responsável pelo processo de regulação dos esquemas, possibilitam o monitoramento das atividades para atingir o objetivo (VERGNAUD, 1996 apud CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

O terceiro componente se refere aos invariantes operatórios, que são os conhecimentos contidos nos esquemas, e constituem a base implícita ou explícita. Com a ajuda deles, é possível obter informações essenciais e derivar delas o objetivo alcançável e as regras operacionais correspondentes. E também levam o sujeito a identificar fatores relacionados à situação (MOREIRA, 2002).

Por fim, o quarto componente se refere ao raciocínio que leva em conta "cálculo", "aqui e agora", regras e previsões de informações disponíveis e invariantes funcionais do sujeito, ou seja, todas as atividades relacionadas a outros componentes que requerem cálculos na situação "aqui e agora".

Essas definições enfatizam o que Vergnaud afirmou sobre os esquemas, que eles se relacionam com situações, a ponto de se falar em interação esquema-situação ao invés de situação-objeto.

3.1.4 Invariantes Operatórios

Os conhecimentos contidos em um esquema são denominados teoremas-em-ação e conceitos-em-ação, também são conhecidos como invariantes operatórios. Teorema-em-ação é uma declaração sobre a realidade, tida como verdadeira. Conceito-em-ação é o objeto, predicado ou classe de pensamento que é considerado significativo (MOREIRA, 2002).

Os invariantes operatórios são vistos como constantes nos esquemas, e são construídos no decorrer do tempo. Isso ocorre porque os sujeitos os veem como características óbvias de situações devido ao processo de conceitualização, portanto, é improvável que sejam alterados (VERGNAUD, 1982a apud CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

A principal função dos invariantes operatórios é conceitualizar e inferir. Isso ocorre porque ele coleta e seleciona informações relevantes e conclui implicações úteis para operações, gerenciamento e posterior coleta de dados (VERGNAUD, 2007 apud CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

Os conceitos-em-ação e teoremas-em-ação são dialéticos em si e estão intimamente relacionados com o processo de ação do sujeito quando ele se depara com uma situação ou uma classe de situações. Geralmente são implícitos, onde o indivíduo age sobre a situação e responde à demanda local.

Mas é possível tanto os conceitos e teoremas-em-ação se tornarem, progressivamente conceitos e teoremas científicos. Isso se eles forem devidamente explicitados pelo sujeito durante alguma atividade, depois compartilhado e debatido com os pares, para verificar a validade dos invariantes operatórios explicitados serem considerados como conhecimentos científicos.

3.1.5 Representações Linguísticas e Simbólicas

Originalmente, Vergnaud utilizava a expressão representação para o sujeito como um sistema de sistemas simbólicos: o sistema de signos e a sintaxe ou operações com os elementos do sistema. Para ele, símbolos e conceitos eram dois lados da

mesma moeda, e o uso de símbolos pelos alunos deveria ser sempre considerado à luz de seu uso conceitual. Em outras palavras, a capacidade de usar a linguagem natural para resolver situações seria o melhor critério para a obtenção de conceitos, mas, por outro lado, a simbolização ajudaria nisso (VERGNAUD, 1982b apud MOREIRA, 2002).

Entretanto, em outro trabalho mais recente, Vergnaud (1998 apud MOREIRA, 2002) fala em teorias de representações e diz que uma teoria deveria incluir a ideia de que as representações constituem possibilidades inferenciais, ou seja, elas nos preparam para antecipar eventos futuros e gerar padrões de comportamento para evitar o efeito negativo ou alcançar o efeito positivo.

Vergnaud (2007 apud CEDRAN; KIOURANIS, 2019) apresenta quatro significados distintos para o conceito de representação, mas que, segundo sua ótica, são interdependentes, sendo que a representação é: (1) fluxo de consciência; (2) um sistema de conceitos; (3) um sistema de significantes e significados; (4) um sistema de esquemas.

O significado (1) indica que a representação é manifestada por meio da percepção e da imaginação. A percepção, mesmo em ambientes comuns, é diferente para cada sujeito porque envolve a identificação de objetos e relações que dependem das experiências e interesses de cada pessoa, como por exemplo, o ensino e aprendizagem em sala de aula. Enquanto que a imaginação consiste em representar objetos que não são totalmente materializados ou percebidos, em outras palavras, como em frutos da ciência objetos construídos, como os conceitos de átomo, gene, força e tantos outros.

O significado (2) indica que a representação é um conjunto de conceitos estruturados, pois não é possível falar de um objeto, imaginá-lo ou representá-lo com signos sem ter à sua disposição um conjunto de conceitos prévios sobre o assunto. Os invariantes operatórios são os responsáveis pela formalização desses conceitos, pois os conceitos e teoremas desenvolvidos pelo sujeito em ação são o pano de fundo para a compreensão dos símbolos ou de qualquer linguagem.

O significado (3) compreende-se da relação obtida entre interação do sujeito-situação. Porque as situações dão sentido a um conceito, e também pensam que o sentido não está nos símbolos e nas palavras, mas na relação entre sujeito, situação e significantes (linguagem natural e outros símbolos).

Por consequência, entende-se que a relação entre situações e esquemas é a primeira fonte de representação, o que se dá por meio dos invariantes operatórios. E destes se depreende a responsabilidade dos significados nas situações, que serão mediados por meio da linguagem ou qualquer sistema de significantes.

A função dos significantes (linguagem natural e símbolos) é de facilitar o processo de efetivação dos invariantes operatórios, portanto da conceitualização. Mas

com os sujeitos não se pode pensar em automatizar a linguagem ou as representações simbólicas, pois cada um pode entender ou interpretar o sistema de significação de forma diferente, dependendo do grau de conceitualização.

O significado (4) mostra que as representações podem ser compreendidas como produtos da ação e da percepção, e também ajudam a regular e organizar esse movimento que contém todos os componentes do conceito de esquema.

Portanto, com o auxílio das representações linguísticas e simbólicas é possível traçar objetivos, formalizar regras para a criação de atividades e tirar conclusões, pois permitem simular a realidade, ajudando assim a conceituá-la. (VERGNAUD, 2007 apud CEDRAN; KIOURANIS, 2019).

3.1.6 O papel do professor na TCC

Uma das funções do professor dentro desse contexto teórico é proporcionar situações frutíferas e variadas para que os alunos possam desenvolver seus esquemas. Esse conceito advém da teoria de Piaget, durante a atividade na vivência de situações. Presente nessa interação entre o sujeito e a situação-problema, devemos considerar o conhecimento prévio do aluno para que assim possamos recomendar situações adequadas ao nível cognitivo do aprendente. Isso porque Vergnaud, em sua teoria da TCC, leva em consideração a contribuição de Vygotsky sobre a Zona de desenvolvimento proximal - ZDP, no momento da interação do sujeito com a situação. O professor precisa desestabilizar o aluno considerando essa ZDP, para que o aluno não fique entediado ou desanimado com as facilidades ou dificuldades extremas oferecidas pelas situações problemáticas.

Observa-se também que na troca de conhecimento entre professor e alunos, o que os alunos sabem sofrem modificações lentas nessa relação, que até certo ponto podem chegar a ser composto de uma mistura de conhecimentos alternativos e científicos. E nesse ponto, eles podem usar de forma alternada conhecimentos alternativos ou científicos na resolução de situações-problemas. Deve-se, assim que possível, levar os alunos a usarem ou priorizarem o uso do conhecimento científico dentro do espaço acadêmico e de suas áreas de atuação.

Então o domínio do conhecimento científico perpassa pelo uso da linguagem, pois através dela expressamos os pensamentos, ideias e entendimento de determinados conteúdos. Tanto o professor quanto o aluno usam a linguagem para compartilhar significados um com o outro. Também o professor deve demonstrar um uso versátil das representações do conhecimento científico, desde a linguagem natural até o formalismo rigoroso exigido pela situação. Pois quando apresentados aos alunos pelo docente, oferecem-lhes opções de ferramentas que variam do mínimo ao máximo de eficiência e eficácia na resolução de situações-problemas (MOREIRA, 2002).

Então o uso de situações-problemas, da linguagem e representações diversificadas presentes em uma determinada área do conhecimento científico traz implicações para o desenvolvimento cognitivo do discente, pois o mesmo vai enriquecendo de forma progressiva esquemas e representações conforme vai dominando novas situações. E assim o sujeito começa a ter base para explicitar os conhecimentos implícitos na ação através do uso da linguagem e representações simbólicas, em colaboração aos que já são expressas naturalmente de forma predicativa por este.

3.1.7 A importância da TCC no Ensino de Ciências

Considerando o uso de um dos referenciais na aplicação do produto educacional, a TCC, existe uma revisão de artigos da área de ensino de Ciências do período de 2008 a 2018 e nas atas de 2007 a 2017 do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) que colaboram com a dissertação, realizado por Cunha e Ferreira (2020).

Os autores dessa revisão analisaram 66 artigos, os quais foram selecionados com base nos parâmetros e métodos estabelecidos pela análise de conteúdo de Bardin. Sendo, assim, composto por 45 artigos publicados em periódicos e 21 trabalhos apresentados no ENPEC.

Estes artigos foram divididos em seguintes categorias: Ponderações sobre a TCC e suas implicações no ensino de ciências; Atividades centradas em situações-problema; Análise dos invariantes operatórios; Uso das tecnologias na promoção da aprendizagem de conceitos científicos sob a ótica da TCC; Formação de professores e as contribuições da TCC.

Os autores Cunha e Ferreira (2020) enfatizam a importância de tornar claros aspectos da teoria da TCC para os professores, para que eles compreendam seu processo de aprendizagem e a utilizem como guia para estratégias de ensino.

E embora eles tenham feito um excelente trabalho de seleção de artigos relacionados a essa temática, pode ser que não tenham contemplado todas as publicações nacionais ou internacionais relacionadas à aplicação da TCC no ensino de ciências. No entanto, esta revisão fornece uma visão panorâmica do que tem sido feito sobre este tema e fornece informações sobre as diferentes abordagens a ele (CUNHA; FERREIRA, 2020).

Para futuras pesquisas, os autores Cunha e Ferreira (2020) destacam a necessidade de realizar trabalhos relacionados à aprendizagem em níveis mais elementares, como ensino fundamental, e também compreender melhor o processo de formação de conceitos básicos de biologia e química no ensino médio e ensino superior.

Até aqui foi feito uma revisão do referencial teórico que vai ser usado nesse

trabalho, para servir como base de entendimento das formas de aprendizagens dos estudantes em interações com a sequência didática proposta por esse trabalho.

Da mesma forma que foi feita essa abordagem do referencial, é importante revisar os conteúdos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, com uma abordagem em nível superior, para poder assim extrair o máximo dessas duas teorias para aplicação na sequência didática. Isso será visto no próximo capítulo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO EM FÍSICA

No final do século XIX, acreditava-se que já se sabia de tudo sobre os conhecimentos científicos específicos da Física. Em seu famoso artigo de 1901, Lord Kelvin diz que (SCHULZ, 2007):

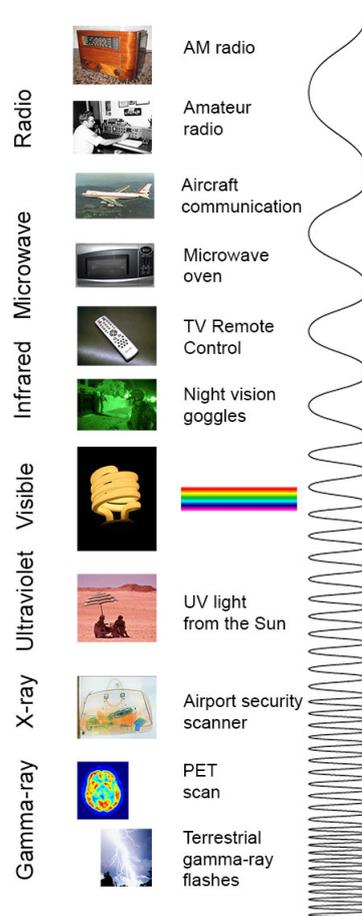
A beleza e clareza da teoria dinâmica, que coloca calor e luz como modos de movimento, está presentemente obscurecida por duas nuvens. I. A primeira apareceu com a teoria ondulatória da luz, desenvolvida por Fresnel e o Dr. Thomas Young: envolvendo a questão de como pode a Terra mover-se através de um sólido elástico, como o é essencialmente o éter luminífero? II. A segunda é a doutrina de Maxwell-Boltzmann sobre a equipartição de energia. (KELVIN, 1901)

Os dois problemas citados por Lord Kelvin, e discutidos em pormenores no seu artigo de 1901, encontraram suas soluções pouco tempo depois com os adventos da Teoria da Relatividade Einsteiniana e da Mecânica Quântica, respectivamente, sendo que neste trabalho focaremos no último. Mas antes de adentrar no tema, vamos falar um pouco sobre como ocorreu o surgimento da Teoria da Relatividade de Einstein.

No final do século XIX, as pesquisas do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) deram uma contribuição decisiva para o estudo das ondas eletromagnéticas. Uma das grandes conclusões de Maxwell foi que a radiação luminosa nada mais é do que a propagação de campos elétricos e magnéticos mutáveis no espaço. Na época de Maxwell, os raios infravermelho e ultravioleta e a luz visível eram as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas, e a relação entre elas era desconhecida até sua descoberta. Hoje, além dessas, também conhecemos outras radiações pertencentes ao espectro eletromagnético, como ondas longas, ondas de rádio, raios X e raios gama. Na Fig. 1 tem-se uma visão geral do espectro eletromagnético (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Também em meados do século XIX, acreditava-se que as ondas eletromagnéticas, assim como as ondas mecânicas, necessitavam de um meio material para se propagar. Esse meio material proposto foi o éter, que foi idealizado como um meio fluido sem viscosidade e rígido o suficiente para permanecer estável contra o grande desenvolvimento da velocidade da luz. Na época, as equações de Maxwell previam que a velocidade das ondas eletromagnéticas eram dadas por seguinte valor $c = 1/(\epsilon_0\mu_0) \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, onde ϵ_0 é permissividade elétrica do vácuo e μ_0 é permeabilidade magnética do vácuo. A existência do éter sugeria, através da aplicação da teoria da relatividade de Newton, que as ondas eletromagnéticas apresentariam velocidades

Figura 1 – Espectro eletromagnético do maior comprimento de onda, no topo, ao menor, embaixo. Também estão ilustrados alguns exemplos de aplicações tecnológicas modernas de cada um dos tipos de radiação.

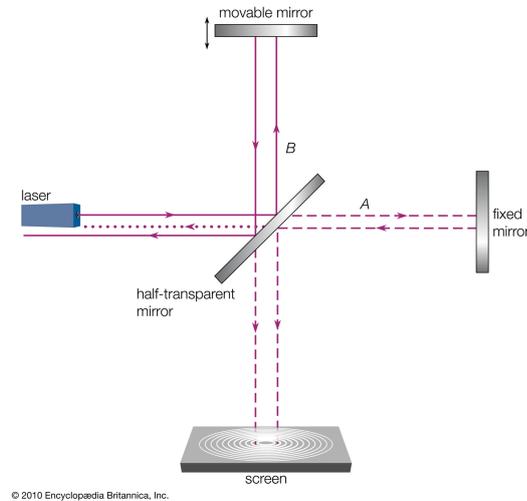


Fonte: Figura de (NASA, 2013).

relativas em relação ao éter, se elas fossem emitidas por uma fonte em movimento inercial em relação a esse meio material (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Para verificar a relatividade da velocidade da luz, Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) realizaram em 1887 um experimento considerado até hoje um dos mais precisos da história da ciência, usando um interferômetro, como mostra a figura 2, para fazer a medição da velocidade da luz em relação a esse equipamento, o que implicaria provar que a Terra estaria em movimento em relação ao éter, e indiretamente comprovaria a existência deste último. O experimento consistia basicamente em observar no interferômetro o padrão de interferência na luz provocada por mudanças na sua velocidade relativa ao éter. Montado sobre uma mesa que flutuava em mercúrio, para minimizar as influências de micro vibrações, o interferômetro de Michelson consistia em um espelho semitransparente que divide um feixe de luz incidente em dois, que refletem sobre espelhos, retornam, e novamente são divididos. Havendo diferenças nas velocidades dos feixes (devido a existência de uma velocidade

Figura 2 – O interferômetro de Michelson, peça central do experimento de Michelson-Morley.



Fonte: Figura de (GAUR et al., 2010)

da luz relativa ao éter), deveria ser observada um padrão de interferência na tela (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Esse aparato experimental tinha sido originalmente realizado em 1881 por Michelson, que não conseguiu provar a relatividade da velocidade da luz em observações experimentais. Frente a resultados de baixas influências do movimento da Terra sobre a velocidade da propagação da luz, ele refez o experimento em 1887 contando com a colaboração de Morley mas, com a melhoria na precisão das medições experimentais, a influência do movimento da Terra na variação da medição da velocidade da luz estava descartada (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Os resultados dessa nova tentativa, junto a outros experimentos realizados na época, descartavam o privilégio de um referencial absoluto, como no caso do éter, tirando dele o caráter de repouso absoluto. Portanto, as leis da eletrodinâmica clássica e da ótica estavam corretas, e a velocidade das ondas eletromagnéticas é a mesma em todos os referenciais inerciais. Isso significava que a teoria da relatividade de Newton e a transformação de Galileu teriam que ser modificadas, de forma a colocarem no mesmo patamar de validade as leis do eletromagnetismo e da mecânica, em qualquer referencial inercial (NUSSENZVEIG, 1998).

Nesse contexto, o físico Albert Einstein (1879–1955) postulou ideias inovadoras que antecederam as evidências experimentais e explicavam teoricamente esses fenômenos dentro de uma nova teoria da relatividade. O ano de proposição dessas ideias por Einstein foi em 1905, com o nome de Teoria da Relatividade Restrita. A palavra restrita se refere à aplicação da teoria em eventos que ocorrem em referenciais inerciais.

Os postulados da relatividade especial baseiam-se essencialmente em dois, que são: As leis da física são as mesmas em todos os sistemas inerciais; a velocidade da luz no vácuo é o mesmo valor c independentemente do movimento da fonte (NUSSENZVEIG, 1998).

Posteriormente, em 1915, Einstein postulou a Teoria da Relatividade Geral, que se aplica a situações mais complexas na qual os referenciais podem sofrer uma aceleração gravitacional. O postulado básico da relatividade geral é chamado de princípio da equivalência, que é expresso da seguinte forma: Um campo gravitacional homogêneo corresponde em todos os aspectos a um referencial uniformemente acelerado. Os efeitos das teorias de Einstein incluíam a contração de distâncias, a dilatação do tempo, a conversão de massa em energia, lentes gravitacionais e outros fenômenos que foram teoricamente previstos no início (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

A Teoria da Relatividade de Einstein tem aplicações no GPS, no entendimento de fenômenos de corpos que se movimentam com velocidades próximas da velocidade da luz no vácuo, no estudo e observação dos buracos negros e outros fenômenos astronômicos. Com isso, concluímos a breve análise do primeiro “pequeno” problema que a Física Clássica não conseguiu solucionar, que é o caso do movimento relativo das ondas eletromagnéticas. Voltaremos a nossa atenção ao segundo “pequeno” problema: Radiação do Corpo Negro.

4.1 A Radiação do Corpo Negro

As primeiras referências à natureza quântica da radiação foram obtidas no estudo da radiação térmica emitida por um corpo opaco. Quando a radiação atinge um corpo opaco, parte é refletida e a outra parte é absorvida. Objetos claros refletem a maior parte da radiação visível recebida, enquanto objetos escuros absorvem a maior parte da radiação visível recebida. No caso do objeto absorver toda a radiação incidente em uma certa faixa do espectro eletromagnético, este é chamado de corpo negro (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Foi o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) que, em 1860, introduziu o conceito de corpo negro ou radiador integral, definindo-o como um corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele (BASSALO, 1996).

A radiação absorvida pelo corpo contribui para o aumento de sua temperatura, pois os átomos vibram mais fortemente em torno do ponto de equilíbrio. Essa oscilação se deve ao aumento da cinética dos átomos utilizados na interação da radiação com o corpo (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Segundo Tipler e Llewellyn (2001) nos átomos estão os elétrons, partículas eletricamente carregadas que são afetadas pelas vibrações dos átomos, atingindo estados

excitados de energia. Após um tempo, ao voltarem para seus estados fundamentais, parte da radiação absorvida é emitida, o que faz com que os átomos percam energia cinética e, assim, diminuam a temperatura do corpo. Quando a taxa de emissão é igual à taxa de absorção, a temperatura permanece constante e diz-se que o corpo está em equilíbrio térmico com o ambiente.

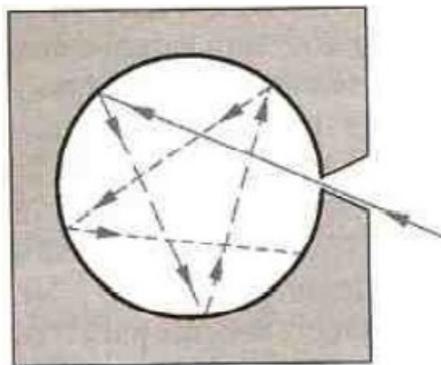
A radiação eletromagnética emitida por um corpo aquecido é chamada de radiação térmica. Calor e luz geralmente são gerados quando os corpos são aquecidos. Um corpo aquecido a baixas temperaturas emite radiação geralmente concentrada no espectro infravermelho. À medida que a temperatura de um corpo aquecido aumenta, ele começa a emitir radiação concentrada no espectro da luz visível. Em todos os casos, a curva de emissão de radiação é distribuída de forma desigual no espectro eletromagnético (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Até aqui temos uma visão do comportamento qualitativo da emissão de corpos opacos aquecidos, que são modelados pela teoria da radiação do corpo negro. Na próxima seção analisaremos com mais detalhes essa teoria, em relação a parte das leis, gráficos e soluções propostas para esse tipo de modelo físico.

4.1.1 Aspectos quantitativos da Radiação do Corpo Negro

Os corpos opacos, substâncias como o negro-de-fumo e o veludo negro, se comportam aproximadamente como um corpo negro para uma certa faixa do espectro eletromagnético. Mas a melhor realização prática de um corpo negro ideal é uma cavidade ligada ao exterior por uma pequena abertura, como mostrado na figura 3 (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Figura 3 – Uma cavidade com um pequeno furo se comporta como um corpo negro ideal.



Fonte: Figura de (TIPLER; LLEWELLYN, 2001)

A probabilidade de um feixe que entra na cavidade sair novamente antes de ser absorvido pelas paredes é muito pequena. Assim, ele se comporta bem como um

absorvedor de radiação incidente e, portanto, é um bom emissor de radiação produzida internamente (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Conforme Tipler e Llewellyn (2001) a potência irradiada da cavidade R pode ser descrita, em função da densidade de energia total na cavidade U (energia irradiada por unidade de volume) como:

$$R = \frac{1}{4}cU, \quad (4.1)$$

sendo c a velocidade da luz.

Segundo Tipler e Llewellyn (2001) seguindo a mesma lógica, a distribuição espectral da potência irradiada pela cavidade é proporcional à distribuição espectral da densidade de energia dentro da cavidade. Se $u(\lambda)d\lambda$ é a fração da energia por unidade de volume no interior da cavidade na faixa de comprimentos de onda entre λ e $\lambda + d\lambda$ temos a seguinte relação entre $R(\lambda)$ e $u(\lambda)$:

$$R(\lambda) = \frac{1}{4}cu(\lambda). \quad (4.2)$$

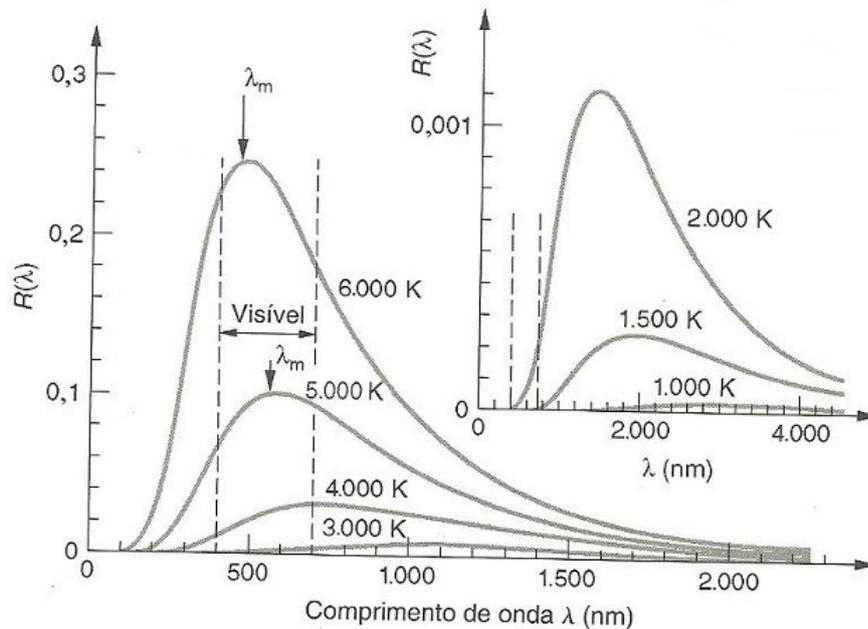
Em 1858, o físico e meteorologista escocês Balfour Stewart (1828-1887) descobriu que a razão entre a potência irradiada e a potência absorvida é uma função do comprimento de onda da radiação emitida ou absorvida e da temperatura absoluta T . De forma independente, foi constatada em 1859 pelo físico Kirchhoff (BASSALO, 1996). Uma das primeiras tentativas de dedução de $u(\lambda, T)$ foi feita pelo físico austríaco Josef Stefan (1835-1893), que em 1879 descobriu uma relação empírica entre a potência por unidade de área irradiada por um corpo negro e a temperatura:

$$R = \sigma T^4, \quad (4.3)$$

onde R é a potência irradiada por unidade de área, T a temperatura absoluta e $\sigma = 5,6705 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$, chamada constante de Stefan. Cinco anos mais tarde, Ludwig Boltzmann chegou ao mesmo resultado a partir das leis da termodinâmica clássica e por isso a equação acima é hoje conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann, sendo assim renomeada também a constante σ (TIPLER; LLEWELLYN, 2001). A Lei de Stefan-Boltzmann também nos mostra como a energia radiante do corpo aumenta significativamente com uma pequena mudança na temperatura do corpo, sendo também de grande importância na descrição do equilíbrio térmico.

As observações mostram que, semelhante à potência de radiação total R , a distribuição espectral da radiação emitida por um corpo negro depende apenas da temperatura absoluta T . A figura 4 mostra as curvas de $R(\lambda)$ em função de λ apresentando várias propriedades interessantes. Uma delas é que o comprimento de

Figura 4 – Função distribuição espectral $R(\lambda)$ para as diversas temperaturas. As retas tracejadas indicam a faixa do espectro visível. O comprimento de onda (λ_m) está indicado para as curvas de 5000 K e 6000 K.



Fonte: Figura de (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

onda para o qual a radiação é máxima varia inversamente com a temperatura:

$$\lambda_m \propto \frac{1}{T}, \quad (4.4)$$

ou seja,

$$\lambda_m \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}. \quad (4.5)$$

Esse resultado, conhecido como lei de deslocamento de Wien, foi obtido pela primeira vez pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864-1928) em 1893 (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Além disso, Wien levando em conta os trabalhos anteriores, principalmente de Boltzmann, obteve, em 1896, o seguinte valor para u :

$$u(\lambda, T) = C_1 \lambda^{-5} \exp\left(\frac{-C_2}{\lambda T}\right), \quad (4.6)$$

onde C_1 e C_2 são constantes. Ainda em 1896, o físico alemão Louis Carl Paschen (1865-1940) obteve empiricamente essa mesma expressão (BASSALO, 1996).

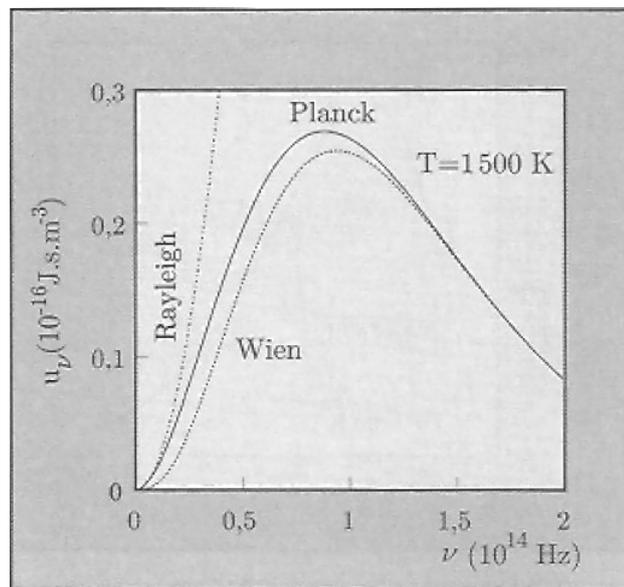
No entanto, segundo Bassalo (1996) essa expressão de Paschen-Wien só se aplicava a pequenos λ (altas frequências). O físico inglês John Strutt Rayleigh (1842-1919), ao considerar a intensidade da radiação térmica como proporcional aos modos normais de vibração dos osciladores moleculares, obteve em junho de 1900,

uma nova expressão para u :

$$u(\lambda, T) = C_1 T \lambda^{-4} \exp\left(\frac{-C_2}{\lambda T}\right). \quad (4.7)$$

Examinando os resultados dos experimentos da radiação de um corpo negro, foi confirmado que os gráficos criados pelas teorias da física clássica não abrangiam completamente a todas medições experimentais. Para um corpo negro emitindo radiação no ambiente, seu espectro de emissão correspondeu às previsões clássicas em baixas frequências, no caso específico usando a projeção da lei de Rayleigh. Por essa lei previa-se que nas altas frequências de radiação, o comportamento do espectro de emissão do corpo negro tenderia ao infinito, o que ficou conhecido como o desastre do ultravioleta (CARUSO; OGURI, 2006). No entanto, usando a projeção da lei de Wien, era possível descrever o comportamento do modelo de emissão do corpo negro a altas frequências. Então as leis clássicas descreviam de forma incompleta o modelo de emissão e absorção da radiação de um corpo negro, conforme a figura 5 (CARUSO; OGURI, 2006).

Figura 5 – Comparação da Lei de Planck com as previsões das fórmulas de Rayleigh e Wien



Fonte: Figura retirado de (CARUSO; OGURI, 2006).

Veremos na próximo tópico que o físico alemão Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) resolveu esse problema da concordância da Teoria com os resultados experimentais, a partir da suposição de que energia emitida por um corpo negro é quantizada, e não contínua.

4.1.2 A Lei de Planck

Em 1900, Planck encontrou uma função empírica que reproduzia os resultados experimentais a partir de mudanças em um dos fundamentos da física clássica: a continuidade da energia. Assim, ele obteve uma função $u(\lambda, T)$ que concordava com os resultados experimentais (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Planck, tentando resolver esse problema teórico para concordar com os resultados experimentais, propôs a ousada ideia de que a energia emitida ou absorvida seria de forma quantificada. Sendo assim, a menor energia de emissão de radiação seria dada por

$$E_{min} = h \cdot f, \quad (4.8)$$

onde E_{min} é a energia mínima de um pacote de energia, conhecido como quantum de energia. O termo h da equação 4.8, conhecida como a constante de Planck, tem o valor de $6,626 \times 10^{-34}$ J·s ou $4,136 \times 10^{15}$ eV·s, com dimensões de energia e tempo e f se refere a frequência da radiação eletromagnética (NUSSENZVEIG, 1998). Os outros valores possíveis de Energia são múltiplos deste valor fundamental, ou seja:

$$E = n \cdot h \cdot f, \quad n = 1, 2, 3 \dots, \quad (4.9)$$

sendo assim chamados de quanta energia. Com isso Planck buscava reproduzir a dependência de u com a frequência observada nos resultados experimentais.

Segundo Tipler e Llewellyn (2001) com essa hipótese inserida nos cálculos, conseguiu obter a função distribuição da densidade de energia no interior da cavidade:

$$u(\lambda, T) = \frac{8\pi hc\lambda^{-5}}{e^{hc/\lambda kT} - 1}. \quad (4.10)$$

A equação 4.10 é denominada lei de Planck. Para valores muito grandes de λ , podemos usar a aproximação $e^x \approx 1 + x$ com $x = hc/\lambda kT$ para exponencial da equação 4.10 e portanto fica da seguinte forma:

$$I(\lambda) \rightarrow 8\pi\lambda^{-4}kT, \quad (4.11)$$

será visto posteriormente que essa equação 4.11 ficou conhecida como a Lei de Rayleigh-Jeans, deduzida de forma diferente por esses dois cientistas em 1905 (BAS-SALO, 1996). Conforme pode ser visto na figura 5 as projeções das três leis, comparando a de Planck com a de Rayleigh e a de Wien.

Para valores muito pequenos de λ , podemos desprezar o 1 no denominador da equação 4.10. Nesse caso, temos:

$$I(\lambda) \rightarrow 8\pi hc\lambda^{-5}e^{-hc/\lambda kT} \rightarrow 0, \quad (4.12)$$

quando $\lambda \rightarrow 0$. A lei de Planck também permite calcular o valor da constante que aparece na lei de deslocamento de Wien (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Planck tentou, sem sucesso, reconciliar suas leis com os princípios da física clássica porque não estava satisfeito com o fato de os osciladores das paredes da cavidade e a radiação de corpo negro terem uma misteriosa propriedade de quantização, e tinha esperança de que houvesse a possibilidade do termo h presente na lei dele desaparecesse das contas (EISBERG; RESNICK, 1979).

Outros cientistas também tentaram conciliar a Teoria Clássica com os resultados experimentais da Radiação do Corpo Negro. Essa persistência fez com que surgisse uma outra equação em 1905 para $u(\lambda, T)$, a lei de Rayleigh-Jeans, tema do próximo tópico.

4.1.3 A Equação de Rayleigh-Jeans

Em 1905, os físicos ingleses John Strutt Rayleigh (1842-1919) e Sir James Jeans (1877-1946) contribuíram na formulação da expressão:

$$u(\lambda, T) = 8\pi hc\lambda^{-4}kT, \quad (4.13)$$

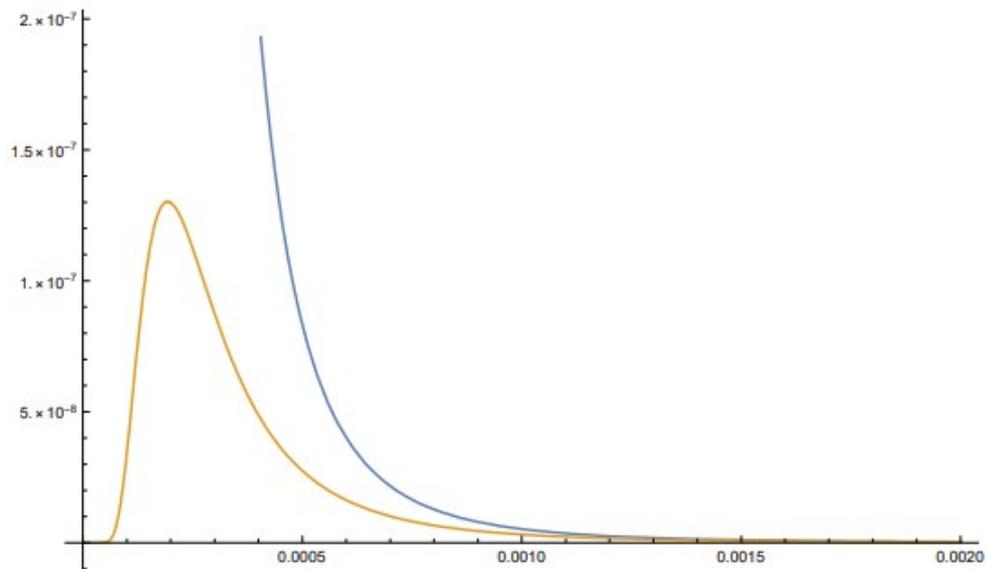
sendo conhecida mundialmente como lei de Rayleigh-Jeans. É importante sublinhar que Jeans considerava a hipótese de quantização de Planck apenas como uma ferramenta matemática que não afetava a parte conceitual da física, especialmente o entendimento da radiação do corpo negro (JEANS, 1905 apud BASSALO, 1996).

Pode ser visto pela equação 4.13 que, para grandes comprimentos de onda, a lei de Rayleigh-Jeans concorda com os resultados experimentais. Mas, para comprimentos de onda pequenos, a lei prevê que $u(\lambda)$ deve crescer sem limite, tendendo ao infinito quando $\lambda \rightarrow 0$, enquanto experimentos mostram que a função de distribuição de densidade de energia realmente tende para zero quando $\lambda \rightarrow 0$ (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

A enorme discrepância entre os resultados dessa relação 4.13 e as observações experimentais para pequenos comprimentos de onda foi denominada catástrofe do ultravioleta (EISBERG; RESNICK, 1979). O uso do termo catástrofe não é um exagero, pois usando a equação 4.13, a densidade de energia de qualquer corpo negro deveria ser infinita, conforme pode ser visto na figura 6.

Portanto a equação 4.13, junto com as demais que foram detalhadas anteriormente, que se baseavam nos conceitos da Teoria Clássica, não contemplavam totalmente os resultados observados na Radiação emitida por um Corpo Negro. Somente a Lei de Planck para Radiação do Corpo Negro estava totalmente em acordo com as observações experimentais para esse modelo físico, e por esse resultado

Figura 6 – Projeção da Lei de Planck e a de Rayleigh-Jeans. Na linha azul, projeção da Lei de Rayleigh-Jeans e em laranja, projeção da Lei de Planck para uma temperatura arbitrária.



Fonte: Gráfico produzido pelos autores.

Planck foi laureado com o Prêmio Nobel de Física de 1918. Depois de detalhado a parte conceitual da Radiação do Corpo Negro, veremos a seguir o conceito de Efeito Fotoelétrico.

4.2 Efeito Fotoelétrico

Em 1886 e 1887, Heinrich Hertz (1857-1894) demonstrou através de experimentos a validade da teoria de Maxwell na geração e detecção de ondas eletromagnéticas. Estas experiências consistiam em gerar uma descarga oscilante que saltava entre dois eletrodos como uma faísca, gerando assim ondas eletromagnéticas, e detectá-las através de uma antena ressonante, onde a detecção era acompanhada por uma faísca entre os eletrodos. Na antena receptora, verificou-se que a faísca saltou com mais dificuldade quando bloqueou-se a luz, especialmente a luz violeta e ultravioleta, que incidia nesta antena (NUSSENZVEIG, 1998).

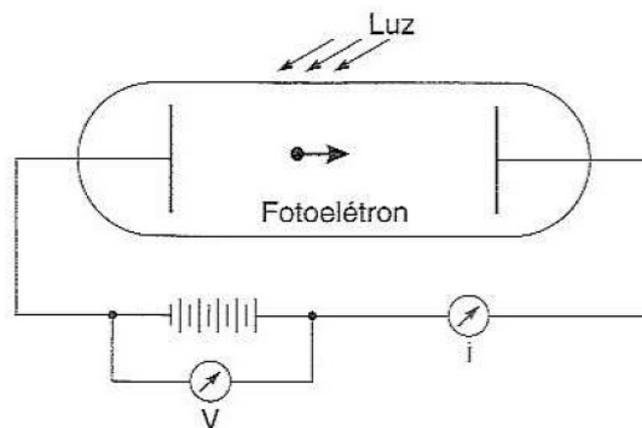
Ironicamente, este dispositivo experimental confirmou a existência de ondas eletromagnéticas e a teoria da propagação da luz de Maxwell e, coincidentemente, Hertz também descobriu o efeito fotoelétrico, uma das primeiras provas experimentais da quantização da luz (TIPLER; LLEWELLYN, 2001). Hertz não deu muita atenção a esse efeito secundário do experimento, deixando-o de lado, e depois de um tempo a atenção voltou-se para esse efeito, através do estudo de Einstein.

Na época, sabia-se que o efeito era que a luz incidindo sobre um material, geralmente um metal, retirava dele elétrons livres, fazendo-os pular de um eletrodo

para outro, e esse processo só ocorria quando a energia da radiação incidente era maior ou igual à energia de ligação dessas partículas ao núcleo atômico. Se essas condições fossem atendidas, eles deixariam suas órbitas com ou sem energia cinética (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Na figura 7 temos a esquematização do efeito fotoelétrico. Nela estão representadas dois eletrodos dentro de uma ampola de quartzo, transparente a luz ultravioleta, na qual há vácuo, sendo os eletrodos submetidos a uma diferença de potencial e ligado em série com um amperímetro (NUSSENZVEIG, 1998). O cátodo é iluminado com luz

Figura 7 – Esquema do Efeito Fotoelétrico



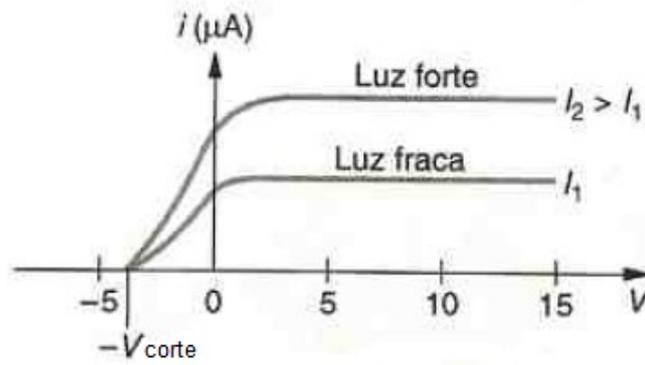
Fonte: Figura de (NUSSENZVEIG, 1998).

de uma determinada frequência e intensidade, sendo observado a movimentação de um fotoelétron de um eletrodo para outro, devido a retirada dessa partícula do material que incidiu a radiação luminosa. E essa passagem do elétron pelo circuito elétrico, é medido pelo amperímetro presente no circuito.

Uma hipótese sobre o efeito fotoelétrico era que à medida que a intensidade da radiação incidente aumentasse, a energia cinética dos elétrons arrancados do material também aumentaria, mas isso não aconteceu experimentalmente. O que realmente verificou-se, conforme demonstrado na figura 8, foi que o aumento da intensidade da radiação fazia com que mais elétrons fossem liberados do material, sendo mostrado o aumento gradual da corrente elétrica através do amperímetro (NUSSENZVEIG, 1998). Porém, como essa corrente de maior intensidade era cessada com o uso do mesmo potencial de corte V_{corte} que a corrente gerada pela luz de menor intensidade, isso significava que os elétrons produzidos não possuíam maior energia, como seria de se esperar na teoria clássica.

Também foi assumido que qualquer radiação recebida poderia remover elétrons livres do material, mesmo após longas exposições. Mas foi constatado que havia uma frequência mínima de radiação para que o efeito ocorresse, que dependia do

Figura 8 – Fotocorrente i em função da tensão do anodo V para uma luz de frequência f e duas intensidades I_1 e I_2 .

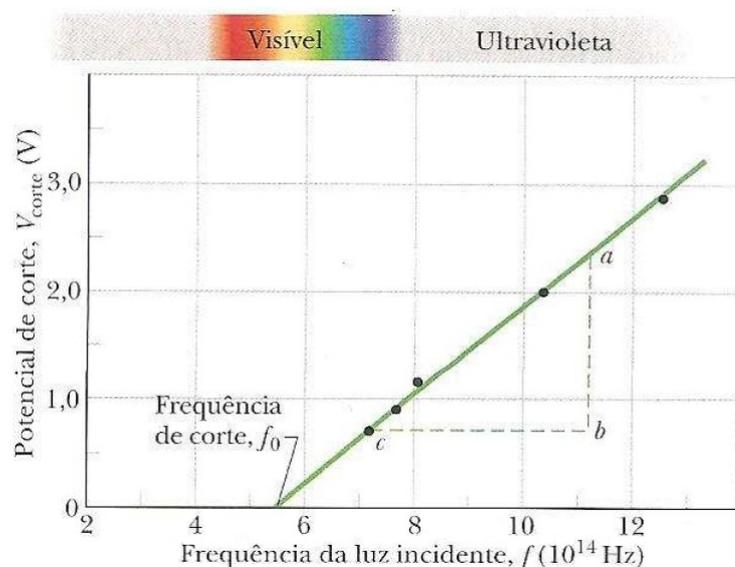


Fonte: Figura de (NUSSENZVEIG, 1998).

material do qual o eletrodo foi feito. Ondas eletromagnéticas com frequência menor que a frequência especificada não afetam a geração do efeito fotoelétrico (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Um caso específico é o do sódio. Como mostra a figura 9, verifica-se a existência de uma frequência mínima, a frequência de corte, para que ocorra o efeito fotoelétrico. A frequência de corte para o sódio é de $4,39 \times 10^{14} \text{ Hz}$. Em 1914 e 1916, Millikan obteve os dados mostrados no gráfico da fig. 9, cujo resultado do seus esforços em fazer as medidas rigorosas do fenômeno rendeu-lhe um prêmio Nobel em 1923 (EISBERG; RESNICK, 1979).

Figura 9 – Potencial de corte versus frequência de luz incidente, medido por Millikan para o sódio.

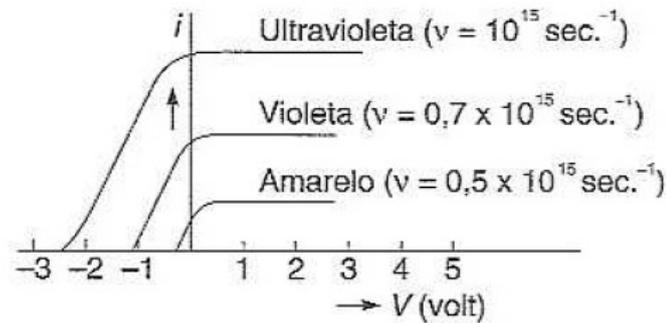


Fonte: Figura de (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Além disso, como podemos ver pelo aparato experimental da fig. 7, os eletrodos

fazem parte de um circuito elétrico, em que eles estavam submetidos a uma diferença de potencial. Essa tensão elétrica promove ou impede a transferência de elétrons de um eletrodo para outro. Em um determinado potencial, o processo do efeito fotoelétrico é interrompido. Essa determinada tensão elétrica é chamado de potencial de corte V_{corte} , que varia conforme o material constituinte do eletrodo e o tipo de luz incidente, como pode ser visto na figura 10 (NUSSENZVEIG, 1998).

Figura 10 – Variação de corrente i com a frequência da luz incidente em um metal alcalino, como o potássio.



Fonte: Figura de (NUSSENZVEIG, 1998).

Conforme (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012) para impedir que os elétrons arrancados de um eletrodo alcancem o outro, devemos submeter o sistema a um potencial de corte que esteja relacionado à energia cinética máxima desses elétrons. Desta forma, a quantidade de corrente elétrica que passa pelo circuito torna-se zero. Essa associação pode ser obtida pela seguinte equação:

$$eV_{corte} = \frac{1}{2}m_e v_m^2, \quad (4.14)$$

onde e é carga elementar, m_e a massa do elétron e v_m a velocidade máxima que a partícula em questão poderá alcançar.

Segundo Nussenzveig (1998) para a correta compreensão desse fenômeno, que não encontrava explicação na física clássica, Albert Einstein, em 1905, propôs uma teoria muito audaciosa: de que a radiação eletromagnética de frequência f consiste de quanta de energia, ou seja, um conjunto composto de pacotes de energia em que cada elemento vale:

$$E = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}. \quad (4.15)$$

Nas suas palavras, Einstein afirma: “A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron: vamos supor que é isto que acontece”. Com base nessa concepção, Einstein formulou a seguinte equação:

$$\frac{1}{2}m_e v_m^2 = eV_{corte} = hf - W, \quad (4.16)$$

sendo W a função trabalho necessária para extrair um elétron da superfície contra a força atrativa da carga positiva remanescente (NUSSENZVEIG, 1998). Temos alguns valores de função trabalho de substâncias detalhadas na tabela 1.

Tabela 1 – Funções trabalho de algumas substâncias

Elemento	W (eV)
Na	2,28
Mg	3,68
Cd	4,07
Al	4,08
Pb	4,14
Ag	4,73
C	4,81
Ni	5,01
Se	5,11
Pt	6,35

Fonte: Dados retirados do (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Fazendo o V_{corte} igual a zero teremos o valor de frequência mínima da radiação f_{min} incidente para ocorrer o processo de efeito fotoelétrico, e essa frequência da radiação mínima depende da substância em que incidir. O qual dependendo da situação pode ser usado a tabela 1, para os cálculos de frequência mínima de alguns elementos químicos. Assim frequências de radiações abaixo da frequência f_{min} , mesmo tendo valor de intensidades altas, não contribuíram para ocorrência do efeito fotoelétrico (EISBERG; RESNICK, 1979). Então temos a seguinte equação que expressa a frequência mínima:

$$f_{min} = \frac{W}{h}. \quad (4.17)$$

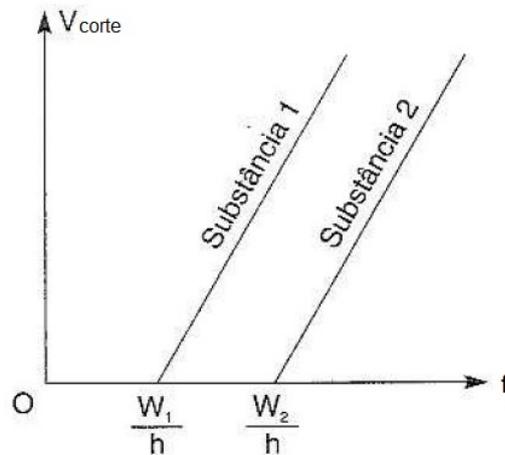
Manipulando a equação 4.16 para que V_{corte} fique em função da frequência, temos:

$$V_{corte} = \frac{h}{e}f - \frac{W}{e}. \quad (4.18)$$

Portanto o gráfico de V_{corte} em função de f é uma reta, com coeficiente angular igual a $\frac{h}{e}$ e coeficiente linear igual a $\frac{W}{e}$, sendo esse último o ponto que intercepta o eixo do V_{corte} quando a frequência é nula. Também se extrai desse equação que o V_{corte} varia de substância para substância, conforme observamos na figura 11.

Tudo isso respondia adequadamente aos resultados experimentais comentados anteriormente. Mas mesmo assim não houve uma aceitação unânime pela comunidade científica por essa solução proposta por Einstein, pois a teoria ondulatória das radiações eletromagnéticas estava bem estabelecida (EISBERG; RESNICK, 1979).

Figura 11 – Variação de potencial de corte com a frequência da luz incidente para dois materiais diferentes.



Fonte: Figura de (NUSSENZVEIG, 1998).

Como o próprio Einstein afirmou ao usar a expressão “Um ponto de vista heurístico” no título de seu artigo, a equação do fenômeno fotoelétrico não mostra a existência de quantidades de energia: ela só pode ser interpretada como tal. Assim, esta não era uma evidência direta da existência de propriedades corpusculares da luz (NUSSENZVEIG, 1998). Em 1921, Einstein recebeu o Prêmio Nobel por sua contribuição à teoria do fenômeno fotoelétrico. Essa “quantidade de luz” foi chamada de “fóton” em um trabalho (1926) de G. N. Lewis.

Portanto, os dois fenômenos inseriram de forma irremediável a quantização na descrição natural: Planck quantizou a energia emitida por um corpo opaco aquecido e suas trocas de energia com a radiação eletromagnética, enquanto Einstein caracterizou a natureza corpuscular da luz, admitindo ser a radiação eletromagnética composta por pacotes de energia, ou seja, fótons.

Feitas, neste capítulo e no anterior, as revisões acerca das bases educacionais e físicas de nosso trabalho, vamos discutir no capítulo a seguir o desenvolvimento do produto educacional deste trabalho.

5 METODOLOGIA E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O projeto foi desenvolvido em uma instituição da Rede Federal que está localizada no município de Itaituba-PA, com uma das turmas do 3º ano do curso técnico integrado ao Ensino Médio. O público contemplou 16 alunos dessa turma, com idades em torno dos 18 anos. Desses 16 alunos, somente 1 não assinou o termo de autorização para uso dos dados produzidos por estes para o projeto. Contabilizando assim para análise dos dados somente a participação efetiva de 15 discentes.

Realizado o projeto no segundo semestre de 2022, o ensino na instituição já estava estabelecido de forma totalmente presencial. Isso porque antes, como todas as demais instituições de ensino do país, teve que se adaptar às mudanças bruscas advindas da pandemia da Covid 19, o que provocou a adoção do ensino remoto em 2020 e também no período 2021/1. Em 2021/2 foi estabelecido o ensino de forma híbrida e a partir de 2022/1 de forma presencial, com algumas exceções de forma remota.

O projeto consistiu na elaboração de um produto educacional aplicado a uma das turmas do 3º ano no período letivo 2022/2. A construção desse produto se baseou em referencial teórico de aprendizagem do TCC de Gérard Vergnaud e a metodologia de Ensino das UEPS de Moreira (2011). A análise de dados se baseou na Análise de Conteúdo, comparando com referencial teórico de aprendizagem TCC.

A coleta de dados dos alunos se baseou em instrumentos como entrevista, questionários abertos e fechados, realização de questões e gravação de áudios e vídeos das atividades realizadas. Foram usadas essas estratégias de coleta de dados devido a função de produzirem informações capazes de inferir representações usadas pelos estudantes.

5.1 Metodologia de ensino

Com o intuito de ensinar os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, buscou-se desenvolver situações que motivassem a participação dos alunos nas atividades. A organização do Ensino se deu basicamente com aumentos de complexidade, onde se abordavam situações-problemas.

A metodologia de Ensino se desenrolou com a aplicação do Produto Educacional durante o período do 4º bimestre do ano de 2022. Foram utilizados materiais de apoio, textos didáticos digitais e impressos disponibilizados aos alunos, links de acesso ao uso dos softwares educativos e grupo de *WhatsApp* (aplicativo multiplataforma de mensagens instantâneas) de Física III da turma.

Os locais de realização de atividades presenciais foram a sala de aula da turma, os laboratórios de informática disponíveis e o laboratório de Física. As atividades remotas foram sempre repassadas pelo grupo do *WhatsApp* da disciplina e reforçadas durante as aulas presenciais.

A seguir temos o embasamento teórico que orientou a Construção do Produto Educacional, sendo uma sequência didática com base dos moldes das UEPS de Moreira (2011).

5.1.1 Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

As UEPS são sequências didáticas baseadas em uma teoria de aprendizagem, especificamente a da aprendizagem significativa de David Ausubel, partindo da premissa que só há ensino quando se tem aprendizagem, sendo a aprendizagem o fim e o ensino o processo para alcançá-la. Com base nisso serão apresentados os detalhes para construção de uma sequência didática nos moldes das UEPS (MOREIRA, 2011).

Da teoria de aprendizagem significativa, a variável mais importante é o conhecimento prévio. O conhecimento prévio do estudante vai servir como facilitador ou como barreira para aprendizagem do novo conhecimento. Assim é importante levá-lo em consideração no ensino para que assim o discente possa assimilar o novo conceito de forma significativa. Duas condições são essenciais para a aprendizagem significativa, são eles: os materiais didáticos que sejam potencialmente significativos e a predisposição do aprendiz em aprender o novo conhecimento (MOREIRA, 2012).

Na sequência didática, são preparados materiais didáticos com objetivo de auxiliar no ensino dos novos assuntos, mas isso não garante a finalidade de aprendizagem pelos discentes. Sendo que os materiais didáticos não têm significados em si só, pois são as pessoas que atribuem significados a eles. Assim o material de aprendizagem somente pode ser considerado potencialmente significativo, visto que adquirir significado no aprendiz quando existe uma relação não-arbitrária e não-literal com estrutura cognitiva desse sujeito. O que implica a necessidade de fazer uso adequado do conhecimento prévio deste, para que o significado atribuído ao objeto de estudo seja aquele aceito no contexto da matéria de ensino (MOREIRA, 2012).

Além disso, segundo Moreira (2012) a sequência didática pode ser uma das melhores planejadas, mas se o aluno não tiver empenho em querer aprender o novo assunto, em nada adianta ensinar. Pois o professor estará cumprido o seu papel de ensinar através do uso da UEPS, mas se o aprendiz não quiser, estará deixando de realizar sua função de aprender de forma significativa o conhecimento. Então é necessário no processo de ensino e aprendizagem essa relação de vínculo contínuo entre o aluno, o professor e os materiais didáticos.

Conforme Moreira (2011), as UEPS são desenvolvidas a partir de seguintes passos:

1. Definir os tópicos específicos a serem trabalhados, detalhando os aspectos declarativos e procedimentais conforme o contexto de ensino da disciplina;
2. Criar e propor situações que levem os estudantes a expor seus conhecimentos prévios, sendo estes de acordo ou não com o contexto da matéria ensinada, pois podem ser relevante na aprendizagem significativa dos novos assuntos. As situações que podem ser usadas são: discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação problema, etc.;
3. Sugerir a um nível muito introdutório, tendo em conta os conhecimentos prévios do aluno, situações problemáticas que preparam as bases para a introdução (declarativa ou procedimental) dos conhecimentos lecionados; essas situações problemáticas podem se aplicar no envolvimento inicial dos alunos com os tópicos, mas não tem a função de ensiná-los logo no início; tais situações problemáticas podem atuar como um organizador preliminar; as situações dão sentido a novas informações, mas para isso o aluno deve enxergar nelas um problema e conseguir modelá-las mentalmente; os modelos mentais são funcionais para o aluno e resultam da percepção e do conhecimento prévio (invariantes operatórios); essas situações-problema iniciais podem ser propostas por meio de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas cotidianos, apresentações mediadas, problemas clássicos da disciplina, etc., mas sempre de forma facilmente acessível e problemática, ou seja, exercício em uma aplicação típica de qualquer algoritmo;
4. Uma vez executadas as situações iniciais, apresentar o(s) assunto(s) a ensinar/aprender tendo em conta a diferenciação progressiva, ou seja, partindo de aspectos mais gerais, abrangentes, dando uma visão inicial do todo, que é a unidade de ensino mais importante, mas logo se tornando a exemplificar e abordar determinados aspectos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve apresentação oral seguida de uma atividade colaborativa em pequenos grupos, que por sua vez deve ser seguida de uma atividade de apresentação ou discussão em grande grupo;
5. Continuar os aspectos mais gerais e estruturantes do conteúdo da aula (ou seja, o que é realmente ensinado) em uma nova apresentação (que pode ser por meio de outra apresentação oral curta, material de computador ou texto, etc.), mas mais complexa do que a primeira apresentação; situações problemáticas devem ser propostas de formas cada vez mais complexas; trazer novos exemplos, destacar

- semelhanças e diferenças com situações e exemplos já discutidos, ou seja, promover a reconciliação integradora; após a segunda apresentação, sugerir alguma outra atividade colaborativa que faça com que os alunos interajam socialmente, negociem significados com o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a elaboração de um mapa conceitual ou diagrama em V, uma experiência de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve incluir necessariamente a negociação de significados e a mediação do professor;
6. Terminar a unidade, continuando o processo de diferenciação progressiva, para restaurar os traços mais importantes de seu conteúdo, mas de um ponto de vista integral, ou seja, buscando a reconciliação integral; isso deve ser feito por meio de uma nova apresentação de significados, que pode ser novamente uma breve apresentação oral, leitura de um texto, uso de recurso computacional, audiovisual, etc.; O mais importante não é a estratégia em si, mas sim a forma de trabalhar com o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e processadas em um nível mais complexo em relação às situações anteriores; estas situações devem ser resolvidas de forma colaborativa e posteriormente apresentadas e/ou discutidas em grande grupo, sempre através do professor;
 7. A aprendizagem pela UEPS deve ser avaliada durante sua implementação e tudo o que possa ser considerado um indício de aprendizagem significativa do conteúdo ministrado deve ser registrado; além disso, após a sexta etapa, deve haver uma avaliação somativa individual que ofereça questões/situações de compreensão que demonstrem compreensão de significados e, idealmente, alguma transferibilidade; professores experientes devem aprovar tais questões/situações com antecedência; a avaliação do desempenho dos alunos na UEPS deve basear-se igualmente na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas conjuntamente, apontamentos do professor) e na avaliação somativa;
 8. A UEPS é considerada exitosa apenas se a avaliação do desempenho do aluno evidenciar aprendizagem significativa (definição de significados, compreensão, capacidade de explicar, aplicar conhecimentos para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de qualquer campo conceitual é progressivo; portanto, a ênfase está nas evidências e não nos padrões específicos de comportamento.

Assim vimos os passos da construção de uma sequência didática do tipo UEPS. Podemos dizer resumidamente, que ocorre primeiramente a escolhas dos tópicos a ser ensinado, envolvendo seus aspectos declarativos e procedimentais. Em um segundo

momento apresentação de situações-problemas ou similares, de forma introdutório a ponto de estimular a explicitação dos conhecimentos prévios dos discentes.

Em seguida é exposto o conhecimento do aspecto mais gerais a mais específico, em momento posterior do mais específicos ao mais geral. Sendo que após isso seja feita uma integração de todos esses aspectos, de forma que o discente conheça e compreenda o todo e as partes envolvidas na composição do conhecimento em estudo. E isso não perdendo de vista que as situações-problemas ou similares estão presentes, do início ao fim do processo da UEPS, sendo trabalhados no sentido de menor a maior complexidade.

E em relação a avaliação pelo formato da UEPS, há valorização tanto do processo formativo como somativo, buscando assim evidências de aprendizagem significativa pelo aluno. Na avaliação formativa, é feita durante toda a implementação da sequência didática, através do registro das situações, tarefas resolvidas conjuntamente e apontamentos do professor. Quanto a avaliação somativa, envolve questões/situações que evidenciem domínio e compreensão dos significados do objeto de estudo dentro do contexto de ensino da matéria. E também que o discente demonstre capacidade de aplicar o conhecimento assimilado em contextos diversos e novos.

Veremos a seguir o detalhamento da construção do Produto Educacional que se baseou em uma sequência didática no formato das UEPS. E teve como fundamento teórico de aprendizagem, a Teoria dos Campos Conceituais de Gérard Vergnaud.

5.2 Construção do Produto Educacional

O Produto Educacional encontra-se organizado a partir da integração de material textual, lista de exercícios, simuladores virtuais, e trabalhos em equipe, com desenvolvimentos teóricos na forma de uma Sequência Didática, procurando configurá-lo metodologicamente como o mais relevante possível para o desenvolvimento e construção de conceitos e de situações-problemas no campo de ensino da Física, oportunizando um espaço importante para interação esquema-situação do sujeito aprendente e visando contribuir de forma significativa para a efetivação da aprendizagem.

O produto educacional tem como objetivo geral propor uma sequência didática potencialmente significativa para o ensino da Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, relacionando a interação do sujeito aprendente com situações-problemas. Esse objetivo será alcançado através da realização dos seguintes específicos:

- Aplicar conceitos e situações-problemas relacionando-os com o conhecimento físico;

- Utilizar representações linguísticas e simbólicas para a compreensão, domínio e resolução de modelos físicos;
- Prover condições para explicitação de conhecimentos-em-ação dos discentes;
- Aproximar a forma operatória e predicativa do conhecimento dos discentes ao do conhecimento científico;
- Desenvolver a colaboração e a participação dos alunos em cada etapa da atividade.

5.2.1 Etapas do Produto Educacional

O produto educacional é organizado em vários encontros, cada um planejado para uso de duas aulas, sendo apresentado da seguinte forma:

- 1º encontro: Apresentação de simuladores virtuais dos conceitos físicos estudados e interação dos discentes com os simuladores;
- 2º encontro: Apresentação sobre os conceitos físicos, dos conceitos gerais e específicos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, pelo docente aos discentes e resolução de questões-modelo;
- 3º encontro: Apresentação de demonstração de experimentos envolvendo os conceitos físicos do produto educacional;
- 4º encontro: Resolução pelos alunos de Problemas de lápis e papel dos conteúdos abordados;
- 5º encontro: Para finalizar, leitura pelos alunos de temáticas que abordam os conceitos físicos específicos e compartilhamento de seu entendimento do texto lido com a turma.

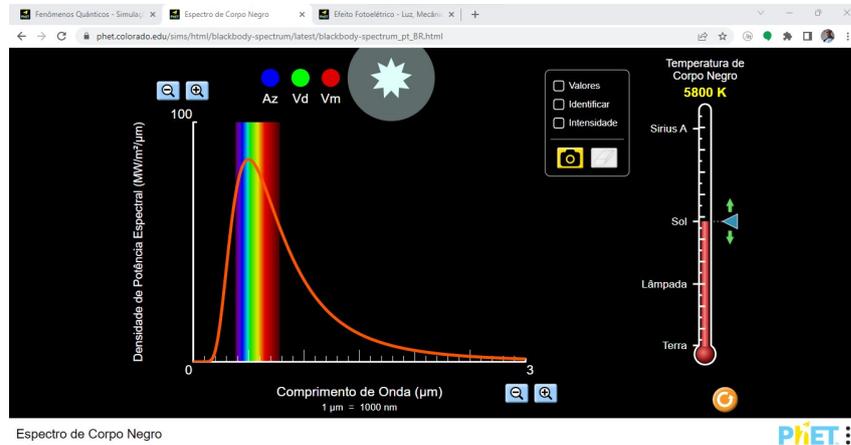
Pelo planejamento da proposta educacional é possível desenvolver os assuntos propostos dentro de um bimestre letivo, de forma gradual e aprofundada, usando de forma flexível aproximadamente 10 aulas, considerando que a aula tenha a duração de 50 minutos e também levando em conta o contexto específico do cotidiano do planejamento escolar que pode prolongar mais o tempo de aplicação do produto educacional.

5.3 Relato dos acontecimentos das aulas e das coletas dos dados

No primeiro momento, no dia 26 de outubro de 2022, foi buscado esclarecer sobre o funcionamento da aplicação do produto educacional. Em seguida, começamos

a trabalhar com o software educativo do Phet Colorado sobre Radiação do Corpo Negro, conforme mostrado na figura 12 .

Figura 12 – Simulador virtual da Radiação do Corpo Negro



Fonte: do site (PERKINS et al., 2022)

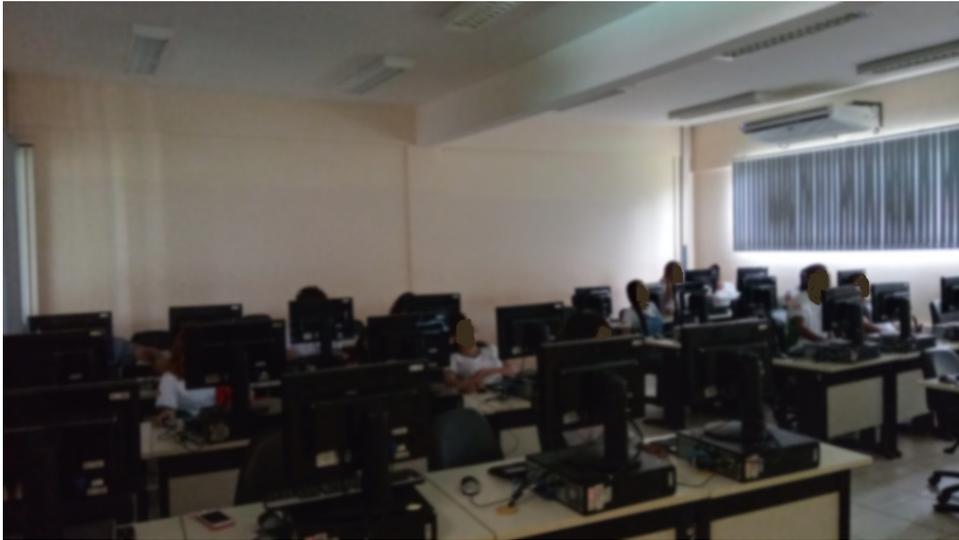
A interação dos alunos com o software ocorreu nos computadores do laboratório de informática da instituição de ensino, cada um de forma individual, conforme a foto 13. Inicialmente foram explicados os recursos disponíveis no programa educativo e depois foi destinado um momento para interação dos alunos com o software, com um tempo mínimo de 20 minutos.

Essa interação do discente com o simulador ocorreu de forma livre, com o professor tirando dúvidas de vez em quando em relação ao aspecto de uso dos recursos do programa educacional. Logo após foi realizada uma entrevista de forma individual para coleta dos dados sobre o entendimento que tiveram da Radiação do Corpo Negro através do uso que fizeram do software. O roteiro da entrevista está detalhado no apêndice A.

A entrevista se estendeu para a próxima aula, dia 16 de novembro, devido não ter sido possível fazer entrevistas com todos no primeiro dia de realização do projeto. E houve nesse momento, 2º encontro, aplicação da interação do software educativo aos que faltaram no primeiro dia e continuação do término das entrevistas do restante da turma.

No terceiro encontro, dia 23 de novembro, foi trabalhado o segundo software educativo do Phet colorado, sobre Efeito Fotoelétrico, conforme mostrado na figura 14. Foram explicados inicialmente todos os recursos disponíveis da tela do programa educativo e seu funcionamento básico. Nesse encontro, devido a experiência de visualizar que a entrevista leva um tempo a mais para ser realizada, a coleta de dados do entendimento dos alunos foi feita através de questões formuladas com base nas animações

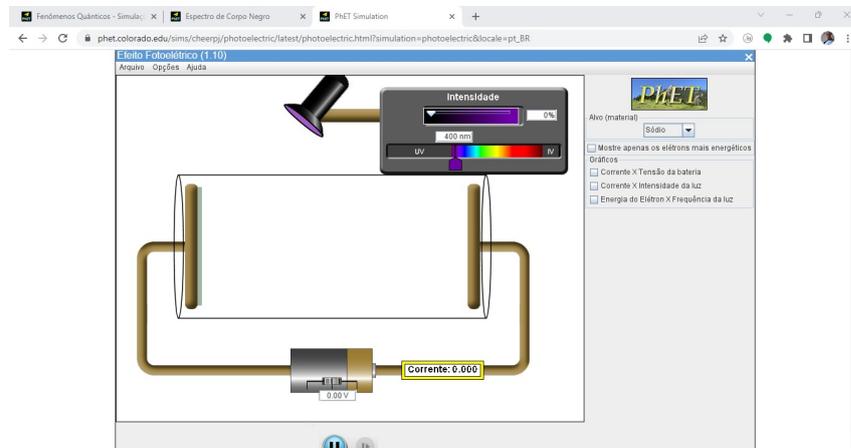
Figura 13 – Encontro no laboratório de Informática



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

demonstradas pelo software educativo. As questões formuladas estão detalhadas no apêndice B.

Figura 14 – Simulador virtual do Efeito Fotoelétrico



Fonte: do site (WIEMAN et al., 2022)

No quarto encontro, no dia 30 de novembro, em sala de aula da turma, devido ao andamento do processo foram repassados os termos de autorização para uso dos dados produzidos pelos discentes para a pesquisa. Foi disponibilizado também os materiais didáticos impressos sobre os assuntos do projeto. E também novamente, foi enfatizada a importância do projeto para o Ensino da Física.

O quinto encontro, no dia 7 de dezembro, ocorreu no laboratório de Física com a explicação, em primeiro lugar, dos conceitos gerais presentes na Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico e, em seguida, com o aprofundamento dos conhecimentos

específicos, em conjunto com demonstração de experimentos de física. É mostrado na foto 15 o registro do momento dos alunos no laboratório de física, que se encontram em volta da bancada central, na qual foram demonstrados os experimentos envolvendo os assuntos específicos do trabalho, sendo um dos experimentos sobre os efeitos de um corpo aquecido e um outro do acendimento automático de uma lâmpada através do uso de um sensor fotoelétrico.

Figura 15 – Encontro no laboratório de Física



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Entre o quinto encontro e o sexto encontro foram disponibilizadas aulas da parte específica dos assuntos e resolução de exercícios elaborados em nível de Ensino Médio e questões mais básicas de nível superior, isso através de link de vídeos salvos no serviço de armazenamento digital de arquivos, o *Google Drive*. E também foram disponibilizadas novamente as explicações dos experimentos que ocorreram no laboratório de Física, carregados em um canal da plataforma de compartilhamento de vídeos *YouTube*, com acesso restrito aos que possuem o link de visualização.

No sexto encontro, dia 12 de dezembro, devido à dispersão dos alunos com outras atividades de final de ano, como a entrega e defesa de projetos integradores do curso - obrigatório aos discentes - que ocorreu no mesmo dia do encontro, foram disponibilizadas as aulas para leitura dos temas propostas no produto educacional. Depois o material foi disponibilizado no grupo do *WhatsApp* da disciplina, através de áudio.

Em um sétimo encontro, no dia 14 de dezembro, ocorreu somente para entrega de notas dos alunos e também para gravação de vídeos de explicação de um dos alunos, que se motivou a explicar duas questões escolhidas de aspectos fáceis dos livros didáticos do superior, uma de cada assunto.

O espaçamento entre os primeiros encontros ocorreu devido alguns ajustes necessários na aplicação no produto educacional, e também devido a eventos que ocorreram na instituição, principalmente a IV FECMITA (Feira de Ciências e Mostra Científica de Itaituba), evento realizado no período de 09 a 11 de novembro de 2022. E a concentração de atividades no final dos encontros, foi devido ao período de processo de encerramento do semestre letivo.

Para avaliação da aplicação do projeto e sua contribuição para o aprendizado foi passado um formulário online para os discentes, através de um link disponibilizado via *WhatsApp*.

5.4 Análise de conteúdo

Segundo Moraes (1999) apud Cardoso, Oliveira e Ghelli (2021), a análise de conteúdo tem suas raízes no final do século XIX. No entanto, suas características e diferentes abordagens foram desenvolvidas especialmente nos últimos cinquenta anos do século XX. Embora esta tenha sido uma fase de alta produtividade impulsionada por um paradigma positivista que valorizava a objetividade e a quantificação, esta metodologia de análise de dados alcança novas e possibilidades mais sofisticadas quando integrou e ampliou os estudos para os aspectos qualitativos de mensagens e informações.

A análise de conteúdo é o ideal no tratamento de dados enunciativos da comunicação. Esta metodologia tem sido particularmente relevante, mas não limitada, a investigadores em comunicação social, jornalismo, marketing, redes sociais e áreas afins. Na verdade, a análise de conteúdo pode ser feita para qualquer tipo de declaração (mensagens) e de qualquer forma (CARLOMAGNO; ROCHA, 2016).

Conforme Carlomagno e Rocha (2016) o objetivo do método de análise de conteúdo é categorizar qualquer tipo de conteúdo e reduzir suas características a elementos básicos, para que possam ser comparados a um conjunto de outros elementos. Quanto a natureza deste tipo de análise, ela é considerada quantitativa, pois segundo Kaplan & Goldsen (1982) apud Carlomagno e Rocha (2016) uma característica que distingue a análise de conteúdo de outras técnicas de comunicação descritiva é seu aspecto quantitativo.

Segundo Triviños (1987) apud Cardoso, Oliveira e Ghelli (2021) a análise de conteúdo é um método que pode ser aplicado tanto à pesquisa quantitativa quanto à pesquisa qualitativa, mas com aplicações diferentes. E também pode ser aplicado a versão quali-quantitativas de pesquisas com abordagem qualitativa, mas a partir de dados estatísticos.

Segundo Bardin (1977) apud Cardoso, Oliveira e Ghelli (2021), as diferentes

etapas da análise de conteúdo se organizam em torno de três polos cronológicos: análise preliminar; análise de materiais; o Processamento, justificação e interpretação de resultados. No entanto, não há limites nítidos entre a coleta de dados, o início do processo de análise e a interpretação.

Na fase inicial da organização compreende o processo de pré-análise, nessa fase o material é organizado, consiste na escolha dos documentos que farão parte do corpus. Em seguida formula-se as hipóteses e elaboram-se os indicadores que formarão base para interpretação final. Da escolha dos documentos segue determinadas regras como:

- (i) exaustividade, sugere-se esgotar todo o assunto sem omissão de nenhuma parte;
- (ii) representatividade, preocupa-se com amostras que representem o universo;
- (iii) homogeneidade, nesse caso os dados devem referir-se ao mesmo tema, serem coletados por meio de técnicas iguais e indivíduos semelhantes;
- (iv) pertinência, é necessário que os documentos sejam adaptados aos objetivos da pesquisa;
- e (v) exclusividade, um elemento não deve ser classificado em mais de uma categoria (SANTOS, 2012).

Esse contato inicial com os documentos, a chamada “leitura flutuante”, é a fase em que se estabelecem as hipóteses e os objetivos do estudo. Segundo Bardin (2011) apud Santos (2012), as hipóteses são explicações esperadas dos fenômenos observados, ou seja, alegações provisórias que podem ser comprovadas ou refutadas no final do estudo. Após realizar uma “leitura flutuante”, o autor recomenda a escolha de um índice organizado em indicadores.

Já na fase de análise do material, é hora de processar o material coletado na etapa anterior, convertendo-o em dados que podem ser analisados por codificação. O processo de codificação do material envolve a criação de códigos que podem ser usados para identificar rapidamente cada elemento de uma amostra de estudos (CARDOSO; OLIVEIRA; GHELLI, 2021).

A codificação corresponde à transformação dos dados brutos do texto através dos processos de decomposição, categorização, agrupamento e catalogação, que permitem alcançar uma representação do conteúdo ou sua expressão, o que tende a explicar ao analista as características do texto, podem atuar como índices (CARDOSO; OLIVEIRA; GHELLI, 2021).

No processo de análise do material estudado leva à catalogação e sistematização das propriedades de seus elementos. Como resultado do processo de descrição, um texto resumo é criado para cada categoria para expressar os significados presentes nas diferentes unidades de análise (CARDOSO; OLIVEIRA; GHELLI, 2021).

E a próxima fase consiste na interpretação dos dados, na qual o pesquisador

deve se referir ao referencial teórico para gerar análises significativas para a interpretação. Porque as interpretações inferenciais buscam o que se esconde por trás dos significados das palavras, para apresentar em profundidade o discurso das proposições (SANTOS, 2012).

Bardin (1977) apud (CARDOSO; OLIVEIRA; GHELLI, 2021) explica que a interpretação proposta pelo método da análise de conteúdo consiste em descobrir o sentido não explícito de um discurso aparente, geralmente simbólico e polissêmico, exigindo muita interpretação do analista.

Segundo Bardin (2011) apud (SANTOS, 2012) apresenta o computador, uma ferramenta tecnológica para análise profunda de dados. Segundo ela, um computador pode realizar tarefas que um ser humano às vezes não consegue.

Então essas são as três etapas de organização de análise dos dados, de forma resumida. Em seguida será detalhada um pouco, uma das técnicas de Análise de Conteúdo.

5.4.1 Análise de Categoria

Existem várias maneiras de analisar o conteúdo do material de pesquisa. Segundo Bardin (1977) apud Cardoso, Oliveira e Ghelli (2021), as técnicas de análise de conteúdo mais importantes são: Análise de categoria, Análise de discurso, Análise de avaliação, Análise de enunciação, Análise de expressão, Análise de relacionamento (fenômenos comuns e estruturais).

No entanto, a análise categórica é a base para descrever as principais etapas da análise de conteúdo, pois Bardin (1977) apud Cardoso, Oliveira e Ghelli (2021) afirma que é a mais antiga e mais utilizada na prática na série de técnicas de análise de conteúdo. A análise categórica funciona dividindo o texto em unidades (decomposição), que são então agrupadas em categorias e passadas pelo filtro de classificação e contagem de acordo com a frequência (ou falta) dessas unidades.

Inicialmente pode-se trabalhar com ideias de categorias prévias que podem vir a aparecer na análise dos dados. Foi pensado que as seguintes categorias poderiam aparecer como: temperatura, energia térmica, elétrons, ondas eletromagnéticas e circuitos elétricos. Mas também pode ser trabalhado sem nenhuma concepção prévia das categorias e extraí-las durante a análise dos dados.

Para criar e organizar categorias, deve-se levar em conta as seguintes regras:

- 1) devem existir regras claras de inclusão e exclusão nas categorias; 2) as categorias precisam ser mutuamente excludentes; 3) as categorias não podem ser muito amplas, sendo seu conteúdo homogêneo entre si; 4) as categorias devem contemplar todos conteúdos possíveis e "outro" precisa ser residual;

5) a classificação deve ser objetiva, não passível de ser codificada de forma diferente a depender a interpretação do analista (CARLOMAGNO; ROCHA, 2016).

Da primeira regra, deve haver regras formais, claras, objetivas e escritas (totalmente formalizadas, geralmente chamadas de “*codebook*” ou “dicionário”) para incluir e excluir determinados conteúdos nas classes criadas. Segundo Janis (1982) apud (CARLOMAGNO; ROCHA, 2016) a definição das regras em análise de conteúdo, determinam quais sinais devem ser classificados e em quais classes. Essas regras são, na verdade, regras semânticas para a linguagem de análise de comunicação.

Segundo (BARDIN, 1977), a segunda regra exige que cada elemento não possa estar em mais de uma seção. As classes devem ser construídas de modo que um objeto não tenha dois ou mais aspectos que possam fazer com que seja classificado em duas ou mais classes. Em certos casos esta regra pode ser questionada desde que o código seja adaptado para evitar ambiguidade durante cálculos (multicodificação).

Da terceira regra acima, segundo (BARDIN, 1977) O princípio da exclusão mútua depende da homogeneidade das categorias. Um princípio de classificação deve guiar sua organização. É possível trabalhar com apenas um registro e uma dimensão de análise no mesmo conjunto categórico. Diferentes níveis de análise devem ser separados em tantas análises consecutivas.

Segundo (CARLOMAGNO; ROCHA, 2016) a quarta regra sugere uma categoria extra que contemple conteúdos que não se encaixam nas que existem, sendo denominado de “outro”. Ele deve eventualmente ser usado em caso de necessidade. Caso apresente muitos conteúdos dispersos nessa categoria extra, possivelmente as categorias existentes não contemplam todos os conteúdos e tem na classificação do material em análise.

Da quinta regra, segundo (BARDIN, 1977) as diferentes partes do mesmo material submetidas à mesma grade categórica devem ser codificadas da mesma forma, mesmo que sejam analisadas várias vezes. Deturpações devido à subjetividade dos codificadores e variação nos julgamentos não ocorrem se a seleção e definição de categorias forem estabelecidas. O analisador deve definir claramente as variáveis que manipula, bem como definir os índices que determinam o acesso do elemento à classe.

Então a análise de conteúdo é uma excelente metodologia de análise de dados de comunicação, de emprego massivo nas Ciências Sociais, que corretamente empregado, consegue inferir aspectos essenciais sobre os objetos analisados. Mesmo que tenha inicialmente sido utilizado na comunicação social e utilizada continuamente, mas pode ser aplicado em outras áreas de estudo (CARLOMAGNO; ROCHA, 2016).

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS

Nesse capítulo serão analisados os dados coletados a partir dos instrumentos de avaliação aplicados. Foram usados os seguintes instrumentos: entrevista, respostas a perguntas abertas, gravação de vídeo, gravação de áudio e formulário *online* enviado o link via *Whatsapp*. Os trechos das comunicação verbal dos dicentes, coletados através desses instrumentos de coleta de dados, utilizados na análise são citados nesse capítulo com aspas e em itálico para melhor diferenciação das citações de referenciais teóricos.

6.1 Entrevistas dos discentes sobre o simulador Radiação do Corpo Negro

As entrevistas foram realizadas conforme o esquema do Apêndice A, com 15 alunos da turma. Foram feitas basicamente quatro perguntas sobre o aprendizado adquirido pelos alunos na interação com o simulador da Radiação do Corpo Negro. As entrevistas ocorreram nos primeiros encontros de realização de aplicação do produto educacional, no espaço do laboratório de informática de uma instituição de ensino da Rede Federal.

A primeira pergunta procurava verificar se os alunos tinham compreendido todos os recursos disponíveis no simulador. Dos 15 alunos, somente um discente afirmou não ter compreendido os recursos disponíveis pelo aplicativo devido à falta de compreensão das simbologias usadas em Física que foram usadas no simulador virtual.

Continuando a análise das perguntas, a segunda pergunta tinha seguinte enunciado: O que lhe remete à ideia de Radiação do Corpo Negro?. Três alunos não souberam dizer ou deram definições inconclusivas em relação a pergunta. Os demais alunos remeterem respostas que recorreram algumas palavras como, buraco negro, algo que representa perigo, um tipo de energia, tipos de radiação, um corpo massivo que emite radiação, que tinha a ver com temperatura e calor.

No caso da recorrência ao termo buraco negro, dois alunos associaram a radiação do corpo negro a esse tipo de corpo. Seria a radiação emitida ou absorvida pelo buraco negro, cujas radiações podem ser ultravioletas, visíveis e infravermelhas. Uma das falas desses alunos, A. G. C. D. diz:

"Radiação do corpo negro é quando buraco negro absorve a luz de modo que ela fique mais visível ou ela fique infravermelho vai ser menor no gráfico, ou ela vai fica visível ou vai ao ultravioleta."

Em relação a questão sobre perigo associado à radiação do corpo negro, dois alunos disseram que é algo perigoso, pois algumas radiações provocam queimaduras e doenças, que podem prejudicar o ser humano, o que requer um certo cuidado ao estudar na prática o fenômeno em questão. Além de agravar mais a associação da palavra radiação com corpo negro, pois um dos discentes entende que um corpo negro não deixa escapar nem a luz. Em uma das falas desses discentes, E. K. C. L. expressa que:

"bom como já tinha dito antes, só palavra radiação tá num numa frase já nos leva ao negócio ruim ou algo que possa prejudicar. Como muitos sabem a radiação não é um fator bom e englobando ele junto com o corpo negro, que é um corpo que até a luz não consegue escapar. Então não se forma nada é bom mas a junção né não é isso que eu remete a ideia de radiação."

Em questão de um corpo massivo que emite radiação, três alunos enfatizaram que são corpos que emitem radiação eletromagnética. Citando como exemplo, a Terra, a lâmpada, o sol e Sirius A, que são corpos que tem massa e emitem energia. Colaborando com esse pensamento, I. M. J. comenta que:

"a radiação do corpo negro eu eu assim pelo que eu consegui entender é que corpo negro seria todo objeto massivo e que eles ele emite uma energia. Nesse caso aqui em questão a gente vai ter ali a Terra, lâmpada, sol e a Estrela Sirius A e no caso o corpo negro vai ser basicamente isso o, um corpo que tem massa e que vai emitir energia e dependendo da energia que ele emiti vai ter um comprimento de onda diferenciada."

Em relação ao tipo de radiação e de energia, enquadrados em duas categorias conjuntas pois remetem a mesma ideia com a qual dois alunos responderam a segunda pergunta. A radiação do corpo negro conforme as categorias citadas seriam composições da radiação infravermelha, visível e ultravioleta. Uma das falas expressar isso, por C. W. A. S:

"radiação do corpo negro para mim vem em mente, como fosse uma espécie de energia. No caso né uma energia que se pode é ser dividido em 3 que é visível, ultravioleta e infravermelho."

Sobre a relação da radiação do corpo negro com temperatura ou calor, três alunos destacaram essa característica do fenômeno físico. Eles citaram que a radiação do corpo negro variava de acordo com a temperatura, de alguma forma ligada com a extensão da radiação do infravermelho ao ultravioleta. Contribuindo com essas ideias, vemos isso em uma das falas dos alunos, por M. E. C. S.:

"eu acho que viria a ideia de calor né, que ele que ele transmite seria basicamente isso. Porque um corpo de acordo com a temperatura que ele está ele já emite

uma certa radiação eletromagnética e aí é a radiação do corpo negro seria de acordo com isso, porque tem também tem a questão das luzes né, é temperatura emite a luz visível que vai mudando até a ultravioleta então seria basicamente isso."

Continuando a análise das perguntas, a terceira pergunta tinha o seguinte comando: O que você compreendeu do aplicativo em relação ao assunto ao qual se refere, Radiação do Corpo Negro?. Três alunos não conseguiram extrair de forma satisfatória as relações entre os recursos disponíveis do simulador virtual, pois só abordavam em parte a mudança de poucos parâmetros do aplicativo sem fazer conexão com as demais ferramentas do ambiente virtual. Conforme visto em uma das falas desses discentes, expresso por C. O. S.:

"bom, pelo pouco que o aplicativo mostra foi interessante aumentar e diminuir, a como é o o raio, não é, que tem temperatura. Não estou lembrando bem dos outros acho que não mais é isso, deu de compreender mais ou menos como funciona."

O restante dos alunos percebeu a relação entre a curva de radiação, o tipo de radiação emitida na máxima intensidade, cor específica relacionada com a intensidade máxima da radiação emitida, todos eles sendo proporcionais a mudança do cursor da Temperatura, tendo principais corpos a Terra, a Lâmpada, Sol e Sirius A como referências no ambiente virtual. Somente um aluno falou com mais detalhes todos os processos que ocorriam no simulador virtual, detalhando as mudanças que ocorriam devido a variação da temperatura. Conforme se vê abaixo, por M. R. V.:

"É no caso foi foi o que eu falei quanto maior, ali tem que uma Estrela né, tem o Sol, Lâmpada e a Terra. A gente por a seta no sol ali a curva vai ser um, a agente coloca na Terra ele tem que diminuir, se a gente por na Sirius A daí ele vai aumentar. Porque o que acontece é a Terra ela emite, ela transmite pouca radiação na verdade, a Terra está da atual ele mete nenhuma radiação, porque ela não tem luz própria é. E ao sol ele emite muita radiação e a Estrela Sirius A fica usar pelo fato dela ser uma Estrela mais nova que o nosso Sol, ela emite ainda mais radiação e ainda mais luz né e a gente consegue ter uma noção mais ou menos disso ali no gráfico, quando a gente mexe, em que altera ali o gráfico. Por exemplo seu o termômetro na Terra a curva ali curva do gráfico vai ficar bem bem baixa, ela vai ficar quase zero porque justamente porque pelo que eu falei não é a Terra ela não tem luz própria, ela não emite luz própria então a radiação que ela emite também vai ser pouco e também vai estar quase toda e aquela emitir né vai ser quase todo o espectro infravermelho, agora quando a gente põe por exemplo onde a seta na Sirius A vá o que acontece o gráfico é a Marcação da radiação ele sobe vai lá em cima fica muito alto. A gente fica muito muito alto né é e o que que a gente percebe pico de de radiação emitida por ele fica no espectro de luz azul. Esta é uma propriedade da onda eletromagnética é até da luz visível né mas ondas magnéticas de radiação em geral ela tem a propriedade que é ondas de

frequência na sequência não é ondas curtas né a ondas curtas é se a gente fosse se nós pudéssemos vê-la para a gente elas teriam uma cor mais próxima ao azuladas tem uma cor azul com as ondas longas é maior extensão né com maior aversão de onda elas estão voltada mais para os espectro vermelho e (...)."

Em relação a quarta pergunta sobre críticas e sugestões de melhorias no simulador virtual, dez alunos apresentaram sugestões ou dúvidas nesse momento final da entrevista. As dúvidas foram com relação às cores demonstradas no ambiente virtual e se a lâmpada poderia ser considerada um corpo negro, e a definição de um corpo negro. Conforme se vê nas falas a seguir:

"era a dúvida que eu tinha né era de o que realmente é o corpo negro, se pode ser tipo uma lâmpada pode ser considerado um corpo negro esse tipo de coisa (I. M. J.)."

"em relação às cores tudo azul, verde, vermelho, não entendo muito bem. Eu acho que vermelho é infravermelho a há eu não sei a da azul e a da verde, essa é a dúvida (K. E. B. P.)"

Dentre as sugestões foi proposta uma apresentação inicial dos recursos e funções do simulador virtual através de um vídeo ou manual de instrução. Mudanças no design do ambiente virtual através de um gráfico bem mais dimensionado, que fossem inseridas legendas dos tipos de radiações visíveis ou não, e também das radiações prejudiciais à saúde humana. Isso conforme extraído das falas abaixo:

"eu acho que a única coisa que falta né é mostrar basicamente se aquilo ali seria prejudicial ao ser humano né. Quanto até onde o corpo aguenta nessa questão dessa radiação não até um dia é prejudicial e até onde não é por ser humano acho que só isso que falta, mas em questão do conteúdo em si ele entrega muito bem e não deixa nenhuma dúvida do que é (C. W. A. S.)."

"eu acho que melhor melhoraria mais e assim antes do aplicativo tivesse um vídeozinho explicando mais ou menos o que que era cada coisa o que cada coisa faria. O como é que faz ok entendeu mas tipo manualzinho de instrução falando essa luz vermelha é isso porque geralmente assim a gente sabe né do terceiro ano, a gente já está ciente do que o que é, que o senhor já explicou para gente mas vamos pensar que um aluno do segundo ano os possa utilizar esse aplicativo, não é aquele aluno tem mais interesse, eu acho que seria muito melhor se tivesse um manual de instrução para que aquele aluno que já não tenha essa aula, porque essa aula já é um nível mais avançado pra ele poder saber o que que está fazendo (C. C. S.)."

"relação ao simulador achei bem interessante, bem explicativo. Também eu acho que poderia melhorar mais em relação a textura do gráfico quando a gente às vezes aumenta muito não dá de ver direito até onde o gráfico tá chegando la na tela do

computador (L. K. O. M.)."

"(...)eu acho que isso ajudaria bastante pessoas é assim eu tivesse ali alguma marcação dizendo né é luz visível aí, o resto é não é luz visível. Entendeu acho que deixaria mais intuitiva aplicação tipo licitasse mar mais ali mais na questão da paleta, das cores ali né por exemplo indicar que qual que é daqueles espectros ali eles estão na luz visível e quais que não estão, eu acho que deixa ver mais intuitivo né ele está mais fácil para compreender tá (M. R. V.)."

A seguir será visto análise dados obtidos através de respostas dos discentes a questões formuladas sobre a interação deles com o simulador Efeito fotoelétrico.

6.2 Respostas a questões subjetivas do simulador Efeito Fotoelétrico

Esse instrumento foi utilizado para captar o aprendizado que ocorreu após as interações dos discentes com simulador virtual efeito fotoelétrico. As questões formuladas estão detalhadas no apêndice B. A primeira questão tem o seguinte enunciado:

- Conforme o que você viu no simulador, o que é efeito fotoelétrico? Esquematize um desenho do efeito ocorrendo.

Em relação a primeira questão, a maioria dos alunos conceitualizou o efeito fotoelétrico como sendo emissão de elétrons de um material devido a incidência de ondas eletromagnéticas. Houve algumas variações como: o material ter que ser metálico, a onda eletromagnética tem que ter um tipo de frequência específica, a emissão de elétrons devido a presença da pilha. Logo abaixo, temos trechos de algumas respostas dos discentes:

"O efeito fotoelétrico é a emissão de eletrons de um determinado material, essa emissão ocorre de acordo com o tipo e frequência da radiação eletromagnética que ilumina tal material (V. F. S.)."

"O efeito foto elétrico é a liberação de elétrons por algum material geralmente metalico que é iluminado por radiações eletromagnética de frequência específica (C. W. A. S.)."

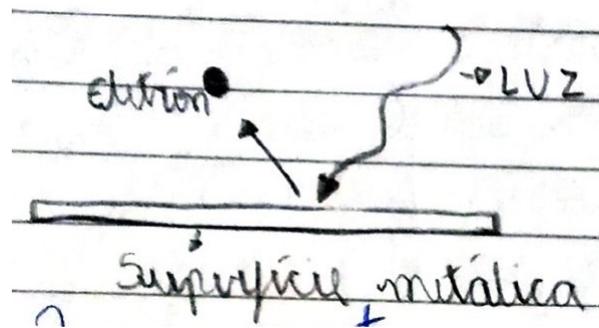
"O efeito foto eletrico demonstrado no simulador e a emissão (criação) de eletrons por meio da pilha (E. K. C. L.)."

"o efeito fotoeletrico consiste na sobrecarga de um material com luz, visível ou não, conforme a energia da luz incide no material, os eletrons do mesmo são agitados e 'expulsos', podendo assim gerar energia (I. M. J.)."

Do esquema apresentou-se dois modelos predominantes, com algumas variações entre os alunos. Sendo que modelo 1, figura 16, representa o esquema mais

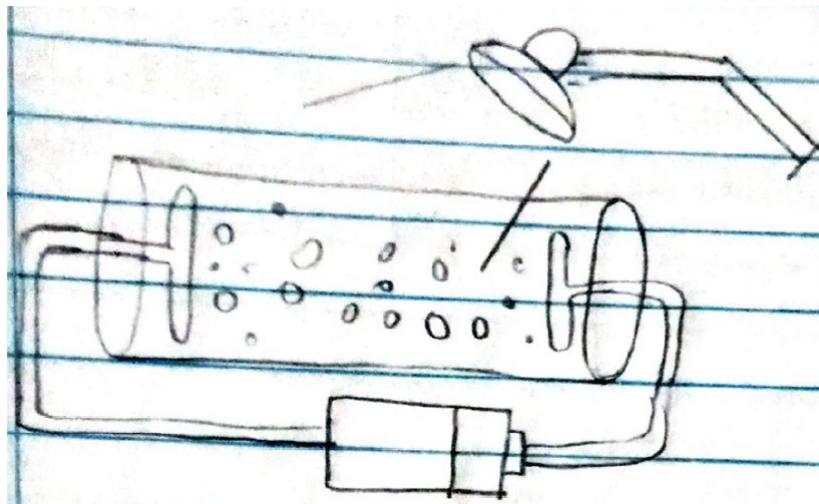
simplificado do efeito fotoelétrico ocorrendo com a luz incidindo em um material e o elétron saindo. Enquanto no modelo 2, fig. 17, temos uma representação mais completa do efeito fotoelétrico, com placas dentro de um ambiente fechado e transparente, fonte de luz, circuito elétrico simples.

Figura 16 – Modelo 1 do esquema Efeito Fotoelétrico



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Figura 17 – Modelo 2 do esquema Efeito Fotoelétrico



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

A segunda questão desse instrumento de coleta de dados, tem o seguinte enunciado:

- O que acontece com a emissão dos elétrons, quando muda os seguintes parâmetros:
 - a) O tipo de material (alvo)
 - b) Tensão da bateria

- c) A intensidade da luz
- d) A frequência da luz

Da segunda pergunta, letra a, sete discentes responderam que dependendo do material, será necessário mais ou menos energia para a reação ocorrer. Dependendo do material mais ou menos elétrons saem do material, seis alunos apontaram isso. E dois alunos disseram que vai afetar na intensidade e velocidade dos elétrons emitidos. Vemos nos trechos abaixo, os aspectos citados nesse parágrafo:

"Dependendo do material que é utilizado no simulado, será utilizado pouco ou muita energia para que possa ocorrer a reação (J. F. S.)."

"Aumenta ou diminui a velocidade da emissão de eletrons (V. F. S.)."

"A velocidade e a intensidade de emissão de elétrons pode aumentar ou diminuir de acordo com o material (M. R. V.)."

Em relação a letra b da segunda questão, de acordo com a tensão da bateria os elétrons são mais ou menos atraídos pela placa oposta, conforme quatorze discentes perceberem no simulador. Além desses, um aluno acrescentou mais em relação ao comentário dos demais colegas, pode também ser alterado a direção de movimento do elétron. Nos trechos abaixo, percebe-se os aspectos citados nesse parágrafo:

"De acordo com a tensão da bateria eletrons são mais ou menos atraídos (J. M. L. M.)."

"A tensão da bateria influencia diretamente na velocidade e na direção dos elétrons, podendo torná-las mais rápidos ou lentos, ou até mesmo alterar sua direção de movimento (M. R. V.)."

Em relação a mudança do parâmetro, que se trata a letra c da segunda pergunta, treze alunos afirmaram que de acordo com a intensidade da luz incidente, pode ocorrer maior energização do material. E mais dois discentes disseram que além disso, a quantidade de elétrons varia conforme a intensidade da luz incidente. Os trechos abaixo sintetizam as ideias apresentadas nesse parágrafo:

"Quanto mais intensa, há maior energização do material, conseqüentemente, maior geração de energia (M. E. C. S.)."

"Ao mudar a intensidade aumenta ou diminui a quantidade de eletrons emitidos (V. F. S.)."

E por fim a letra d, trata-se da frequência da luz, nove discentes comentaram que quanto menor a frequência da onda, maior é a energização. Outros dois alunos dizem que é o contrário da afirmação anterior. Três discentes afirmam que quanto menor a frequência menos potente é, e quanto maior a frequência mais potente ela é. E

um aluno diz que é a frequência que determina se os elétrons vão ser emitidos. Abaixo estão descritos alguns trechos das respostas que apresentam as ideias descritas nesse parágrafo:

"Quanto maior a frequência de ondas, mais fraca ela fica (H. R. S. C.)."

"Quanto maior a frequência de onda maior a energização, ondas muito longas não causam grande efeito (J. M. L. M.)."

"Maior onda menu pontente, quando meno a onda e mais pontente (L. F. M. S.)."

"O comprimento das ondas (frequência) da luz é o que determina se ela emitirá fótons ao ponto de ocasionar o movimento dos elétrons no sólido, ou não, sendo que: quanto maior o comprimento da onda (menor frequência) menores as chances do movimento dos elétrons, e vice-versa (M. R. V.)."

Então aqui, vemos a compreensão dos discentes após interagirem com o simulador efeito fotoelétrico, contando com a participação dos 15 alunos. Em seguida, continuaremos com análise dos dados referente a resoluções de questões que envolvem aplicações dos conceitos e procedimentos de resolução sobre Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

6.3 Resolução de Problemas à lápis e papel

Nesse momento consistiu na resolução de questões sobre Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, questões sobre cálculo de quantização da luz e outras um pouco mais aprofundada, como por exemplo questões de aspectos fáceis de livros didáticos do superior. Um aluno se habilitou a resolver duas questões aprofundadas, que será descrito a resolução feito por esse discente, através análise da gravação do vídeo explicação pelo aluno.

O aluno M.R.V. respondeu a terceira questão do Apêndice A do produto educacional, enunciada da seguinte forma:

- (EISBERG; RESNICK, 1979) A que comprimento de onda o corpo humano emite sua radiação térmica máxima? Apresente uma lista das hipóteses que você fez para chegar a esta resposta.

Para resolver essa questão, apresentou a seguinte resolução conforme a figura 18, primeiramente efetuou os seguintes passos:

1. Fez uso da lei de Wien;
2. Atribuiu um valor médio da temperatura humana e converteu de Celsius em Kelvin;

3. Substituiu o valor da temperatura na lei de Wien;
4. Procedeu as operações matemáticas;
5. Converteu potências de base 10 em prefixo de unidades de medida;
6. Finalizou as contas.

Assim ele pode verificar qual é o tipo de radiação com intensidade máxima em relação temperatura média adotada pelo discente. E com base nos resultados e pesquisa em internet, o aluno afirmou que a radiação eletromagnética é do tipo de radiação infravermelha.

Figura 18 – Resolução da questão 3 do Apêndice A do Produto Educacional

Handwritten student solution for Wien's Law problem:

$$\lambda_m = \frac{b}{T} = \lambda_m = \frac{2,898 \times 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}}{310 \text{ K}} = 0,009,34 \text{ m} \Rightarrow \lambda_m = 9,34 \mu\text{m}$$

$$\lambda_m = 9,34 \mu\text{m} \quad 10^{-34} \times 10^8 = 10^{-26} \quad \begin{matrix} -34 \\ +2 \\ -26 \end{matrix}$$

$$b = 2,898 \times 10^{-3}$$

$$T: 36^\circ\text{C} = 309,15 \text{ K} \approx 310 \text{ K}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

A outra pergunta foi referente ao Efeito Fotoelétrico, da questão 7 do apêndice A do produto educacional, enunciada da seguinte forma:

- (SERWAY; JEWETT, 2012) A função trabalho para o potássio é $2,24 \text{ eV}$. Se o metal potássio é iluminado com uma luz de 480 nm , encontre (a) a energia cinética máxima dos fotoelétrons e (b) o comprimento de onda de corte.

Para resolver essa questão, apresentou a seguinte resolução conforme a figura 19, primeiramente efetuou os seguintes passos para o cálculo da letra a:

1. Fez uso da fórmula do cálculo de energia quantizada;
2. Substituiu os valores e calculou a energia em Joule;
3. Converteu energia de joule para eV;
4. Usou parte da equação de Einstein do Efeito Fotoelétrico para o cálculo da Energia Máxima dos fotoelétrons;

5. Convertem potências de base 10 em prefixo de unidades de medida;
6. Finalizou as contas.

Para letra b, que pede o comprimento de onda de corte, ele efetuou os seguintes passos:

1. Usou parte da equação de Einstein do Efeito Fotoelétrico para o cálculo;
2. Convertem a função trabalho de eV em J;
3. Convertem energia de joule para eV;
4. Substituiu os valores na fórmula e efetuou as contas;
5. Andou com a vírgula para mudar o valor do expoente de base 10 no resultado final;
6. Convertem potências de base 10 em prefixo de unidades de medida.

Assim ele encontrou os valores da energia cinética máxima dos fotoelétrons e o comprimento de onda de corte do material potássio.

Figura 19 – Resolução da questão 7 do Apêndice A do Produto Educacional

(7º)

$$K = E - \phi \quad E = h \cdot c / \lambda = (6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \cdot (3,00 \times 10^8 \text{ m/s}) / (480 \times 10^{-9} \text{ m}) \rightarrow$$

$$E = 19,878 \times 10^{-26} = 4,14 \times 10^{-19} \text{ J} = 2,583 \text{ eV}$$

$$\phi = 2,24 \text{ eV}$$

$$\lambda = 480 \text{ nm}$$

$$E = 2,583 \text{ eV}$$

K : energia cinética, ϕ : função trabalho.

$$K = E - \phi \Rightarrow K = 2,583 - 2,24 \Rightarrow K = 0,343 \text{ eV}$$

Convertem ϕ de eV para J

$$W = 2,24 \text{ eV} \times 1,60 \times 10^{-19} \text{ J/eV} \Rightarrow W = 3,584 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\lambda_c = h \cdot c / W = (6,626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \cdot (3,00 \times 10^8 \text{ m/s}) / (3,584 \times 10^{-19} \text{ J}) = 5,54 \times 10^{-7} \text{ m}$$

$$\lambda_c = 554 \text{ nm}$$

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

O aluno disse que além dos materiais disponibilizados, consultou vídeos externos para aprofundar mais o conhecimento. Com isso verifica-se o processo de

aprendizado da parte procedimental dos cálculos da Lei de Wien, quantização da Energia, conversão de unidades de medida, Equação de Einstein para o efeito fotoelétrico e entre outros.

A seguir será feito a análise dos dados coletados através do áudio dos alunos, falando sobre temas complementares em relação aos assuntos tratados nesse trabalho acadêmico.

6.4 Apresentação de temática pelos discentes

Como forma de contextualizar os conhecimentos científicos, foi proposta leitura sobre temas que envolviam os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, que foram encontrados em livros didáticos presentes na instituição.

Os temas foram retirados de livros didáticos do Ensino Médio, de parte complementares aos conteúdos com as seguintes denominações: Pensando as Ciências: física e tecnologia; Física tem história; Física explica. E estão descritos no quadro 1.

Quadro 1 - Temas para leitura

Tema	Nome da seção complementar
Energia do Sol	Pensando as Ciências: física e tecnologia
Células fotoelétricas	Pensando as Ciências: física e tecnologia
Energia em pacotes	Física tem história
Células fotoelétricas	Física explica

Fonte: Livros didáticos (BONJORNO et al., 2016) e (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013).

Os alunos C.O.S., I.M.J., V.F.S. comentaram sobre o tema Energia em pacotes, eles citaram que esses pacotes de energia são chamados quantum, e o plural de quantum é quanta, hoje em dia chamada de fótons. O termo quantum é devido a Planck, isso usado para explicar o problema da Radiação do Corpo Negro. O pacote de energia está relacionado a absorção ou emissão de energia pela matéria não ser contínua, mas descontínua. Alguns trechos extraídos da fala desses alunos:

"ele lançou um novo conceito que viria a revolucionar o mundo da física microscópica, que era o conceito de quantum e de acordo com o Planck que a absorção ou a emissão de energia pela matéria não é contínua como previa a física clássica e sim descontínua (C. O. S.)."

"Na física Moderna então através dos estudos do do cara do do Planck a gente descobriu que tinha um quantum que seria essa unidade de radiação e quanta é o termo que a gente usa pro plural desse quantum (I. M. J.)."

"o conceito de quantização é esse esse termo quantização, ele vai indicar que o negro ela é transferida em pequenos pacotes. Daí é esses são pequenos pacote de quantidade de energia e dessa forma toda energia transferida de radiação térmica deve ser igual ao número inteiro desses pequenos pacotes de energia, é tais pacotes hoje em dia chamada de fótons né (V. F. S.)."

Eles disseram que Albert Einstein pegou o gancho da ideia de Planck e aplicou ao fenômeno do efeito fotoelétrico. E assim foi sugerido que a luz e as ondas eletromagnéticas tinham características tanto como onda como partículas. E seguindo essa mesma lógica, em 1913 Niels Bohr aplicou a ideia de quantização ao átomo de hidrogênio. Colaboram com ideais citadas aqui, os trechos selecionados abaixo:

"em 1913 físico dinamarquês Nierl Bohr né alguma coisa aplicou a teoria quântica para o átomo de hidrogênio (C. O. S.)."

"Einstein ele utilizou digamos assim pegou um gancho dessa explicação do do do Planck, para explicar o efeito fotoelétrico, para ir utilizou o fóton para definir esse quantum. No caso seria como se vários várias quantas fossem os fótons né enfim e é isso a teoria quântica foi aplicada ali no átomo de hidrogênio e é isso aí mesmo isso aí foi é todo possível revolução científica inacreditável (I. M. J.)."

"Albert Einstein sim acabou adotando essa ideia e com isso ele ele pôde explicar sucesso O Mecanismo por trás do efeito fotoelétrico. A explicação dada por ele é sugeriu que a luz e as demais ondas eletromagnéticas né tica, tinha capacidade de comportar portanto como onda quanto partículas, em quantidades definidas de energia (V. F. S.)."

O aluno C.W.A.S. falou sobre o tema Energia do Sol, a qual provém da reação de fusão nuclear entre dois elementos químicos, hidrogênio e hélio no interior do Sol, e essa energia se propaga até a Terra, através das ondas eletromagnéticas. Ele disse que é o principal recurso energético do ser humano, uma fonte renovável para geração de eletricidade e calor. E nos dias atuais é fonte de energia limpa através dos painéis fotovoltaicos. Logo abaixo temos um pequeno trecho da fala desse aluno:

"a energia do Sol energia que provém das reações da fusão nuclear entre os átomos de hidrogênio e hélio, essas reações ocorrem no núcleo da Estrela e a energia gerada é propagada pela convecção até a superfície solar. O tempo necessário para que o Sol fornecer a quantidade de energia é 1 ano pela humanidade, a energia do Sol se propaga pelo espaço em ondas eletromagnéticas até chegar a Terra sendo vital para nossa vida neste planeta além de uma fonte renovável para geração de eletricidade e calor, é o principal recurso energético do ser humano."

Os alunos H.R.S.C., J.M.L.M., L.F.M.S. e K.E.B.P., leram sobre um dos temas referente a Células fotoelétricas. O aluno H.R.S.C. falou sobre aplicação tecnológica do

efeito fotoelétrico "descoberto" por Einstein, essa aplicação ocorre com as células fotoelétricas. Elas podem ser usadas no acendimento automático de lâmpadas conectadas a esses sensores. Isso é expresso pela fala do aluno H. R. S. C.:

"as células fotoelétricas, bom as células fotoelétricas basicamente são células cujas elas são alteradas de acordo com a luz. No caso as células fotoelétricas elas vão ter o seu maior impacto justamente no efeito fotoelétrico, é feito Descoberto podemos dizer assim pelo grandíssimo gênio Albert Einstein. No qual o que que consiste essa teoria que foi concretizado no caso quando essas células foram são expostas à luz elas tentem a fazer com que o dispositivo nos faz elas estão é fique apagado e quando as células ao seu redor sentem que não têm luz o dispositivo ele acende."

Os demais alunos citaram a composição e funcionamento dessas células fotoelétricas. A composição das células fotoelétricas, conhecidas como fotovoltaica são compostas de células fotovoltaicas, esses são compostas de duas fatias de um material semicondutor como Silício. No qual o material semicondutor é dopado com adição de impurezas, sendo que em uma das fatias do Silício é dopado geralmente com fósforo, o qual acrescenta elétrons a essa fatia, formando uma camada tipo N e a outra fatia é dopada geralmente com boro, o que resulta em menos elétrons nessa fatia, formando uma camada tipo P. Temos isso exemplificado na fala do discente J. M. L. M.:

"cada célula fotovoltaica é basicamente um sanduíche feito de 2 fatias de materiais semicondutoras normalmente de Silício, é durante a fabricação o Silício é dopado e com outros materiais dando para cada uma fatia do material uma carga, uma carga elétrica no caso positivo ou negativo. Essa diferença de carga de diferentes polaridades da origem da origem a um campo eletromagnético quer essencial para o funcionamento de cada célula fotovoltaica, mais especificamente a fatia superior da célula é dopada com um elemento fósforo que adiciona elétrons extras ao material dando aquela camada uma carga negativa chamada se eu não me engano tipo n, já a fatia inferior da célula é dopada com elemento boro que resulta em menos elétrons no caso né de carga positiva chamada tipo p, essa diferença de polaridade dá origem a um campo elétrico na junção da camada de Silício."

Quanto ao funcionamento, essa diferença de polaridade gera um campo elétrico na célula. Essas células são sensíveis a luz, as quais excitadas pelos fótons da luz solar geram corrente elétrica que fluem entre as células e os condutores metálicos, assim podendo ser usado como fonte de eletricidade. Isso explicitado por trechos das falas de dois discentes:

"as células fotoelétricas, as células fotoelétricas ou fotos celulares são dispositivos cuja as suas características elétricas são alteradas pela incidência da luz ou do tipo

mais comum de 2 elementos elétricos separadas por um material semicondutor sensível à luz. É ao ser atingido por um feixe de luz feixe luminoso o elemento semicondutor determina entre os elétrons uma tensão elétrica, quanto maior for a intensidade do feixe luminoso é, maior será a tensão nesses terminais da célula. Né esse fenômeno chama-se efeito fotoelétrico foi descrito por Albert Einstein em 1905, o trabalho que lhe rendeu o prêmio Nobel da física em 1921 (L. F. M. S.)."

"a diferença dessa polaridade da origem ao campo elétrico na junção das camadas de Silício, no caso tem diferença de polaridade, ela dá origem né ao campo elétrico. Outros componentes dessa ou transformam os elétrons é excitados pelos fótons absorvidos na corrente elétrica e daí conseqüentemente em energia e os condutores metálicos sobre as células eles conectam uma célula a outra coletando os elétrons e transferindo para os cabos, assim os outros podem fluir como qualquer outra fonte de eletricidade (K. E. B. P.)."

O estudo desses temas, contando com a participação de oito dos quinze discentes, em tese ampliou a compreensão dos alunos em relação aos conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, para entende a construção histórica dos conceitos, seu uso na tecnologia e sua função social de benefícios para a humanidade, em especial o aspecto energético.

A seguir é apresentado os resultados da avaliação do projeto pelos discentes e também foi feito o levantamento da compreensão de aspectos dos assuntos por estes.

6.5 Avaliação do Projeto por parte dos discentes

Da avaliação do projeto sobre a aprendizagem dos conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, somente seis alunos deram retorno no questionário online, que se encontra no Apêndice C. Em relação à primeira pergunta, temos a opinião dos alunos expresso pelo gráfico da figura 20. Dos discentes que responderam, 3 consideraram excelente a aplicação do projeto/produto educacional com a turma deles, 2 bom e 1 regular.

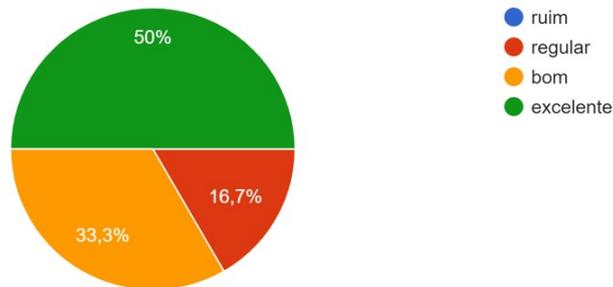
Em relação a opinião dos alunos expresso pelo gráfico da fig. 21, a segunda pergunta do questionário online, temos que 4 consideraram excelente a didática do professor executor da aplicação do produto educacional, do restante um julgou bom e outro regular.

A terceira pergunta tinha como intuito verificar a percepção dos discentes em relação a sua participação ativa na realização das atividades solicitadas para realização com êxito do produto educacional. Pelo gráfico da fig. 22, metade dos discentes julgaram excelente a sua participação ativa e outra metade bom.

A quarta pergunta do questionário tem como intuito verificar se os discentes

Figura 20 – Gráfico da 1ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes

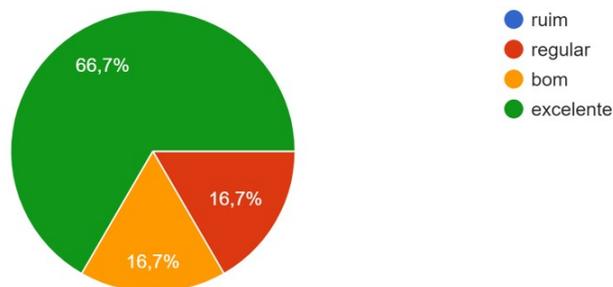
O que você achou da aplicação do Projeto/Produto Educacional para o aprendizado dos assuntos propostos, foi:
6 respostas



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Figura 21 – Gráfico da 2ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes

Como você avaliar, a dinâmica de Ensino do Professor executor do Projeto/Produto Educacional?
6 respostas



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

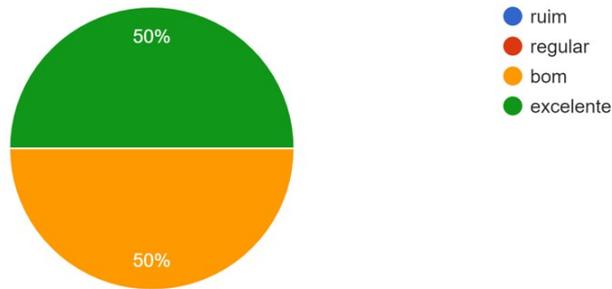
perceberam algum sentido e significado nos materiais didáticos e situações problemas disponibilizados para eles para o entendimento dos conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Pelo gráfico da fig. 23, 5 dos discentes consideraram excelente e 1 regular em relação aos conhecimentos que tinham antes.

No questionário online, além das quatro questões objetivas, foram formuladas outras questões subjetivas. A próxima pergunta tinha o seguinte comando:

- Houve semelhanças entre os materiais didáticos e situações-problema trabalhadas na aplicação do projeto/produto educacional? Explique com suas palavras como foi essas semelhanças.

Figura 22 – Gráfico da 3ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes

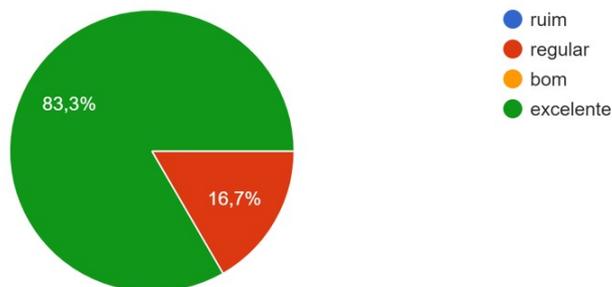
Como você avaliar, a sua participação ativa durante as atividades do Projeto/Produto Educacional?
6 respostas



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Figura 23 – Gráfico da 4ª pergunta do questionário de avaliação da aplicação do projeto pelos discentes

Como foi a significado e o sentido dos materiais didáticos e situações-problemas apresentadas para você, em relação ao que você já conhecia ant...a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico ?
6 respostas



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor

Em relação a essa pergunta, cinco discentes confirmaram que sim, alegando haver semelhança entre a parte teórica e prática, a parte teórica ser condizente com as situações-problemas e a semelhança entre os métodos e o que foi trabalhado no laboratório de informática. Um aluno não percebeu nenhuma semelhança entre os materiais didáticos e situações-problemas trabalhadas. A seguir trechos das respostas dos alunos:

"Sim, pois assim foi possível entender melhor o assunto (K. E. B. P)."

"Sim, era visível a aplicação da teoria na prática (I. M. J.)."

"A semelhança estava no método e no que foi trabalho nos laboratórios de informática do campus (C. W. A. S.)."

"Não me recordo de nenhuma semelhança entre os materiais didático e situações problemas (H. R. S. C.)."

"Sim houve alguma semelhança (L. F. M. S.)."

"A explicação dada em sala de aula foi condizente com com as situações-problema trabalhadas (M. R. V.)."

A sexta pergunta, tinha o seguinte enunciado:

- Houve diferenças entre os materiais didáticos e situações-problema trabalhadas na aplicação do projeto/produto educacional? Explique com suas palavras como foi essas diferenças.

Sobre diferenças entre os materiais didáticos trabalhados, todos disseram que não houveram. Mas dois alunos apontaram que a diferença foi quanto ao uso da metodologia, como por exemplo: o uso da aplicação da prática na teoria, o uso de simuladores e a demonstração de experimentos dos conceitos físicos. Logo abaixo, as respostas dos discentes:

"Não (K. E. B. P)."

"Nao (I. M. J.)."

"A diferença foi a aplicação pratica da teoria (C. W. A. S.)."

"Normalmente a forma didática de uma é com livros, mas os matérias que usamos foi o computador, especificamente um simulador para o projettanto sobre o corpo negro quanto no efeito fotoelétrico, também a amostra do efeito fotoelétrico demonstrado pelo professor. Não houve muita dificuldade em entender o projeto de uma forma geral (H. R. S. C.)."

"N (L. F. M. S.)."

"Não houveram diferenças (M. R. V.)."

As duas próximas perguntas como tem relação uma com a outra, será agrupadas juntas abaixo:

- Explique com suas palavras o que é Radiação do Corpo Negro e o Efeito Fotoelétrico para você?
- Se quiser, você pode falar mais sobre a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, contextualizar, sobre aplicações e outros fatores relacionados aos conceitos físicos citados pelo projeto. Expresse e represente a vontade.

Em relação à conceitualização dos assuntos da Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, os discentes responderam com suas próprias palavras. Cinco dos seis alunos conseguiram conceitualizar de forma satisfatória os conceitos físicos pedidos, enquanto que um aluno citou de maneira vaga que a radiação tinha várias formas e efeito fotoelétrico o lembra sobre ultravioleta, e que também que esse fenômeno físico depende da pessoa. E também destacou os dois fenômenos remeterem a algo perigoso. A seguir as respostas da sétima pergunta:

"efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material, geralmente metálico, quando exposto a uma radiação eletromagnética de frequência suficientemente alta, que depende do material, como por exemplo a radiação ultravioleta. Já a radiação do corpo negro é a radiação eletromagnética térmica dentro ou ao redor de um corpo em equilíbrio termodinâmico com seu ambiente, ou emitida por um corpo negro, um corpo hipotético (K. E. B. P.)."

"A radiação do corpo negro é a onda eletromagnética que um corpo hipotético emitiria de acordo com sua temperatura. Já o efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons por um material que é exposto a uma radiação eletromagnética que tenha frequência suficiente para energizar o corpo (I. M. J.)."

"A radiação do Corpo Negro é a radiação eletromagnética térmica dentro ou ao redor de um corpo em equilíbrio termodinâmico com seu ambiente, ou emitida por um corpo. Já o Efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons em um recipiente exposto à frequência de radiação eletromagnética, que ocorre por meio da transferência de energia dos fótons para os elétrons (C. W. A. S.)."

"A radiação do corpo negro aquecido, e a sua temperatura está associada à energia sintética dos átomos, a radiação do corpo negro também fala sobre o corpo negro ter um espectro específico e intensidade que depende apenas da temperatura do corpo. O efeito fotoelétrico foi uma invenção de Einstein, onde funciona da seguinte

forma. Como sua origem é quântica que consiste da emissão dos elétrons de algum material que seria iluminado por alguma radiação eletromagnética (H. R. S. C.)."

"Poder ser dizer que a radiação tem várias formas diferentes e a fotoelétrico tbm só depende da pessoa e no meu a radiação me lembro algo perigoso e fotoelétrico tbm mais me lembro a luz ultra violet (L. F. M. S.)."

"O efeito fotoelétrico é um fenômeno físico que ocorre quando um fóton incide em um elétron e ocasiona seu deslocamento. Já a Radiação do Corpo Negro é a radiação emitida por um corpo em função da temperatura ocasionada pela incidência de uma onda eletromagnética (M. R. V.)."

Um dos alunos que conceitualizaram os fenômenos físicos, enfatizou que foi importante o aprendizado pois ele percebeu que a radiação emitida dependia da temperatura do corpo aquecido e sobre o efeito fotoelétrico, verificou a emissão como dependente do material utilizado como alvo.

"Em relação ao efeito fotoelétrico eu achei interessante pois pôde perceber mudança de emissão dependendo do material utilizado e a radiação do corpo negro eu pode perceber que a radiação emitida dependiam da temperatura do corpo aquecido (C. W. A. S.)."

A nona pergunta tem o seguinte enunciado:

- Você consultou materiais didáticos diferentes dos apresentados pelo Projeto/Produto Educacional? Se sim, quais foram e por quê?

Em relação a consulta de materiais extras, além dos materiais didáticos disponibilizados, três alunos sinalizaram que fizeram uso externo para consulta devido a necessidade de se aprofundar mais na parte teórica dos assuntos. Um disse que não usou, e os outros dois não responderam a pergunta referente a isso.

"Sim, o Google e Wikipedia, para poder me aprofundar no assunto (I. M. J.)."

"Sim, consultei site na internet para melhor entendimento da teoria da física (C. W. A. S.)."

"N (L. F. M. S.)."

"Sim. Vídeo aulas, para aprofundar o assunto (M. R. V.)."

As últimas perguntas tem os seguintes enunciados:

- Faça elogios ou críticas ao Projeto/Produto Educacional:
- Faça sugestão de melhorias ao Projeto/Produto Educacional:

Em relação a elogios ou críticas ao projeto, quatro alunos elogiaram o projeto, um devido ao uso de ferramentas que mostravam os assuntos, em especial no caso dos simuladores. Em relação a sugestão de melhorias na aplicação do produto educacional, três alunos deram sua opinião, sugerindo mais aulas na prática, explicação prévia do assunto e a utilização de site e jogos que ensinem as teorias de Física. A seguir temos respostas dos alunos as últimas perguntas:

- Em relação a elogios ou críticas ao projeto:

"Achei bem trabalho e objetivo, com intuito de mostrar aos alunos através de ferramentas o que era o assunto em pauta e como entender melhor sobre ele (K. E. B. P)."

"Foi bom poder interagir com simuladores e analisar como os fenômenos estudados ocorriam (I. M. J)."

"Foi excelente (C. W. A. S.)."

"Foi um ótimo projeto n tenho críticas (L. F. M. S.)."

- Em relação a sugestão de melhorias na aplicação do produto educacional:

"Acredito que uma explicação prévia do assunto auxiliaria na adesão ao conteúdo (I. M. J)."

"Uma melhoria seria na utilização de site e jogos que ensinem as teorias da física (C. W. A. S.)."

"Queria mais aulas na prática (L. F. M. S.)."

A seguir será apresentado evidências de invariantes operatórios extraídos dos instrumentos de coleta de dados e das atividades realizadas.

6.6 Evidências de invariantes operatórios

Conceitos que perpassaram pela fala, pela escrita e outras formas de comunicação que foram registrados através dos instrumentos de coleta de dados, vieram a tornar, como por exemplo: buraco negro, radiação, energia, ondas eletromagnéticas e suas características, tipos de ondas eletromagnéticas, riscos a expor-se a radiação eletromagnética, massa, temperatura, calor, potência, elétrons, circuito elétrico simples.

Esses conceitos podem ser considerados como evidências de conceitos em ação, os quais estão sintetizado no quadro 2 para cada conteúdo específico.

Quadro 2 - Evidências de conceitos em ação

Radiação do Corpo Negro	Efeito Fotoelétrico
Buraco negro	Radiação
Radiação	Energia
Energia	Potência
Ondas eletromagnéticas e suas características	Elétrons
Massa	Circuito elétrico simples
Temperatura e Calor	

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor.

Esses assuntos se fizeram presentes nos primeiros encontros do produto educacional e até o final do processo. Então o domínio e a compreensão desses conceitos, dos aspectos declarativos e procedimentais, é essencial no processo de entendimento dos assuntos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Esses assuntos citados no quadro serviram como referência para determinar os conceitos gerais para serem abordado nas apresentações introdutórias aos conteúdos do trabalho.

Em relação ao uso desses conceitos em ação, temos abaixo alguns trechos de teorema em ação extraídos no momento da aplicação dos simuladores, obtidos através da entrevistas com os discentes individualmente sobre simulador I e respostas a questões do simulador II pelos mesmos. Através da análise das entrevistas, temos no quadro 3 algumas referências de teorema em ação sobre a Radiação do Corpo Negro, tendo como destaque a fala de dois discentes que associaram os conceitos como: Radiação e buraco negro estarem relacionados ao assunto com a algo que absorve toda luz que incide nesse tipo de corpo ou algo que oferece perigo.

Quadro 3 - Evidências de teoremas em ação da Radiação do Corpo Negro

Radiação do Corpo Negro
<i>"Radiação do corpo negro é quando buraco negro absorve a luz de modo que ela fique mais visível ou ela fique infravermelho vai ser menor no gráfico, ou ela vai fica visível ou vai ao ultravioleta (A.G.C.D.)."</i>
<i>"Bom como ja tinha dito antes só palavra radiação ta num numa frase ja nos leva ao negocio ruim ou algo que possa prejudicar como muitos sabem a radiação não e um fator bom e englobando ele junto com o corpo negro que e um corpo que ate a luz não consegue escapar então não se forma nada e bom mas a junção ne não e isso que eu remete a ideia de radiação (E.K.C.L.)."</i>

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor.

Em relação ao Efeito Fotoelétrico, o quadro 4 descreve alguns teoremas em ação correspondentes ao conteúdo, destacando assim trechos escritos por dois discentes como respostas ao entendimento sobre o assunto. Estes alunos associaram conceitos como: as características das ondas eletromagnéticas incidentes no material

ou a presença da pilha no circuito elétrico que compõem a experimentação virtual do efeito fotoelétrico, como fatores para emissão de elétrons, saindo de uma placa metálica em direção a outra do circuito.

Quadro 4 - Evidências de teoremas em ação do Efeito Fotoelétrico

Efeito Fotoelétrico
<i>"O efeito fotoelétrico é a emissão de elétrons de um determinado material, essa emissão ocorre de acordo com o tipo e frequência da radiação eletromagnética que ilumina tal material (V.F.S.)."</i>
<i>"O efeito foto elétrico demonstrado no simulador e a emissão (criação) de elétrons por meio da pilha (E.K.C.L.)."</i>

Fonte: Elaborado pelo próprio Autor.

Então pode se perceber a necessidade de aprimorar alguns conceitos em ação e contorna outros para que fosse possível que os discentes desenvolvessem os conteúdos físicos dentro do contexto do conhecimento científico. Mas observa-se também que em alguns discentes há uma persistência do conhecimento inicial, como por exemplo:

- Situação inicial do trabalho:

"Radiação do corpo negro me vem a mente (...) uma das formas que a visível aí também tem tem a parte por associava também era algo perigoso tipo pode provocar queimaduras é até mesmo doenças algo do tipo assim que é algo que tem que ser estudado com bem mais cuidado do que outras teorias (L.F.M.S.)."

"O que pode perceber pelo simulador, o Efeito fotoelétrico nada mais e do que emissão de Eletro por meio da pilha que ta transmitido os Eletros (L.F.M.S.)."

- Situação final do trabalho:

"Poder ser dizer que a radiação tem várias formas diferentes e a fotoelétrico tbm só depende da pessoa e no meu a radiação me lembro algo perigoso e fotoelétrico tbm mais me lembro a luz ultra violet (L. F. M. S.)."

Isso evidencia a afirmação de Vergnaud, que a aprendizagem de um campo conceitual de conhecimento do sujeito dá-se por um processo que leva um longo período de tempo, com fases de continuidade e descontinuidade, além de uma jornada com progressões e retornos, falhas e sucessos na conceitualização da realidade (MOREIRA, 2002).

Até aqui compreendeu-se a parte dos resultados desse trabalho, em seguida será discorrido sobre as considerações finais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nessa dissertação compreendeu-se o desenvolvimento de um trabalho sobre uma proposta de ensino potencialmente significativa sobre Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico nos moldes das UEPS. O produto educacional elaborado no trabalho foi implementado com discentes do 3º ano do curso técnico integrado ao Ensino Médio de uma Instituição de Ensino da Rede Federal, de um município do interior do estado do Pará.

Foi aplicado produto educacional durante o segundo semestre de 2022, no período de outubro a dezembro, com as seguintes etapas de execução: interação com simuladores virtuais, exposição pelo docente dos assuntos propostos, demonstração de experimentos de conceitos físicos, resolução de problemas à lápis e papel pelos discentes, estudo de temáticas relacionados a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

A realização da pesquisa exigiu um esforço de ações para concretizar ao mesmo tempo a coleta de dados e aplicação da sequência didática. Foram usados os seguintes instrumentos de coleta de dados durante a aplicação do produto educacional: entrevista, respostas a perguntas abertas, gravação de vídeo, gravação de áudio e formulário *online* enviado o link via *WhatsApp*. Esses instrumentos serviram como base de dados para inferência.

Nas primeiras coletas de dados a partir da aplicação dos simuladores, observou-se que os discentes fizeram uso de alguns conceitos nas definições de Radiação do Corpo Negro, como por exemplo: buraco negro, radiação, energia, ondas eletromagnéticas e suas características, tipos de ondas eletromagnéticas, riscos a expor-se a radiação eletromagnética, massa, temperatura e calor. E na conceitualização do Efeito Fotoelétrico, as seguintes palavras: radiação, energia, potência, elétrons e circuito elétrico simples.

Isso serviu como base para introdução dos conteúdos, considerando alguns conceitos como as partes mais gerais dos assuntos de estudos do trabalho, para poder assim seguir para as partes mais específicas. Enriquecendo no acréscimo a parte textual do Produto Educacional. Podemos assim dizer que esses conceitos gerais permeiam a mente dos alunos, sendo inferidos como conhecimentos prévios (ou no caso do TCC, invariantes operatórios). Que serviram como facilitadores para aprofundamento dos assuntos do Produto Educacional.

Em seguida, para aprimorar mais a parte da exposição dos conhecimentos específicos foi demonstrado dois experimentos, um envolvendo em tese a observação

de efeitos visuais do aquecimento de um resistor térmico e o outro o acendimento automático de lâmpada com uso do sensor fotoelétrico.

Para questão do fechamento da aplicação do Produto Educacional ficou a Resolução de problemas à lápis e papel e leitura de temas. No qual primeiro envolveu o uso de procedimentos para resolução de questões encontrados em livros didáticos. E o último envolveu leitura de temas ligados aos assuntos do trabalho, em geral trabalhando os aspectos histórico, econômico, social e aplicação tecnológica.

Então foi pensado e esquematizado inicialmente situações-problemas que pro-
vesse condições de explicitações dos invariantes operatórios (conhecimentos prévios). Em seguida foi trabalhado conceitos mais gerais para os mais específicos. E cada vez mais, no decorrer de tempo, aprofundando as complexidades das situações. E com intenção de abranger dos mais específicos para os mais gerais, foi feita a ampliação da contextualização, com a leitura de textos que envolvesse os assuntos do trabalho ligado aos aspectos histórico, econômico e social.

Esse trabalho se inseriu em um contexto de aplicação de uma proposta educacional. Indo de encontro ao que foi visto na Revisão bibliográfica, em que as mais recentes pesquisas na área de pesquisa de ensino em MQ/FMC apontam a necessidade de mais trabalhos acadêmicos e periódicos científicos voltados para os temas de aplicação de propostas didáticas em sala de aula e formação continuada de professores na área de MQ/FMC.

Espera-se que os resultados desse trabalho e outros dentro desse contexto sejam cada vez mais acessíveis e lidos pelos docentes, gerando assim bons impactos no Ensino de FMC/MQ em sala de aula. Uma perspectiva futura seria fazer uma análise mais aprofundada dos invariantes operatórios (conceitos em ação e teoremas em ação) e comparar com a literatura.

REFERÊNCIAS

- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.
- BASSALO, J. M. F. Sobre a lei de rayleigh-jeans. **Revista brasileira de ensino de Física**, v. 18, n. 1, p. 30–32, 1996. Disponível em: http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/v18_30.pdf. Acesso em: 4 mai. 2022.
- BONJORNO, J. R. et al. **Física: eletromagnetismo e física moderna**, 3º ano. 3. ed. Curitiba: FTD, 2016.
- BRASIL, M. **Base nacional comum curricular**. Brasília-DF: MEC, Secretaria de Educação Básica, 2017.
- CAMPELO, D. F. **Sequência de ensino investigativa para o estudo do efeito fotovoltaico em uma abordagem experimental na perspectiva da teoria de campos conceituais de Vergnaud**. 1-166 p. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física - MNPEF — Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sequencia-de-ensino-investigativa-para-o-estudo-do-efeito-fotovoltaico-em-uma-abordagem-experimental>. Acesso em: 22 set. 2021.
- CARDOSO, M. R. G.; OLIVEIRA, G. S. de; GHELLI, K. G. M. Análise de conteúdo: uma metodologia de pesquisa qualitativa. **Cadernos da FUCAMP**, v. 20, n. 43, 2021. Disponível em: <https://www.revistas.fucamp.edu.br/index.php/cadernos/article/view/2347/1443>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CARLOMAGNO, M. C.; ROCHA, L. C. da. Como criar e classificar categorias para fazer análise de conteúdo: uma questão metodológica. **Revista Eletrônica de Ciência Política**, v. 7, n. 1, 2016. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/politica/article/download/45771/28756>. Acesso em: 10 jan. 2023.
- CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna: origens clássicas e fundamentos quânticos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.
- CEDRAN, D. P.; KIOURANIS, N. M. M. Teoria dos campos conceituais: visitando seus principais fundamentos e perspectivas para o ensino de ciências. **ACTIO: Docência em Ciências**, v. 4, n. 1, p. 63–86, 2019. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/actio/article/view/7709>. Acesso em: 23 set. 2021.
- CLEMENT, L. et al. **Resolução de Problemas e o Ensino de Procedimentos e Atitudes em Aulas de Física**. 1-114 p. Dissertação (mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/26649>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- CUNHA, K. M. A.; FERREIRA, L. N. de A. A teoria dos campos conceituais e o ensino de ciências: Uma revisão. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 523–552, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/19358>. Acesso em: 12 out. 2021.

EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.

GAUR, A. et al. Michelson-morley experiment. **Encyclopædia Britannica**, 2010. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Michelson-Morley-experiment>. Acesso em: 4 mai. 2022.

GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 6, n. 1 (jan./abr. 2001), p. 29–56, 2001. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141218>. Acesso em: 2 fev. 2022.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física, 3º ano**. 1.ed. São Paulo: Ática, 2013.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

JEANS, J. A comparison between two theories of radiation. **Nature**, Nature Publishing Group UK London, v. 72, n. 1865, p. 293–294, 1905. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/072293d0>. Acesso em: 15 jun. 2022.

KELVIN, L. I. nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, Taylor & Francis, v. 2, n. 7, p. 1–40, 1901. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14786440109462664>. Acesso em: 16 mai. 2022.

MARQUES, T. C. de F. et al. Ensino de física moderna e contemporânea na última década: revisão sistemática de literatura. **Scientia Plena**, v. 15, n. 7, 2019. Disponível em: <https://www.scientiaplena.org.br/sp/article/view/4833>. Acesso em: 15 fev. 2022.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de verghnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7–29, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141212>. Acesso em: 17 nov. 2021.

MOREIRA, M. A. **UNIDADES DE ENSEÑANZA POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVAS-UEPS (Potentially Meaningful Teaching Units–PMTU)**, 2011. Disponível em: https://www.fbioyf.unr.edu.ar/evirtual/pluginfile.php/139072/mod_resource/content/1/Aprend%20Signif%20Org%20Prev%20Mapas%20Conc%20Diagr%20V%20y%20UEPS_texto.pdf#page67. Acesso em: 07 fev. 2023.

MOREIRA, M. A. O que é afinal Aprendizagem significativa? **Curriculum**, La Laguna, Espanha, 2012. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 17 fev. 2023.

NASA. Electromagnetic spectrum - introduction. **Administração Nacional Aeronáutica e Espacial (NASA)**, 2013. Disponível em: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html#:~:text=The%20Electromagnetic%20Spectrum,two%20types%20of%20electromagnetic%20radiation>. Acesso em: 13 jul. 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica** (vol. 4). 1ª. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23–48, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 16 mar. 2022.

PANTOJA, G. C. F.; MOREIRA, M. A.; HERSCOVITZ, V. E. Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de mecânica quântica no período de 1999 a 2009. **Revista brasileira de ensino de ciência e tecnologia**, Ponta Grossa, v. 4, n. 3 (set./dez. 2011), p. 1–34, 2011. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/rbect/article/view/976>. Acesso em: 16 fev. 2022.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea: uma revisão da produção acadêmica recente. **Investigações em ensino de Ciências**, v. 14, n. 3, p. 393–420, 2016. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/349>. Acesso em: 23 fev. 2022.

PERKINS, K. et al. Espectro de corpo negro. **Phet Interactive Simulations**, 2022. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum. Acesso em: 10 set. 2022.

ROCHA, C. R.; HERSCOVITZ, V. E.; MOREIRA, M. A. Uma revisão da literatura em publicações de 2010 a 2016 sobre o ensino de conceitos fundamentais de mecânica quântica. **Latin-American Journal of Physics Education**, Instituto Politécnico Nacional, v. 12, n. 1, p. 6, 2018. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6556285>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SANTOS, F. M. dos. Análise de conteúdo: a visão de laurence bardin. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 6, n. 1, p. 383–387, 2012. Disponível em: <https://www.reveduc.ufscar.br/index.php/reveduc/article/view/291>. Acesso em: 15 mar. 2023.

SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de lord kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 509–512, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rsCBz6n6nTMPwHggqXJzBZ5h/>. Acesso em: 25 mai. 2022.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios de Física Vol. 4: Ótica e física moderna**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SILVA, A. C. da; ALMEIDA, M. J. P. M. de. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 28, n. 3, p. 624–652, 2011. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/22296>. Acesso em: 12 abr. 2022.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna**. Terceira edição-traduzido para o português. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.

VERGNAUD, G. A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. **Addition and subtraction**, Routledge, p. 39–59, 1982. Disponível em:

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9781003046585-4/classification-cognitive-tasks-operations-thought-involved-addition-subtraction-problems-g%C3%A9rard-vergnaud>. Acesso em: 17 jan. 2022.

VERGNAUD, G. **A criança, a matemática e a realidade**: problemas do ensino da matemática na escola elementar. Edição revisada. Curitiba: UFPR, 2011.

VERGNAUD, G. ¿ En qué sentido la teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? **Investigações em ensino de ciências**, v. 12, n. 2, p. 285–302, 2007. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/475/0>. Acesso em: 25 jan. 2022.

VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. **The Journal of Mathematical Behavior**, Elsevier, v. 17, n. 2, p. 167–181, 1998. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0364021399800573>. Acesso em: 23 jan. 2022.

VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. **Perspectivas: Revista trimestral de educación comparada**, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, n. 1, p. 195–207, 1996. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/revista?codigo=2293>. Acesso em: 22 jan. 2022.

VERGNAUD, G. Cognitive and developmental psychology and research in mathematics education: Some theoretical and methodological issues. **For the learning of mathematics**, JSTOR, v. 3, n. 2, p. 31–41, 1982. Disponível em: https://www.jstor.org/stable/40248130?casa_token=aRfpxp9bgUgAAAAA:CSYGE5sozTMz7rAiNQVemzOp857pMEtCUVSa5_-9w3xn0CspYXayU6VFzJKLs-vRa2TfKncJLloftUOMTyhw9469QNucpYyhr37s6YReOWlo8pzL0. Acesso em: 19 jan. 2022.

VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. **Recherches em didactique de mathématiques**, v. 10, n. 23, p. 133–170, 1990. Disponível em: https://gerardvergnaud.files.wordpress.com/2021/09/gvergnaud_1990_theorie-champs-conceptuels_recherche-didactique-mathematiques-10-2-3.pdf. Acesso em: 21 jan. 2022.

VERGNAUD, G. Pourquoi la théorie des champs conceptuels? **Infancia y aprendizaje**, Taylor & Francis, v. 36, n. 2, p. 131–161, 2013. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1174/021037013806196283>. Acesso em: 27 jan. 2022.

WIEMAN, C. et al. Efeito fotoelétrico. **Phet Interactive Simulations**, 2022. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric. Acesso em: 10 set. 2022.

APÊNDICES

APÊNDICE A - ENTREVISTA COM OS ALUNOS

A entrevista ocorreu de forma individual, e ela foi registrada através de um aplicativo de gravação de um celular. Perguntas que nortearam a entrevista sobre a interação dos alunos com o primeiro simulador, Radiação do Corpo Negro, do site Phet Colorado:

- 1) Você compreendeu bem todos os recursos disponíveis do aplicativo?
- 2) O que lhe remete à ideia de Radiação do Corpo Negro?
- 3) O que você compreendeu do aplicativo em relação ao assunto ao qual se refere, Radiação do Corpo Negro?
- 4) Críticas ou sugestões de melhorias no uso ou no entendimento do aplicativo.

APÊNDICE B - ATIVIDADE DE RESPONDER QUESTÕES SOBRE SIMULADOR II

Depois de um tempo destinado de interação dos alunos com o simulador Efeito Fotoelétrico, foram formuladas questões para extrair a interpretação dos alunos sobre o funcionamento desse simulador e os conceitos explicitados nele. As perguntas propostas foram:

- 1) Conforme o que você viu no simulador, o que é efeito fotoelétrico? Esquematize um desenho do efeito ocorrendo.
- 2) O que acontece com a emissão dos elétrons, quando muda os seguintes parâmetros:
 - a) O tipo de material (alvo)
 - b) Tensão da bateria
 - c) A intensidade da luz
 - d) A frequência da luz

**APÊNDICE C - QUESTIONÁRIO ONLINE DE AVALIAÇÃO DE APLICAÇÃO DO
PROJETO EXECUTADO**

Avaliação sobre o Projeto de Dissertação/Produto Educacional: " **Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa em Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico**", aplicado em sala de aula.

Prezado discente!

Este formulário tem como intuito de verificar se o Projeto de Dissertação/Produto Educacional contribuiu no seu aprendizado sobre os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Conforme a sua percepção responda o questionário!

Prof. Haylan Cleiton Monteles de Sousa
Mestrando do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF 2020
UFOPA Campus Santarém

Orientadores: Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja

Prof.
Dr. Wagner Pinheiro Pires

***Obrigatório**

1. Seu nome completo: *

2. Seu e-mail:

Questões objetivas

3. O que você achou da aplicação do Projeto/Produto Educacional para o aprendizado dos assuntos propostos, foi: *

Marcar apenas uma oval.

- ruim
- regular
- bom
- excelente

4. Como você avaliar, a dinâmica de Ensino do Professor executor do Projeto/Produto Educacional? *

Marcar apenas uma oval.

- ruim
- regular
- bom
- excelente

5. Como você avaliar, a sua participação ativa durante as atividades do Projeto/Produto Educacional? *

Marcar apenas uma oval.

- ruim
- regular
- bom
- excelente

6. Como foi a significado e o sentido dos materiais didáticos e situações-problemas apresentadas para você, em relação ao que você já conhecia antes da aplicação do projeto/produto educacional, no caso para o entendimento da Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico ? *

Marcar apenas uma oval.

- ruim
- regular
- bom
- excelente

Questões subjetivas (obrigatórias)

7. Houve semelhanças entre os materiais didáticos e situações-problema trabalhadas na aplicação do projeto/produto educacional? Explique com suas palavras como foi essas semelhanças. *

8. Houve diferenças entre os materiais didáticos e situações-problema trabalhadas na aplicação do projeto/produto educacional? Explique com suas palavras como foi essas diferenças. *

9. Explique com suas palavras o que é Radiação do Corpo Negro e o Efeito Fotoelétrico para você? *

Questões subjetivas (optativas)

Aqui você pode fala a vontade !

10. Se quiser, você pode fala mais sobre a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, contextualizar, sobre aplicações e outros fatores relacionados aos conceitos físicos citados pelo projeto. Expresse e represente a vontade.

11. Você consultou materiais didáticos diferentes dos apresentados pelo Projeto/Produto Educacional? Se sim, quais foram e por quê?

12. **Faça elogios ou críticas** ao Projeto/Produto Educacional:

13. **Faça sugestão de melhorias** ao Projeto/Produto Educacional:

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários



Universidade Federal do Oeste do Pará
 **MNPEF** Mestrado Nacional
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA Profissional em
Ensino de Física

PRODUTO EDUCACIONAL

PROPOSTA DE UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA EM RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO

AUTOR: Haylan Cleiton Monteles de Sousa
ORIENTADOR: Prof. Dr. Glauco Cohen Ferreira Pantoja
COORDENADOR: Prof. Dr. Wagner Pinheiro Pires

SANTARÉM - PA

2022

APRESENTAÇÃO

Olá Caro Professor,

Nesse trabalho é proposta uma sequência didática, poderá ajudá-lo a desenvolver atividades didáticas referentes aos assuntos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. O referido material é produto educacional referente à conclusão de dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF - Polo 49 - UFOPA, intitulada: “Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa em Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico”.

Este material consiste em um planejamento de dez aulas de cinquenta minutos para trabalhar os assuntos: Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico com turmas do terceiro ano do Ensino Médio, que podem ser inseridas no cronograma dos conteúdos da disciplina de Física.

A metodologia aplicada para o desenvolvimento das aulas foi a partir da construção de uma Sequência Didática com base em Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS, que teve como propósito analisar o desenvolvimento do processo de ensino aprendizagem em sala de aula, alinhada a uma abordagem conceitual adequada à Teoria dos Campos Conceituais desenvolvida pelo psicólogo francês Gérard Vergnaud (1933).

Assim, todo o produto educacional contém um conjunto de situações que são distribuídas em cinco encontros em sala de aula ou contexto similar, potencialmente favoráveis ao desenvolvimento dos conceitos e dos campos conceituais do tema em questão. Essas situações pedagógicas são divididas em:

- Interação com Simuladores Virtuais;
- Exposição pelo docente dos assuntos propostos;
- Demonstração de experimentos dos conceitos físicos;
- Resolução de Problemas à lápis e papel pelos discentes;

- Estudo de temáticas relacionados a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

Todo material que constitui esse produto foi elaborado com o propósito de motivar e enriquecer as aulas dos professores do Ensino Médio, sobre a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, que são conteúdos introdutórios da Mecânica Quântica muito importantes, e com pouco recurso pedagógico acessível, principalmente para alunos de escolas públicas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – Espectro eletromagnético do maior comprimento de onda, no topo, ao menor, embaixo. Também estão ilustrados alguns exemplos de aplicações tecnológicas modernas de cada um dos tipos de radiação.	13
FIGURA 2 – O interferômetro de Michelson, peça central do experimento de Michelson-Morley.	14
FIGURA 3 – Reflexão da Radiação Vísivel Incidente	16
FIGURA 4 – Objetos com altas temperaturas emitem radiação vísivel	17
FIGURA 5 – Gráfico da radiação emitida por um corpo aquecido	17
FIGURA 6 – Esquema do Efeito Fotoelétrico	19
FIGURA 7 – Potencial de corte versus Frequência de luz incidente	21
FIGURA 8 – Espectro Eletromagnético modelo 2	22
FIGURA 9 – Espectro Eletromagnético modelo 3	23
FIGURA 10 – Simulador virtual da Radiação do Corpo Negro	25
FIGURA 11 – Simulador virtual do Efeito Fotoelétrico	26
FIGURA 12 – Experimento de Radiação do Corpo Negro	28
FIGURA 13 – Esquema de Ligação do Sensor Fotoelétrico	29

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Funções trabalho de algumas substâncias	20
--	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	7
1.1	SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS	7
1.2	OBJETIVOS	7
2	O PAPEL DO PROFESSOR NA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS	8
3	CONTEÚDOS DE FÍSICA	10
3.1	CONCEITOS GERAIS	10
3.2	CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS	10
3.2.1	A Radiação do Corpo Negro	15
3.2.2	Efeito Fotoelétrico	18
3.2.3	Aspectos quantitativos dos conceitos específicos	21
3.2.3.1	Exemplos	22
3.2.3.2	Exercícios	23
4	SEQUÊNCIA DIDÁTICA	24
4.1	DETALHAMENTO DE CADA ENCONTRO DO PRODUTO EDUCACIONAL	25
4.1.1	Interação com simuladores virtuais	25
4.1.2	Exposição oral sobre a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico	26
4.1.3	Demonstração de experimentos dos conceitos físicos	27
4.1.3.1	Experimento de Radiação do Corpo Negro	27
4.1.3.2	Experimento do Efeito Fotoelétrico	28
4.1.4	Resolução de Problemas à lápis e papel	29
4.1.5	Temas envolvendo Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico	29
4.2	AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA	30
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
	REFERÊNCIAS	32
APÊNDICE A	QUESTÕES RESOLVIDAS SOBRE RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO	34
A.1	FORMULAS BASES DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO	34
A.1.1	Exemplos	34

A.1.2	Exercícios	36
A.2	FORMULAS BASES DO EFEITO FOTOELÉTRICO	38
A.2.1	Exemplos	38
A.2.2	Exercícios	39

1 INTRODUÇÃO

Antes de se falar das etapas da sequência didática, tem-se que levar em conta que nem sempre os alunos estão sujeitos a mesma motivação; atribuir notas a uma atividade pode gerar o processo de “participação por ponto”, uma resposta natural por conta de estímulo “nota” introduzido no processo. É necessário que o professor comece a trabalhar aspectos que vão além do processo quantitativo ou mesmo da pura recompensa pelo trabalho.

1.1 SEQUÊNCIAS DIDÁTICAS

Este Produto Educacional encontra-se organizado a partir da integração de material textual, lista de exercícios, simuladores virtuais, e trabalhos em equipe, com desenvolvimentos teóricos na forma de uma Sequência Didática, procurando configurá-lo metodologicamente, como o mais relevante possível, para o desenvolvimento e construção de conceitos e de situações-problemas no campo de ensino da Física, oportunizando um espaço importante para interação esquema-situação do sujeito aprendente e visando contribuir de forma significativa para a efetivação da aprendizagem.

1.2 OBJETIVOS

Propor uma sequência didática significativa para o ensino da Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, relacionando a interação do sujeito aprendente com situações-problemas. Esse objetivo pode ser especificado por:

- Aplicar conceitos e situações-problemas relacionando-os com o conhecimento físico;
- Utilizar representações linguísticas e simbólicas pra compreensão, domínio e resolução de modelos físicos;
- Prover condições para explicitação de conhecimentos-em-ação dos discentes;
- Aproximar a forma operatória e predicativa do conhecimento dos discentes ao do conhecimento científico;
- Desenvolver a colaboração e a participação dos alunos em cada etapa da atividade.

2 O PAPEL DO PROFESSOR NA TEORIA DOS CAMPOS CONCEITUAIS

O pesquisador Gérard Vergnaud é o autor da Teoria dos Campos Conceituais, foi diretor de pesquisa do Centro Nacional de Pesquisa Científica (CNRS) na França. Ele foi discípulo de Piaget, baseado nas ideias de seu mestre, adaptou sua contribuição em compreender o processo de desenvolvimento cognitivo do sujeito em situação (MOREIRA, 2002).

A TCC baseia-se no fato de que o desenvolvimento cognitivo depende do domínio de situações e problemas, cujo rigor é inerente ao uso de conceitos, procedimentos, relações e representações. A fundamentação do TCC pelo Vergnaud se baseou em três argumentos:

I) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações; II) uma situação não se analisa com um só conceito; III) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes (MOREIRA, 2002).

Uma das funções do professor dentro desse contexto teórico é proporcionar situações frutíferas e variadas para que os alunos possam desenvolver seus esquemas. Esse conceito advém da teoria de Piaget, durante a atividade na vivência de situações. Presente nessa interação entre o sujeito e a situação-problema, devemos considerar o conhecimento prévio do aluno para que assim possamos recomendar situações adequadas ao nível cognitivo do aprendente. Isso porque Vergnaud, em sua teoria da TCC, leva em consideração a contribuição de Vygotsky sobre a Zona de desenvolvimento proximal - ZDP, no momento da interação do sujeito com a situação. O professor precisa desestabilizar o aluno considerando essa ZDP, para que o aluno não fique entediado ou desanimado com as facilidades ou dificuldades extremas oferecidas pelas situações problemáticas.

Observa-se também que na troca de conhecimento entre professor e alunos, o que os alunos sabem sofrem modificações lentas nessa relação, que até certo ponto podem chegar a ser composto de uma mistura de conhecimentos alternativos e científicos. E nesse ponto, eles podem usar de forma alternada conhecimentos alternativos ou científicos na resolução de situações-problemas. Deve-se, assim que possível, levar os alunos a usarem ou priorizarem o uso do conhecimento científico dentro do espaço acadêmico e de suas áreas de atuação.

Então o domínio do conhecimento científico perpassa pelo uso da linguagem, pois através dela expressamos os pensamentos, ideias e entendimento de determinados conteúdos. Tanto o professor quanto o aluno usam a linguagem para compartilhar significados um com o outro. Também o professor deve demonstrar um uso versátil das representações do conhecimento científico, desde a linguagem natural até o formalismo rigoroso exigido pela situação. Pois quando apresentados aos alunos pelo docente, oferecem-lhes opções de ferramentas que variam do mínimo ao máximo de eficiência e eficácia na resolução de situações-problemas (MOREIRA, 2002).

Então o uso de situações-problemas, da linguagem e representações diversificadas presentes em uma determinada área do conhecimento científico traz implicações para o desenvolvimento cognitivo do discente, pois o mesmo vai enriquecendo de forma progressiva esquemas e representações conforme vai dominando novas situações. E assim o sujeito começa a ter base para explicitar os conhecimentos implícitos na ação através do uso da linguagem e representações simbólicas, em colaboração aos que já são expressas naturalmente de forma predicativa por este.

3 CONTEÚDOS DE FÍSICA

Para o Ensino Médio, essa parte conceitual foi desenvolvida de forma a abordar de maneira atraente aos alunos desse nível, fazendo assim que na medida do possível a transposição didática dos conhecimentos científicos encontrados em artigos, livros didáticos e outros materiais. Partiremos da parte mais geral para a mais específica dos conteúdos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, dando prosseguimento com resoluções de exercícios.

3.1 CONCEITOS GERAIS

Tendo como recorrentes conceitos gerais presentes nos conteúdos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, como Energia, Conservação de Energia, Potência, Ondas eletromagnéticas, Espectro eletromagnético, Calor e Temperatura. Em seguida será detalhado cada conceito geral, sendo que o quadro 1 defini os três primeiros conceitos citados e o quadro 2 explica os últimos citados.

3.2 CONHECIMENTOS ESPECÍFICOS

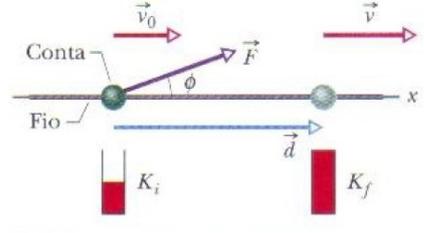
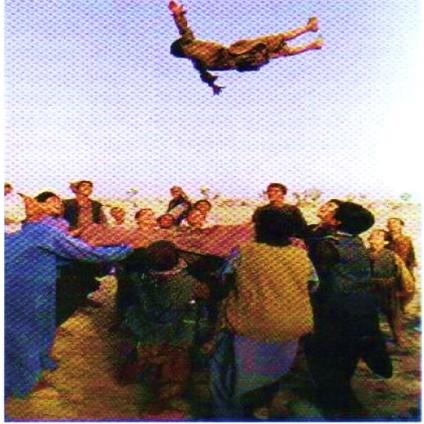
Até o fim do século XIX, acreditava-se que já se sabia de tudo sobre os conhecimentos científicos específicos da Física. Em seu famoso artigo de 1901, Lord Kelvin diz que (SCHULZ, 2007):

A beleza e clareza da teoria dinâmica, que coloca calor e luz como modos de movimento, está presentemente obscurecida por duas nuvens. I. A primeira apareceu com a teoria ondulatória da luz, desenvolvida por Fresnel e o Dr. Thomas Young: envolvendo a questão de como pode a Terra mover-se através de um sólido elástico, como o é essencialmente o éter luminífero? II. A segunda é a doutrina de Maxwell-Boltzmann sobre a equipartição de energia. (KELVIN, 1901)

Os dois problemas citados por Lord Kelvin, e discutidos em pormenores no seu artigo de 1901, encontraram suas soluções pouco tempo depois com os adventos da Teoria da Relatividade Einsteiniana e da Mecânica Quântica, respectivamente. O nosso intuito neste trabalho é focar na Mecânica Quântica. Mas antes de adentrar no tema, vamos falar um pouco sobre como ocorreu o surgimento da Teoria da Relatividade de Einstein.

No final do século XIX, as pesquisas do físico e matemático escocês James Clerk Maxwell (1831-1879) deram uma contribuição decisiva para o estudo das ondas eletromagnéticas. Uma das grandes conclusões de Maxwell foi que a radiação luminosa

Quadro 1 – Conceitos Gerais 1

Conceito	Definição	Imagem
Energia	<p>Uma quantidade escalar associada a um ou mais estados de um objeto. Então é um número que associamos a um sistema de um ou mais objetos. Quando uma força afeta um objeto, por exemplo, faz com que ele se mova, o número que descreve a energia do sistema muda de valor. A unidade de medida: $1 \text{ joule} = 1 \text{ J} = 1 \text{ kg.m}^2 / \text{s}^2$.</p>	 <p>Uma força constante \vec{F}, que faz um ângulo ϕ com o deslocamento d de uma conta em um fio, acelera a conta ao longo do fio fazendo sua velocidade mudar de \vec{v}_0 para \vec{v}. Um “medidor de energia cinética” indica a variação resultante da energia cinética da conta do valor K_i para o valor K_f.</p>
Conservação de energia	<p>A energia pode mudar de forma e passar de um objeto para outro, mas a quantidade total de energia permanece a mesma.</p>	 <p>Durante a subida da pessoa que aparece na fotografia a energia é transferida da energia cinética para energia potencial gravitacional. A altura máxima é atingida quando a transferência se completa. Durante a queda a transferência ocorre no sentido inverso. (© AP/Wide World Photos)</p>
Potência	<p>É a taxa temporal de transferência de energia de um sistema. Unidade de medida: $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} = 1 \text{ kg.m}^2 / \text{s}^3$.</p>	 <p>A potência desenvolvida pela força aplicada à carga pela picape é igual à taxa com a qual a força realiza trabalho sobre a carga. (REGLAIN FREDERIC/Gamma-Press, Inc.)</p>

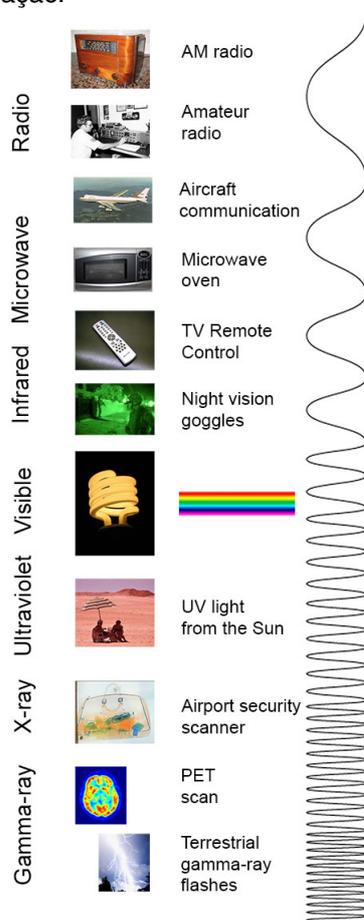
Fonte: Livros didáticos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2008).

Quadro 2 – Conceitos Gerais 2

Conceito	Definição	Imagem
Ondas eletromagnéticas	São propagações de campos elétricos e magnéticos mutáveis no espaço. Elas se propagam tanto no vácuo quanto no meio material.	<p>Propagação de uma onda eletromagnética no espaço.</p>
Espectro eletromagnético	É a distribuição das ondas eletromagnéticas visíveis e invisíveis de acordo com a frequência e o comprimento de onda característico de cada radiação.	
Calor	É a energia em transição do ambiente para um sistema ou vice-versa, em virtude de uma diferença de temperatura entre esses dois meios.	<p>Q representa o Calor, a energia em trânsito entre o sistema e o ambiente, devido a diferença de temperatura entre esses dois meios. Cada situação representa o sentido da troca de energia, dependendo da comparação entre as temperaturas T_s (temperatura do sistema) e T_a (temperatura do ambiente).</p>
Temperatura	É uma grandez física que está relacionada à nossa percepção de frio e quente. É medido com um termômetro, um instrumento que contém uma substância que possui uma propriedade mensurável, como comprimento ou pressão, que muda regularmente à medida que a substância aquece ou esfria.	<p>Algumas temperaturas na escala Kelvin. A temperatura $T = 0$ corresponde a $10^{-\infty}$ e não pode ser plotada nesta escala logarítmica.</p>

Fonte: Livros didáticos (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009) e (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

FIGURA 1 – Espectro eletromagnético do maior comprimento de onda, no topo, ao menor, embaixo. Também estão ilustrados alguns exemplos de aplicações tecnológicas modernas de cada um dos tipos de radiação.

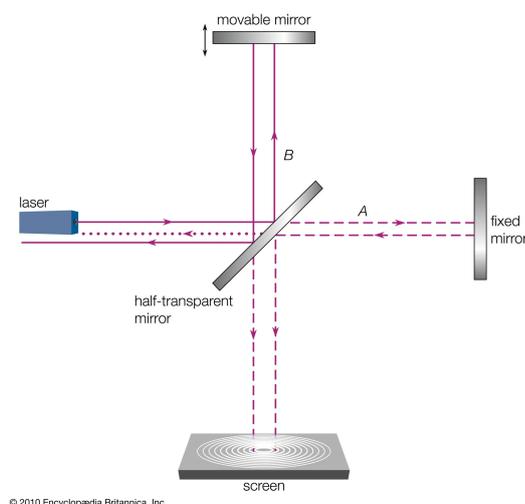


Fonte: Figura de (NASA, 2013).

nada mais é do que a propagação de campos elétricos e magnéticos mutáveis no espaço. Na época de Maxwell, os raios infravermelho e ultravioleta e a luz visível eram as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas, e a relação entre elas era desconhecida até sua descoberta. Hoje, além dessas, também conhecemos outras radiações pertencentes ao espectro eletromagnético, como ondas longas, ondas de rádio, raios X e raios gama, na fig. 1 tem-se uma visão geral do espectro eletromagnético (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Também em meados do século XIX, acreditava-se que as ondas eletromagnéticas, assim como as ondas mecânicas, necessitavam de um meio material para se propagar. Esse meio material proposto foi o éter, que foi idealizado como um meio fluido sem viscosidade e rígido o suficiente para permanecer estável contra o grande desenvolvimento da velocidade da luz. Na época, as equações de Maxwell previam que a velocidade das ondas eletromagnéticas eram dadas por seguinte valor $c = 1/(\epsilon_0\mu_0) \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, onde ϵ_0 é permissividade elétrica do vácuo e μ_0 é permeabilidade elétrica do vácuo. A existência do éter sugeria, através das aplicações da teoria

FIGURA 2 – O interferômetro de Michelson, peça central do experimento de Michelson-Morley.



© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

Fonte: Figura de (GAUR et al., 2010)

da relatividade de Newton, que as ondas eletromagnéticas apresentariam velocidades relativas em relação ao éter, se elas fossem emitidas por uma fonte em movimento inercial em relação a esse meio material (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Para verificar isso, segundo o esquema da figura 2, um interferômetro foi usado para fazer a medição da velocidade da luz em relação a esse equipamento, no caso realizado em um local da Terra, o que implicaria provar que a Terra estaria em movimento em relação ao éter, e indiretamente comprovaria a existência deste último. O experimento consistia basicamente em observar em um interferômetro o padrão de interferência na luz provocada por mudanças na sua velocidade relativa ao éter. Montado sobre uma mesa que flutuava em mercúrio, para minimizar as influências de micro-vibrações, o interferômetro de Michelson consistia em um espelho semitransparente que divide um feixe de luz incidente em dois, que refletem sobre espelhos, retornam, e novamente são divididos. Havendo diferenças nas velocidades dos feixes (devido a existência de uma velocidade da luz relativa ao éter), deveria ser observada um padrão de interferência na tela (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

O aparato experimental foi originalmente realizado em 1881 pelo físico americano Albert Abraham Michelson (1852-1931), o qual não conseguiu provar a relatividade da velocidade da luz em observações experimentais. Frente a resultados de baixas influências do movimento da Terra sobre a velocidade da propagação da luz, ele refez o experimento em 1887 contando com a colaboração do físico estadunidense Edward Williams Morley (1838-1923), mais novamente através das medições experimentais aumentaram mais precisão da baixa influência do movimento da Terra na variação da medição da velocidade da luz (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Os resultados dessa nova tentativa junto com outros experimentos realizados na época descartavam o privilégio de um referencial absoluto, como no caso do éter, tirando dele o caráter de repouso absoluto. Além disso, acrescenta-se que as leis da eletrodinâmica clássica e ótica estavam corretas e que a velocidade das ondas eletromagnéticas é a mesma em todos os referenciais inerciais. Isso significava que a teoria da relatividade de Newton e a transformação de Galileu teriam que ser modificadas, de forma a colocarem no mesmo patamar de validade as leis do eletromagnetismo e da mecânica, em qualquer referencial inercial (NUSSENZVEIG, 1998).

Nesse contexto, o físico Albert Einstein (1879–1955) postulou ideias inovadoras que antecederam as evidências experimentais e explicavam teoricamente esses fenômenos dentro de uma nova teoria da relatividade. O ano de proposição dessas ideias por Einstein foi em 1905, com o nome de Teoria da Relatividade Restrita. A palavra restrita se refere à aplicação da teoria em eventos que ocorrem em referenciais inerciais. Os postulados da relatividade especial baseiam-se essencialmente em dois, que são: As leis da física são as mesmas em todos os sistemas inerciais; a velocidade da luz no vácuo é o mesmo valor c independentemente do movimento da fonte (NUSSENZVEIG, 1998).

Posteriormente, Einstein postulou a Teoria da Relatividade Geral, em 1915, essa teoria se aplica a situações mais complexas na qual os referenciais podem sofrer uma aceleração gravitacional. O postulado básico da relatividade geral é chamado de princípio da equivalência, que é expresso da seguinte forma: Um campo gravitacional homogêneo corresponde em todos os aspectos a um referencial uniformemente acelerado. Os efeitos das teorias de Einstein incluíam a contração de distâncias, a dilatação do tempo, a conversão de massa em energia e outros fenômenos que foram teoricamente previstos no início (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

A Teoria da Relatividade de Einstein tem aplicações no GPS, no entendimento de fenômenos de corpos que movimentam à velocidades próximas da velocidade da luz no vácuo, no estudo e observação dos buracos negros e outros fenômenos astronômicos. Aqui acaba o primeiro “pequeno” problema que a Física Clássica não conseguiu solucionar, que é o caso do movimento relativo das ondas eletromagnéticas. Voltaremos a nossa atenção ao segundo “pequeno” problema: Radiação do Corpo Negro.

3.2.1 A Radiação do Corpo Negro

O modelo físico que descreve o comportamento de corpos opacos aquecidos é a Radiação de Corpo Negro. As primeiras referências à natureza quântica da radiação foram obtidas no estudo da radiação térmica emitida por um corpo opaco, especialmente a radiação de um Corpo Negro.

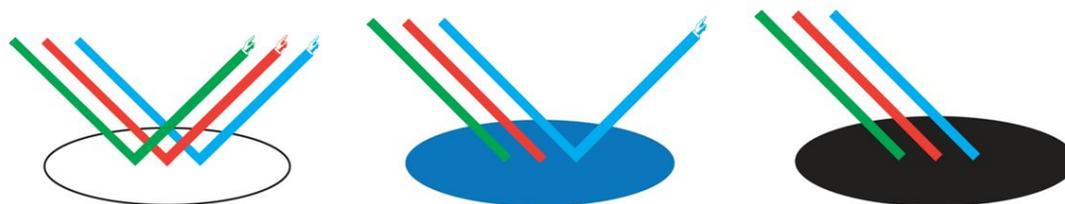
No caso de um corpo opaco, quando a radiação o atinge, parte é refletida e a outra parte é absorvida. Objetos claros refletem a maior parte da radiação visível recebida, enquanto objetos escuros absorvem a maior parte da radiação visível recebida, ver figura 3.

FIGURA 3 – Reflexão da Radiação Visível Incidente

CORES PIGMENTO

Quando a luz branca, que contém todas as cores, incide diretamente sobre o objeto ele irá absorver algumas e refletir outras.

A cor que será refletida será exatamente a cor do objeto.



Fonte: Figura de (MACHADO, 2017)

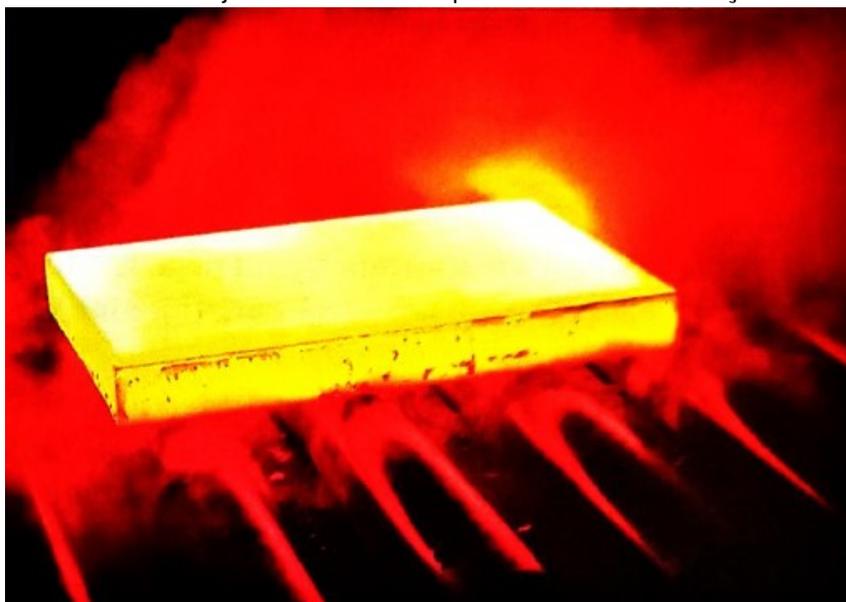
A radiação absorvida pelo corpo contribui para o aumento de sua temperatura, pois os átomos vibram mais fortemente em torno do ponto de equilíbrio. Essa oscilação se deve ao aumento da cinética dos átomos utilizados na interação da radiação com o corpo (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Dentro dos átomos estão os elétrons, partículas eletricamente carregadas que são afetadas pelas vibrações dos átomos. Isso causa radiação, o que faz com que os átomos percam energia cinética e, assim, diminuam a temperatura.

A radiação eletromagnética emitida nessas condições é chamada de radiação térmica. Calor e luz geralmente são gerados quando os corpos são aquecidos. Um corpo aquecido a baixas temperaturas emite radiação concentrada no espectro infravermelho. À medida que a temperatura de um corpo aquecido aumenta, ele começa a emitir radiação concentrada no espectro da luz visível, como pode ser visto na figura 4. Em todos os casos, a curva de emissão de radiação é distribuída de forma desigual no espectro eletromagnético, conforme se vê na figura 5 (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Quando a taxa de emissão é igual à taxa de absorção, a temperatura permanece constante e diz-se que o corpo está em equilíbrio térmico com o ambiente.

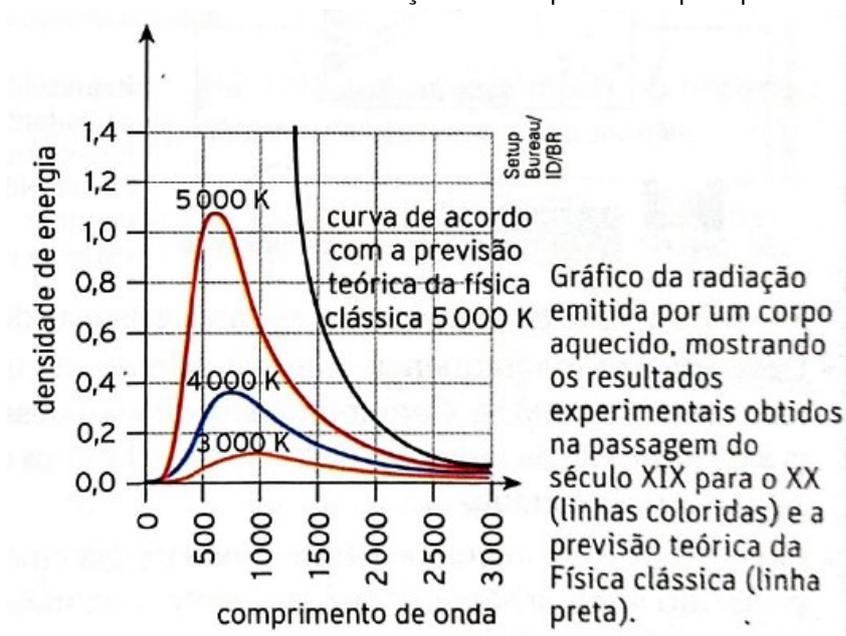
FIGURA 4 – Objetos com altas temperaturas emitem radiação visível



Fonte: Figura de (VÁLIO et al., 2016)

Constatou-se, também, que um material que emite boa radiação também é um bom absorvedor.

FIGURA 5 – Gráfico da radiação emitida por um corpo aquecido



Fonte: Figura de (VÁLIO et al., 2016)

Foi o físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), que em 1860, introduziu o conceito de corpo negro ou radiador integral, definindo-o como um corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele.

Do gráfico da figura 5, pode se extrair que a curva de acordo com uma das

previsões teóricas da física clássica, para emissão de radiação de corpo negro a um temperatura de $5000K$, concordava com a obtida experimentalmente a baixas frequências (grandes comprimentos de onda). Isso também se repetia para as demais temperaturas. Porém, para altas frequências (pequenos comprimentos de onda), essa teoria clássica previa que a densidade de energia da radiação tenderia para o infinito, o que não foi constatado experimentalmente, pois a curva experimental tinha um comportamento finito. Essa discrepância era constatada em comprimentos de ondas curtas, especificamente do ultravioleta, sendo assim denominado de **castástrofe do ultravioleta** (VÁLIO et al., 2016).

Quem conseguiu solucionar esse problema foi Max Planck (1858-1947) em 1900. Ele encontrou uma função empírica que reproduzia os resultados experimentais e, então, encontrou uma maneira de modificar os cálculos clássicos para obter uma concordância entre as curvas teórica e experimental para a Radiação do Corpo Negro.

Planck, tentando muito resolver esse problema teórico para concordar com os resultados experimentais, propôs a ousada ideia de que a energia emitida ou absorvida seria de forma quantificada. Sendo assim que a menor energia de emissão de radiação expressa da seguinte forma:

$$E_{min} = h.f, \quad (3.1)$$

onde E_{min} refere a energia mínima de um pacote de energia, conhecido como quantum de energia. O termo h da equação 3.1, conhecida como a constante de Planck, tem o valor de $6,626.10^{-34} J.s$ ou $4,136.10^{15} eV.s$, com dimensões de Energia e tempo. E a grandeza f se refere a frequência da radiação eletromagnética (NUSSENZVEIG, 1998).

Os outros valores possíveis de Energia são múltiplos deste valor fundamental, ou seja:

$$E = n.h.f, \quad n = 1, 2, 3, \dots, \quad (3.2)$$

sendo assim chamados de quanta energia.

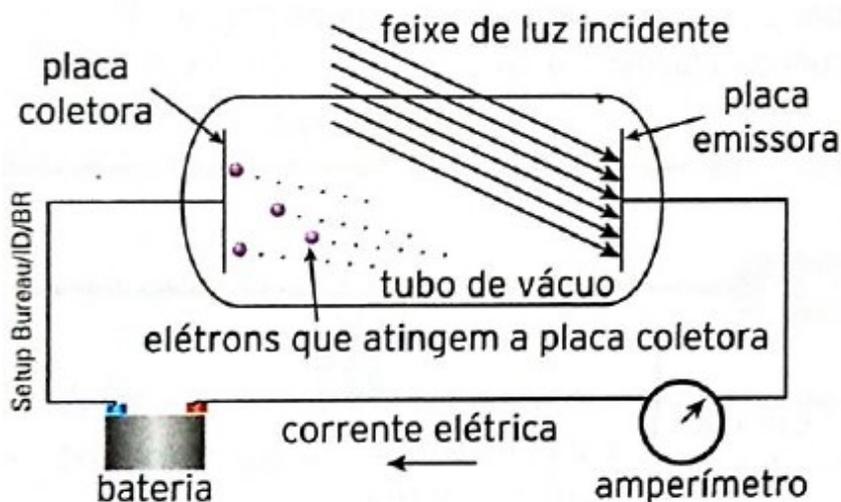
De acordo com essa ideia introduzida nos cálculos teóricos da época, mesmo Planck negando esse fato, ela revela a quantização da energia emitida por um corpo opaco aquecido e suas trocas de energia com a radiação eletromagnética, conforme se observa pelo modelo da Radiação do Corpo Negro. Isso teve uma grande repercussão na Física, sendo o ponto de partida da história da Física quântica.

3.2.2 Efeito Fotoelétrico

Em 1886 e 1887, Heinrich Hertz (1857-1894) demonstrou através de experimentos a validade da teoria de Maxwell na geração e detecção de ondas eletromagnéticas.

Estas experiências consistiam em gerar uma descarga oscilante que saltava entre dois eletrodos como uma faísca, gerando assim ondas eletromagnéticas, e detectá-las através de uma antena ressonante, onde a detecção era acompanhada por uma faísca entre os eletrodos. Na antena receptora, verificou-se que a faísca saltou com mais dificuldade quando bloqueou-se a luz, especialmente a luz violeta e ultravioleta, que incidia nesta antena (NUSSENZVEIG, 1998).

FIGURA 6 – Esquema do Efeito Fotoelétrico



Fonte: Figura de (VÁLIO et al., 2016)

Da figura 6 temos representação do efeito fotoelétrico, que resulta da ação de um campo elétrico sobre os elétrons emitidos, produzindo uma corrente elétrica mensurável. Um feixe de luz incidente com determinada frequência e intensidade ilumina a placa emissora, na qual são emitidos elétrons quando satisfeitas certas condições (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

As condições observadas experimentalmente eram as seguintes para ocorrer o efeito fotoelétrico (VÁLIO et al., 2016):

- havia uma frequência mínima de radiação incidente para que o efeito fotoelétrico ocorresse. Ondas eletromagnéticas com frequência menor que o valor mínimo, mesmo sendo bem intensa, não faziam que elétrons saíssem de uma superfície metálica;
- foi observado que a energia cinética máxima dos elétrons emitidos se mantinha constante, para uma determinada radiação, independente da intensidade da luz incidente. O aumento da intensidade da radiação fazia com que mais elétrons fossem liberados do material.

O conhecimento da teórico da Física Clássica não explicava o comportamento da radiação eletromagnética nessa interação com a matéria, através do modelo ondulatório. Era preciso lançar um novo olhar no estudo do comportamento das ondas eletromagnéticas, em determinados fenômenos físicos.

Para resolver esse dilema, Albert Einstein, em 1905, propôs uma teoria muito audaciosa, de que a radiação eletromagnética de frequência f consiste de quanta de energia, ou seja, um conjunto composto de pacotes de energia em que cada elemento vale:

$$E = h.f = \hbar.\omega \quad (3.3)$$

Nas suas palavras, Einstein afirma: “A ideia mais simples é que um quantum de luz transfere toda a sua energia a um único elétron: vamos supor que é isto que acontece” (NUSSENZVEIG, 1998). Observe que a equação A.17 retoma as ideias de Planck, fazendo comparação com a equação 3.1, sobre o processo de quantização presente em alguns fenômenos físicos.

E nessa transferência energia para o elétron, uma parte dessa energia era usada para vencer a força de atração da carga positiva remanescente do material, denominado de função trabalho W . A parte restante da energia era aproveitada pelo elétron em energia cinética. Na tabela 1 temos referência de função trabalho de alguns elementos:

TABELA 1 – Funções trabalho de algumas substâncias

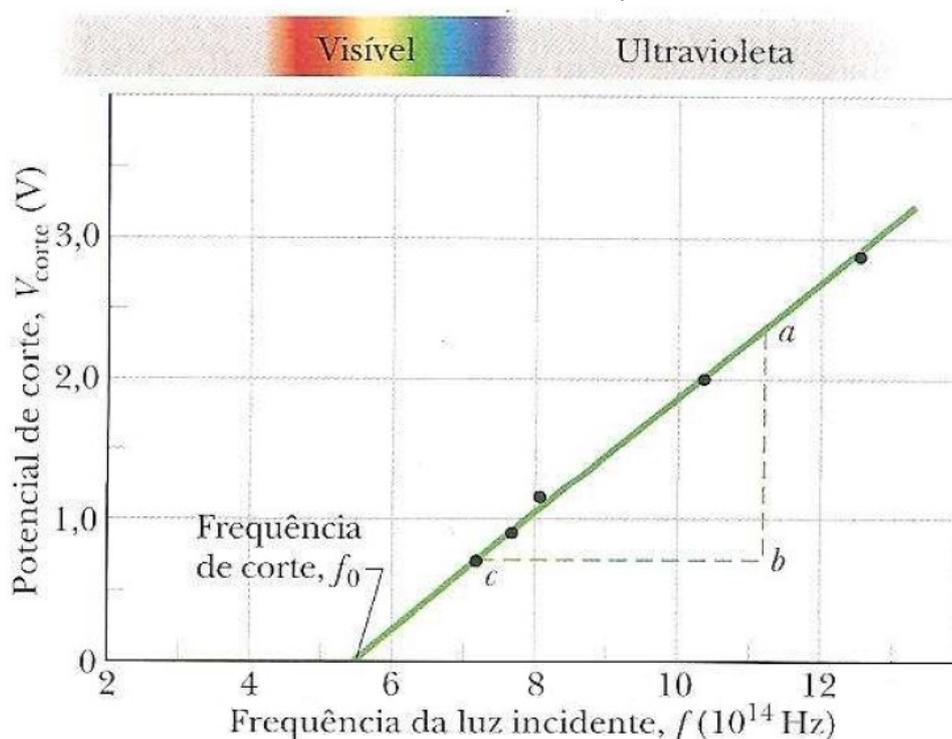
Elemento	W (eV)
Na	2,28
Mg	3,68
Cd	4,07
Al	4,08
Pb	4,14
Ag	4,73
C	4,81
Ni	5,01
Se	5,11
Pt	6,35

Fonte: Dados retirados do (TIPLER; LLEWELLYN, 2001).

Com isso, através do uso da tabela 1, e algumas operações matemáticas na equação A.17 é possível verificar que para o elemento químico Na, a partir de uma certa frequência da luz visível incidente começa a ocorrer o efeito fotoelétrico. Enquanto que para a substância Pt somente a partir da luz ultravioleta.

Um caso específico que foi feito medições da frequência mínima de corte, frequência mínima para que ocorresse o efeito fotoelétrico, foi a da substância sódio. Em 1914 e 1916, Millikan obteu os dados mostrados no gráfico da fig. 7, cujo resultado do seus esforços em fazer as medidas rigorosas do fenômeno, do efeito fotoelétrico no sódio rendeu-lhe um prêmio Nobel em 1923 (EISBERG; RESNICK, 1979)

FIGURA 7 – Potencial de corte versus Frequência de luz incidente



Fonte: Um gráfico das medidas de Millikan do potencial limite no sódio em várias frequências. Figura de (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2012).

Essas medições experimentais colaboraram na comprovação da teoria do efeito fotoelétrico proposta por Einstein. Em 1921, ele recebeu o Prêmio Nobel por sua contribuição à teoria do fenômeno fotoelétrico. O "quantum de luz" foi chamado de "fóton" em um trabalho (1926) de G. N. Lewis.

Com isso, mesclando as duas teorias estudadas em relação ao aspecto da quantização dos fenômenos físicos. Planck quantizou a energia emitida por um corpo opaco aquecido e suas trocas de energia com a radiação eletromagnética. Enquanto que Einstein caracterizou a natureza corpuscular da luz, admitindo ser a radiação eletromagnética composta por pacotes de energia, ou seja, fótons.

3.2.3 Aspectos quantitativos dos conceitos específicos

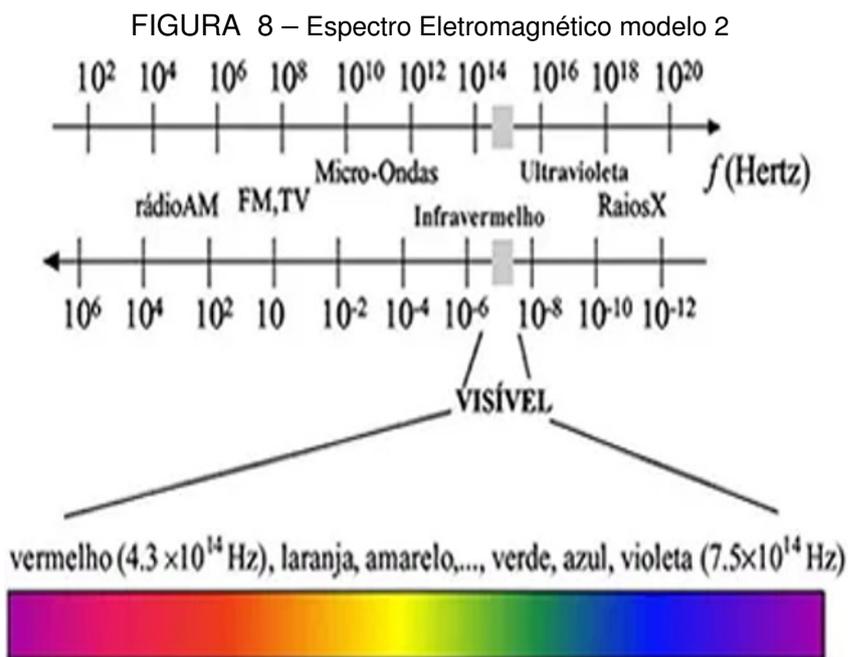
Nessa parte foi enfatizado questões de cálculos de quantização de um fóton de luz. Para mais questões sobre Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, veja o apêndice A.

3.2.3.1 Exemplos

1) Determine a energia de um quantum de cada luz monocromática abaixo, com base na figura 8:

a) Vermelho

b) Violeta.



Fonte: figura do site (SILVA, 2022)

Resolução

a) Para um quantum de luz vermelho, temos:

$$E = n.h.f = 1.6, 626.10^{-34} J.s.4, 3.10^{14} Hz = 28, 4918.10^{-20} J = 2, 84918.10^{-19} J. \quad (3.4)$$

b) Para um quantum de luz violeta, temos:

$$E = n.h.f = 1.6, 626.10^{-34} J.s.7, 5.10^{14} Hz = 49, 695.10^{-20} J = 4, 9695.10^{-19} J. \quad (3.5)$$

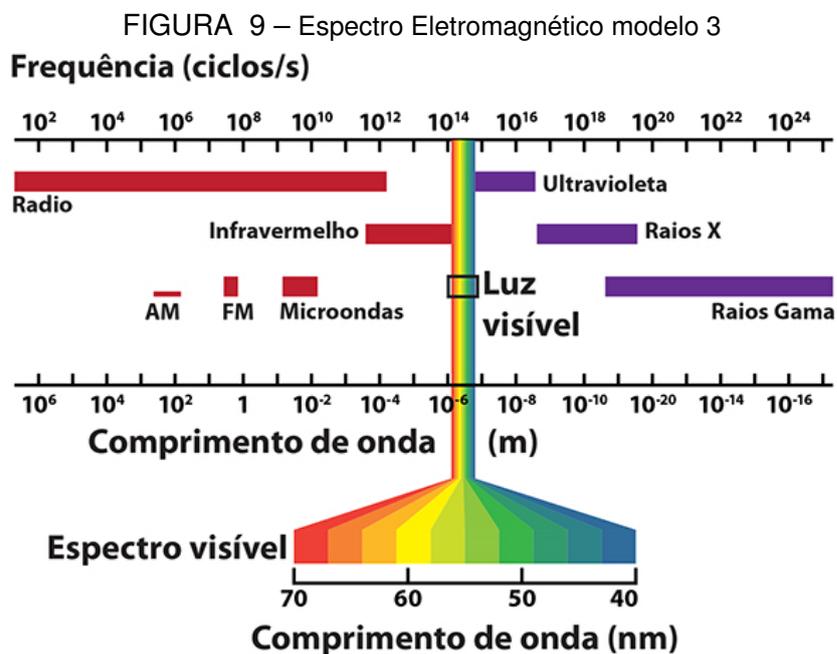
2) Coloque em ordem decrescente de Energia, a radiação monocromática de cada cor da luz visível.

Resolução: Conforme vimos na questão anterior, calculamos o valor energético dos limites extremos da faixa do visível, assim podemos classificar as radiações da luz visível, da seguinte forma decrescente de energia:

- Luz violeta;
- Luz azul;
- Luz verde;
- ...
- Luz amarelo;
- Luz laranja;
- Luz vermelho.

3.2.3.2 Exercícios

- 1) Determine a energia de um quantum de cada tipo de radiação abaixo, com base na figura 9:
 - a) Ultravioleta;
 - b) Infravermelha.



Fonte: figura do site (MOURA, 2017)

- 2) Coloque em ordem decrescente de Energia, as ondas eletromagnéticas do espectro eletromagnético.

4 SEQUÊNCIA DIDÁTICA

O desenvolvimento desta sequência didática pretende apresentar aos docentes uma proposta alternativa para o ensino de alguns conteúdos relacionados à Mecânica Quântica, seus métodos e aplicações dos mesmos. As atividades a serem desenvolvidas podem ser realizadas na maior parte em sala de aula, de vezes em quando com uso do laboratório de informática e de Física. O objetivo principal é fazer que o ensino-aprendizagem aconteça de forma interativa com as situações apresentadas, na qual o estudante participa e modifica seus esquemas, e com auxílio do professor, consegue explicitar os conhecimentos em ação negociando de forma gradual com o conhecimento científico.

O produto educacional é organizado em vários encontros, em que cada encontro é planejado para uso de duas aulas. Sendo apresentado da seguinte forma:

- 1º encontro: Apresentação de simuladores virtuais dos conceitos físicos estudados e interação dos discentes com os simuladores;
- 2º encontro: Apresentação sobre os conceitos físicos, dos conceitos gerais e específicos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, pelo docente aos discentes e resolução de questões modelos;
- 3º encontro: Apresentação de demonstração de experimentos envolvendo os conceitos físicos do produto educacional;
- 4º encontro: Resolução pelos alunos de Problemas de lápis e papel dos conteúdos abordados;
- 5º encontro: Para finalizar, leitura pelos alunos de temáticas que abordam os conceitos físicos específicos e compartilhamento de seu entendimento do texto lido com a turma.

Pelo planejamento da proposta educacional é possível desenvolver os assuntos propostos dentro de um bimestre letivo, de forma gradual e aprofundada, usando de forma flexível aproximadamente 10 aulas, considerando que a aula tenha a duração de 50 minutos. Levando em conta também, os contextos específicos do cotidiano do planejamento escolar que podem prolongar mais o tempo de aplicação do produto educacional.

4.1 DETALHAMENTO DE CADA ENCONTRO DO PRODUTO EDUCACIONAL

4.1.1 Interação com simuladores virtuais

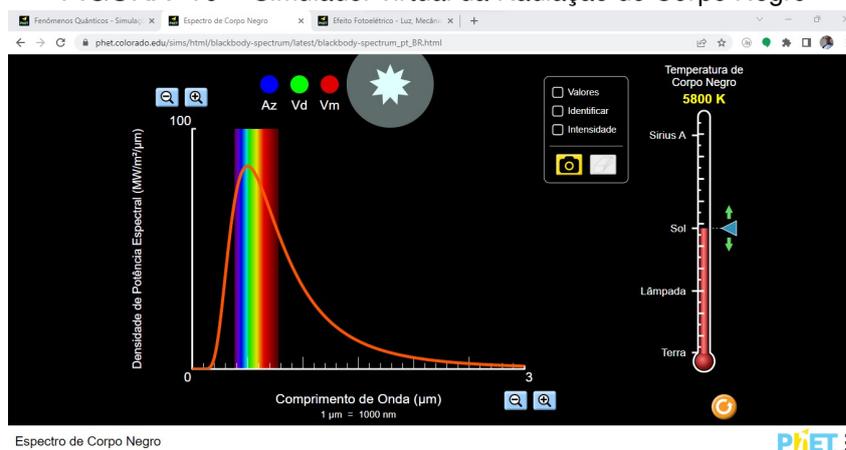
Os simuladores virtuais reproduzem experimentos físicos, por algum motivo se torna inviável reproduzir em sala de aula de forma prática ou por falta de laboratório de física e equipamentos didáticos, necessitando assim trabalhar com outras alternativas. Uma dessas alternativas é o uso de experimentos virtuais, que podem ser realizados em um laboratório de informática ou na falta deste, os discentes podem usar um celular com aplicativo instalado ou conectado a uma página HTML do software educativo.

Os simuladores a serem trabalhados serão os disponibilizados pelo site Phet Colorado, no link de fenômenos quânticos sobre:

Radiação do Corpo Negro mostrado na figura 10:

- https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum.

FIGURA 10 – Simulador virtual da Radiação do Corpo Negro



Fonte: do site (PERKINS et al., 2022)

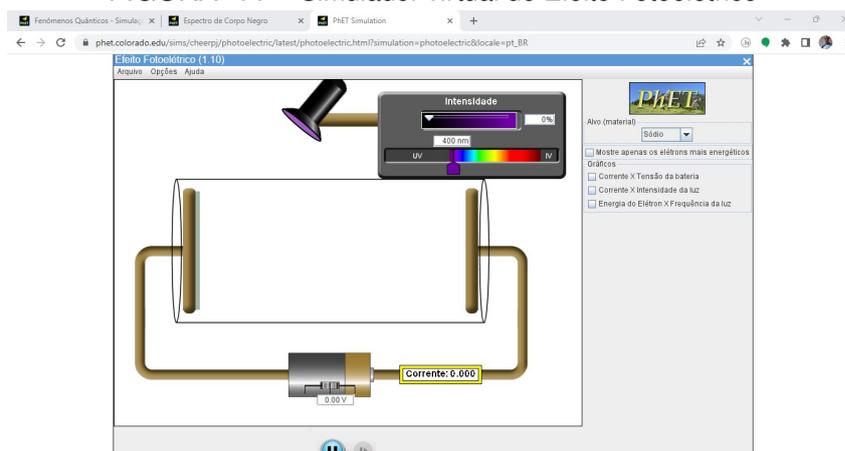
Efeito Fotoelétrico mostrado na figura 11:

- https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric.

Em relação ao simulador Radiação do Corpo negro, o site do Perkins et al. (2022) predispoem que os discentes com interação do aplicativo, serão capaz de:

- descrever o que acontece com espectro do corpo negro, no caso da forma e o pico da curva deste, à medida que aumenta ou diminui a temperatura;
- descrever o espectro do corpo negro de uma lâmpada e sua eficiência, e também de outros corpos;

FIGURA 11 – Simulador virtual do Efeito Fotoelétrico



Fonte: do site (WIEMAN et al., 2022)

- de fazer a diferença de corpo mais quente com base na frequência de radiação que é mais emitido por um corpo quente;
- de fazer a relação entre a temperatura e o comprimento de onda no pico da curva.

Em relação ao simulador Efeito Fotoelétrico, o site do Wieman et al. (2022) predispõem que os discentes com interação do aplicativo, serão capaz de:

- descrever que uma mudança dos parâmetros citados, afetará a corrente e energia dos elétrons: a intensidade da luz incidente, o comprimento de onda incidente, o valor da tensão elétrica do circuito e do material alvo que é utilizado;
- argumentar que o modelo de fóton de luz pode explicar o processo do efeito fotoelétrico, ao invés da concepção de uma onda eletromagnética.

4.1.2 Exposição oral sobre a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico

Nas duas primeiras aulas, o professor iniciando com situações-problemas de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico através de uso dos simuladores virtuais, pretendendo assim despertar o interesse dos alunos pelos assuntos. Em seguida, o docente fará, após feito a transposição didática de materiais escolhidos como bibliografia base, exposição oral dos assuntos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico. Para este produto educacional, além de fazer uso indireto das referências teóricas de Física citadas na dissertação, serviram como referências básicas para esse produto os seguintes livros didáticos (VÁLIO et al., 2016), (BONJORNO et al., 2016), (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013) e (SERWAY; JEWETT, 2012).

O docente não pode deixar de levar em conta os conhecimentos prévios dos discentes, partindo assim dos conceitos mais gerais para os mais específicos.

Recomenda-se seguir as orientações detalhadas no capítulo 3 desse produto educacional, tendo como recorrentes conceitos gerais presentes nos conteúdos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico: Energia, Conservação de Energia, Potência, Ondas eletromagnéticas, Espectro eletromagnético, Calor e Temperatura. Partindo desses conceitos gerais para parte mais específicas dos conceitos centrais da sequência didática.

O docente pode incrementar a explicação dos conceitos físicos, através do uso de gifs desses fenômenos. Os gifs podem ser encontrados no site de busca de uma página da Web. Podendo, também nesse momento, ser trabalhado em conjunto com demonstração de experimentos reais que serão detalhados posteriormente, os quais podem ser feitos em um contexto de aula prática. Em seguida é proposto questões modelos em que o docente resolverá como exemplos, contido no capítulo de Física desse produto e também no apêndice A.

4.1.3 Demonstração de experimentos dos conceitos físicos

Para essa parte foi pensando experimentos que pudessem representar fielmente os fenômenos físicos, com uso de equipamentos possíveis de serem obtidos no contexto escolar e contextualizados com a realidade. Especificamente no caso do efeito fotoelétrico, que é aplicado no acendimento automático das lâmpadas do postes da iluminação pública. Em seguida serão detalhados os experimentos montados para esse fim.

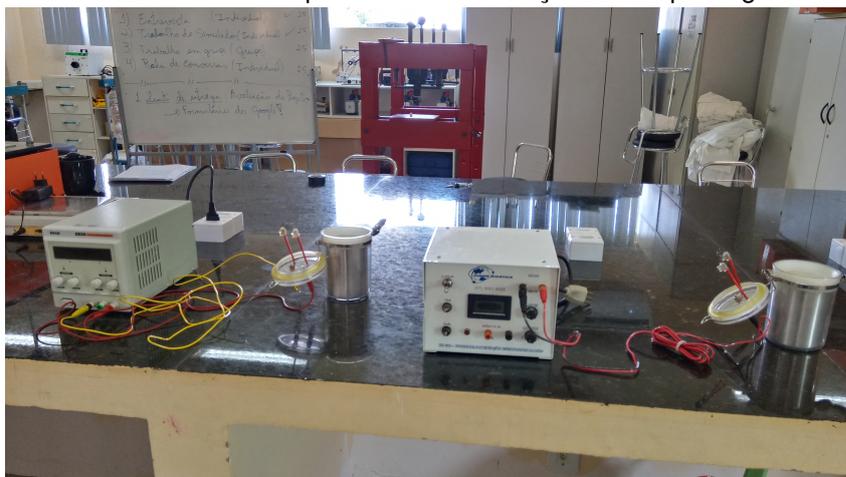
4.1.3.1 Experimento de Radiação do Corpo Negro

Como foi visto em passos anteriores, o conceito de Radiação do Corpo Negro consiste em modelar o processo do fenômeno físico de espectro de emissão ou absorção que envolve os corpos opacos aquecidos. Para isso foi usados os seguintes materiais para montar o experimento:

- Fonte de corrente alternada (~ 20 V);
- Fonte de corrente contínua (0 a 30 V);
- Fios de ligação;
- 2 Copos de calorimetria com resistor térmico integrado;
- Água.

Eles estão montado de forma que o resistor térmico integrado ao copo de calorimetria está ligada a uma fonte de corrente contínua ou alternada. A verificação da montagem é possível ver pela imagem 12.

FIGURA 12 – Experimento de Radiação do Corpo Negro



Fonte: Elaborado pelo próprio Autor.

O intuito é fazer com que, a partir da conversão de energia elétrica em energia térmica no resistor, seja possível visualizar ou perceber o aquecimento de um corpo. Assim sendo a baixas temperaturas, não há emissão de luz visível, concentrando-se a emissão da radiação em ondas infravermelhas, ondas de calor.

Enquanto que vai aumentando a temperatura, a partir de um certo valor dessa grandeza, começa a ser emitida luz visível juntamente com a radiação infravermelha. Devido à limitação do aparato experimental vai ser possível chegar a um limite máximo de temperatura. A parte de explicação em vídeo do experimento, está disponibilizado pelos seguintes links:

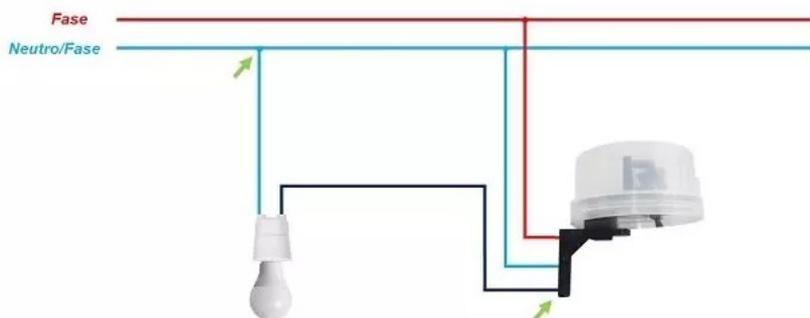
- <https://youtu.be/NFFyTst6aac>;
- <https://youtu.be/5IjTjQSUTwI>.

4.1.3.2 Experimento do Efeito Fotoelétrico

Aqui teremos a montagem do sensor fotoelétrico com uma lâmpada ligada a rede elétrica, ao qual tende a demonstrar o acendimento automático de uma lâmpada de um poste de iluminação pública, o esquema de montagem está mostrado na imagem 13. Os materiais usados foram:

- lâmpada de 110 a 220 V;
- soquete de lâmpada;
- fios de ligação;
- sensor fotoelétrico de 220 V;

FIGURA 13 – Esquema de Ligação do Sensor Fotoelétrico



Fonte: do site (MATTEDE, 2022).

Como vimos o efeito fotoelétrico consiste basicamente no processo de retirada de elétrons livres de um material, geralmente metálico, quando incide uma radiação que tenha pelo menos uma determinada frequência mínima. Essa frequência depende da substância em que está sendo atingido pela radiação.

Então dentro do sensor fotoelétrico, em um circuito secundário, o elemento fotocélula está ligada em série com um eletroímã, o qual quando ligado abre o interruptor que está em série com o circuito principal. No circuito principal está a lâmpada, a qual liga quando não incidência de luz na fotocélula e caso contrário, ela apaga. A parte de explicação em vídeo do experimento, está disponibilizado pelo seguinte link:

- <https://youtu.be/TF09YyP2O3M>

4.1.4 Resolução de Problemas à lápis e papel

Nesse momento, o professor fará uma recapitulação dos assuntos ministrados e terminará, caso for necessário, a resolução de exemplos. Com base nos modelos resolvidos e de graus variados será proposto questões de fácil à difícil resolução para os discentes resolverem, a fim de se adaptar a linguagem e representação utilizada na Física para resolução de problemas e estudos de fenômenos quânticos, no caso específico Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, contido no apêndice 1.

4.1.5 Temas envolvendo Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico

Como forma de contextualizar os conhecimentos científicos, é proposto leitura sobre temas que envolva os conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, que podem ser encontrados em livros didáticos, pesquisa na internet e outros materiais didáticos.

Os temas foram retirados de livros didáticos do Ensino Médio, de parte complementares aos conteúdos com as seguintes denominações: Pensando as Ciências:

física e tecnologia; Física tem história; Física explica. E estão descritos no quadro 3.

Quadro 3 – Temas para Leitura

Tema	Nome da seção complementar
Energia do Sol	Pensando as Ciências: física e tecnologia
Células fotoelétricas	Pensando as Ciências: física e tecnologia
Energia em pacotes	Física tem história
Células fotoelétricas	Física explica

Fonte: Livros didáticos (BONJORNO et al., 2016) e (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2013).

O estudo desses temas tende a ampliar a compreensão dos alunos em relação aos conceitos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, para entender a construção histórica dos conceitos, seu uso na tecnologia e sua função social de benefícios para a humanidade, em especial o aspecto energético.

4.2 AVALIAÇÃO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

As atividades propostas contemplam ações participativas tanto individuais como em grupo, em que o discente poderá ser avaliado o seu desempenho através:

- Da resolução de lista de exercícios;
- Da entrevista e/ou registro de relatos de interação dos discentes com os simuladores virtuais;
- Da participação em trabalho em grupo;
- Da exposição oral e/ou registro escrito das atividades;

Do registro escrito do desempenho dos discentes poderão ser complementados, se possível, através da gravação das falas destes e/ou da gravação e produção de vídeos das atividades realizadas em sala de aula. Isso para que além de ser avaliado os aspectos explícitos dos conhecimentos científicos expostos pelos discentes, possa ser também registrado os conhecimentos operatórios destes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposição dessa sequência didática se baseou na realização pelo docente de situações que possam ser desenvolvidas em sala de aula. São situações didáticas que estão desenvolvidas na seguinte ordem: interação dos discentes com simuladores virtuais, apresentação dos conteúdos pelo professor, demonstração de experimentos dos conceitos físicos, resolução de problemas à lápis e papel e estudo de temáticas relacionados a Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico.

São cinco situações didáticas que visam desenvolver no discente, os campos conceituais referentes aos assuntos de Radiação do Corpo Negro e Efeito Fotoelétrico, contemplando assim as representações linguísticas e simbólicas, conceitos, situações e invariantes operatórios inerentes a esses fenômenos.

Vimos que o Campo Conceitual remete a Teoria dos Campos Conceituais do Autor Gérard Vergnaud. Esse teórico defende que um sujeito se desenvolve em participação ativa em situações problemas, sendo assim enfatizado o “o sujeito em situação”. Assim o docente pode refletir na construção do planejamento didático em três argumentos pensado por Vergnaud na construção da TCC:

1) um conceito não se forma dentro de um só tipo de situações; 2) uma situação não se analisa com um só conceito; 3) a construção e apropriação de todas as propriedades de um conceito ou todos os aspectos de uma situação é um processo de muito fôlego que se estende ao longo dos anos, às vezes uma dezena de anos, com analogias e mal-entendidos entre situações, entre concepções, entre procedimentos, entre significantes. (MOREIRA, 2002)

Espero que o docente seguindo ou alterando essa sequência didática, conforme a dinâmica possível a ser realizada em sala de aula, possa proporcionar as situações-problemas frutíferas e diversificadas aos discentes, desenvolvendo assim os esquemas destes durante a ação na vivência das situações.

Além disso, de forma explícita possa contemplar assim, nos discentes o desenvolvimento cognitivo de forma processual, gradual e progressiva. Incluindo nesse processo as formas diversificadas e históricas de situações-problemas, invariantes operatórios e representações linguísticas e simbólicas desenvolvidas e usadas pela Ciência.

REFERÊNCIAS

- BONJORNO, J. R. et al. **Física: eletromagnetismo e física moderna**, 3º ano. 3. ed. Curitiba: FTD, 2016.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica**. Rio de Janeiro: Campus, 1979.
- GAUR, A. et al. Michelson-morley experiment. **Encyclopædia Britannica**, 2010. Disponível em: <https://www.britannica.com/science/Michelson-Morley-experiment>. Acesso em: 4 mai. 2022.
- GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física**, 3º ano. 1.ed. São Paulo: Ática, 2013.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. 9.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, Mecânica, 8.ª Edição. Rio de Janeiro: LTC–Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2008.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, Gravitação, Ondas e Termodinâmica, 8.ª Edição. Rio de Janeiro: LTC–Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda, 2009.
- KELVIN, L. I. nineteenth century clouds over the dynamical theory of heat and light. **The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science**, Taylor & Francis, v. 2, n. 7, p. 1–40, 1901. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/14786440109462664>. Acesso em: 16 mai. 2022.
- MACHADO, A. da S. Teoria da cor. **SlidePlayer**, 2017. Disponível em: <https://slideplayer.com.br/slide/11184532/>. Acesso em: 30 out. 2022.
- MATTEDE, H. Dicas de como instalar fotocélula. **Mundo da Elétrica**, 2022. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/dicas-de-como-instalar-fotocelula/bio>. Acesso em: 15 out. 2022.
- MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de verghnaud, o ensino de ciências e a pesquisa nesta área. **Investigações em ensino de ciências**, Porto Alegre, v. 7, n. 1 (jan./mar. 2002), p. 7–29, 2002. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/141212>. Acesso em: 17 nov. 2021.
- MOURA, H. Tipos de ondas eletromagnéticas. **Física com o Jofrenildo**, 2017. Disponível em: <http://fisicacomjofrenildo.blogspot.com/2017/10/tipos-de-ondas-eletromagneticas.html>. Acesso em: 25 out. 2022.
- NASA. Electromagnetic spectrum - introduction. **Administração Nacional Aeronáutica e Espacial (NASA)**, 2013. Disponível em: <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html#:~:text=The%20Electromagnetic%20Spectrum,two%20types%20of%20electromagnetic%20radiation>. Acesso em: 13 jul. 2022.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de física básica**: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4). 1ª. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1998.

PERKINS, K. et al. Espectro de corpo negro. **Phet Interactive Simulations**, 2022. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum. Acesso em: 10 set. 2022.

SCHULZ, P. A. Duas nuvens ainda fazem sombra na reputação de lord Kelvin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, n. 4, p. 509–512, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rsCBz6n6nTMPwHgqXJzBZ5h/>. Acesso em: 25 mai. 2022.

SERWAY, R. A.; JEWETT, J. W. **Princípios de Física Vol. 4**: Ótica e física moderna. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SILVA, D. C. M. da. Luz visível. **Mundo Educação**, 2022. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/luz-visivel.htm>. Acesso em: 20 out. 2022.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física moderna**. Terceira edição-traduzido para o português. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2001.

VÁLIO, A. B. M. et al. **Ser protagonista**: física, 3º ano. 3. ed. São Paulo: Edições SM, 2016.

WIEMAN, C. et al. Efeito fotoelétrico. **Phet Interactive Simulations**, 2022. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric. Acesso em: 10 set. 2022.

APÊNDICE A – QUESTÕES RESOLVIDAS SOBRE RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO E EFEITO FOTOELÉTRICO

A.1 FORMULAS BASES DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

- Lei do deslocamento de Wien:

$$\lambda_m \cdot T = \text{constante} = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}, \quad (\text{A.1})$$

onde λ_m é comprimento de onda da luz quando a intensidade da curva de emissão do corpo negro é máximo e T é a temperatura em que se encontra o corpo opaco aquecido, medida em Kelvin.

- Lei do Stefan:

$$R = \sigma T^4, \quad (\text{A.2})$$

onde R é a potência irradiada por unidade de área, T a temperatura absoluta e $\sigma = 5,6705 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$ chamada constante de Stefan.

A.1.1 Exemplos

1. (SERWAY; JEWETT, 2012) **Radiação Térmica do Corpo Humano**

A temperatura de sua pele é de aproximadamente 35 °C.

a) Qual é o pico do comprimento de onda da radiação que ela emite?

Solução A partir da lei do deslocamento de Wien, equação A.1, temos:

$$\lambda_m \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K} \quad (\text{A.3})$$

Resolvendo para λ_m , observando que 35 °C corresponde a uma temperatura absoluta de 308 K, temos:

$$\lambda_m = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}}{308 \text{K}} = 9,41 \mu\text{m} \quad (\text{A.4})$$

Essa radiação está na região do infravermelho do espectro.

b) Qual é a potência total emitida por sua pele, supondo que ela o faz como um corpo negro?

Solução Precisamos fazer uma estimativa da área superficial de sua pele. Se modelamos seu corpo como uma caixa retangular com altura de 2 m, largura de 0,3 m

e profundidade de 0,2 m, a área superficial total é:

$$A = 2(2m)(0,3m) + 2(2m)(0,2m) + 2(0,2m)(0,3m) \approx 2m^2 \quad (\text{A.5})$$

Assim, a partir da lei de Stefan, equação A.2, temos:

$$P = \sigma AeT^4 \approx (5,7 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4)(2m^2)(1)(308\text{K})^4 \sim 10^3 \text{W} \quad (\text{A.6})$$

c) Baseado na sua resposta do item (b), por qual motivo você não reluz de forma tão brilhante como várias lâmpadas?

Solução A resposta do item (b) indica que sua pele está irradiando aproximadamente a mesma quantidade de energia que entra em 10 lâmpadas de 100 W por meio da transmissão elétrica.

Contudo, você não está brilhando de forma visível porque a maior parte de dessa radiação está no intervalo do infravermelho, como visto no item (a), e nossos olhos não são sensíveis à radiação infravermelha.

2. (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) **Máximo do Espectro Solar** A temperatura do Sol é aproximadamente 5800K , e as medidas da distribuição espectral da luz solar mostram que o astro se comporta como um corpo negro, a não ser para comprimentos de onda muito pequenos. Supondo que o Sol seja um corpo ideal, qual é o comprimento de onda para o qual a intensidade da radiação emitida é máxima?

Solução

- No caso de um corpo negro ideal, o comprimento de onda correspondente à intensidade máxima é dado pela Eq. A.1:

$$\lambda_m T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K} \quad (\text{A.7})$$

- Explicitando λ_m e substituindo T pelo seu valor, temos:

$$\lambda_m = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}}{T} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}}{5800\text{K}} = \frac{2,898 \cdot 10^6 \text{nm} \cdot \text{K}}{5800\text{K}} = 499,7 \text{nm}, \quad (\text{A.8})$$

onde $1\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$.

Observação: Este comprimento de onda está quase no centro do espectro visível.

A.1.2 Exercícios

- 1) (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) Determine o valor de λ_m para um corpo negro a uma temperatura de a) $3K$; b) $300K$; c) $3000K$.

Solução

- No caso de um corpo negro ideal, o comprimento de onda correspondente à intensidade máxima é dado pela Eq. A.1:

$$\lambda_m T = 2,898.10^{-3}m.K \quad (\text{A.9})$$

- (a) Explicitando λ_m e substituindo T pelo seu valor, temos:

$$\lambda_m = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{T} = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{3K} = \frac{2,898.10^6nm.K}{3K} = 966000nm \quad (\text{A.10})$$

- (b) Explicitando λ_m e substituindo T pelo seu valor, temos:

$$\lambda_m = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{T} = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{300K} = \frac{2,898.10^6nm.K}{300K} = 9660nm \quad (\text{A.11})$$

- (c) Explicitando λ_m e substituindo T pelo seu valor, temos:

$$\lambda_m = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{T} = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{3000K} = \frac{2,898.10^6nm.K}{3000K} = 966nm \quad (\text{A.12})$$

- 2) (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) Determine a temperatura de um corpo negro se seu espectro apresenta um máximo em (a) $\lambda_m = 700nm$; (b) $\lambda_m = 3cm$ (faixa de microondas); (c) $\lambda_m = 3m$ (faixa de FM).

Solução

- No caso de um corpo negro ideal, a temperatura desse corpo correspondente a um espectro de radiação que apresenta a intensidade máxima em λ_m é dado pela Eq. A.1:

$$\lambda_m T = 2,898.10^{-3}m.K \quad (\text{A.13})$$

- (a) Explicitando T e substituindo λ_m pelo seu valor, temos:

$$T = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{\lambda_m} = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{700nm} = \frac{2,898.10^6nm.K}{700nm} = 4140K \quad (\text{A.14})$$

- (b) Explicitando T e substituindo λ_m pelo seu valor, temos:

$$T = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{\lambda_m} = \frac{2,898.10^{-3}m.K}{3cm} = \frac{2,898.10^6nm.K}{3.10^7nm} = 0,0966K \quad (\text{A.15})$$

(c) Explicitando T e substituindo λ_m pelo seu valor, temos:

$$T = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} m \cdot K}{\lambda_m} = \frac{2,898 \cdot 10^{-3} m \cdot K}{3m} = \frac{2,898 \cdot 10^6 nm \cdot K}{3 \cdot 10^9 nm} = 0,000966 K \quad (\text{A.16})$$

- 3) (EISBERG; RESNICK, 1979) A que comprimento de onda o corpo humano emite sua radiação térmica máxima? Apresente uma lista das hipóteses que você fez para chegar a esta resposta.

Solução O corpo humano emite sua radiação térmica máxima, no comprimento de onda pertencente a faixa do infravermelho do espectro eletromagnético.

Algumas hipóteses possíveis:

- I. A baixa temperatura, um certo corpo emite baixa radiação;
 - II. Como corpo humano está emitindo radiação, não é visível ao olho humano, possivelmente a radiação emitida é concentrada na radiação infravermelha;
 - III. Como o meio externo não sofre nenhum efeito severo da radiação emitida pelo corpo humano, a radiação emitida pelo corpo humano não contém radiações de alta frequência, especialmente radiação ultravioleta.
- 4) (EISBERG; RESNICK, 1979) Um corpo negro sempre aparenta ser negro? Explique o termo corpo negro.

Solução Um corpo negro não necessariamente aparenta ser um corpo negro, pois um corpo negro é um modelo idealizado de um corpo que absorve 100% da radiação térmica incidente sobre ele, e também por ser um bom absorvedor, ele se comporta como um bom emissor de radiação térmica.

Um modelo idealizado de corpo negro é uma cavidade com um pequeno orifício ligado ao exterior e dos corpos opacos que existem na natureza, os que se comportam aproximadamente como um corpo negro são o negro-de-fumo e o veludo negro. O modelo de radiação do corpo negro é usado nos estudos dos corpos quentes presentes no Universo.

Assim, a sua importância se estende no entendimento do comportamento dos corpos aquecidos, que estão presente em diversas áreas, como por exemplo: os fornos de uma indústria siderúrgica, a radiação emitida pelas estrelas, albedo e mudanças climáticas e outras áreas.

- 5) (EISBERG; RESNICK, 1979) Qual é a origem da catástrofe do ultravioleta?

Solução A origem da catástrofe ultravioleta foi visualizada nas teorias clássicas que modelavam a emissão de Radiação do Corpo Negro na época, mas discordavam com os resultados obtidos da coleta dos dados experimental da radiação dos corpos aquecidos.

Os modelos teóricos clássicos previam que um corpo aquecido emitia radiação que compreendia espectro de emissão do infravermelho ao ultravioleta, conforme as equações e gráficos das teorias clássicas mostravam que a Potência total de emissão da radiação variava com a temperatura. E a partir de temperaturas de graus elevados, era previsto que a baixas frequências a emissão da radiação era bem-comportada e finita, enquanto que as frequências acima da radiação visível a Energia de emissão tendia ao infinito, o que se caracterizava na região do ultravioleta.

A.2 FORMULAS BASES DO EFEITO FOTOELÉTRICO

- Energia de um quantum de luz:

$$E = h.f = \frac{h.c}{\lambda}, \quad (\text{A.17})$$

onde h é a constante de Planck, f a frequência da luz, λ o comprimento de onda da luz e c a velocidade da luz.

- Equação de Einstein para o Efeito Fotoelétrico:

$$\frac{1}{2}m_e v_m^2 = eV_{\text{corte}} = hf - W, \quad (\text{A.18})$$

onde $\frac{1}{2}m_e v_m^2$ é a energia cinética máxima do elétron ejetado, e carga elementar do elétron, V_{corte} o potencial de corte e W função trabalho necessário para extrair um elétron da superfície contra a força atrativa da carga positiva remanescente.

A.2.1 Exemplos

1. (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) Efeito Fotoelétrico no Potássio

O comprimento de onda de corte do potássio é 558 nm . Qual é a função trabalho do potássio? Qual é o potencial de corte para um luz incidente de 400 nm ?

Solução

I. As duas questões podem ser respondidas com o auxílio da Eq. A.18:

$$\frac{1}{2}m_e v_m^2 = eV_{\text{corte}} = hf - W \quad (\text{A.19})$$

II. O comprimento de onda de corte é aquele para qual os elétrons excitados tem exatamente a energia necessária para vencer a barreira de potencial.

Assim, $\frac{1}{2}m_e v_m^2 = 0$, $V_{\text{corte}} = 0$ e assim:

$$W = hf_{\text{corte}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{corte}}} = \frac{1240eV.nm}{558nm} = 2,22eV \quad (\text{A.20})$$

III. Para uma luz incidente de $400nm$, a energia eV_{corte} é dada pela Eq.A.18:

$$eV_{corte} = hf - W = \frac{1240eV.nm}{400nm} - 2,22eV = 3,10eV - 2,22eV = 0,88eV \quad (A.21)$$

IV. Observe que o potencial de corte V_{corte} em volts é numericamente igual à energia cinética máxima dos elétrons ($\frac{1}{2}m_e v_m^2$) em eV. Assim temos:

$$V_{corte} = 0,88V \quad (A.22)$$

2. (SERWAY; JEWETT, 2012) O Efeito Fotelétrico no Sódio

Uma superfície de Sódio é iluminada com luz tendo comprimento de onda de 300 nm . A função trabalho para o metal sódio é $2,46\text{ eV}$. Encontre (a) a energia cinética máxima para os fotoelétrons ejetados e (b) o comprimento de onda de corte para o sódio.

Solução (a) A energia de cada fóton do feixe de luz incidente é dada pela eq. A.17:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s})(3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{300 \cdot 10^{-9} \text{ m}} = 6,63 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 4,14 \text{ eV}. \quad (A.23)$$

Usando a Equação A.18 temos:

$$K_{max} = hf - W = 4,14 \text{ eV} - 2,46 \text{ eV} = 1,68 \text{ eV}. \quad (A.24)$$

(b) O comprimento de onda de corte pode ser calculado a partir da equação A.18, após convertemos W de elétrons-volt para joules:

$$W = 2,46 \text{ eV} \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 3,94 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (A.25)$$

$$\lambda_c = \frac{hc}{W} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s})(3,00 \cdot 10^8 \text{ m/s})}{3,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}} = 5,05 \cdot 10^{-7} \text{ m} = 505 \text{ nm} \quad (A.26)$$

Esse comprimento de onda está na região de luz verde do espectro visível.

A.2.2 Exercícios

6) (SERWAY; JEWETT, 2012) Calcule a velocidade máxima dos fotoelétrons sob as condições descritas do exemplo 2 da subseção A.2.1

Solução A velocidade máxima dos fotoelétrons pode ser calculado a partir da equação A.18, após convertemos K_{max} de elétrons-volt para joules:

$$K_{max} = 1,68 \text{ eV} \frac{1,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{1 \text{ eV}} = 2,688 \cdot 10^{-19} \text{ J} \quad (A.27)$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2 \cdot 2,688 \cdot 10^{-19} \text{ J}}{9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}}} = 7,68 \cdot 10^5 \text{ m/s} \quad (A.28)$$

- 7) (SERWAY; JEWETT, 2012) A função trabalho para o potássio é $2,24eV$. Se o metal potássio é iluminado com uma luz de $480nm$, encontre (a) a energia cinética máxima dos fotoelétrons e (b) o comprimento de onda de corte.

Solução (a) A energia de cada fóton do feixe de luz incidente é dada pela eq. A.17:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{480 \cdot 10^{-9} m} = 4,14125 \cdot 10^{-19} J = 2,59eV. \quad (A.29)$$

Usando a Equação A.18 temos:

$$K_{max} = hf - W = 2,59eV - 2,24eV = 0,35eV. \quad (A.30)$$

- (b) O comprimento de onda de corte pode ser calculado a partir da equação A.18, após convertamos W de elétrons-volt para joules através da eq. A.25:

$$W = 2,24eV \frac{1,60 \cdot 10^{-19} J}{1eV} = 3,584 \cdot 10^{-19} J \quad (A.31)$$

$$\lambda_c = \frac{hc}{W} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{3,584 \cdot 10^{-19} J} = 5,55 \cdot 10^{-7} m = 555nm \quad (A.32)$$

- 8) (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) Os filmes fotográficos preto-e-branco são expostos por fótons com energia suficiente para dissociar as moléculas de AgBr contidas na emulsão fotossensível. A energia mínima necessária é $0,68 eV$. Qual é o maior comprimento de onda capaz de impressionar este tipo de filme? Em que região do espectro está este comprimento de onda?

Solução O comprimento de onda de corte pode ser calculado a partir da equação A.18, após convertamos W de elétrons-volt para joules através da eq. A.25:

$$W = 0,68eV \frac{1,60 \cdot 10^{-19} J}{1eV} = 1,088 \cdot 10^{-19} J \quad (A.33)$$

$$\lambda_c = \frac{hc}{W} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{1,088 \cdot 10^{-19} J} = 18,27 \cdot 10^{-7} m = 1827nm \quad (A.34)$$

Esse comprimento de onda está na região da radiação do infravermelho.

- 9) (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) A função trabalho do césio é $1,9 eV$. (a) determine a frequência mínima e o comprimento de onda máximo para que o efeito fotoelétrico seja observado no césio. Calcule o valor de potencial de corte (b) para um comprimento de onda $300 nm$; (c) para um comprimento de onda de $400 nm$.

Solução (a) Primeiramente converte-se W de elétrons-volt para joules, usando a equação A.25:

$$W = 1,9eV \frac{1,60 \cdot 10^{-19} J}{1eV} = 3,04 \cdot 10^{-19} J \quad (\text{A.35})$$

Cálculo da frequência mínima e do comprimento de onda máximo para que o efeito fotoelétrico ocorra, é feito através da equação A.18:

$$f_{min} = \frac{W}{h} = \frac{3,04 \cdot 10^{-19} J}{6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s} = 0,459 \cdot 10^{15} Hz = 4,59 \cdot 10^{14} Hz \quad (\text{A.36})$$

$$\lambda_c = \frac{hc}{W} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{3,04 \cdot 10^{-19} J} = 6,54 \cdot 10^{-7} m = 654 nm \quad (\text{A.37})$$

A frequência mínima e o comprimento de onda máximo da radiação pedida é respectivamente, $4,59 \cdot 10^{14} Hz$ e $654 nm$, esta radiação está na região do vermelho do espectro visível.

(b) A energia de cada fóton do feixe de luz incidente é dada pela equação A.17:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{300 \cdot 10^{-9} m} = 6,626 \cdot 10^{-19} J = 4,14 eV. \quad (\text{A.38})$$

Pela equação A.18, conseguimos obter o potencial de corte:

$$V_{corte} = \frac{4,14 eV - 1,9 eV}{e} = \frac{2,24 eV}{e} = 2,24 V \quad (\text{A.39})$$

(c) A energia de cada fóton do feixe de luz incidente é dada pela equação A.17:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{400 \cdot 10^{-9} m} = 4,9695 \cdot 10^{-19} J = 3,11 eV. \quad (\text{A.40})$$

Pela equação A.18, conseguimos obter o potencial de corte dada pela equação A.17:

$$V_{corte} = \frac{3,11 eV - 1,9 eV}{e} = \frac{1,21 eV}{e} = 1,21 V \quad (\text{A.41})$$

- 10) (TIPLER; LLEWELLYN, 2001) A função trabalho do molibdênio é $4,22 eV$. (a) Qual é a frequência de corte para o efeito fotoelétrico no molibdênio? (b) Uma luz amarela com um comprimento de onda de $560 nm$ é capaz de fazer com que molibdênio emita fotoelétrons? Prove que sua resposta está correta.

Solução (a) Primeiramente convertemos W de elétrons-volt para joules, através da equação A.25:

$$W = 4,22 eV \frac{1,60 \cdot 10^{-19} J}{1eV} = 6,752 \cdot 10^{-19} J \quad (\text{A.42})$$

Cálculo da frequência mínima para que o efeito fotoelétrico ocorra, é calculado através da eq. A.18:

$$f_{min} = \frac{W}{h} = \frac{6,752 \cdot 10^{-19} J}{6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s} = 1,019 \cdot 10^{15} Hz \quad (\text{A.43})$$

A frequência mínima de corte no material de molibdênio é $1,019 \cdot 10^{15} Hz$.

(b) Cálculo do comprimento de onda máximo para que o efeito fotoelétrico ocorra, é calculado através da eq. A.18:

$$\lambda_c = \frac{hc}{W} = \frac{(6,626 \cdot 10^{-34} J \cdot s)(3,00 \cdot 10^8 m/s)}{6,752 \cdot 10^{-19} J} = 2,944 \cdot 10^{-7} m = 294,4 nm \quad (\text{A.44})$$

O comprimento de onda máximo para que o efeito fotoelétrico ocorra é $294,4 nm$, então uma luz amarela com um comprimento de onda de $560 nm$ não é capaz de fazer com que molibdênio emita fotoelétrons.