

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

Vanessa Pereira de Souza Moura

Física Quântica no ensino médio:
reflexão sobre artigos publicados e o potencial para formação de professores

Uberlândia - MG

2024

[Digite aqui]

VANESSA PEREIRA DE SOUZA MOURA

Física Quântica no ensino médio:
reflexão sobre artigos publicados e o potencial para formação de professores

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Linha de Pesquisa: Formação de Professores em Ensino de Ciências e Matemática

Orientadora: Prof^ª. Dra. Silvia Martins

Uberlândia - MG

2024

[Digite aqui]

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

M929 2024	<p>Moura, Vanessa Pereira de Souza, 1988- Física Quântica no ensino médio: reflexão sobre artigos publicados e o potencial para formação de professores [recurso eletrônico] / Vanessa Pereira de Souza Moura. - 2024.</p> <p>Orientadora: Sílvia Martins. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Modo de acesso: Internet. Disponível em: http://doi.org/10.14393/ufu.di.2024.447 Inclui bibliografia. Inclui ilustrações.</p> <p>1. Ciência - Estudo ensino. I. Martins, Sílvia, 1973-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 50:37</p>
--------------	--

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091
Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM)				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Profissional / Produto Educacional				
Data:	26/02/2024	Hora de início:	9:00	Hora de encerramento:	11:08
Matrícula do Discente:	12112ECM023				
Nome do Discente:	Vanessa Pereira de Souza Moura				
Título do Trabalho:	Física Quântica no Ensino Médio: Uma Reflexão sobre Artigos Publicados e o Potencial para Formação de Professores				
Área de concentração:	Ensino de Ciências e Matemática				
Linha de pesquisa:	Formação de Professores em Ciências e Matemática				
Projeto de Pesquisa de vinculação:					

Reuniu-se, na sala 3E-116, do bloco 3E do campus Santa Monica, a Banca Examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática, assim composta: Profa. Dra. Sílvia Martins dos Santos (INFIS/UFU) - orientadora; Profa. Dra. Debora Coimbra (ICENP/UFU) e Profa. Dra. Nilva Lúcia Lombardi Sales (UFSCar). Iniciando os trabalhos a presidente da mesa apresentou a Comissão Examinadora e a candidata, agradeceu a presença do público, e concedeu a discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa. A seguir, a presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, às examinadoras, que passaram a arguir a candidata. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu os conceitos finais. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O componente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Silvia Martins Dos Santos, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2024, às 11:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Debora Coimbra Martins, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/02/2024, às 11:42, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Nilva Lúcia Lombardi Sales, Usuário Externo**, em 26/02/2024, às 20:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5211684** e o código CRC **63C17AB6**.

RESUMO

A inserção do ensino de Física Quântica no Ensino Médio tem sido amplamente discutida na literatura. No entanto, há vários relatos de dificuldades na implementação da Física Quântica nas escolas secundárias, incluindo a transposição didática para o nível médio. Nesse contexto, acredita-se que os artigos publicados em revistas de ensino de física podem contribuir significativamente tanto para o planejamento das aulas quanto para a formação dos professores, e conseqüentemente para a inserção da Física Quântica no Ensino Médio. Ciente de que o professor é o único capaz de realizar movimentos nesse sentido, o objetivo deste trabalho é: (I) pesquisar os artigos sobre o ensino de Física Quântica no ensino médio, na Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física; (II) classificar, categorizar e analisar as potencialidades para apoiar as práticas de ensino, e ; (III) desenvolver o E-book “Física Quântica no Ensino Médio: abordagens, metodologias e uma sugestão de Módulos Didáticos”, que inclui sugestões de artigos com propostas didáticas, materiais de apoio para formação e atuação dos professores no Ensino Médio e literatura complementar, ou seja, todo material didático que possa servir de suporte para o professor preparar suas aulas de Física Quântica dentro da realidade do ambiente escolar em que está inserido. Após a seleção dos artigos uma sequência didática foi elaborada, inspirada nos Momentos Didáticos previstos pela Teoria Antropológica do Didático e sua aplicação para futuros professores permitiu observar que os artigos influenciaram positivamente no planejamento das aulas dos Módulos Didáticos desenvolvidos pelos licenciandos. Conclui-se que os artigos podem, de fato, contribuir para a inserção da Física Quântica no Ensino Médio, fornecendo exemplos de boas práticas e materiais consistentes.

Palavras-chave: Física Quântica, Ensino Médio, Formação de professores.

ABSTRACT

Quantum Physics' teaching inclusion in high school has been widely discussed in the literature. However, there are several difficulties' reports in implementing Quantum Physics in secondary schools, including didactic transposition to the secondary level. In this context, it is possible to believe that articles published in physics teaching magazines can significantly contribute to both: lesson planning and teacher training, and consequently to Quantum Physics' inclusion in High School. Aware of that the teacher is the only one who is capable of carrying out movements in this direction, the objective of this paper is: (I) research articles on Quantum Physics' high school teaching, in the "Revista Brasileira de Ensino de Física" and in the "Caderno Brasileiro de Ensino Physics"; (II) classify, categorize and analyze the teaching practices' potential, and; (III) develop a E-book named "Quantum Physics in High School: approaches, methodologies and a suggestion for Didactic Modules", which includes articles' suggestions with didactic proposals, support materials for the training and performance of teachers in High School and complementary literature, in other words, all teaching material that can support the teacher to prepare their Quantum Physics classes within the school environment inserted in their reality. After selecting the articles, a didactic sequence was created, inspired by the Didactic Moments foreseen by the Anthropological Theory of Didactics and its application to future teachers allowed us to observe that the articles had a classes planning's positive influence in the Didactic Modules developed by the undergraduate students. It is possible to concluded that the articles can, in fact, contribute to the Quantum Physics' inclusion in High School, offering good practices examples and consistent materials.

Keywords: Quantum Physics, High School, Teacher training.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema Representativo das Interligações entre a TTD e a TAD	25
Figura 2 - Tópicos de FQ e formas de abordagens, considerados importantes para EM	28
Figura 3 - Nuvem de palavras	28
Figura 4 - Império das luzes.....	44
Figura 5 - Artigos que abordam Física Quântica	50
Figura 6 - Artigos de Proposta Didática.....	52
Figura 7 - Ciclo da Experiência Kellyana	58
Figura 8 - Estranho comportamento da partícula a) Gráficos do experimento de fenda dupla. b) Figura pictórica do experimento. c) Sobreposição das imagens.....	60
Figura 9 - Discussões na plataforma virtual sobre os artigos de proposta didática.....	69
Figura 10 - Rascunho da Sequência Didática.....	72
Figura 11 - História em Quadrinhos.....	76
Figura 12 - Pinturas de Salvador Dali	78
Figura 13: Capa do produto Educacional.....	90

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tópicos de Física Quântica nos livros didáticos.....	30
Quadro 2 - Organização da proposta didática.....	66
Quadro 3 - Tópicos dos Módulos Didáticos	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise dos livros didáticos	32
--	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CBEF	Caderno Brasileiro de Ensino de Física
CRMG	Currículo Referência de Minas Gerais
CRMG	Currículo Referência de Minas Gerais
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
EM	Ensino Médio
ENADE	Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
FM	Física Moderna
FMC	Física Moderna e Contemporânea
FQ	Física Quântica
HFC	História e filosofia da ciência
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da educação Nacional
MD	Momentos Didáticos
MQ	Mecânica Quântica
NEM	Novo Ensino Médio
OA	Objetos de Aprendizagem
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PCN +	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PHET	Physics Education Technology Project
PNLD	Plano Nacional do Livro Didático
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
SBF	Sociedade Brasileira de Física

TAD	Teoria Antropológica do Didático
TIDIC	Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação
TTD	Teoria da Transposição Didática
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UFU	Universidade Federal de Uberlândia

[Digite aqui]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	11
2	OS DESAFIOS PARA INSERÇÃO DA FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO SOB A ÓTICA DA TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA	16
2.1	Teoria Antropológica do Didático (TAD): um caminho	18
2.1.1	Quarteto praxeológico	20
2.1.2	Momentos Didáticos.....	22
3	A FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: PERSPECTIVAS CURRICULARES E MATERIAIS DIDÁTICOS	26
3.1	Física Quântica nos livros Didáticos	31
4	O CONTEXTO DO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA	37
4.1.1	Abordagem do contexto histórico no ensino de Física Quântica.....	37
4.1.2	Abordagem fenomenológica no ensino de Física Quântica	39
4.1.3	Abordagem postulacional no ensino de Física Quântica.....	42
4.2	Literatura e arte no ensino de Física Quântica.....	43
5	METODOLOGIA.....	46
5.1	Pesquisa Bibliográfica: artigos como suporte ao ensino de física	46
5.2	Sequência Didática: potencial dos artigos para a formação inicial de professores 47	47
6	ANÁLISE DOS ARTIGOS: PRIMEIROS RESULTADOS	48
6.1	Organização e categorização dos artigos	50
6.2	Artigos de Proposta Didática	51
6.2.1	Abordagem conceitual e histórica no ensino de Física Quântica	52
6.2.2	Abordagem fenomenológica da Física Quântica.....	53
6.2.3	Abordagem postulacional no ensino de Física Quântica.....	55
6.2.4	Literatura e arte.....	56
6.2.5	Metodologias ativas para abordagem da Física Quântica.....	57
6.3	Material de Apoio para o Ensino Médio: Formação e Atuação de Professores ...	61
6.4	Análise de Material e Resenhas de Livros	63
6.5	Apoio ao Ensino Superior: Temas Gerais de Física Quântica	64
7	SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES ANCORADA NA CATEGORIA DE “PROPOSTA DIDÁTICA”	65

[Digite aqui]

7.1	A aplicação da sequência: resultados e discussões.....	67
7.2	Reflexões sobre as propostas dos estudantes e o potencial dos artigos selecionados para a organização de um currículo de Física Quântica em nível médio.....	75
7.3	Panorama da sequência didática	85
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
9	PRODUTO EDUCACIONAL DESSA DISSERTAÇÃO	89
10	REFERÊNCIAS.....	91
	APÊNDICE A – ARTIGOS DO CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA	118
	APÊNDICE B – ARTIGOS DA REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA	120
	APÊNDICE C – ARTIGOS CLASSIFICADOS COMO “PROPOSTA DIDÁTICA”	127
	APÊNDICE D – ARTIGOS CLASSIFICADOS COMO “MATERIAL DE APOIO PARA O ENSINO MÉDIO: FORMAÇÃO E ATUAÇÃO DE PROFESSORES” ...	129
	APÊNDICE E - QUADROS DOS MÓDULOS DIDÁTICOS	133

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Embora os avanços científicos e tecnológicos façam parte da contemporaneidade, existe uma grande parcela da população não especializada na área, que não conhece os processos físicos que precede o funcionamento das tecnologias e, por vezes, acaba sendo receptora e transmissora de desinformação, relacionada às ciências em geral. Isso ressalta a importância da educação científica e tecnológica, pois ao compreender os princípios básicos por trás das tecnologias que utilizamos pode contribuir para desenvolver um pensamento crítico, pessoas informadas, uma maior apreciação pelo papel da ciência e no desenvolvimento das tecnologias em nossa sociedade.

Essa falta de conhecimento está em desacordo com o propósito do Ensino Médio (EM), que representa a etapa final do ensino básico. De acordo com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB), Lei nº 9.394/1996, que guia e regulamenta a educação brasileira, é esperado que ao concluírem o ensino médio, os estudantes possuam, entre outras coisas, a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos. Isso implica relacionar a teoria com a prática em cada disciplina, visando formar cidadãos críticos e conscientes, munidos de um conhecimento embasado em princípios científicos, capazes de assimilar as novas tecnologias e linguagens contemporâneas. A LDB também orienta que os conteúdos devem ser abordados por meio de diversas metodologias e formas de avaliação, incluindo atividades práticas, teóricas, orais, escritas, seminários, projetos e atividades online, desde que atinjam os objetivos propostos para o Ensino Médio.

Nesse sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), conjunto de orientações que visam nortear a prática educativa, destaca que uma proposta curricular contemporânea deve estar atenta às exigências e tendências do mundo atual, buscando promover uma educação que seja relevante e significativa. Em relação à disciplina de física, é importante dar significado ao ensino, contextualizando para que os conteúdos deixem de ser apenas repetições, memorizações de fórmulas ou situações abstratas e passem a fazer sentido (Brasil, 2000).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC), documento normativo que estabelece as diretrizes para a elaboração dos currículos da educação brasileira e foi implementada em 2017, tem como objetivo definir os conhecimentos, competências e habilidades que todos os alunos devem desenvolver nos anos escolares. Para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, a BNCC propõe ampliar o conhecimento adquirido no ensino fundamental, focando na

[Digite aqui]

interpretação dos fenômenos e dos processos tecnológicos, ou seja, criar condições para que o educando se aproprie da cultura científica (Brasil, 2017).

Os documentos oficiais ressaltam a importância do uso diversificado de metodologias e formas de avaliação pelos professores, a fim de desenvolver as competências e habilidades necessárias para alcançar os objetivos do Ensino Médio: formar indivíduos críticos, capazes de embasar seus argumentos em conhecimento científico, com uma visão abrangente e crítica do mundo que os cerca, compreendendo a evolução cronológica, os fenômenos e as tecnologias presentes em seu cotidiano.

No entanto, a pesquisa realizada por Rocha *et al.* (2021) apontam que há um baixo índice de aprendizagem na disciplina de física, que por sua vez reflete-se nos baixos resultados no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), nos últimos anos, além de os alunos apresentarem dificuldades na aplicação do conhecimento de física, associado a situações cotidianas. Diante disso, é fundamental que haja uma revisão das práticas pedagógicas e uma maior ênfase na contextualização do conhecimento científico, de modo a preparar os estudantes para os desafios do mundo contemporâneo.

Outro problema crescente em relação a um dos tópicos da física é a disseminação de apropriações indevidas, relacionadas à Física Quântica. Esse tema disseminou-se tanto na mídia quanto na sociedade em geral nos últimos tempos, sendo bastante discutido pelo público, mas infelizmente, essas discussões geralmente se dão por meio de apropriações indevidas e pseudociências relacionadas a teorias místicas e de cunho espiritual. De acordo com Osvaldo Pessoa Júnior (2011), caracteriza-se hoje como um fenômeno cultural considerável, que traz importantes desafios ao professor, no cotidiano da sala de aula.

Saito (2021) relata que o fenômeno cultural conhecido como misticismo quântico invadiu todas as áreas da cultura e da sociedade. Diante desse contexto, a educação científica tem um papel essencial para a compreensão de tal fenômeno, contribuindo para separar os limites do conhecimento científico e da pseudociência, particularmente o ensino de física, que pode influenciar de forma positiva a circulação de conhecimento científico e aponta as possíveis causas do desenvolvimento do misticismo quântico.

A partir do panorama histórico e filosófico a respeito da gênese e do desenvolvimento do fenômeno cultural do misticismo quântico, foi possível perceber que esse fenômeno surgiu da circulação das ideias da FQ não somente na comunidade de físicos que trabalhavam com a FQ, mas também em diversas comunidades presentes na sociedade, o que permitiu com que esse

fenômeno se desenvolvesse e ganhasse a repercussão atual (Saito, 2021, p. 1119).

Sendo assim, há uma urgência em se trabalhar a Física Moderna e Contemporânea, em especial a Física Quântica no Ensino Médio, mesmo que de forma conceitual, para tentar minimizar as consequências geradas pelo misticismo quântico para a ciência e educação, suprimindo assim o grande crescimento da pseudociência (Saito, 2021).

Nesse contexto, ao se analisar a disciplina de Física no ensino médio, observa-se que grande parte dos conteúdos trabalhados se refere a temas de física clássica, enquanto a física moderna ganha pouco destaque. Nos livros didáticos, geralmente é planejada para o final do terceiro ano (Fontes; Rodrigues, 2019), conforme apontado também por Silva e Almeida (2011), observado nos exemplares dos livros didáticos de Bonjorno *et al.* (2016a, 2016b, 2016c), Guimarães, Piqueira e Carron (2017a, 2017b, e 2017c) e Kazuhito e Fuke (2017a, 2017b, 2017c) e nos livros aprovados pelo PNLD 2018 e 2021 (Santos e Siqueira, 2023). Nesse momento do ensino, os estudantes já estão com seus olhares voltados ao final do ensino médio. Essa organização, assim como lacunas na formação docente (Paulo; Moreira, 2011; Silva; Almeida, 2011), fazem com que a abordagem de conteúdos de FM no EM seja bastante prejudicada na prática e, não raramente, esta sequer é abordada (Fontes; Rodrigues, 2019).

As possíveis causas para a não abordagem de temas da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio não estão definidas na literatura, mas vários são os apontamentos. Segundo Paulo e Moreira (2011), a linguagem usada pode ser uma delas, pois os termos usados na Física Moderna e Contemporânea/Física Quântica (FMC/FQ), como complementaridade, princípio da incerteza, estranheza, quarks, dentre outros, não estão presentes no cotidiano. Ao abordar os temas usando os termos científicos, a FQ pode parecer incompreensível. Eles ressaltam que:

A exposição de resultados experimentais e conceitos científicos aos leigos pode se tornar efetiva se a explicação oferecida despertar a atenção dos mesmos, o que pode ser obtido em termos de uma linguagem, comum a todos, compreensível. Mas, mesmo para um físico, a capacidade de fazer uma exposição em linguagem simples se constituirá em um critério do grau de entendimento que ele chegou (Paulo; Moreira, 2011, p. 423).

Um outro possível fator apontado é o grau de compreensão do docente sobre a FMC, que pode gerar insegurança ao abordar os temas, a impossibilidade de visualização e termos incomuns (Paulo; Moreira, 2011). Podemos ainda acrescentar a constante comparação com a [Digite aqui]

matemática, ao ser trabalhada pela maioria dos professores apenas com os cálculos, deixando a parte histórica-filosófica em segundo plano, e a ausência de textos e literatura específica (Lima; Ricardo, 2019). Há falta de materiais específicos para abordagem da FMC no nível médio e literatura superficial dos livros didáticos, em comparação com os outros conteúdos (Lima; Cavalcanti; Ostermann, 2021). Esse apontamento é relatado também na pesquisa de Fontes e Rodrigues (2019), os quais realizaram uma análise nos livros didáticos e apontam esse fator, que pode contribuir para que não ocorra a efetiva inserção da FMC no EM:

[...] a proporção desta temática é muito inferior quando comparada a temáticas da física clássica. Também, percebemos que ambas as coleções deixam para explorar a FMC apenas no último volume de suas obras. O receio desta escolha é que muitas vezes este conteúdo não chega a ser trabalhado em sala de aula (Fontes; Rodrigues, 2019, p. 407).

Em contrapartida, grupos de estudos têm se dedicado ao desenvolvimento de sequências e materiais didáticos que possibilitam a construção de conhecimentos, habilidades e atitudes alinhadas com as exigências da educação básica e a capacitação contínua dos professores. Nesse contexto, a colaboração entre escolas e universidades desempenha um papel fundamental no aprimoramento da Formação Continuada de Professores e na promoção da reflexão em grupo (Souza, Araujo e Veit, 2021). No entanto, não devemos esquecer que o elo central na implementação de temas da FMC no Ensino Médio é o próprio professor: somente ele é capaz de efetivamente impulsionar avanços nessa direção (Silva e Almeida, 2011).

Diante de tantos problemas apontados, da constatação de que o professor de EM é o único que pode realmente fazer com que os tópicos da FQ passem a fazer parte do currículo do Ensino Médio e que muitas propostas desenvolvidas por grupos especializados não chegam aos professores da educação básica, tendo em vista que o material didático mais utilizado pelos professores é o livro didático, questiona-se como os artigos publicados podem contribuir para a formação inicial de professores. Em outras palavras, como podem os futuros professores utilizar os artigos para planejar as aulas e, de fato, inserir a FQ no Ensino Médio?

Na perspectiva de contribuir com a formação inicial e continuada dos professores, o objetivo desse trabalho é buscar os artigos relacionados à FQ, publicados em periódicos, que tenham como foco a pesquisa e a experiência na área do ensino de física e refletir como esses artigos podem contribuir para a efetiva inserção dessa temática na escola básica. A pesquisa se faz necessária, visto que o escasso tempo do professor de escola pública e o excesso de trabalho não contribuem para que o docente busque esses recursos.

[Digite aqui]

Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho é na primeira etapa (I) identificar os artigos sobre física quântica nos ambientes virtuais da Revista Brasileira de Ensino de Física e do Caderno Brasileiro de Ensino de Física; (II) organizar e categorizar e;(III) refletir acerca dos recursos didáticos presentes nos artigos. Na segunda etapa (IV) elaborar e aplicar a sequência didática e; (V) construir um Ebook “Física Quântica no Ensino Médio: abordagens, metodologia e uma sugestão de Módulos Didáticos”. No guia digital há sugestões de alguns artigos de propostas didáticas, materiais para formação e atuação dos professores, experimentos de baixo custo, laboratórios de simulações virtuais, literatura complementar e histórias em quadrinhos, ou seja, todo o material didático necessário para auxiliar o professor na preparação de suas aulas de Física Quântica, levando em consideração a realidade do ambiente escolar em que está inserido. Além disso, é apresentada uma sugestão de três Módulos Didáticos elaborada pelos estudantes participantes da pesquisa, com as respectivas aulas, para consulta do professor, de acordo com seu interesse.

A estrutura do texto foi organizada com o apontamento da introdução e justificativa no primeiro capítulo da pesquisa. No segundo capítulo serão abordados os desafios da inserção do tema no ensino médio sob a ótica da transposição didática. Aborda, no terceiro capítulo, reflexões que possam embasar as discussões sobre os temas defendidos por professores e pesquisadores, para serem abordados no ensino médio e expõe os tópicos da FQ nos livros didáticos do EM. No quarto capítulo serão expostos alguns contextos do ensino de física quântica, as abordagens que possam servir de sugestão para o professor, no planejamento das aulas. No quinto capítulo é apresentado o delineamento metodológico do trabalho e as perspectivas para o seu desenvolvimento. No sexto capítulo serão expostas as análises dos artigos e os primeiros resultados, a organização e o detalhamento dos artigos nas categorias, assim como as potencialidades dos artigos encontrados para a prática docente. No sétimo capítulo é exibida uma sequência didática para formação inicial de professores sobre a abordagem da FQ no EM, aplicada aos Licenciandos do 5º período de Física da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). No oitavo capítulo são apresentadas as considerações finais da pesquisa, sobre as reflexões a respeito dos artigos publicados sobre a FQ e o potencial para apoio e formação dos professores. E no nono capítulo o produto educacional dessa dissertação.

2 OS DESAFIOS PARA INSERÇÃO DA FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO SOB A ÓTICA DA TEORIA DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

O termo Transposição Didática diz respeito à maneira pela qual o conhecimento científico é adaptado e transformado para ser ensinado. Esse conceito foi introduzido por Michel Verret em 1975 e mais tarde explorado por Yves Chevallard e Marie-Alberte Joshua. Embora tenha sido inicialmente focado em conteúdos matemáticos, essa perspectiva foi ampliada e aplicada para todas as áreas de conhecimento, tornando os saberes gerados pelos cientistas apropriados para o ambiente escolar.

A construção do conhecimento é fruto do trabalho de cientistas e intelectuais acerca da compreensão da realidade. Há uma diferença entre o processo (parte da etapa de investigação) até chegar ao produto, que é conhecimento aceito por cientistas e entendido como “saber sábio”, conhecimento limpo e responsável pelo processo de transformação do indivíduo. Ao apresentar esse “saber sábio” à comunidade, é utilizada uma linguagem específica para os profissionais da área e outra linguagem para os leigos em geral. Cada etapa está organizada de maneira hierárquica em esferas diferentes, com objetivos e graus de dificuldades distintos (Santos e Siqueira, 2023).

É utilizado o termo **saber** (savoir) para designar o objeto sujeito a transformações. Como elemento de análise do processo de transformação do saber, a transposição didática, estabelece a existência de três estatutos, patamares ou níveis para o saber: (a) **o saber sábio** (savoir savant); (b) **saber a ensinar** (savoir à enseigner) e (c) **saber ensinado** (savoir enseigné). A existência destes patamares ou níveis sugere a existência de grupos sociais diferentes que respondem pela existência de cada um deles. Estes grupos diferentes, mas com elementos comuns ligados ao “saber”, fazem parte de um ambiente mais amplo, que se interligam, coexistem e se influenciam, denominado de **noosfera** (Alves Filho, 2000, p. 176).

Para que o “saber sábio” se transforme em “saber ensinado” é necessário ocorrer a transposição didática do conhecimento, que é de responsabilidade de uma esfera de conhecimento maior do que a esfera dos cientistas. O produto do “saber ensinar” é ressignificado em relação ao “saber sábio” por uma instituição diferente, que se constitui de autores de livros e agências reguladoras (editoras, PNLD, etc.) (Kluth; Almouloud, 2020) e está presente nos livros-textos e manuais de ensino, nos quais o conteúdo é organizado e apresentado em uma sequência lógica, com aspecto cumulativo.

[Digite aqui]

O resultado do “saber a ensinar” torna-se o objeto de trabalho do docente, que prepara suas aulas com base nos livros didáticos. Nessa terceira esfera, composta pelo corpo docente de uma determinada área de conhecimento, uma nova etapa de transposição didática ocorre, em que o professor adapta o conteúdo do livro didático para diferentes contextos, de acordo com as necessidades de cada turma e de acordo com o repertório que ele próprio constituiu de suas vivências anteriores, transformando assim o “saber sábio” em “saber ensinado”. A transposição depende muito do ambiente escolar em que se está inserido e dos recursos disponíveis. Esse ambiente, por sua vez, é muito instável por sofrer pressões de diversos setores, o que pode influenciar nessa adaptação, essa etapa é denominada de transposição didática interna (Santos e Siqueira, 2023).

A Teoria da Transposição Didática serve como uma ferramenta analítica que pode revelar o caminho do conhecimento ao sair de seu ambiente de origem e entrar na sala de aula. É importante ressaltar que nem toda informação de conhecimento do “saber sábio” faz parte do cotidiano escolar. O papel da noosfera “saber a ensinar” é vital na seleção e/ou adaptação de informações; muitos fatores influenciam as opções a serem consideradas.

Além disso, algumas características devem ser observadas na transposição, para que um determinado conhecimento esteja presente no livro didático. Por exemplo, é importante que haja consenso sobre a veracidade do conceito que esteja atualizado em termos *morais*¹ (aquele conhecimento considerado importante do ponto de vista da sociedade e, portanto, muito importante para composição curricular) e/ou *biológicos*² (aquele que faz parte da ciência praticada na atualidade e necessário ser ensinado), e que seja operacional, ou seja, conhecimentos que possibilitam a criação de exercícios, atividades e tarefas que permitem uma avaliação objetiva geralmente apresentam características operacionais e, portanto, são mais propensos a serem transpostos (Brockington, 2005).

Embora a literatura enfatize a importância desse tema no currículo de física da escola básica, é necessário um processo complexo de transposição didática para que os docentes disponham de material adaptado e recebam a formação adequada, a fim de que a inserção da Física Quântica ocorra, de forma efetiva. Ressalta-se que

¹ Um saber que faz parte da atualidade moral é aquele conhecimento considerado importante do ponto de vista da sociedade e, portanto, muito importante para a composição curricular.

² Um saber que faz parte da atualidade biológica é aquele que faz parte da ciência praticada na atualidade e necessário ser ensinado.

[...] os motivos pelos quais a cinemática (e, também, a termodinâmica e a eletricidade) reinaria no Ensino Médio: ela seria resultado de um longo e bem-sucedido processo de criatividade e transposição didática, seria consensual e, principalmente, possuiria alta operacionalidade [...] (Silva; Almeida, 2011, p. 631).

É notável que o ensino da FQ apresente consenso na comunidade científica, mesmo havendo discordância de como abordá-lo. É indiscutível que há avanços significativos em termos de conhecimentos biológicos e morais presentes na sociedade moderna; no entanto, estas apresentam baixa operacionalidade (Brockington, 2005). “Logo, a ausência da teoria quântica no Ensino Médio se justificaria principalmente pelo fato de ela possuir baixa operacionalidade, embora seja (em sua maior parte) consensual [...]” (Silva; Almeida, 2011, p. 632).

A tarefa de desenvolver uma compreensão dos conceitos e princípios relacionados à teoria quântica é bastante desafiadora, uma vez que grande parte dessa teoria envolve uma linguagem matemática altamente complexa. Equações de onda, funções de probabilidade, números imaginários, matrizes, dentre outros, não fazem parte do currículo do ensino médio. Por outro lado, o Princípio da Incerteza e a interpretação probabilística são meios importantes para se representar o mundo microscópico, mas não são conceitos de fácil compreensão para os alunos (Brockington, 2005), pois

Transpor a Teoria Quântica para a sala de aula do Ensino Médio deve ser vista como uma tarefa das mais complexas, pois de um lado têm-se as exigências epistemológicas inerentes ao campo de conhecimento produzido pela Física Moderna, muito distantes dos padrões de entendimento forjados no mundo cotidiano. Por outro lado, as exigências do domínio escolar não são menores, pois ideologia, necessidades de natureza didática e tradição se entrelaçam na constituição de um domínio particular. Tem-se de fato um problema complexo e com solução não óbvia: como satisfazer a ambos os domínios? Será possível manter o rigor conceitual e ao mesmo tempo satisfazer as exigências do sistema didático? (Brockington 2005, p. 400-401).

2.1 Teoria Antropológica do Didático (TAD): um caminho

A transposição da Teoria Quântica é notadamente complexa, principalmente devido à sua forte ligação com conceitos matemáticos que não são abordados no ensino médio. Por outro lado, a Teoria Antropológica do Didático (TAD), desenvolvida inicialmente para ser aplicada à matemática, mas passível de ser utilizada em outras áreas, busca aprimorar a Teoria da Transposição Didática (TTD). Yves Chevallard (1998) apresentou a TAD com o intuito de

[Digite aqui]

abordar um dos desafios enfrentados pelos professores: a preparação e execução das aulas, ou seja, organizar o conteúdo (objeto de ensino) a ser ensinado e colocá-lo em prática de forma efetiva. Segundo Yves (1998), a TAD deve ser vista como o desenvolvimento e a articulação de conceitos que podem ser desenvolvidos com muitos fenômenos didáticos, resultando em múltiplas análises (*apud* Santos; Menezes, 2015).

Um conteúdo de saber que tenha sido definido como saber a ensinar, sofre, a partir de então, um conjunto de transformações adaptativas que irão torná-lo apto a ocupar um lugar entre os objetos de ensino. O 'trabalho' que faz de um objeto de saber a ensinar, um objeto de ensino, é chamado de transposição didática (Chevallard, 1991, p. 45).³

Para compreender a teoria, é necessário entender três conceitos fundamentais: os objetos "O", as pessoas "X" e as instituições "I". Todas as coisas podem ser consideradas como objetos (O), incluindo teorias e fundamentos, assim como as pessoas (X) e as instituições (I). No entanto, um *objeto* só existirá a partir do momento em que for reconhecido pelas pessoas (X) ou pelas instituições (I). Durante uma aula, os *objetos* do conhecimento (conteúdos específicos) são apresentados às *pessoas* (alunos), embora já sejam conhecidos pela *instituição* (professor). É por meio das diversas interações (X-O, X-I, I-O) que o conhecimento é construído.

O conceito de instituição pode ser explicado como um instrumento social, completo ou parcial, que impõe aos seus sujeitos modos de agir e pensar, próprios de cada "tipo" ou "forma" de instituição. Ampliando o conceito, pode-se considerar que as instituições não são apenas entidades abstratas, mas sim conjuntos de regras, normas, valores e práticas que moldam o comportamento e as interações humanas em diferentes contextos. Podem incluir desde estruturas formais, como escolas, universidades e governos, até estruturas informais, como a família, a comunidade ou grupos sociais específicos. Além disso, exercem influência sobre a forma como o conhecimento é produzido, disseminado e assimilado. Por exemplo, as instituições educacionais estabelecem currículos, métodos de ensino, avaliações e práticas pedagógicas que moldam a forma como os alunos adquirem conhecimento.

Para se definir o termo "pessoa", primeiro efetiva-se a distinção de seus estágios: o "indivíduo", o "sujeito" e a "pessoa". O estágio mais primitivo é o *indivíduo*, que não se submete

³ Traduzido do original espanhol: "Un contenido de saber que ha sido designado como saber a enseñar, sufre a partir de entonces un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. El "trabajo" que transforma de un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza, es denominado la transposición didáctica.

e não modifica suas relações com instituições e objetos. Quando se relaciona com uma instituição, adotando hábitos, maneiras e regras e se submete a essa relação, torna-se um *sujeito*. Ao se relacionar com diversas instituições diferentes, esse conjunto de sujeitos forma a *pessoa (X)* (Santos; Menezes, 2015).

Pode-se destacar que a transição do estágio de indivíduo para sujeito e, posteriormente, para pessoa, reflete a complexidade das interações humanas com o ambiente social e institucional. O processo de se tornar sujeito implica a internalização das normas e valores de uma determinada instituição, resultando em uma modificação na forma como o indivíduo se relaciona com o mundo ao seu redor. Por sua vez, a constituição da pessoa como um conjunto de sujeitos sugere a multiplicidade de papéis, identidades e influências que uma pessoa pode assumir ao interagir com diferentes contextos sociais e institucionais. Sendo assim, as relações humanas moldam a formação e o desenvolvimento das pessoas em uma sociedade.

Algumas relações entre sujeitos, objetos e instituições são permeadas por diferentes objetivos. Na sala de aula, a intenção da instituição (representada pelo professor) é que os sujeitos (alunos) compreendam o objeto (conhecimento).

Essa dinâmica ressalta a importância da interação entre os sujeitos, os objetos de conhecimento e as instituições educacionais. O papel do professor como representante da instituição é facilitar a compreensão e a aquisição de conhecimento pelos alunos, promovendo um ambiente propício à aprendizagem. Por sua vez, os alunos como sujeitos têm a responsabilidade de engajarem-se ativamente no processo de compreensão e assimilação do conhecimento, utilizando os recursos e orientações disponibilizados pela instituição, que ocorre, geralmente, por meio de uma tarefa (Santos; Menezes, 2015). A seguir, discutir-se-á como uma ou mais técnicas são escolhidas para realização das tarefas.

2.1.1 Quarteto praxeológico

O quarteto praxeológico é um conceito que deriva das palavras gregas "práxis" (prática) e "logos" (saber), ou seja, saber praticar/ pôr em prática, e representa uma estrutura teórica que engloba quatro elementos essenciais para a realização de qualquer atividade humana, denominada tarefa (T). Para resolver uma tarefa proposta, podem ser utilizados vários tipos de técnicas (τ), formando assim o bloco [T, τ] do saber-fazer (prático-técnico). A tecnologia (θ) é empregada para justificar a técnica utilizada na resolução da tarefa, determinando assim sua validade. Por fim, a teoria (Θ) justifica e atribui veracidade à tecnologia, formando o bloco [θ , [Digite aqui]

Θ] do saber (tecnológico-teórico) (Bittar, 2017). Para realizar qualquer atividade é necessário combinar os dois blocos que, juntos, formam o quarteto praxeológico (T, τ, θ, Θ) (Diogo; Osorio; Silva, 2007).

O quarteto apresentado oferece uma estrutura conceitual sólida para analisar e compreender a realização de atividades humanas em diversos contextos, incluindo o ambiente escolar. Vamos expandir a discussão sobre cada elemento do quarteto:

Tarefa (T): Representa o objetivo ou a atividade a ser realizada. No contexto educacional, as tarefas podem incluir desde a resolução de problemas matemáticos, a compreensão de conceitos físicos, químicos ou biológicos até a produção de um projeto interdisciplinar. Compreender a natureza da tarefa é fundamental para planejar estratégias de ensino adequadas e avaliar o desempenho dos alunos.

Técnicas (τ): Refere-se aos métodos, procedimentos e habilidades utilizados para realizar a tarefa. No ambiente escolar, as técnicas podem englobar desde estratégias de ensino específicas até a forma como os alunos abordam a resolução de exercícios. A escolha e aplicação adequada das técnicas podem impactar significativamente o processo de aprendizagem dos alunos.

Tecnologia (θ): Diz respeito aos recursos, ferramentas e instrumentos empregados para justificar e viabilizar as técnicas utilizadas na realização da tarefa. No contexto educacional, a tecnologia pode incluir desde o uso de dispositivos eletrônicos em sala de aula, metodologias ativas até a implementação de plataformas digitais para auxiliar no ensino e na aprendizagem. Integrar a tecnologia de forma eficaz pode potencializar a qualidade e a eficiência do processo educacional.

Teoria (Θ): Consiste no embasamento teórico que fundamenta a tecnologia utilizada e atribui veracidade às práticas adotadas. No ambiente escolar, a teoria pode estar relacionada às bases pedagógicas que sustentam as estratégias de ensino empregadas e aos princípios educacionais que norteiam a prática docente. Uma sólida fundamentação teórica é essencial para embasar as decisões e ações dos educadores.

Ao integrar de forma equilibrada e consciente esses elementos do quarteto praxeológico no planejamento e na execução das atividades educacionais, os educadores podem promover uma aprendizagem mais significativa, contextualizada e alinhada com as demandas da sociedade contemporânea. A interconexão entre a tarefa, as técnicas, a tecnologia e a teoria permitem uma abordagem mais holística e eficaz no processo de ensino e aprendizagem,

[Digite aqui]

preparando os alunos para enfrentar os desafios do mundo atual com conhecimento e habilidades sólidas (Santos; Menezes, 2015; Bittar, 2017).

Essa abordagem oferece uma visão abrangente e integrada sobre a realização de atividades humanas, destacando a interface entre a tarefa, as técnicas, a tecnologia e a teoria. Ao compreender a importância e a interdependência desses elementos, torna-se capaz de aprimorar a compreensão sobre como as atividades humanas são realizadas e como o conhecimento é aplicado, em contextos educacionais práticos.

2.1.2 Momentos Didáticos

A TAD de Chevallard postula a existência de seis momentos didáticos (MD) que são essenciais para o estudo de uma organização praxeológica, como a matemática ou física. Estes momentos, não precisam ocorrer em uma sequência cronológica e podem ser realizados de forma simultânea ou em diferentes etapas do processo. São considerados uma realidade funcional, ou seja, são considerados como etapas essenciais que devem ser realizadas para que o estudo seja eficaz, independentemente da ordem cronológica em que ocorrem. Além disso, podem ocorrer várias vezes ao longo do tempo, em vez de serem eventos únicos e sequenciais.

Os momentos didáticos são:

a) *Momento do Primeiro Encontro*: refere-se ao contato inicial efetivo de um grupo ou indivíduo com o objeto de estudo e a organização praxeológica em pauta. Esse contato pode acontecer de várias maneiras, como a interação com uma das tarefas que fazem parte da organização envolvida, e pode ocorrer mais de uma vez devido ao contexto em que acontece. O primeiro encontro pode se dar através de uma narrativa informativa que origina uma imitação da prática. Em uma abordagem mais rigorosa, isso leva à pesquisa e à explicitação das razões pelas quais o objeto foi construído ou persiste na cultura.

Outra maneira em que o momento do primeiro encontro pode ocorrer é por meio de situações fundamentais, em que o estudante interage com o objeto tentando criar respostas para questões específicas, afastando-se de referências de uma realidade pré-existente. Chevallard também sugere a possibilidade de casos que combinam essas duas formas, em que diferentes níveis de cada uma delas são demonstrados. Em muitos casos, a definição do objeto por um sistema de situações fundamentais é descartada em favor da representação do objeto em algumas atividades, resultando em formas mistas de primeiros encontros.

[Digite aqui]

b) *Momento exploratório*: Quando confrontados com um tipo de tarefa ou problema específico, é natural que surja pelo menos um esboço inicial de uma técnica para resolvê-lo. Diferentes técnicas podem ser consideradas para lidar com o mesmo tipo de tarefa, e é durante o momento exploratório que essas técnicas são avaliadas levando-se em conta as demandas do problema, os recursos disponíveis e sua eficácia. Um exemplo disso é como gerar energia elétrica para uma determinada comunidade, em que diferentes técnicas podem ser usadas, mas a escolha da técnica mais apropriada depende dos recursos e do contexto da situação. Essa análise ocorre durante o momento exploratório, permitindo a seleção das técnicas mais adequadas para a situação.

c) *Momento da constituição do bloco tecnológico-teórico*: o momento de estudo envolve a construção que explicará e justificará a técnica utilizada. Este momento está intimamente relacionado com os outros momentos didáticos. Durante o primeiro contato, geralmente há uma conexão com um contexto tecnológico-teórico, que pode já existir ou estar em estágio inicial, e com o surgimento da técnica, esse contexto precisa ser detalhado. Durante a exploração, o contexto tecnológico-teórico passará por atualizações, o que permite que sua estrutura seja reexaminada.

d) *Momento do trabalho da técnica*: O quarto momento, é o período em que a técnica escolhida é desenvolvida, validada e seu alcance é determinado. Durante esse período, a técnica é aprimorada para torná-la mais eficaz e confiável, podendo exigir ajustes na tecnologia existente. Além disso, a vivência com a técnica pode levar à necessidade de definições tecnológicas e teóricas relacionadas a ela. Um exemplo desse é estudar o movimento de um objeto, os alunos podem utilizar diferentes técnicas de medição, como o uso de sensores de movimento, cronômetros manuais, ou até mesmo filmagem e análise de vídeo. Durante a realização desses experimentos, os alunos podem avaliar a precisão, confiabilidade e eficácia de cada técnica de medição em capturar os dados necessários para análise do movimento. Com base nessa experiência, eles podem determinar quais técnicas são mais adequadas para diferentes tipos de movimento e como podem aprimorar ou ajustar as técnicas utilizadas, bem como melhorá-la, modificá-la ou criar uma nova técnica.

e) *Momento da institucionalização*: ocorre a oficialização da organização praxeológica, seja ela relacionada à física, matemática, química, entre outras disciplinas. Isso envolve a distinção clara entre os elementos que fazem parte da organização e aqueles que não foram integrados formalmente. Essa fase é influenciada pela instituição na qual a

[Digite aqui]

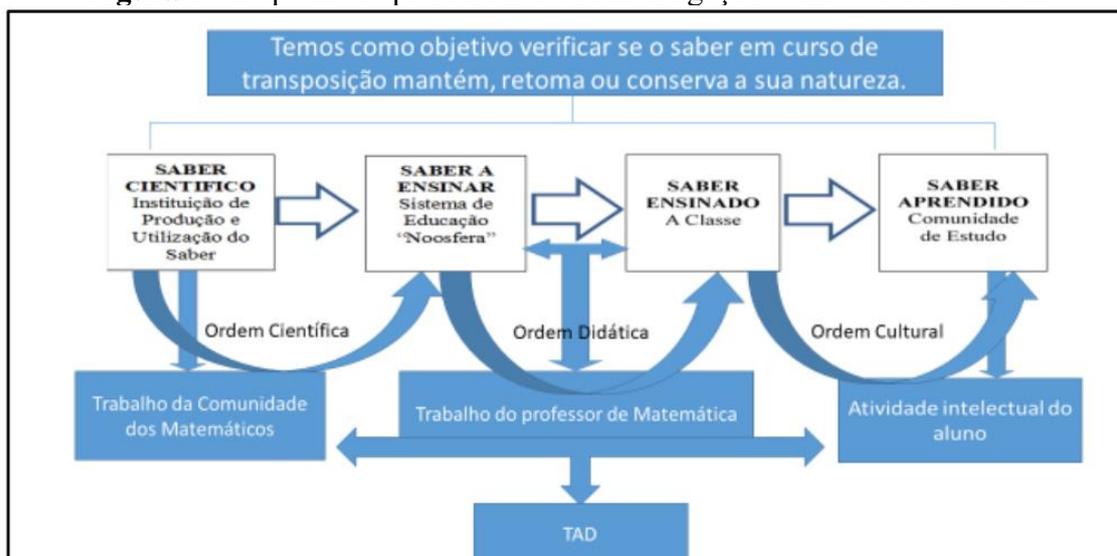
atividade acontece, podendo ser uma sala de aula, um grupo de pesquisa, uma escola ou uma universidade.

Um exemplo desse momento na disciplina de física seria a institucionalização do conceito de conservação da energia. Neste caso, a formalização da organização praxeológica envolveria a ênfase na ideia de que a energia total em um sistema isolado permanece constante ao longo do tempo, mesmo que possa ser convertida entre diferentes formas de energia. A instituição, que pode ser representada pelo professor, currículo escolar e materiais didáticos, que desempenha um papel crucial na oficialização desse conceito e na sua integração total ao ensino. A formalização desse princípio pode levar os alunos a revisitar e aprofundar seu entendimento sobre a conservação da energia, destacando a importância desse conceito dentro do contexto da disciplina de física.

f) *Momento da avaliação*: está diretamente ligado à institucionalização, pois é durante a avaliação que se testa o domínio e compreensão de uma organização praxeológica estabelecida durante a institucionalização. A avaliação não é exclusiva do ambiente escolar, mas é essencial em todas as atividades humanas, pois representa uma reflexão sobre o valor do que foi aprendido. Pode ser realizada individualmente ou coletivamente e tem um caráter formativo, oferecendo a oportunidade de revisar e repensar todo o processo educativo. Além disso, desempenha um papel na reformulação e no aprimoramento da praxeologia, contribuindo para o desenvolvimento contínuo do processo educativo (Pasqualetto, 2018).

A Figura 3 tem um objetivo diferente, mas consegue ilustrar a diferença e a relação entre a TTD e a TAD, destacando a importância do professor nesse desafiante processo de transformar o conhecimento científico em conhecimento ensinado, por meio de diversas adaptações.

Figura 1 - Esquema Representativo das Interligações entre a TTD e a TAD



Fonte: Goulart e Farias, (2018, p. 312)

Como observado, tanto na TTD quanto na TAD, todo conteúdo a ser abordado no ambiente escolar passa por alterações necessárias. O conhecimento precisa ser transmitido e, para isso, várias técnicas e ferramentas tecnológicas podem ser utilizadas.

Em conclusão, a introdução da Física Quântica no ensino médio representa um desafio significativo para os professores, exigindo um processo complexo de transposição didática para adaptação do material e formação adequada. A TTD e a TAD destacam a importância do professor nesse processo desafiador de transformar o conhecimento científico em conhecimento ensinado, por meio de adaptações necessárias. A compreensão do quarteto praxeológico no ambiente escolar pode auxiliar os educadores na concepção e implementação de estratégias de ensino mais eficazes e abrangentes, alinhadas às demandas e desafios do mundo contemporâneo. Nesse trabalho, busca-se identificar ferramentas e técnicas que auxiliem o/a professor/a na inserção da Física Quântica na sala de aula, as quais são abordadas e analisadas no Capítulo 7.

3 A FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO: PERSPECTIVAS CURRICULARES E MATERIAIS DIDÁTICOS

Neste capítulo tem-se como pretensão apresentar discussões e reflexões disponíveis na literatura sobre os conceitos de física quântica que pesquisadores e professores julgam indispensáveis para serem abordados no ensino médio, os apontamentos do currículo referência de Minas Gerais e os que estão disponíveis nos livros didáticos.

As discussões sobre a atualização do currículo de física vêm se arrastando há tempos e ganharam destaque na Conferência sobre o Ensino de Física Moderna, realizada no estado de Illinois, Estados Unidos em 1986 e na III Conferência Interamericana sobre Educação em Física, quando foram levantadas inúmeras razões para se inserir tópicos de FMC no Ensino médio. Pretende-se despertar a curiosidade dos alunos, possibilitar contato destes com o mundo excitante da pesquisa em Física da atualidade, estimular os jovens a seguirem uma carreira científica, além de ser muito mais entusiasmante para os docentes e discentes debaterem tópicos atuais e do interesse de todos. Desde então, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos e, ao analisar a literatura especializada, observa-se um aumento significativo de estudos e projetos para desenvolver recursos educacionais com o objetivo de facilitar a introdução da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio (Ostermann; Moreira, 2000; Monteiro; Nardi; Bastos Filho, 2009).

Uma análise mais ampla nos anais dos Encontros Nacionais de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC) também revela uma tendência semelhante no contexto brasileiro. Essa observação sugere que o interesse e o esforço em desenvolver estratégias e materiais para a introdução da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio estão em ascensão não apenas em estudos específicos, mas também em eventos acadêmicos de relevância nacional. Isso demonstra uma preocupação crescente em aprimorar a abordagem desses conteúdos nas escolas brasileiras, visando uma educação mais atualizada e alinhada com os avanços científicos e tecnológicos (Monteiro e Nardi, 2007).

De acordo com a revisão de pesquisas realizadas por Ostermann e Moreira (2000), os temas que apresentavam maior interesse público e que induzem a carreira de muitos físicos são o interesse nos tópicos de relatividade, partículas elementares, teoria quântica e astrofísica. Além disso, a disseminação desses conceitos complexos na cultura popular, por meio de programas de televisão, filmes e desenhos de ficção científica contribui para que crianças e

[Digite aqui]

adolescentes desenvolvam uma compreensão básica de conceitos como o *Big Bang*, buracos negros e relatividade geral, despertando o interesse pela física desde cedo.

Conforme destacado por Ostermann e Moreira (2000), todos os tópicos FMC são importantes e despertam grande interesse por parte dos estudantes, sendo essencial sua inclusão no currículo do Ensino Médio. No entanto, nesse trabalho abordar-se-á especificamente os estudos relacionados à introdução efetiva da FQ no ensino médio, devido aos desafios identificados por Freire Júnior, Pessoa Júnior, e Bromberg, (2011) e Saito (2021). Nos próximos parágrafos far-se-á uma comparação entre os tópicos apontados na literatura (Ostermann; Moreira, 2000, Ostermann; Moreira, 2001; Lobato; Greca, 2005; Hoernig; Massoni; Hadjimichief, 2021), e aqueles presentes nos livros didáticos do ensino médio sobre a Física Quântica.

Dentre os tópicos de FMC/FQ que foram apontadas para serem trabalhados na escola de nível médio em uma pesquisa realizada por Ostermann e Moreira (2001), estão partículas elementares e supercondutividade. A análise realizada no currículo de diversos países por Lobato e Greca (2005) aponta que os tópicos de FQ abordados nos níveis médios são a dualidade onda-partícula, níveis de energia, experiência da dupla fenda, efeito fotoelétrico, Princípio de Incerteza e aplicações da teoria quântica.

Na pesquisa realizada por Hoernig, Massoni e Hadjimichief (2021), com professores do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), foram levantados os tópicos de física quântica considerados importantes para serem abordados no EM e as formas de abordagem mais adequadas, como resultados foram construídas duas tabelas que foram condensadas na Figura 2. Enquanto a Tabela 1 destaca os temas relevantes, a Tabela 2 ressalta as formas de abordagem. Os tópicos levantados incluem a interferência e difração em primeiro lugar, seguidos pelo experimento da fenda dupla, a dualidade onda-partícula, o princípio da incerteza, o efeito fotoelétrico e os fundamentos da física quântica, ocupando o segundo lugar. Quanto às formas de abordagem, a histórica e epistemológica ocupa o primeiro lugar; hipótese também defendida por Lima, Cavalcanti e Ostermann (2021) e Fernandes *et al.* (2017), seguida pela abordagem experimental e as aplicações nas tecnologias cotidianas.

Figura 2 - Tópicos de FQ e formas de abordagens, considerados importantes para EM

Tabela 1: Listagem de tópicos relevantes mencionados por especialistas do Instituto de Física da UFRGS para serem abordados no Ensino Médio.

Tópicos de Física Quântica considerados importantes	Número de vezes mencionado
Interferência e Difração	6
Princípio de Incerteza	3
Fenda Dupla	3
Dualidade onda-partícula	3
Efeito Fotoelétrico	3
Fundamentos da Física Quântica	3
Radiação de Corpo Negro	2
Espectros de Emissão	2
Stern-Gerlach	1
Efeito Compton	1
Decoerência ⁵	1

Fonte: elaborado pelo primeiro autor (2019).

Tabela 2: Formas de abordar os tópicos mencionados pelos especialistas entrevistados.

Tópicos gerais para o Ensino considerados importantes	Número de vezes mencionado
Abordagem Histórica e Epistemológica (incomensurabilidade)	3
Aplicações Tecnológicas	2
Realizar experimentos em sala de aula	2
Convidar a escola para que os alunos conheçam o Instituto de Física	2
Problemas do Cotidiano	1
Etimologia	1
Recursos Computacionais	1

Fonte: elaborado pelo primeiro autor (2019).

Fonte: Hoernig, Massoni e Hadjimichef (2021, p. 13)

A partir das entrevistas realizadas com os especialistas, os autores utilizaram um programa computacional para criar uma nuvem de palavras. Na transcrição dos relatos, as palavras mais repetidas são selecionadas e organizadas, Figura 3. Observa-se que os termos apresentados podem ser encontrados com facilidade nos artigos que abordam FQ.

Figura 3 - Nuvem de palavras

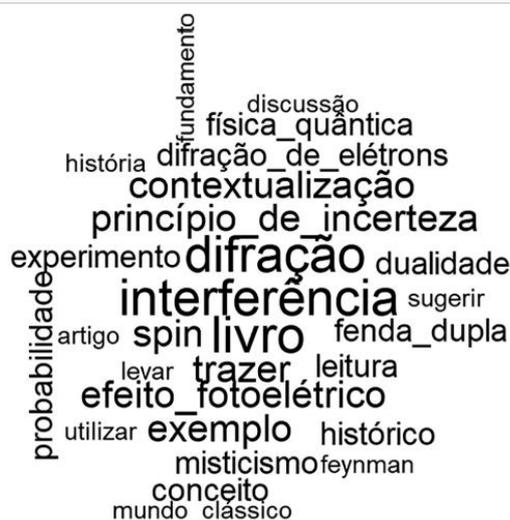


Figura 6: Nuvem de palavras a partir da transcrição das entrevistas com os professores especialistas. Fonte: elaborado pelo primeiro autor (2020).

Fonte: Hoernig, Massoni e Hadjimiche (2021, p. 14)

No Currículo Referência de Minas Gerais⁴, os tópicos sugeridos para serem abordados pela disciplina de física, relacionados à Física Quântica incluem o efeito fotoelétrico, a dualidade onda-partícula e os modelos atômicos (Minas Gerais, 2018). Esses temas também estão presentes nos Planos de curso do Currículo Referência de Minas Gerais (CRMG), elaborados para os anos de 2022 e 2023 e estão disponíveis no site da Secretaria de Educação de Minas Gerais⁵. Eles seguem a mesma metodologia dos livros didáticos, em que na sua maioria, os conteúdos de FMC/FQ aparecem apenas no final do curso do terceiro ano. O conteúdo de relatividade é sugerido para o primeiro ano do Ensino Médio, sendo este o único tema de FMC nessa etapa de ensino. No segundo ano do Ensino Médio não há nenhuma referência específica à FMC, mas os tópicos de interferência, difração e o estudo da luz podem ser aprofundados para além da física clássica, sendo compreendidos como tópicos da Física Moderna e Contemporânea.

Muitos tópicos apontados na literatura e no currículo referência de Minas Gerais estão presentes nos Livros Didáticos (LD) atuais. Entretanto, esses livros frequentemente oferecem apenas uma abordagem superficial ou apenas um texto explicativo. Em contraste com outros temas da física clássica, o conteúdo de Física Moderna e Contemporânea (FMC) nos livros de ensino médio é bastante sucinto, o que pode limitar o suporte fornecido aos professores. E com a implementação da BNCC esse conteúdo foi reduzido ainda mais nos livros didáticos.

No Brasil, desde 2009, os livros didáticos do ensino médio distribuídos pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), que na sua edição de 2018 distribuiu 10.813.428 milhões de exemplares de Física divididos em 12 coleções com 3 volumes cada uma, sendo este o último PNLD anterior a formulação da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Após a implementação da nova BNCC os LD foram reformulados a fim de contemplar as competências e habilidades inferidas pela BNCC, passando a ser dividido por áreas sendo a Física parte da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Portanto, os LD do PNLD 2021 seguem a reformulação da BNCC e foram divididos em 7 coleções de Ciências da Natureza e suas Tecnologias com 6 volumes cada uma. Com a reformulação, a Física passou a dividir os LD com conteúdos de Biologia e Química (Santos e Siqueira, 2023, p. 403).

⁴ É um documento elaborado pela Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais – SEE-MG e a União Nacional dos Dirigentes Municipais de Educação de Minas Gerais, que orienta a elaboração dos planos de curso e ações educacionais para o Ensino Médio em Minas Gerais. Disponível: <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/>

⁵ <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/index.php/plano-de-cursos-crmg>
[Digite aqui]

De acordo com Santos e Siqueira (2023), as mudanças nos livros didáticos com a implementação da BNCC revelam uma redução geral na quantidade de páginas dedicadas à MQ na edição de 2021, além de uma maior simplificação dos conteúdos e exclusão de referências a diversos cientistas. Isso pode impactar negativamente a compreensão e o interesse dos estudantes em relação à Física Moderna e Contemporânea. Essa afirmação pôde ser confirmada ao analisar os livros didáticos disponíveis em minha coleção pessoal. A seguir, será relatada uma breve análise dessa coleção pessoal, que é composta por livros didáticos anteriores e posteriores à implementação da BNCC.

Nos livros de Bonjorno *et al.* (2016a, 2016b, 2016c) são abordados os tópicos da radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e o efeito Compton. Já os exemplares de Kazuhito e Fuke (2017a, 2017b, 2017c,) tratam da radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico, dualidade onda-partícula, Princípio da complementaridade, modelo atômico de Bohr e Princípio da incerteza de Heisenberg. Nos exemplares de Guimarães, Piqueira e Carron (2017a, 2017b, 2017c, 2017d) são abordados temas de radiação do corpo negro, transição dos níveis de energia, efeito fotoelétrico, modelos atômicos, átomo de hidrogênio e energias de transição, dualidade onda-partícula e Princípio da Incerteza. Por fim, a coleção Multiversos de Ciências da Natureza (Godoy; Agnolo; Melo, 2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e, 2020f), desenvolvida seguindo a interdisciplinaridade do Novo Ensino Médio (NEM), discute modelos atômicos, teoria dos quanta desenvolvida por Planck, radiação do corpo negro, efeito fotoelétrico, natureza dual da luz e o Princípio da Incerteza.

No Quadro 1, foram selecionados os temas mais citados nas pesquisas de Ostermann e Moreira (2001), Lobato e Greca (2005), Hoernig, Massoni, Hadjimichef (2021), apontando assim os que estão presentes nas coleções analisadas.

Quadro 1 - Tópicos de Física Quântica nos livros didáticos

Tópicos de Física Quântica presente nos livros de ensino médio aprovados pelo PNLD	Radiação do corpo negro	Efeito Fotoelétrico	Efeito Compton	Dualidade onda-partícula	Princípio da Incerteza	Princípio da Complementaridade	Modelos Atômicos	Níveis de energia	Teoria dos quanta
Bonjorno <i>et al.</i> (2016a, 2016b, 2016c)	X	X	X						
Kazuhito e Fuke (2017a, 2017b, 2017c)	X	X		X	X	X	X		

[Digite aqui]

Guimarães, Piqueira e Carron (2017a, 2017b, 2017c, 2017d)	X			X	X			X	
Godoy, Agnolo e Melo (2020a, 2020b, 2020c, 2020d, 2020e, 2020f)	X	X		X			X		X

Fonte: Elaborado pela autora

Os tópicos comuns e quase unânimes nas coleções estudadas incluem a introdução à radiação do corpo negro seguida da explicação de *Planck*, o efeito fotoelétrico e a explicação de Einstein, o experimento de dupla fenda, a natureza dual da luz e o Princípio da Incerteza. Esses temas também foram abordados por Ostermann e Moreira (2001), Lobato e Greca (2005) e Hoernig, Massoni e Hadjimichef (2021). É importante ressaltar que os tópicos de FQ sugeridos nos livros não contemplam todos os conceitos da Física Quântica; em sua maioria tratam de alguns fenômenos e apresentam poucas aplicações ou quase nenhuma.

Com base nas discussões apresentadas, é evidente que a inclusão de tópicos de Física Moderna e Contemporânea, em particular a Física Quântica, no currículo do Ensino Médio é uma questão de grande relevância e interesse. Nesse contexto, após a Conferência sobre o Ensino de Física Moderna em 1986, observa-se um aumento significativo de menções na literatura. Houve uma atualização do currículo para incluir temas de Física Quântica nos anos iniciais do Ensino Médio (BNCC), bem como uma atualização dos livros didáticos para abranger tópicos de Física Moderna/Física Quântica em todos os anos do Ensino Médio, em conformidade com a BNCC.

No entanto, há desafios a serem superados, como a necessidade de uma abordagem mais aprofundada e a inclusão de uma gama mais ampla de conceitos e aplicações da FQ nos livros didáticos e no currículo escolar. Portanto, é fundamental que os educadores e os responsáveis pela elaboração dos currículos e materiais didáticos considerem essas questões para garantir que o ensino de física seja mais atualizado e abrangente, e que os tópicos da FMC estejam realmente presentes no EM. Sendo assim, apresentar-se-á a seguir as dificuldades de inserção da Física Quântica no Ensino Médio e alguns recursos didáticos que podem contribuir com os docentes para que enfrentem essa desafiadora tarefa.

3.1 Física Quântica nos livros Didáticos

[Digite aqui]

O livro didático é o principal recurso do professor e está disponível em todas as escolas, para ser distribuído gratuitamente aos estudantes da rede pública, conforme estabelecido pelo Programa Nacional do Livro Didático, regulamentado pelo Decreto nº 91.542, de 19/8/85, sendo esse material uma das primeiras fontes bibliográficas consultadas pelo docente. Ao analisar uma pequena amostra (coleção pessoal) de livros didáticos, objetiva-se analisar a parte do curso, incluindo o número de páginas dedicadas aos conteúdos, o número de exercícios resolvidos e o número de exercícios propostos sobre temas de Física Quântica, disponíveis em cada volume das coleções dos livros didáticos.

Tabela 1 - Análise dos livros didáticos

Ano	Livro	Autor(es)	Conteúdo de FQ	Exercícios resolvidos de FQ	Exercícios propostos de FQ
2016	Física 1 ⁶ - Mecânica	Bonjorno <i>et al.</i>	0	0	0
	Física 2- Termologia, óptica e ondulatória.	Bonjorno <i>et al.</i>	0	0	0
	Física 3- Eletromagnetismo e física moderna	Bonjorno <i>et al.</i>	14	5	12
2017	Física 1 – Mecânica	Kazuhito e Fuke	0	0	0
	Física 2 – Termologia, óptica e ondulatória.	Kazuhito e Fuke	1	1	1
	Física 3 – Eletricidade e física moderna	Kazuhito e Fuke	15	3	12
2017	Física 1 – Mecânica	Guimarães, Piqueira e Carron	0	0	0
	Física 2 – Física térmica, ondas e óptica.	Guimarães, Piqueira e Carron	0	0	0
	Física 3 – Eletromagnetismo e física moderna	Guimarães, Piqueira e Carron	16	1	22
2020	Coleção multiversos – Ciências da Natureza: eletricidade na sociedade e na vida	Godoy, Agnolo e Melo	0	0	0
	Coleção multiversos – Ciências da Natureza: matéria, energia e vida	Godoy, Agnolo e Melo	5	0	3
	Coleção multiversos – Ciências da Natureza: ciência, tecnologia e cidadania.	Godoy, Agnolo e Melo	5	0	4

⁶ Os nomes dos livros de Bonjorno são iniciados pela palavra física seguida do conteúdo de cada ano escolar. Nesse sentido, nas obras não existe a designação da física seguida de números tais como Física 1, Física 2 e Física 3. Aqui utiliza-se essa denominação para facilitar a compreensão de que Física 1 refere-se ao livro do 1º ano, Física 2 refere-se ao livro do 2º ano e Física 3 refere-se ao livro do 3º ano. [Digite aqui]

Coleção multiversos – Ciências da Natureza: movimentos e equilíbrio na natureza.	Godoy, Agnolo e Melo	0	0	0
Coleção multiversos – Ciências da Natureza: ciência, sociedade e ambiente.	Godoy, Agnolo e Melo	0	0	0
Coleção multiversos – Ciências da Natureza: origens	Godoy, Agnolo e Melo	0	0	0

Fonte: Elaborado pela autora

No livro de Bonjorno *et al.* (2016a), "Física 3", o capítulo que aborda a Física Quântica inicia-se com a discussão sobre as radiações do corpo negro, as cores dos corpos aquecidos e a explicação de Planck. A seguir são abordados o efeito fotoelétrico e o efeito Compton. Na parte de conteúdo há uma seção dedicada às aplicações, intitulada "Pensando as ciências: Física e Tecnologia". Ao final do capítulo há uma seção de "sugestão de leitura", que inclui obras como "O discreto charme das partículas elementares" e "Alice no país do quantum".

Nos exemplares de Kazuhito e Fuke (2017b), o volume de Física 2 aborda a radiação do corpo negro, enquanto o volume de Física 3 Kazuhito e Fuke (2017c) introduz o capítulo da Teoria Quântica, com um relato histórico da evolução da teoria. Em seguida aborda a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico, a dualidade onda-partícula, o Princípio da complementaridade, o modelo atômico de Bohr, o Princípio da incerteza de Heisenberg. Dentro da parte teórica há espaço para sugestões de "Atividade prática", "Para saber mais" com indicação de site, filmes e livros e "Outras palavras", que relata o experimento mental "O gato de Schrödinger".

Nos exemplares de Kazuhito e Fuke (2017b), o volume de Física 2 aborda a radiação do corpo negro, enquanto o volume de Física 3 (2017c) introduz o capítulo da Teoria Quântica com um relato histórico da evolução da teoria. Logo após são abordados temas como a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico, a dualidade onda-partícula, o Princípio da complementaridade, o modelo atômico de Bohr e o Princípio da incerteza de Heisenberg. Dentro da parte teórica há espaço para sugestões de "Atividade prática", "Para saber mais", com indicações de sites, filmes e livros, e "Outras palavras", que relatam o experimento mental "O gato de Schrödinger".

No livro de Guimarães, Piqueira e Carron (2017a), "Física 3", ao abordarem a Física Moderna, os autores introduzem a "Teoria Quântica", relatando o fenômeno da radiação do [Digite aqui]

corpo negro, seguido da explicação dada através da quantização de energia descrita por Planck, os níveis de energia, o efeito fotoelétrico e a explicação de Einstein, os modelos atômicos, o átomo de hidrogênio e as energias de transição, a dualidade onda-partícula e o princípio da Incerteza. Entre a descrição teórica, alguns espaços são reservados para contar algumas histórias em “Física tem história” e algumas aplicações em “Física explica”.

As "coleções" foram criadas para serem utilizadas no Novo Ensino Médio, em conformidade com a implementação da BNCC. Os livros foram elaborados para serem usados em conjunto com as disciplinas de áreas afins. No caso da coleção de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, os Livros Didáticos são compartilhados entre as disciplinas de Física, Química e Biologia. Os tópicos dos conteúdos de cada disciplina são separados e agrupados por afinidade em cada livro da coleção, facilitando a abordagem integrada dos temas.

A coleção analisada foi a "Multiversos de Ciências da Natureza", composta por seis livros. O livro "Ciências da Natureza: matéria, energia e vida" aborda os modelos atômicos, dissertando sobre o contexto histórico envolto pela evolução dos modelos atômicos e contribuições dos cientistas. No exemplar "Ciências da Natureza: ciência, tecnologia e cidadania", o capítulo que aborda temas e fenômenos da Física Quântica é introduzido com a teoria dos quanta desenvolvida por Planck, para explicar a radiação do corpo negro, seguido do fenômeno do efeito fotoelétrico, a natureza dual da luz e o Princípio da Incerteza.

Após a análise de alguns livros didáticos, observa-se que, conforme relatado por Fontes e Rodrigues (2019) e Santos e Siqueira (2023), as coleções que precedem a implementação da BNCC no Novo Ensino Médio abordam os tópicos de Física Moderna apenas no último volume, o que não modificou tanto em relação à coleção multiversos. Os autores relatam ainda que os conteúdos disponíveis nos livros são textos de conceitos teóricos e que os autores demonstram dificuldades na contextualização. E caso o professor deseje abordar temas mais recentes de física, é necessário se preparar e procurar outros recursos além do livro didático.

Por meio das análises realizadas, percebemos que os livros didáticos avaliados pouco explicitam os aspectos culturais, sociais ou históricos relativos ao tema da FMC. Quando o fazem, é de maneira superficial a ponto de necessitar que o professor esteja bem preparado para aproveitar os ganchos deixados pelos autores nos textos (Fontes; Rodrigues, 2019, p. 407).

O problema da superficialidade dos conteúdos se intensifica nos livros da coleção Multiversos, que abordam vários fenômenos, porém com enunciados extremamente superficiais. Isso é comum também nos outros tópicos da física clássica da mesma coleção. [Digite aqui]

Tanto a parte de curso quanto a de exercícios resolvidos e propostos diminuíram em comparação com as coleções anteriores a reformulação.

Esse problema também foi relatado na análise dos LDs aprovados pelo PNLD de 2021 que segue o mesmo modelo,

[...] acerca da quantidade de atividades o PNLD 2018 em suas 12 coleções traz 245 atividades divididas em: problemas abertos e fechados, atividades experimentais, leitura e interpretação e questões. Já no PNLD 2021 as 6 coleções que abordam a MQ, juntas, somam 59 atividades. A partir dessa etapa da pesquisa foi possível constatar redução na quantidade de páginas destinadas a MQ e redução em torno de 24% das atividades propostas (Santos e Siqueira, 2023, p. 407).

Entretanto, como aspecto positivo, observa-se que os temas agora são abordados nos primeiros volumes, o que não era comum antes. Isso cria a possibilidade de os alunos entrarem em contato com a Física Moderna e Contemporânea, visto que o fato de serem abordados no último volume anteriormente representava um obstáculo devido à carga horária destinada à disciplina de Física (Santos e Siqueira, 2023).

Outra observação sobre os livros didáticos é que, diferente dos temas da Física Clássica, os tópicos da FMC/FQ abordados variam significativamente de um livro para outro, o que sugere que os autores enfrentam dificuldades e falta de consenso sobre os tópicos da FMC/FQ que devem ser incluídos nos livros do Ensino Médio. Os únicos tópicos comuns encontrados nas coleções são a radiação do corpo negro, a constante de Planck, o efeito fotoelétrico e a dualidade onda-partícula. Isso pode indicar a necessidade de uma maior padronização e consenso na escolha dos tópicos a serem abordados nos livros didáticos de física.

Nesse contexto, é importante ressaltar que, além dos livros didáticos, os artigos científicos desempenham um papel crucial no apoio ao ensino de Física Quântica. Esses trabalhos podem fornecer materiais consistentes para os professores, incluindo propostas didáticas, produtos educacionais e informações atualizadas que enriquecem e ampliam as opções de recursos para o ensino da FQ. Além disso, tais documentos também podem contribuir significativamente para a formação continuada dos docentes, mantendo-os atualizados sobre os avanços e descobertas na área da física, o que é essencial para o aprimoramento do ensino.

Portanto, é essencial que os professores de física estejam cientes da importância e disponibilidade desses recursos, buscando integrar os conhecimentos e descobertas apresentados nos artigos científicos em suas práticas educacionais. Ao fazer isso, os professores

[Digite aqui]

podem oferecer aos alunos uma educação mais atualizada e alinhada às pesquisas e avanços científicos, promovendo um aprendizado mais dinâmico e enriquecedor.

4 O CONTEXTO DO ENSINO DE FÍSICA QUÂNTICA

Nessa seção, vamos explorar o contexto do ensino de Física Quântica com base no estudo realizado por Lima, Cavalcanti e Ostermann (2021) que discute as diversas abordagens para o ensino dessa área complexa da física. Os autores destacam três principais formas de abordar a Física Quântica: a abordagem histórica e epistemológica que enfatiza uma aprendizagem conceitual, a abordagem postulacional que se baseia em equações matemáticas e a abordagem fenomenológica que se concentra em dados experimentais.

De uma forma geral, pode-se encontrar, na área de ensino de física, a classificação das diferentes abordagens para o ensino da teoria quântica em três grandes grupos: histórica, postulacional e fenomenológica. As três diferentes abordagens, e todas as possíveis combinações e variações delas, têm aspectos positivos e desafios a serem superados (Lima, Cavalcanti e Ostermann, 2021, p. 1).

Além disso, vamos explorar a abordagem que utiliza a literatura e a arte, recomendada para alcançar o nível de abstração necessário para compreensão da Física Quântica.

4.1.1 Abordagem do contexto histórico no ensino de Física Quântica

Trabalhar a história e filosofia da ciência, bem como os debates em torno delas, no ensino médio é essencial para promover o desenvolvimento do pensamento crítico e científico dos estudantes. É crucial explorar os contextos históricos, a relevância dos experimentos realizados, as diferentes interpretações e outras facetas que evidenciam a construção gradual do conhecimento científico por meio de diversas contribuições. Destacar que ao longo desse processo, algumas teorias passaram por alterações, ressaltando a importância de estar atento a possíveis interpretações equivocadas de trechos de artigos sobre temas em desenvolvimento.

É imprescindível que a educação científica básica incorpore os conhecimentos da FMC, especialmente da FQ, a fim de fornecer aos jovens as ferramentas necessárias para evitar ou reduzir o uso inadequado e acrítico de conceitos dessas áreas, que frequentemente são distorcidos na internet, propagando ideias místicas e curas milagrosas. A inclusão da Física Contemporânea no currículo escolar, promove uma maior integração entre a escola e a ciência. O ensino da FQ, como um dos pilares da física moderna do século XX, pode auxiliar os jovens a compreender melhor o mundo em que está inserido. Atualmente, uma abordagem que enfatiza

[Digite aqui]

os aspectos conceituais, históricos e epistemológicos da Física Quântica tem se destacado na pesquisa, tanto na formação de professores de física quanto na preparação de estudantes de graduação para lidar com questões relacionadas à inserção da Quântica na Educação Básica. Isso possibilita discutir, no ensino médio, uma Física Quântica mais conceitual, sem a necessidade de aprofundar no formalismo matemático (Massoni e Alves-Brito, 2021).

A abordagem histórica e epistemológica é uma maneira eficaz de conscientizar os jovens e aproximar a ciência da sociedade, contribuindo para uma educação mais inclusiva e diversificada. Sendo assim,

Ensinar a Física Quântica de forma consistente, conceitual, histórico e epistemologicamente alinhadas é talvez uma das vias mais proficuas para conscientizar os jovens, para enfrentar as *fakes news*, as concepções negacionistas e os usos indevidos e inadequados da ciência, e inclusive, tornando a ciência mais popular, mais próxima da sociedade, favorecendo uma educação mais inclusiva e diversa (Massoni e Alves-Brito, 2021, p. 347).

Ao adotar uma metodologia que utiliza o contexto histórico para construir conceitos de FQ, o docente passa aos estudantes uma visão de uma ciência viva, dinâmica e em desenvolvimento. Contrária, portanto, a uma visão excessivamente matemática e descontextualizada das ciências. Além disso, o uso de uma visão epistemológica no ensino de física amplia as possibilidades de explorar os processos e métodos da ciência, fundamentais para se compreender as diferenças entre conhecimento científico e saber popular. Como afirmam Souza *et al.* (2021, p. 919), "A contextualização histórica no ensino de Mecânica Quântica (MQ) é uma estratégia capaz de estimular a análise dos contextos pelos quais cada conceito foi proposto, elucidando as relações e os aspectos centrais do pensamento científico em seus respectivos tempos". Nessa perspectiva, a contextualização histórica é entendida como a inserção da realidade no conhecimento disciplinar, servindo como ponto de referência para a construção do conhecimento (SOUZA *et al.*, 2021).

A [História e filosofia da ciência] HFC permite uma compreensão aprofundada dos conteúdos físicos, situando-os no contexto histórico, extraindo-os e projetando-os para contemplação dos diversos aspectos da produção científica, evitando ideias distorcidas da evolução científica como algo pronto e acabado. É apresentado o processo dinâmico da construção de novas ideias, explicações, modelos, teorias e leis, bem como as rupturas epistemológicas vivenciadas em um determinado momento do desenvolvimento científico (Souza *et al.*, 2021, p. 918).

Lima, Cavalcanti e Ostermann (2021), defendem a abordagem histórica, destacando seu uso para abordar o conceito de dualidade onda-partícula. E relatam que “A abordagem histórica, [...] permite justamente oferecer esse ‘sentido’ ao desenvolvimento da teoria, mostrando quais problemas motivaram as proposições de novos conceitos e evidenciando a necessidade de construir uma teoria quântica” (p. 1-2). No entanto, ressaltam um cuidado importante para esse tipo de abordagem, visto que “No caso da física quântica, especificamente, o significado de muitos conceitos mudou muito rapidamente. O *quantum* proposto por Einstein em 1905, por exemplo, não tem as mesmas propriedades que o fóton adquiriu nos anos subsequentes” (p. 2). Ao escolher essa abordagem deve-se adotar uma visão historiográfica e epistemológica consistente.

Portanto, ao incorporar a contextualização histórica no ensino de FQ, os educadores não apenas enriquecem a compreensão dos conceitos científicos, mas também promovem uma visão mais ampla e crítica da ciência, estimulando os alunos a refletirem sobre o desenvolvimento do conhecimento científico e suas implicações sociais, culturais e éticas. Essa abordagem pode ser trabalhada inicialmente pelo docente, que apresenta dificuldades com a temática.

Nos parágrafos seguintes, apresentar-se-ão alguns elementos que podem ser associados à abordagem histórica e filosófica para ampliar as discussões e contribuir com o processo ensino-aprendizagem.

4.1.2 Abordagem fenomenológica no ensino de Física Quântica

A experimentação desempenha um papel fundamental na melhoria da aprendizagem dos alunos, especialmente no que se refere à compreensão e assimilação dos conceitos físicos, bem como na integração entre a teoria e a prática, destacando-se como uma das formas mais eficazes de reduzir as dificuldades no ensino e aprendizagem da disciplina de forma significativa e coerente. Estudos indicam essa estratégia metodológica como promissora, que auxilia os alunos no desenvolvimento de habilidades de pesquisa, capacitando-os a analisar de maneira mais crítica os fenômenos e os resultados obtidos (Araújo; Abib, 2003; Nascimento e Uibson, 2021).

Neste sentido, a experimentação pode ser uma ferramenta valiosa para criar desafios reais, promovendo um ensino mais contextualizado e incentivando a investigação de questões relevantes. A realização de experimentos permite aos estudantes vivenciar situações práticas do cotidiano, aproximando o ensino de Física da realidade e conferindo maior significado para os alunos (Nascimento e Uibson, 2021).

[Digite aqui]

Apesar de haver consenso sobre o potencial significativo da aprendizagem por meio de atividades experimentais, a literatura apresenta uma ampla variedade de interpretações sobre o significado e o papel dessas atividades em diferentes contextos e aspectos. A análise do papel das atividades experimentais ao longo das últimas décadas revela uma diversidade significativa de abordagens e tendências no ensino de Física, indo desde a simples verificação de leis e teorias até a promoção de reflexão e revisão das ideias dos alunos sobre os fenômenos e conceitos abordados, com o potencial de levar a uma reestruturação dos modelos explicativos dos alunos (Araújo; Abib, 2003; Nascimento; Uibson, 2021).

No entanto, a abordagem experimental apresenta algumas limitações. Entre elas, destacam-se: falta de recursos, como materiais e equipamentos; ausência de laboratórios nas escolas públicas; grande quantidade de alunos por turma; dificuldades conceituais, de interpretações de problemas físicos, de aplicação de fórmulas matemáticas e resoluções de cálculos matemáticos básicos (Nascimento e Uibson, 2021).

Neste contexto, a experimentação em laboratório desempenha um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem. No entanto, é importante destacar que essa prática é geralmente mais acessível em universidades ou escolas particulares, representando um desafio para muitas instituições públicas que não possuem laboratórios. Para contornar essa limitação, opções viáveis são os experimentos de baixo custo e a utilização de simulações virtuais disponíveis gratuitamente em plataformas online. As Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDICs) podem ampliar o acesso ao conhecimento, possibilitando a aprendizagem personalizada e adaptada às necessidades da escola e individuais dos estudantes (Moura, 2021).

Além disso, para a disciplina de Física, a tecnologia tornou-se uma aliada quando usada didaticamente. Lapa (2008) relata que muitos tópicos da física apresentam leis que são descritas por modelos teóricos. Dessa forma, quando se consegue reproduzir esses modelos virtualmente, há uma interação com o estudante e este deixa de ser apenas um expectador, que passa a construir hipóteses e conhecimento. Sobre isso destaca:

[...] o aprendizado aumenta quando os aprendizes podem interagir com aquilo que estão aprendendo. Sendo assim, inferimos que as novas gerações de alunos criadas em um ambiente onde a imagem é parte fundamental de seus cotidianos, sentem-se muito mais confortáveis quando algum tipo de estímulo visual é utilizado para a transmissão de qualquer tipo de informação (Lapa, 2008, p. 25).

As simulações podem ser vistas como representações ou modelagens de sistemas ou fenômenos, sejam eles reais ou imaginários. Alguns fenômenos são difíceis de serem demonstrados experimentalmente ou simplesmente não podem ser reproduzidos pelos estudantes, muitas vezes devido ao perigo ou ao alto custo envolvido. Exemplos incluem fenômenos relacionados à astronomia, à física moderna, às usinas nucleares, entre outros. O uso de simulações tende a facilitar a compreensão dos estudantes, uma vez que a experimentação desses tópicos, mesmo em laboratórios físicos, é muitas vezes inviável (Moura, 2021).

Em relação à Física Quântica, as simulações e experimentos virtuais são ainda mais importantes para a abordagem dos fenômenos e compreensão dos conceitos, uma vez que os experimentos reais são difíceis de serem realizados em sala de aula. A diversidade de recursos estimula o aluno a relacionar, fixar e aprofundar-se no tema. Os recursos da TDICs são mediadores entre a abordagem do professor e a compreensão do aluno sobre o conteúdo trabalhado. O som, a imagem, os movimentos deixam a informação mais realista, alterando a percepção do que é verbalizado, levando ao aprofundamento do que é estudado (Kenski, 2012).

Desse modo, destaca-se que os experimentos virtuais podem ser bem parecidos com os reais e existem diversas plataformas que apresentam simulações de muitos temas da física, permitindo uma discussão fenomenológica dos conceitos. Das diversas plataformas, destaca-se o PHET Simulações⁷ e VASCAK⁸, que oferecem animações na área de FQ e os processadores de computação quântica, que estão disponíveis para uso do professor que optar pela abordagem fenomenológica, ou como um recurso didático para a sala de aula (Ferreira; Souza Filho, 2019; Lima; Cavalcanti. Ostermann, 2021; Moura, 2021).

É crucial ressaltar que a simples realização de experimentos não é suficiente para promover a aprendizagem nos alunos. Em outras palavras, os experimentos por si só não garantem uma compreensão abrangente do conteúdo por parte dos estudantes. Nesse sentido, é de extrema importância enfatizar novamente o papel essencial do educador durante a execução dos experimentos, cuja função é reavaliar e ajustar o que é apresentado aos alunos, criando oportunidades para novos desafios que estimulem a interatividade na sala de aula (Moura, 2021; Nascimento e Uibson, 2021).

⁷ https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/filter?subjects=physics&type=html,prototype

⁸ <https://www.vascak.cz/?id=1&language=pt#kapitola13>.

[Digite aqui]

Essa diversidade de experimentos e simulações oferece ao professor oportunidades de apresentar atividades práticas para seus alunos, utilizando recursos disponíveis e que sejam do interesse ou da experiência deles, para a inserção de conteúdos em sala de aula. Dessa forma, considerando o perfil e a individualidade dos professores, as diferentes abordagens mostram-se benéfica em muitos aspectos, pois permite uma maior personalização do processo de ensino e aprendizagem.

4.1.3 Abordagem postulacional no ensino de Física Quântica

Trabalhar os postulados, ou seja, o formalismo matemático da FQ é de extrema importância para os estudantes e profissionais da área, pois esses postulados são os princípios fundamentais que sustentam a teoria e explicam o comportamento das partículas subatômicas. Compreender e dominar os postulados da mecânica quântica é essencial para desenvolver uma base sólida de conhecimento nessa área da física.

Essa abordagem é tradicionalmente valorizada nos cursos de ensino superior, em especial nas licenciaturas, por sua eficácia em fornecer aos estudantes as ferramentas matemáticas necessárias para resolver problemas complexos e entender o formalismo da teoria. No entanto, a crítica que muitos fazem a essa abordagem é que ela pode levar os estudantes a simplesmente aceitar fórmulas e postulados, sem realmente compreender o significado por trás deles. Esse tratamento pode contribuir de forma significativa para formar docentes com sérias lacunas teóricas (Silva; Almeida, 2011; Lima e Ricardo, 2019).

Ao adotar uma atitude de "calcular sem questionar", os estudantes (futuros professores) podem perder a oportunidade de mergulhar mais profundamente na teoria e questionar o porquê de as coisas serem como são. Isso pode resultar em uma compreensão superficial da FQ e em uma falta de conexão com os princípios fundamentais que regem o comportamento das partículas subatômicas (Lima, Cavalcanti e Ostermann, 2021).

Essa questão levanta a dificuldade de como abordar o formalismo matemático da mecânica quântica no Ensino Médio, uma vez que as equações diferenciais das funções de onda, não são comumente ensinadas nesse nível de ensino. Uma solução para esse desafio é apresentada por Feynman e colaboradores, que sugerem a utilização de um formalismo matemático simples, baseado em operações algébricas, sem a necessidade de equações diferenciais complexas. Para tornar mais acessível o entendimento do experimento da dupla

[Digite aqui]

fenda no ensino médio, pode-se recorrer à notação de Dirac, utilizando *brackets* e vetores de estado (Ferreira e Souza Filho, 2019).

Sendo assim, é importante encontrar um equilíbrio entre as abordagens histórica, fenomenológica e a abordagem postulacional. A junção dessas abordagens pode contribuir para um ensino mais reflexivo e crítico, que estimula os alunos a questionar, explorar e buscar significados mais profundos por trás dos conceitos físicos, desenvolvendo uma compreensão mais sólida e significativa da Física quântica.

4.2 Literatura e arte no ensino de Física Quântica

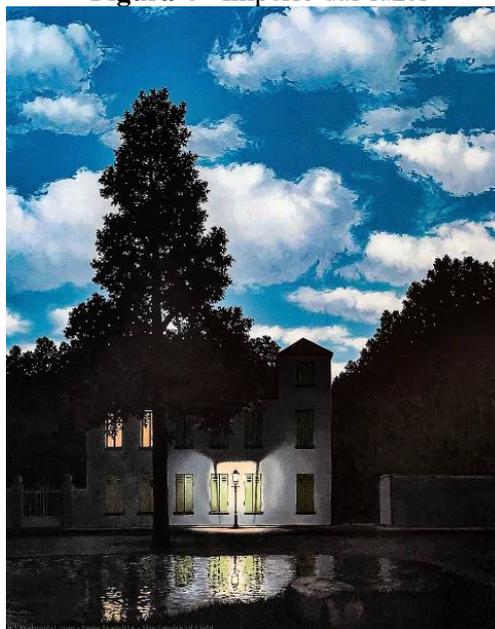
Seria possível usar a literatura, versos e arte no ensino de Física Quântica?

A arte e ciência podem parecer dois campos distintos, mas são próximos de longa data. Segundo Reis, Guerra e Braga (2006, p. 72) “Artistas e cientistas (ou filósofos naturais) percebem o mundo da mesma forma; apenas representam-no com linguagens diferentes”. Embora todo conhecimento da física sempre esteja ancorado em equações matemáticas muito bem fundamentadas, estender esse conhecimento ao âmbito filosófico e à realidade cotidiana é um trabalho árduo. Mas quando se trata da física moderna, há uma negação da consciência do mundo, pois contradiz tudo o que se pensava saber até agora; no entanto, trouxe uma maneira inovadora de interpretar o mundo (Reis; Guerra; Braga, 2006).

Muitas mudanças ocorreram no final do século XIX. Os artistas, pintores e escritores, assim como os cientistas estavam envolvidos e curiosos sobre o que traria as novas descobertas. Esse estado de êxito aproximou o universo cultural artístico da ciência. Um dos casos marcantes da época foram as pinturas de Claude Monet, que tentavam incorporar o tempo nas pinturas (Reis; Guerra; Guerra; Braga, 2005).

A arte visual proporcionada pelo surrealismo consegue imprimir os estados contraditórios e usar a arte para abordar sistemas conflitantes, como o Princípio da Complementaridade, proposto por Niel Bohr (1927) e a natureza dual da luz, usando, por exemplo, o quadro Império das luzes (Figura 4), que apresenta noite e dia ao mesmo tempo, contribuindo para a compreensão e ajudando a refletir sobre um tema de difícil abordagem.

Figura 4 - Império das luzes



Fonte: [https://pt.wahooart.com/Art.nsf/O/9H5R82/\\$File/Rene-Magritte-The-Empire-of-Light.jpg](https://pt.wahooart.com/Art.nsf/O/9H5R82/$File/Rene-Magritte-The-Empire-of-Light.jpg)

Assim como a FQ, a pintura surrealista é, por vezes, incompreensível, mas a junção dessas duas áreas tão distintas pode facilitar a compreensão desse tema tão complexo (Reis; Guerra; Braga, 2006). A comparação entre a FQ e a pintura surrealista pode ser enriquecedora, pois ambas desafiam as noções tradicionais de realidade e oferecem perspectivas alternativas e inovadoras. A FQ, com seus conceitos de superposição, emaranhamento e dualidade onda-partícula, muitas vezes desafia a lógica e a intuição, assim como a pintura surrealista, que busca representar o inconsciente e o subconsciente de maneira não convencional e muitas vezes perturbadora.

Ao explorar as semelhanças entre essas duas áreas, os estudantes podem ser estimulados a pensarem de forma mais aberta e criativa, desenvolvendo habilidades de pensamento crítico e ampliando sua compreensão sobre a natureza da realidade e da expressão artística. Além disso, essa abordagem interdisciplinar pode ajudar a tornar a mecânica quântica mais acessível e interessante para os alunos, conectando-a a aspectos da cultura e das artes visuais.

Outra abordagem possivelmente mais leve é através da música. Lima, Moraes e Monteiro (2021) relatam que o poeta tem sua própria linguagem e expressa seu pensamento através dos versos. Gilberto Gil, no álbum *Quanta*, costurou conceitos de física sobre o *quantum* a partir de sua visão de Física Quântica; usando sua liberdade poética, expressou nos versos da música “Quanta”

[Digite aqui]

‘Quando quase não há
 Quantidade que se medir’
 Qualidade que se expressar
 ‘Fragmento infinitésimo’
 Quase que apenas ‘mental’
 Quantum ‘granulado’ no mel
 Quantum ‘ondulado’ no sal
 (Quanta, 1997).

Mesmo usando a poesia para se expressar, percebe-se que o conceito atribuído por Gil está fortemente ligado a conceitos defendidos pela Física Quântica, o quantum é uma quantidade mínima de energia e pode se manifestar de forma granular ou ondulatória (Lima; Moraes; Monteiro, 2021). Ao utilizar a música e a poesia como ferramentas de ensino, os educadores oferecem uma maneira mais acessível e criativa para se compreender conceitos complexos, permitindo a exploração da interação entre a ciência e a expressão artística.

Lima e Ricardo (2019) relatam que ao se adentrarem ao ensino médio, os alunos têm expectativas positivas sobre a disciplina de física; porém, com o passar do tempo, ao se depararem com uma física exclusivamente algebrizada, perdem o interesse e acabam por tomarem ódio da disciplina. Essa desarticulação com a realidade pode estar relacionada à falta de literatura específica e textos históricos e gerais. Uma sugestão para solucionar o problema é trabalhar a articulação entre a física, literatura e ficção científica através de textos escritos tanto por cientistas e não cientistas, que tenham uma veia científica e com viés literário. Em um ambiente cultural, a física e a literatura convivem, se influenciam e criam uma linguagem, metáforas e imagens comuns.

O uso de leitura como recurso didático aponta algumas limitações, sendo necessário o uso de outras alternativas. A leitura em si só não constrói conceitos de física, mas usada como ferramenta didática, a leitura guiada pode contribuir para a construção de conceitos físicos tanto para alunos quanto para docentes, além de contribuir para o reconhecimento da física em obras artísticas, músicas e na literatura.

Nesse sentido, entende-se que propostas didáticas que envolvam Literatura e Arte podem ser grandes aliadas no ensino de Física Quântica, principalmente ao se considerar a complexidade dos conceitos presente nessa teoria, uma vez que “[...] os livros didáticos avaliados pouco explicitam os aspectos culturais” (Fontes; Rodrigues, 2019, p. 407).

5 METODOLOGIA

Destacamos, nas discussões anteriores, as dificuldades encontradas no ensino da Física Quântica no nível médio, tais como a transposição didática, abordagem superficial dos livros didáticos e a falta de formação adequada dos professores para lecionar esse conteúdo. Diante disso, nesse trabalho, buscamos investigar as potencialidades, para o apoio à introdução da Física Quântica no ensino médio, por meio da análise de artigos publicados em revistas especializadas em pesquisa e relatos sobre o ensino de Física.

Nesse cenário, o desenvolvimento da pesquisa se desdobra em duas etapas: (i) Avaliação do potencial de artigos de pesquisa e relatos de ensino de Física Quântica como recursos de apoio para os professores, por meio de uma pesquisa bibliográfica; e (ii) Elaboração e implementação de uma sequência didática, fundamentada na pesquisa bibliográfica prévia, com o intuito de contribuir para a formação inicial dos professores, através de um estudo de caso.

5.1 Pesquisa Bibliográfica: artigos como suporte ao ensino de física

Esta etapa da pesquisa, consiste numa pesquisa qualitativa de natureza bibliográfica em que faremos uma revisão da literatura de artigos relacionados ao ensino da física quântica, dando enfoque para aqueles voltados para a educação básica, em duas revistas voltadas ao ensino de física: Caderno Brasileiro de Ensino de Física e Revista Brasileira de Ensino de Física.

O uso da literatura em pesquisas qualitativas pode variar bastante. Segundo Alves-Mazzoti e Gewandsznajder (2002), dois aspectos são tradicionalmente associados à revisão da bibliografia pertinente a um problema de pesquisa: (a) a análise de pesquisas anteriores sobre o mesmo tema e/ou sobre temas correlatos e (b) a discussão do referencial teórico. Nesse trabalho, focar-se-á no primeiro aspecto.

Nossa linha de pesquisa assemelha-se à abordagem dos teóricos-críticos e pós-positivistas, os quais discutem conceitos e justificam as categorias analisadas, com base na literatura pesquisada (Alves-Mazzoti e Gewandsznajder, 2002).

Nesse cenário, esta etapa se organiza em três partes:

- (i) Identificação: Trabalho de definição das palavras-chave e a busca dos artigos, propriamente dita.

[Digite aqui]

- (ii) Organização e Categorização dos artigos, de acordo com o potencial para o apoio à inserção da física moderna no ensino médio e;
- (iii) Reflexões acerca dos recursos didáticos presentes nos artigos, a partir da definição da categoria de maior apoio.

5.2 Sequência Didática: potencial dos artigos para a formação inicial de professores

Nesse cenário, o desenvolvimento da segunda etapa deste trabalho pode ser organizado em duas partes: (iv) Sequência Didática e; (v) Produto.

- (iv) Sequência Didática: Nessa etapa selecionam-se alguns artigos para a construção, aplicação e análise de uma sequência didática para a disciplina ‘Física Moderna e Seu ensino’⁹, do curso de licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia, buscando avaliar as potencialidades identificadas nos artigos para a formação de professores;
- (v) Produto Educacional: a partir da análise e organizações dos artigos e das reflexões sobre a aplicação da sequência didática, desenvolveu-se um Ebook intitulado “Física Quântica no Ensino Médio: materiais, métodos e uma sugestão de módulos didáticos”, como produto educacional dessa dissertação. Esse Ebook contém artigos de propostas didáticas, materiais para formação e atuação dos professores, experimentos de baixo custo, laboratórios de simulações virtuais, literatura complementar e histórias em quadrinhos, ou seja, todo o material didático necessário para auxiliar o professor na preparação de suas aulas de Física Quântica, levando em consideração a realidade do ambiente escolar em que está inserido. Além disso, é apresentada uma sugestão de Módulos Didáticos elaborada pelos estudantes participantes da pesquisa, com as respectivas aulas, para consulta do professor, de acordo com seu interesse.

Espera-se que o resultado da pesquisa e o produto educacional que dela decorre possam fornecer uma contribuição significativa, para assegurar que os futuros professores tenham acesso a um material de apoio de alta qualidade, com artigos que promovam a efetiva inserção da Física Quântica no Ensino Médio.

⁹ http://www.infis.ufu.br/system/files/conteudo/fisica_moderna_e_seu_ensino.pdf
[Digite aqui]

6 ANÁLISE DOS ARTIGOS: PRIMEIROS RESULTADOS

A escolha das revistas para essa pesquisa foi feita levando-se em consideração a relevância e a especificidade voltadas para o ensino de física: (a) A Revista Brasileira de Ensino de Física¹⁰ (RBEF), publicada pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), que busca atingir um público de professores de todos os níveis, sendo pós-graduandos, pesquisadores e comunidade que desenvolve materiais e metodologias para o ensino de Física; (b) Caderno Brasileiro de Ensino de Física¹¹ (CBEF), que tem seu conteúdo voltado para a formação de professores de física, sendo usada constantemente nos cursos de aperfeiçoamento de professores no Nível Médio.

As palavras-chave usadas para a busca foram: ensino de mecânica quântica, Física quântica, mecânica quântica no ensino médio, física quântica no ensino médio. Usando esses termos, objetivou-se identificar todos os artigos relacionados à Física Quântica nas últimas duas décadas. Assim, acessaram-se os links das revistas CBEF e RBEF, usando os filtros oferecidos pelas páginas. Os artigos encontrados foram publicados em um período de 20 anos, de janeiro de 2002 a janeiro de 2022. Ao final desse levantamento foram encontrados um total de 168 (cento e sessenta e oito) artigos, sendo que o Caderno Brasileiro de Ensino de Física publicou um total de 23 (Apêndice A) e a Revista Brasileira de Ensino de Física publicou um total de 145 (Apêndice B).

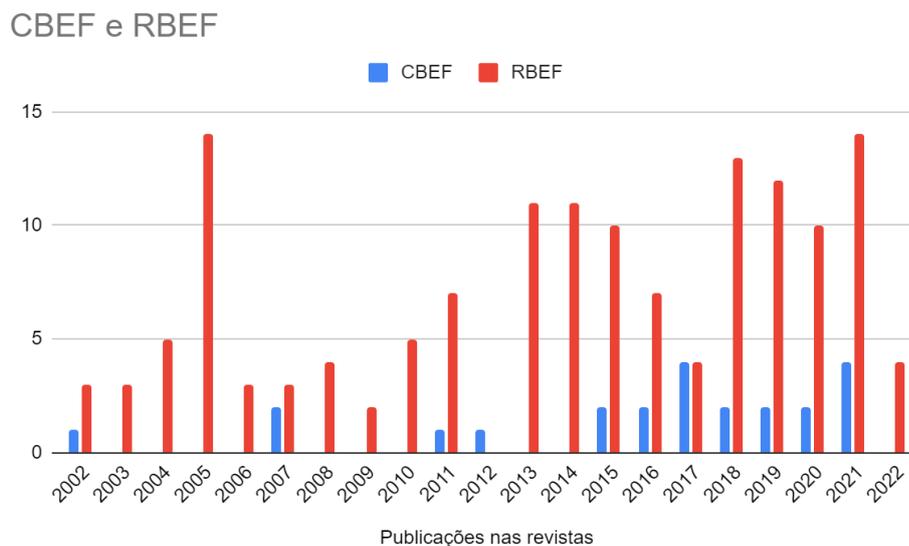
Os dados da pesquisa mostram que até 2015 as publicações sobre o tema foram pontuais no CBEF. Em todos os anos seguintes houve pelo menos uma publicação por ano sobre física quântica, atingindo o número máximo de quatro artigos publicados anualmente. Apresenta assim uma discrepância em relação ao número de publicações com a RBEF.

Na RBEF, por outro lado, em todos os anos houve pelo menos duas publicações a cada ano, entre o período de 2002 a 2022. A partir de 2010, as publicações anuais foram crescentes, exceto no ano de 2012, ano esse em que não foi publicado nenhum artigo. Em 2018, na edição número 4, a revista publicou uma Seção Especial para celebrar os 100 anos do nascimento de Richard P. Feynman, cientista que contribuiu muito para os estudos da FQ; dos 10 artigos publicados nesse ano, 8 deles estavam na Seção Especial. Os anos com maior número de publicações foram 2005 e 2021, com 14 publicações a cada ano, como mostra o Gráfico 1.

¹⁰ <https://www.scielo.br/j/rbef/>

¹¹ <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica>
[Digite aqui]

Gráfico 1 - Publicações no Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) e na Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)



Fonte: Elaborado pela autora

Portanto, diante das observações, fica evidente a disparidade na quantidade e no enfoque das publicações entre a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF) no que diz respeito à inserção da física quântica no ensino médio. Enquanto a RBEF apresenta um maior volume de publicações, a maioria delas aborda temas gerais, com ligação em algum ponto à física quântica, sem oferecer uma contribuição significativa para sua efetiva inserção no ensino médio. Por outro lado, o CBEF, voltado para a formação de professores de física demonstra um enfoque mais específico e direcionado para a área de ensino, refletindo-se em um menor número de publicações, porém com um conteúdo mais direcionado e relevante para a inserção da física quântica no ensino médio. Essa diferença pode ser atribuída ao perfil do público que contribui para cada revista, sendo essencial considerar tais aspectos ao se buscar promover avanços significativos na abordagem e compreensão da física quântica no contexto do ensino médio.

Em suma, a análise das publicações nas revistas revela a importância de se considerar não apenas a quantidade, mas também a qualidade e o enfoque das pesquisas. A RBEF é mais voltada para a discussão teórica e acadêmica, enquanto o CBEF é mais prático e direcionado ao ensino em sala de aula. Para a presente pesquisa é fundamental que as publicações busquem oferecer contribuições significativas e direcionadas à efetiva compreensão e abordagem da física quântica no contexto educacional, visando a promover avanços concretos na formação dos estudantes e no aprimoramento do ensino de física.

[Digite aqui]

6.1 Organização e categorização dos artigos

Para colaborar com as reflexões sobre as contribuições dos artigos encontrados nas duas revistas (RBEF e CBEF), estes foram separados em quatro grandes categorias, de acordo com o conteúdo e o objetivo de cada um: 1) proposta didática; 2) material de apoio para o ensino médio: formação e atuação de professores; 3) análise de material e resenhas de livro; 4) apoio ao ensino superior: temas gerais de física, como mostrado na Figura 5.

Figura 5 - Artigos que abordam Física Quântica



Fonte: Elaborado pela autora

Ao analisar os artigos, foram observados os seguintes aspectos:

Os artigos classificados como *proposta didática* apresentam uma descrição detalhada do conteúdo a ser ensinado, atividades práticas e recursos pedagógicos para o ensino desse conteúdo, estratégias de ensino-aprendizagem adequadas ao público-alvo, demonstram uma reflexão teórico-metodológica sobre a abordagem proposta; podem ser aplicados em contextos educacionais reais.

Nos artigos de *material de apoio para o ensino médio: atuação e formação de professores*, foram observados os seguintes aspectos: apresentam discussões teóricas dos temas em uma linguagem simples; oferecem suporte teórico e o formalismo matemático para a compreensão dos temas; podem ser usados como material didático.

Na categoria *análise material e resenha de livro*, observou-se se os artigos apresentavam: investigação ou análise crítica de um documento, filme, avaliações anuais, entre

[Digite aqui]

outros; uma avaliação crítica e resumida de uma obra literária, destacando seus pontos principais, qualidade da escrita, contribuições para o campo e possíveis limitações.

Na categoria *apoio ao ensino superior: temas gerais de física*, verificou-se presença dos seguintes aspectos nos artigos: teorias e aplicações relevantes para os cursos de física de nível universitário e que contribuem para o aprofundamento do conhecimento nessa área; oferecem suporte, complemento ou recursos adicionais para o ensino e aprendizagem de física no ensino superior, auxiliando os estudantes na compreensão dos temas abordados e na resolução de problemas.

Ao final, observa-se que as categorias que ofereceram **apoio direto** ao professor de ensino médio foram "proposta didática" e "material de apoio para o ensino médio: atuação e formação de professores", enquanto as categorias "análise de material e resenha de livros" e "apoio ao ensino superior: temas gerais de física" proporcionaram um **apoio indireto** ao professor da educação básica.

Nas próximas seções, vamos explorar os artigos nas respectivas categorias, enfatizando apenas aquelas que oferecem um **apoio direto** ao professor da educação básica e que é relevante para a nossa pesquisa.

6.2 Artigos de Proposta Didática

As lacunas na formação docente (Paulo; Moreira, 2011; Silva; Almeida, 2011), a dificuldade na transposição da FQ (Brockington, 2005), juntamente com a falta de profundidade, contextualização e quantidade adequada de conteúdo e atividades nos livros didáticos (Fontes e Rodrigues, 2019; Santos e Siqueira, 2023), podem representar um desafio significativo para os professores ao ensinar física quântica. Isso torna essencial um maior preparo e a busca por recursos adicionais para suprir essas deficiências e promover uma aprendizagem mais eficaz entre os alunos.

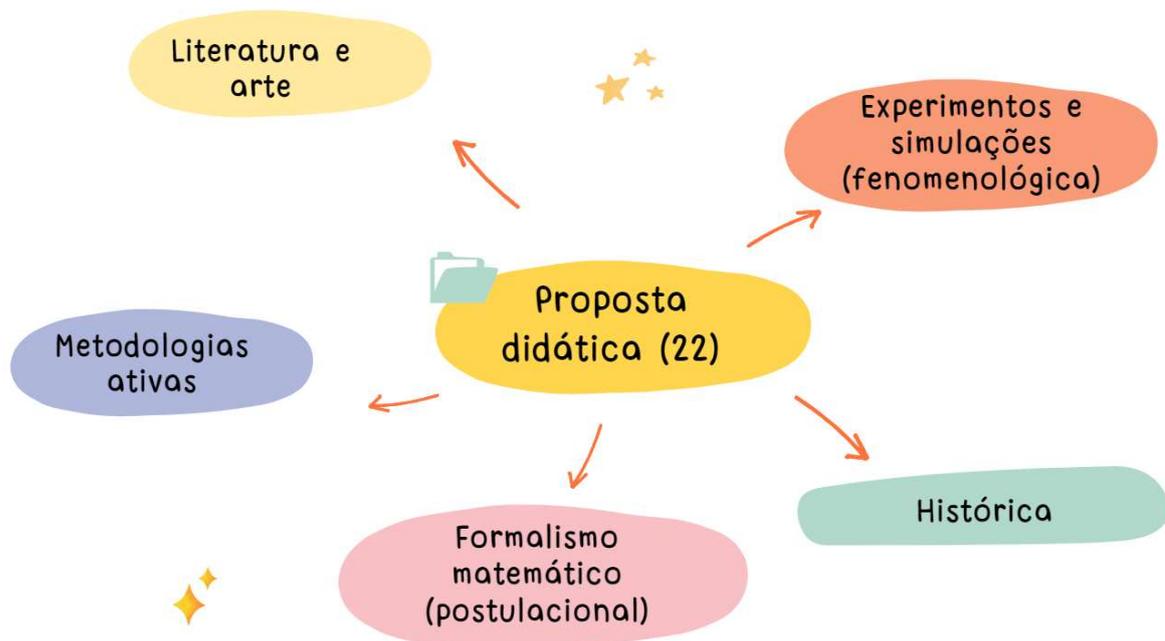
Nesse sentido, os artigos científicos que apresentam propostas didáticas podem desempenhar um papel crucial. Ao oferecerem abordagens inovadoras, estratégias pedagógicas e materiais complementares, tais artigos podem enriquecer o repertório dos professores e auxiliá-los na superação dos desafios enfrentados no ensino. Dessa forma, a utilização desse recurso pode contribuir de forma significativa para a melhoria da qualidade do ensino e aprendizagem desse conteúdo complexo.

[Digite aqui]

Os 22 artigos classificados na categoria “Proposta Didática” representam um apoio importante e direto ao professor, por apresentarem algum tipo de sequência de ensino, usando metodologias e recursos diversificados como textos, simulações virtuais, pinturas e literatura, toda proposta que pudesse ampliar o repertório docente na busca de superar as dificuldades de transposição da FQ para a sala de aula. Entende-se que essa categoria apresenta artigos de **apoio direto** à prática docente e traz reflexões que têm impacto direto na atuação do professor em sala de aula.

A maioria dos artigos de proposta didática apresenta combinações de abordagens discutidas no Capítulo 4, porém tendem a focar predominantemente em uma delas. Também encontramos artigos que introduzem a FQ por meio da literatura e arte ou utilizando metodologias ativas (Figura 6). Os aspectos relevantes dos artigos serão discutidos detalhadamente nas próximas seções. Ressaltamos antecipadamente que os artigos podem ser citados em mais de uma seção.

Figura 6 - Artigos de Proposta Didática



Fonte: Elaborado pela autora

6.2.1 Abordagem conceitual e histórica no ensino de Física Quântica

Nos artigos encontrados, alguns autores oferecem uma abordagem conceitual e histórica de diversos temas. Tenfen e Tenfen (2017), no artigo intitulado “O modelo atômico de Bohr e

[Digite aqui]

suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio”, assim como Parente, Santos e Tort (2014), no artigo “O átomo de Bohr no Ensino Médio”, apresentam uma análise conceitual do modelo atômico de Bohr. Por outro lado, Barros e Bastos (2007), no artigo “Investigando o uso do ciclo da experiência Kellyana na compreensão do conceito de difração de elétrons”, oferecem uma abordagem conceitual para difração de elétrons, enquanto Lima, Cavalcanti e Ostermann (2021) exploram, no artigo “Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica”, textos originais para trabalhar o tema da dualidade onda-partícula.

No primeiro artigo mencionado, Tenfen e Tenfen (2017) exploram um delineamento histórico do surgimento do modelo atômico de Bohr, que transita entre a Física Clássica e a Física Quântica, mostrando suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio, destacando as discrepâncias observadas na prática experimental em relação às previsões teóricas desse modelo. Eles discutem possíveis explicações para essas discrepâncias e sugerem novas abordagens para a interpretação dos resultados experimentais.

Por sua vez, Parente, Santos e Tort (2014) focam na importância do ensino do modelo atômico de Bohr no Ensino Médio, destacando sua relevância histórica e sua contribuição para a compreensão da estrutura atômica. Eles apresentam estratégias pedagógicas para tornar esse conteúdo mais acessível e interessante para os estudantes, incentivando a reflexão crítica sobre a evolução dos modelos atômicos ao longo da história da ciência.

Já Barros e Bastos (2007) abordam conceitualmente a difração de elétrons, um fenômeno fundamental na física quântica que desempenha um papel crucial na compreensão da natureza ondulatória das partículas subatômicas.

Na mesma linha de pensamento, Lima, Cavalcanti e Ostermann (2021) apresentam uma abordagem inovadora para o ensino da dualidade onda-partícula. Eles selecionam trechos de fontes primárias que abordam esse conceito fundamental da Teoria Quântica e desenvolvem um conjunto de perguntas para orientar uma leitura aprofundada e reflexiva sobre o tema. Essa proposta didática estimula a explorar as origens e fundamentos teóricos desse fenômeno crucial para a compreensão da Física Quântica.

6.2.2 Abordagem fenomenológica da Física Quântica

A abordagem fenomenológica foi a que apresentou o maior número de artigos, pois busca estudar as teorias por meio da análise dos fenômenos observados. Os artigos pertencentes [Digite aqui]

a essa categoria apresentam experimentos reais e virtuais de maneiras distintas, com propostas de trabalhar conceitos de física quântica tanto no ensino básico quanto nas disciplinas introdutórias da graduação.

Esses estudos fenomenológicos exploram a aplicação prática e análises dos conceitos teóricos da física quântica em experimentos reais e virtuais, proporcionando uma abordagem mais concreta e acessível para os estudantes. Além disso, essas propostas buscam integrar os princípios da física quântica no currículo escolar, desde o ensino fundamental até a graduação, visando promover uma compreensão mais ampla e aprofundada desse campo da física.

Em relação aos experimentos reais, encontram-se propostas de baixo custo para o ensino médio na confecção de espectrômetros, conforme apresentado por Tenfen e Tenfen (2017) e Azevedo, Sousa e Castro (2019). Essas propostas visam a analisarem o espectro de emissão do hélio e a servirem como recurso didático para a introdução de conceitos de Física Quântica no Ensino Médio, respectivamente. Além disso, Lüdke (2011) apresenta, para o ensino superior, alguns experimentos para comprovação de conceitos da estatística quântica de Fermi-Dirac e medidas quantitativas da densidade de corrente no vácuo.

Foram encontradas também propostas de experimentos reais, voltadas para o ensino médio, que requerem o uso de itens específicos ou a estrutura de laboratório didático, como as apresentadas por Oliveira *et al.* (2020). Eles propõem a determinação da constante de Planck através do exame das curvas características de LASER's semicondutores, obtidas com o auxílio de uma configuração experimental automatizada, contendo uma placa Arduino conectada a um circuito eletrônico. Da mesma forma, Slovinski e Alves-Brito (2021) propõem uma atividade experimental chamada “borracha quântica”, que aborda de forma qualitativa alguns princípios fundamentais da Física Quântica, tais como função de onda, probabilidade, estados quânticos e colapso da função de onda, conceitos abordados pela interpretação de Copenhagen. Além disso, Hoernig, Massoni e Hadjimichief (2021) apresentam um aparato experimental para abordar conceitualmente a relação entre energia e frequência.

Quando se trata de simulações virtuais, Ferreira e Souza Filho (2016, 2019) utilizam o experimento virtual de dupla fenda (PHET) para analisarem o comportamento corpuscular e ondulatório (análise clássica) e o comportamento quântico, por meio da análise de dados voltados para o Ensino Médio. Amaral *et al.* (2016) usam o experimento virtual de dupla fenda para estudar o padrão de interferência e difração, analisando as propriedades ondulatórias e

corpúsculares. E Barros e Bastos (2007) usam o simulador virtual FALSTAD¹² para estudarem os fenômenos de difração e interferência da luz, observando que a energia cinética dos elétrons emitidos está relacionada com a frequência da radiação incidente, permitindo explorar os aspectos ondulatório e corpuscular da luz. Além disso, a simulação computacional do interferômetro virtual¹³ de Mach-Zehnder, possibilita a exploração de um conjunto de atividades didáticas qualitativas para a compreensão de conceitos da Física Quântica, algumas das quais foram destacadas no trabalho de Netto, Ostermann e Cavalcanti (2018), aplicado no Ensino Superior.

Em relação à computação quântica, os processadores¹⁴ remotos desempenham um papel crucial na abordagem e simulação dos conceitos. Nesse contexto, Rabelo e Costa (2018) apresentam uma proposta para o Ensino Superior.

Os artigos de Sales *et al.* (2008) e Trindade, Fiolhais e Gil (2005) apresentam simulações para discutirem o efeito fotoelétrico e orbitais atômicos, respectivamente. No entanto, ao acessar o site indicado no primeiro artigo, não foi encontrada a simulação. Mesmo utilizando mecanismos de busca na internet, todos os sites que levam à simulação resultam em erro, o que leva a deduzir que a simulação foi retirada da plataforma. Quanto ao segundo artigo, indica que a simulação estará disponível mediante solicitação; no entanto, ao enviar a solicitação para o único e-mail disponível, a mensagem não foi entregue, pois, o sistema não reconhece o e-mail.

6.2.3 Abordagem postulacional no ensino de Física Quântica

A abordagem postulacional é uma metodologia utilizada em diversas áreas do conhecimento, como a Física e a Matemática, que se baseia na formulação de postulados ou princípios fundamentais como ponto de partida para o desenvolvimento de teorias, modelos ou sistemas. A partir desses postulados, são derivadas as leis, teoremas e conceitos que regem o sistema a ser estudado.

Dentre os artigos analisados, alguns utilizaram a abordagem postulacional como proposta didática, geralmente associada a outra abordagem. Ferreira e Souza Filho (2019) usam a notação de brackets proposta por Paul Dirac (1902-1984) para explicar os resultados do

¹² <http://www.falstad.com/mathphysics.html>

¹³ <http://www.lief.if.ufrgs.br/~cjhc/vmzi.html>

¹⁴ <https://research.ibm.com/quantum-computing>

experimento virtual de dupla fenda de forma compreensível ao nível médio, empregando operações algébricas sem a necessidade de equações diferenciais complexas. Rabelo e Costa (2018) comparam os resultados de projetos executados no IBM-Q com os fundamentos teóricos e mostram que estão de acordo com as previsões teóricas. Sales et al. (2008) aplicam a lei da conservação da energia para explicar o efeito fotoelétrico a partir dos dados do simulador "pato quântico". Tenfen e Tenfen (2017) demonstram, detalhadamente, usando o formalismo matemático, as limitações do átomo de Bohr para explicar o espectro do átomo de hélio, utilizando a descrição clássica e evidenciando a necessidade de uma nova mecânica quântica.

Slovinski e Alves-Brito (2021) discutem os princípios derivados dos postulados da Mecânica Quântica, adaptados para atender ao nível de compreensão dos alunos do Ensino Médio por meio de uma transposição didática, com o intuito de explicar o experimento da "borracha quântica". Amaral et al. (2016) explicam detalhadamente, usando o formalismo matemático, o comportamento das partículas quânticas, bem como para calcular as probabilidades de ocorrência dos fenômenos quânticos. Por fim, Dorsch e Guio (2021) utilizam o formalismo matemático para explicar conceitos-chave para o ensino de física de partículas, adaptados para o nível médio.

6.2.4 Literatura e arte

Os artigos apresentados nesta seção abordam a FQ por meio da literatura e da arte. Essa metodologia é comum em outras disciplinas, com outros tópicos da física e em muitas questões de vestibulares e ENEM. A utilização de textos literários, poemas, contos, tirinhas e obras de arte que abordam temas relacionados à Física permitem aos estudantes estabelecerem conexões entre a ciência e a cultura, ampliando sua visão sobre a disciplina e tornando-a mais acessível e relevante para suas vidas.

Nesse sentido, os artigos de Andrade, Nascimento e Germano (2007) e Fernandes *et al.* (2017) trazem reflexões sobre como as obras do pintor espanhol Salvador Dalí podem contribuir para abstração necessária para a compreensão da FQ. Salvador Dalí, foi um artista surrealista conhecido por suas pinturas que desafiavam a realidade e exploravam o subconsciente. Suas obras muitas vezes apresentam imagens distorcidas e surreais, que desafiam a lógica e a razão.

Ao relacionar a física quântica com as pinturas de Salvador Dalí, pode-se explorar conceitos como a incerteza, a dualidade onda-partícula e a não-localidade, que são

[Digite aqui]

fundamentais na física quântica. Pode-se também discutir como a arte pode ser uma forma de expressar ideias complexas e abstratas, assim como a ciência.

Neste sentido, Souza e Neves (2016) apresentam uma análise sobre a obra "Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos", com o objetivo de fornecer subsídios para professores do Ensino Médio sobre como utilizar um livro paradidático em sala de aula com a finalidade de ensinar conceitos de Física Quântica. O texto destaca a possibilidade de abordar um tema complexo de forma analógica e metafórica, utilizando elementos fabulares, científicos, temporais e espaciais. O livro paradidático é visto como um recurso complementar ao livro didático, auxiliando no desenvolvimento do entendimento de conceitos que não são abordados de forma convencional.

O artigo de Feitosa *et al.* (2020) apresentam uma proposta didática para a FQ no EM usando a linguagem das Histórias em Quadrinhos e dos versos de cordéis, que possibilita uma maior identificação dos alunos com o conteúdo, estimulando o interesse, a imaginação e a participação ativa nas aulas.

Essas abordagens podem ser especialmente úteis no ensino médio, onde a Física Quântica pode ser um desafio para os alunos, devido à sua natureza abstrata. Ao trazer a arte e a literatura para o ensino, os professores podem tornar o conteúdo mais acessível e interessante para os estudantes, ajudando a superar as barreiras abstratas e conceituais da disciplina. Como mencionado por Reis, Guerra e Braga (2006, p. 72) “Artistas e cientistas (ou filósofos naturais) percebem o mundo da mesma forma, apenas representam-no com linguagens diferentes.

Portanto, a interseção entre arte, literatura e Física oferece uma oportunidade única de enriquecer o ensino de Física, promovendo uma compreensão mais profunda e contextualizada dos conceitos científicos. Ao incorporar elementos artísticos e literários, os educadores podem tornar o conteúdo de Física mais próximo dos interesses e da realidade dos alunos, incentivando o engajamento e a apreciação pela disciplina.

6.2.5 Metodologias ativas para abordagem da Física Quântica

Nesta seção, far-se-á uma breve apresentação de artigos que buscam inserir os tópicos da FQ no EM usando as diferentes abordagens e metodologias ativas. Considera-se oportuna a realização de uma breve apresentação de cada artigo, a fim de se destacar as possíveis formas de aproveitar simultaneamente diversos recursos em sala de aula.

[Digite aqui]

Barros e Bastos (2007) apresentam uma proposta pedagógica abrangente para o ensino da difração de elétrons, que inclui uma variedade de estratégias de ensino. Além dos testes pré e pós, leituras e busca ativa de materiais na internet, a proposta também incorpora aulas teóricas, com abordagens históricas e conceituais, experimentos práticos e questionários. Essas atividades são organizadas de acordo com o Ciclo de Experiência Kellyana, como ilustrado na Figura 7. A proposta foi aplicada a alunos de graduação que demonstraram erros conceituais e falta de conhecimento devido à descontextualização do ensino e ao excesso de formalismo matemático, que foram sanadas ao final do Ciclo.

Essa abordagem pedagógica tem como objetivo detectar lacunas na compreensão dos alunos, oferecendo uma variedade de métodos de ensino para promover o engajamento de forma eficaz. Ao integrar elementos teóricos, históricos e práticos, os autores buscam proporcionar uma compreensão mais holística e contextualizada do assunto, auxiliando os alunos a superar suas dificuldades conceituais e a se envolver de maneira mais significativa com o material. A proposta didática foi aplicada com sucesso para graduandos, e pode ser adaptada para inserir a Física Quântica no Ensino Médio, ajustando o conteúdo para esse nível de ensino.

Figura 7 - Ciclo da Experiência Kellyana



Fonte: Barros e Bastos (2007, p. 31)

Dorsch e Guio (2021) desenvolveram uma sequência didática que inclui diversos recursos, tais como vídeos, simulações, projeções, tópicos de formação para docentes e indicações de literatura complementar. Esses recursos foram concebidos a partir de uma revisão de literatura, com foco na física de partículas e na abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente), que é utilizada para a alfabetização científica.

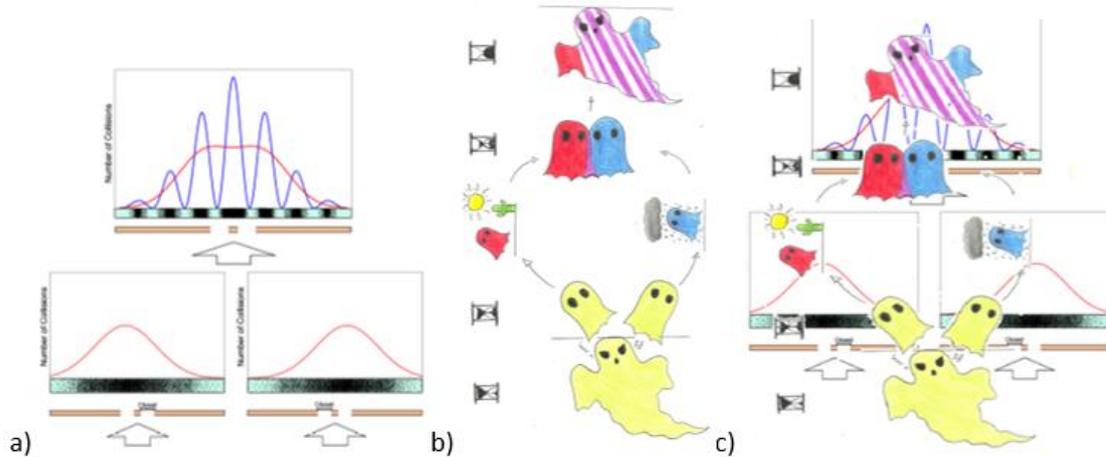
[Digite aqui]

A abordagem CTSA enfatiza a integração entre os conhecimentos científicos e as questões sociais, tecnológicas e ambientais, o que pode contribuir significativamente para a prática docente. A inclusão de recursos variados e a ênfase em se elaborar material para os professores, demonstram o compromisso de Dorsch e Guio (2021) com a melhoria do ensino de física, proporcionando aos educadores ferramentas e conhecimentos que podem enriquecer suas práticas em sala de aula. Acredita-se que essa perspectiva reforça a potencialidade do trabalho de selecionar e organizar artigos para a prática de professores, contribuindo para a valorização do conhecimento científico na prática educativa, promovendo uma abordagem mais sólida e atualizada no ensino de física.

Para além das apresentações históricas ou controvérsias Parente, Santos e Tort (2014) apresentam, no artigo “O átomo de Bohr no Ensino Médio”, uma proposta de ensino do modelo atômico de Bohr por meio de analogias com os harmônicos de uma onda em uma corda com extremidades fixas, visando facilitar a compreensão dos estudantes. Ao se estabelecer paralelos entre fenômenos físicos familiares e os aspectos mais abstratos da estrutura atômica, os alunos podem desenvolver uma compreensão mais sólida e intuitiva do tema. Nesse sentido, essa abordagem representa um recurso valioso para o ensino desse conteúdo no ensino médio, indo além das simples apresentações históricas ou controvérsias.

Amaral *et al.* (2016) apresentam uma abordagem inovadora ao discutirem o experimento da fenda dupla, utilizando elementos fenomenológicos e postulacionais, e incorporando uma dose de fantasia e imaginação. A análise do fenômeno da fenda dupla destaca os aspectos intrigantes dos resultados e estabelece uma comparação entre a função de onda e um estranho fantasma, que pode se dividir em pedaços e estar em vários lugares ao mesmo tempo, assemelhando-se à alma da partícula. Essa descrição é ilustrada de forma visual na Figura 8.

Figura 8 - Estranho comportamento da partícula a) Gráficos do experimento de fenda dupla. b) Figura pictórica do experimento. c) Sobreposição das imagens.



Fonte: Adaptado pela autora de Amaral *et al.* (2016, p. 4-5)

A abordagem proposta é notável por sua capacidade de estimular a imaginação dos estudantes e de apresentar conceitos complexos de forma acessível e envolvente. Ao incorporar elementos fantasiosos e comparativos, os autores buscam facilitar a compreensão dos fenômenos quânticos, muitas vezes abstratos e desafiadores para os estudantes.

No entanto, é importante destacar que a utilização de elementos fantasiosos em contextos científicos requer cuidado, uma vez que pode gerar interpretações equivocadas ou confusão conceitual. Portanto, embora a abordagem seja inovadora e estimulante, é fundamental que os educadores estejam atentos para garantirem que a fantasia e a imaginação sejam utilizadas de forma complementar e esclarecedora, sem comprometer a precisão conceitual.

Em suma, a diversidade de abordagens, metodologias e recursos para o ensino da Física Quântica no ensino médio é evidenciada pelos artigos apresentados. Portanto, os artigos analisados contribuem de maneira significativa para a valorização do conhecimento científico na prática educativa, promovendo uma abordagem mais sólida, atualizada e estimulante no ensino de Física Quântica.

Essa constatação levou a pensar em uma forma de contribuir para a discussão. Considera-se, no entanto, relevante incluir os levantamentos realizados a partir dos artigos nesse trabalho e buscar a contribuição de estudantes do 5º período do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Dessa forma, foi elaborada uma sequência didática para a disciplina "Física Moderna e seu Ensino". Nessa sequência, utilizou-se uma seleção dos artigos desta categoria, permitindo que, ao longo da disciplina, os estudantes,

[Digite aqui]

orientados pelo docente e pelo autor dessa dissertação, pudessem analisar os tópicos essenciais para o Ensino de Física Quântica no Ensino Médio. Essa etapa do trabalho será apresentada no Capítulo 7.

6.3 Material de Apoio para o Ensino Médio: Formação e Atuação de Professores

Em relação à disseminação do conhecimento, é importante destacar que um dos desafios significativos enfrentados pelos professores em sala de aula é a crescente propagação de interpretações indevidas relacionadas à Física Quântica, tanto na mídia quanto na sociedade em geral. Essas interpretações equivocadas fornecem subsídios para que Osvaldo Pessoa Júnior (2011) apresente como "Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico" que, de acordo com Saito (2021), tem invadido todas as áreas da cultura e da sociedade.

No entanto, devido à cultura do ensino excessivamente algebrizada nos cursos de graduação, muitos docentes acabam formando-se com lacunas em relação à parte teórica de alguns conteúdos, incluindo os tópicos de Física Moderna e, em especial, a Física Quântica, que por si só já é bastante complexa (Paulo; Moreira, 2011; Lima; Ricardo, 2019).

Esse cenário torna-se bastante complexo, pois quando o aluno traz discussões na perspectiva do misticismo quântico para a sala de aula, o professor pode ter dificuldades para abordar o conhecimento de forma clara e segura, bem como para responder aos questionamentos trazidos pelos estudantes. Dessa forma, destaca-se a importância de investir na formação continuada dos professores, visando preencher essas lacunas e fornecer-lhes as ferramentas necessárias para lidar com a complexidade da Física Quântica, a fim de transmitir o conhecimento de forma mais clara e precisa aos alunos.

Acredita-se que a educação científica tem um papel essencial para a compreensão desse fenômeno, contribuindo para separar os limites do conhecimento científico e da pseudociência e, nesse sentido, foi organizada essa subcategoria¹⁵. Os artigos aqui reunidos trazem abordagens da Física Quântica, que se constituem como importante material de apoio aos professores, tanto para a ampliação quanto para o fortalecimento dos conhecimentos desses docentes.

Além disso, de acordo com Lima e Ricardo (2019), os textos disponíveis nos livros didáticos são muito resumidos; assim, acredita-se que os artigos aqui organizados, ou partes deles, podem se estabelecer como material de apoio para a abordagem da FQ em sala de aula.

¹⁵ Os artigos referentes a essa classificação estão disponíveis no anexo 4.
[Digite aqui]

Os artigos classificados e analisados fornecem uma base teórica sólida e contribuem significativamente para a formação inicial e continuada de docentes sobre temas e tópicos da Física Quântica. A leitura desses materiais pode proporcionar a ampliação do conhecimento, permitindo que os educadores abordem o tema com mais segurança na sala de aula. Além disso, oferecem uma compreensão mais ampla e crítica das teorias e interpretações da Física Quântica, estimulando debates, reflexões e análises gerais. Esses recursos são de extrema importância para a formação acadêmica e profissional dos educadores e podem contribuir para a melhoria do ensino e aprendizado.

Dentre os artigos, consideram-se relevantes as reflexões sobre o contexto histórico, as descobertas e contribuições dos cientistas em relação aos fenômenos e conceitos da Física Quântica dissertados nos trabalhos de Bispo, David e Freire Júnior (2013), Freire Junior (2015), Lima e Chaib (2021), Maia Júnior e Silva (2019), Parente, Santos e Tort (2013), Silva, Freire Junior e Silva (2011), Silva (2015), Silva e Freire Júnior (2014), Studart (2018) e Vasconcelos e Forato (2018).

A exploração do contexto histórico e das diversas contribuições dos cientistas que moldaram a Física Quântica ao longo do tempo é essencial para alcançar uma compreensão mais profunda e contextualizada dessa área do conhecimento. Além disso, é possível inserir a realidade no conhecimento disciplinar e assim, construir a visão de uma ciência viva, dinâmica e em desenvolvimento, diferente da visão excessivamente matemática e descontextualizada das ciências, tão presente na formação e atuação do professor.

Além da contextualização histórica, foram organizados artigos que dissertam sobre as diversas teorias e interpretações da Física Quântica, as quais são frequentemente abordadas por cientistas e em filmes de ficção científica (Abdalla, 2005; Bastos Filho, 2003; Betz, 2022; Freitas; Freire Júnior, 2008; Silva; Almeida; Halck, 2015).

Essas teorias e interpretações incluem, por exemplo, a interpretação de Copenhague, a teoria dos estados relativos, a interpretação da onda piloto, dentre outras. A análise dessas diferentes abordagens teóricas possibilita construir uma compreensão crítica acerca das implicações filosóficas e científicas dessas teorias. Ao explorar as diversas interpretações, os leitores podem identificar lacunas no conhecimento atual e buscar novas abordagens para compreenderem os fenômenos quânticos. Entende-se assim que esses textos podem contribuir para enriquecerem o conhecimento dos professores para o ensino de FQ.

Os artigos de Ostermann e Prado (2005), Pereira *et al.* (2012) e Ricci, Ostermann e Prado (2009) oferecem uma base teórica sólida para a utilização do Interferômetro virtual de [Digite aqui]

Mach-Zender em sala de aula, fornecendo explicações detalhadas sobre os princípios físicos envolvidos, os procedimentos experimentais recomendados e as possíveis interpretações dos resultados obtidos, inclusive a interpretação de muitos mundos.

Além disso, os artigos de Chibeni (2005) e Rosa, Lima e Cavalcanti (2022) contribuem para a compreensão do contexto histórico, do formalismo matemático, dos fenômenos e interpretações do Princípio da Incerteza de Heisenberg. Por outro lado, os trabalhos de Amorim *et al.* (2021), Davidovich (2015), Santos (2017) e Zanotta, Cappelletto e Matsuoka (2011) oferecem uma revisão de conceitos que ampliam o conhecimento do professor e descrevem a aplicação dos conceitos quânticos, podendo também ser usados para divulgação científica.

Entende-se, portanto, que esses artigos se constituem como materiais de **apoio direto** aos professores da educação básica, permitindo a ampliação de seus conhecimentos, tanto para professores em exercício quanto em formação. Apesar de não apresentarem propostas didáticas, esses trabalhos trazem discussões conceituais e históricas que podem contribuir para a formação docente e servirem como conteúdo complementar para a abordagem da FQ em sala de aula.

6.4 Análise de Material e Resenhas de Livros

Os trabalhos qualificados como "Análise de Material e Resenhas de Livros", terceira classificação, engloba uma variedade de artigos que oferecem análises críticas e reflexivas sobre materiais didáticos relacionados à Física Quântica. Esses materiais incluem desde livros didáticos e questões do Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENADE) até resumos, bem como resenhas críticas de livros e artigos acadêmicos que discutem a FQ.

Tais estudos desempenham um papel crucial ao fornecerem aos professores percepções valiosas sobre os materiais de apoio disponíveis para suas aulas. Ao examinarem e avaliarem a qualidade, precisão e abordagens pedagógicas desses materiais, os pesquisadores contribuem para o aprimoramento do ensino da Física Quântica. Além disso, ao se destacar pontos fortes e possíveis lacunas nos materiais existentes, tais análises podem influenciar a produção de futuros materiais didáticos mais eficazes e adequados para o contexto educacional.

No entanto, é importante ressaltar que, embora representem um papel importante para consulta do professor, no intuito de buscar a escolha de outros materiais de apoio, considera-se que eles se constituem como material de **apoio indireto**, que analisa e apresenta resenhas de outros materiais que, por sua vez, podem constituir-se como materiais de apoio a serem utilizados em sala de aula.

[Digite aqui]

6.5 Apoio ao Ensino Superior: Temas Gerais de Física Quântica

A quarta e última classificação, intitulada "Apoio ao ensino superior: temas gerais de Física", engloba uma variedade de artigos importantes que abordam questões amplas e fundamentais nesse campo. Esses artigos discutem o formalismo matemático a nível superior, diferentes métodos de resoluções de exercícios, análises de resultados experimentais e discussões teóricas gerais, utilizando uma linguagem formal e direcionada a pesquisadores e estudantes da área, sem oferecer uma transposição didática. Em resumo, os artigos dessa categoria contribuem para a formação de professores da educação básica de forma indireta (**apoio indireto**), permitindo a esses ampliar conhecimentos relacionados à Física Quântica, principalmente a nível de ensino superior.

Neste sentido, os artigos das categorias "Análise de Material e Resenhas de Livros" e "Apoio ao ensino superior: temas gerais de Física" não apresentam contribuições significativas para nossa pesquisa e, portanto, serão excluídos do estudo em questão.

7 SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA FORMAÇÃO INICIAL DE PROFESSORES ANCORADA NA CATEGORIA DE “PROPOSTA DIDÁTICA”

Os documentos oficiais que normatizam a educação brasileira destacam a importância do desenvolvimento do pensamento científico e da valorização do conhecimento qualitativo e quantitativo no cotidiano, além de incentivarem o uso diversificado de metodologias e avaliações. No entanto, a abordagem da Física Quântica no ensino médio é prejudicada devido à falta de formação inicial docente e à organização curricular (Paulo; Moreira, 2011; Silva; Almeida, 2011; Fontes; Rodrigues, 2019), além de ser um desafio devido à complexidade dos conceitos e à falta de suporte aos professores (Ostermann; Moreira, 2000). Ainda há os apontamentos de Rocha et al. (2021) sobre as dificuldades dos alunos na aplicação do conhecimento de Física em situações cotidianas e na contextualização do conhecimento científico. Em contrapartida, muitos materiais e sequências didáticas desenvolvidas por grupos especializados não chegam ao conhecimento dos professores da educação básica (Souza, Araujo e Veit, 2021). E este é o principal elo entre os temas de FMC/FQ e os alunos do ensino médio (Silva e Almeida, 2011).

Neste contexto, compreende-se que os artigos selecionados e as categorias discutidas na pesquisa são ferramentas fundamentais, complementares aos livros didáticos, para promover a discussão metodológica e desenvolver estratégias eficazes para a introdução da Física Quântica no ensino médio e na formação inicial de professores.

Nesse sentido, foi elaborada uma sequência didática (Quadro 2) buscando a estrutura e reflexão a partir dos Momentos Didáticos previstos pela TAD citado por Pasqualetto (2018) e discutido no Capítulo 3, para aplicação na disciplina "Física Moderna e seu Ensino"¹⁶ do quinto período do curso de Licenciatura em Física, da Universidade Federal de Uberlândia. A ementa da disciplina contempla todo o conteúdo da Física Moderna e divide-se em duas etapas: a primeira visa a “Promover a formação de educadores que compreendam a importância do ensino de Física Moderna e Contemporânea em nível médio e a divulgação dos seus conceitos para a população”. A segunda etapa, à qual a sequência proposta nessa dissertação está ancorada, é voltada para as propostas de estratégias de ensino: “Proporcionar espaço para a proposta de estratégias de ensino e divulgação da Física Moderna e Contemporânea, bem como para reflexão dos materiais e métodos disponíveis na literatura.”

¹⁶ Ficha da disciplina: http://www.infis.ufu.br/system/files/conteudo/fsica_moderna_e_seu_ensino.pdf [Digite aqui]

A disciplina "Física Moderna e seu Ensino" foi estruturada com uma carga horária total de 60 horas/aula, distribuídas ao longo do semestre, com uma carga de 4 horas/aula por semana. Dessas 60 horas/aula, 20 horas (correspondentes a 5 semanas) foram dedicadas à aplicação dessa sequência didática desenvolvida em colaboração entre a autora desta dissertação e a professora responsável pela disciplina, que também atua como orientadora deste trabalho.

O foco principal dessa sequência didática foi abordar o segundo objetivo da disciplina, que consiste em criar um espaço para a proposição de estratégias de ensino e divulgação da Física Moderna e Contemporânea, especificamente a física quântica. Além disso, essa abordagem visou promover reflexões sobre os materiais e métodos disponíveis na literatura especializada, buscando enriquecer o aprendizado dos alunos e estimular o pensamento crítico em relação aos temas abordados.

Quadro 2 - Organização da proposta didática

SEMANA	ATIVIDADES PROGRAMADAS PARA AULA	ATIVIDADES PARA OS ALUNOS	MOMENTO DIDÁTICO
Semana 1	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentação dos resultados da pesquisa bibliográfica elaborada nesse trabalho, pela orientanda, juntamente com as organizações propostas para os licenciandos. • Discussão sobre as categorias e as formas como os estudantes entendiam que cada uma delas poderiam contribuir para a abordagem da Física Quântica em sala de aula. • Seleção de uma das categorias para que cada licenciando pudesse receber um artigo do qual faria a apresentação para o resto da turma. 	As apresentações dos artigos deveriam ser gravadas pelos alunos e disponibilizadas em um grupo privado do Facebook, para que toda a turma, a professora e a autora do trabalho pudessem assistir e comentar, preparando todo o grupo para as discussões em sala de aula.	Momento do Primeiro Encontro e Momento Exploratório
Semana 2	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão sobre as experiências de cada aluno com a FQ no Ensino Médio; • Apresentações e leituras sobre os documentos oficiais (BNCC, DCNs, LDB e o PNE) e a estrutura do Novo Ensino Médio. • Discussões sobre os desafios dos professores de física para a inserção de FQ no EM. 	A partir dessas discussões os estudantes deveriam desenvolver uma proposta para contribuir com a inserção da Física Quântica na educação básica	Momento da constituição do bloco tecnológico-teórico
Semana 3	<ul style="list-style-type: none"> • Discussão sobre os artigos apresentados pelos discentes e o potencial para a construção de propostas de ensino; • Discussões com o intuito de definir de que maneira os licenciandos se organizariam para construir propostas 		Momento do trabalho da Técnica

[Digite aqui]

	que pudessem contribuir para a inserção da FQ no ensino médio, a partir das leituras dos artigos e dos documentos oficiais, além das reflexões sobre suas experiências e os desafios do ensino médio.		
Semana 4	<ul style="list-style-type: none"> Defesa das propostas e organização dos trabalhos apresentados pelos licenciandos; Discussões iniciais sobre a elaboração do trabalho dos alunos. 		Momento da institucionalização
Semana 5	<ul style="list-style-type: none"> Apresentações dos trabalhos em desenvolvimento para permitir a colaboração de toda a turma e da professora da disciplina. Orientações e reflexões sobre as propostas e a organização do formato final do trabalho. 	Entrega dos trabalhos finais das/os alunas/os.	Momento de Avaliação

Fonte: Elaborado pela autora

Assim, almejou-se poder contribuir, por meio das reflexões sobre os artigos compilados nessa dissertação, para a formação inicial e, possivelmente, continuada dos professores.

7.1 A aplicação da sequência: resultados e discussões

O primeiro item dos objetivos da disciplina acerca da importância e das dificuldades do ensino e divulgação da Física Quântica foi abordado pela professora da disciplina antes da aplicação dessa sequência. Essa introdução preparou os estudantes para a discussão dos artigos e reflexões sobre suas potencialidades, bem como as possíveis dificuldades, o que favoreceu a aplicação da sequência didática.

Nesse sentido, entende-se que, apesar dessa etapa não fazer parte da sequência apresentada, impacta diretamente no *Momento do Primeiro Encontro* (Pasqualetto, 2018), pois prepara os estudantes para a apresentação dos artigos selecionados e a organização que se acredita torná-los disponíveis de acordo com a relevância para o ensino de FQ. Nessa etapa, foi discutida a relevância da abordagem de Física Quântica no ensino médio.

Depois que a professora conduziu essas discussões, foi apresentada a proposta de participação da sequência didática organizada pela autora dessa dissertação, orientada pela professora da disciplina. O convite foi aceito pelos seis alunos da turma, levando as pesquisadoras à etapa de aplicação.

É importante ressaltar que, para a proposta da sequência, não se definiu inicialmente o formato da contribuição dos licenciandos e dos trabalhos desenvolvidos.

[Digite aqui]

Desse modo, buscou-se valorizar os conhecimentos e experiências dos estudantes da disciplina, procurando desenvolver uma relação dialógica. Assim sendo, concorda-se com a visão de Freire Júnior (2015) de que a estratégia de subversão pode ser eficaz, conforme demonstrado na interação dialógica entre os físicos dissidentes na área quântica e a comunidade científica em geral.

Dessa forma, o modo como a sequência foi moldada no contexto da aplicação e a organização do trabalho final foi realizada de forma conjunta, pela autora desse trabalho, que acompanhou as aulas em algumas semanas, e pela professora dos estudantes da disciplina.

- **Semana 1: conhecendo os trabalhos e discutindo possibilidades**

O *Momento do Primeiro Encontro* com os estudantes da disciplina foi importante para a autora apresentar a eles os resultados da pesquisa e a classificação das categorias. Foi considerado essencial destacar os artigos classificados como de apoio direto, relacionados às propostas didáticas e aos materiais de apoio na formação de professores. Isso porque essas duas categorias incluíam os artigos que poderiam colaborar diretamente para que os estudantes pudessem propor atividades ou estratégias para a inclusão da Física Quântica no ensino médio.

Nesse sentido, os estudantes puderam interagir com o objeto tentando criar respostas para questões específicas, afastando-se de referências de uma realidade pré-existente. Em outras palavras, a partir dessa apresentação foi possível discutir com os estudantes as possibilidades desses artigos contribuírem para a inserção da Física Quântica no ensino médio, retomando em certos momentos questões mencionadas previamente pela professora sobre a importância do ensino de Física Quântica. Durante as discussões, percebeu-se que os estudantes compreenderam o potencial dos artigos para propor estratégias e reconheceram que os artigos da categoria “Proposta Didática” seriam os que dariam a contribuição mais significativa para as atividades a serem desenvolvidas na disciplina.

Desse modo, foram selecionados seis artigos da categoria escolhida após as discussões e foi decidido que cada aluno seria responsável pela leitura de um artigo e compartilharia suas impressões com o restante da turma, constituindo assim o *Momento exploratório*.

A escolha dos artigos da categoria Proposta Didática foi realizada por mim e disponibilizado aos alunos pela plataforma virtual usada pela universidade. Os artigos escolhidos foram:

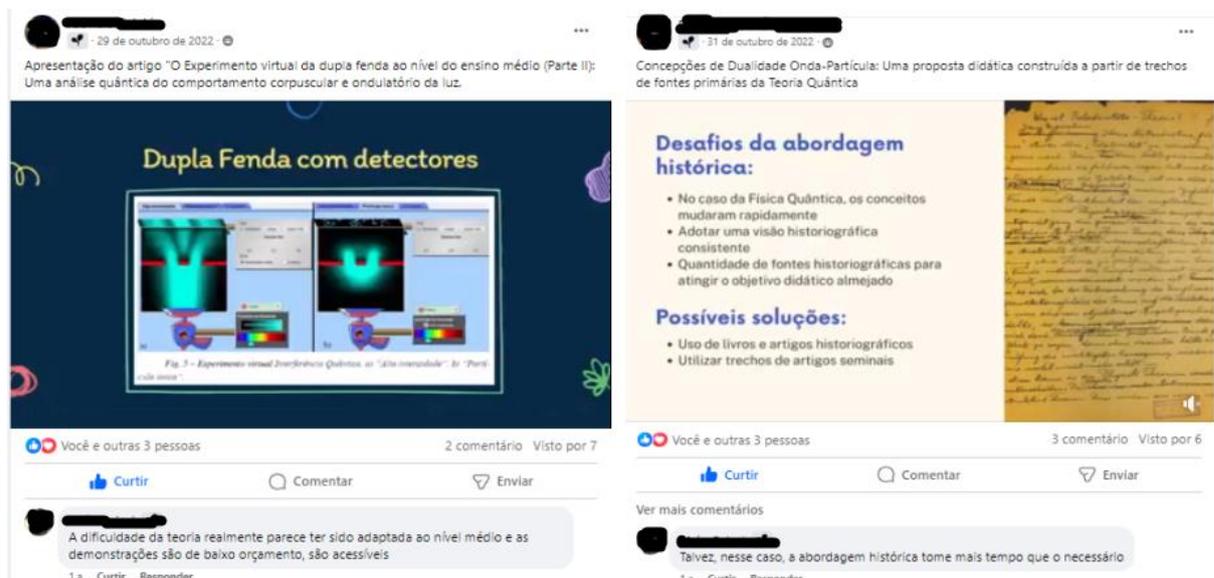
- “Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica” (Lima, Cavalcanti e Ostermann, 2021).

[Digite aqui]

- “Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica” (Hoernig; Massoni; Hadjimichef, 2021).
- “Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio” (Feitosa *et al.*, 2020).
- “O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz” (Ferreira; Souza Filho, 2019).
- “Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio” (Fernandes *et al.*, 2017).
- “Física de Partículas no Ensino Médio” (Dorsch; Guio, 2021).

Neste momento, os estudantes se aproximaram das propostas didáticas dos artigos e deveriam, a partir dessa leitura, refletir sobre formas concretas de contribuir para a inserção da Física Quântica no Ensino Médio. Como atividade extraclasse, cada estudante organizou uma apresentação sobre o artigo designado a ele e a compartilhou em um grupo privado na plataforma Facebook, conforme mostrado na Figura 9. Isso proporcionou, por meio dos comentários, uma discussão sobre todos os artigos, antecipando as propostas de estratégias para a inserção da Física Quântica no ensino médio na aula seguinte (3ª semana).

Figura 9 - Discussões na plataforma virtual sobre os artigos de proposta didática



Fonte: Grupo privado do Facebook

- **Semana 2: Documentos oficiais e experiências dos alunos**

[Digite aqui]

Por acreditar que os artigos são importantes para contribuir com a prática docente, foi feita a proposta para os alunos na aula anterior. No entanto, também se entendeu a necessidade de refletir sobre a forma como os documentos regulamentadores da educação brasileira, como o BNCC, DCNs, LDB e o PNE, instruem abordar o tema, sendo este o “*Momento da constituição do bloco tecnológico-teórico*”. A professora da disciplina conduziu uma discussão sobre esses documentos, enfatizando aspectos que impactam no ensino de Física Moderna. Assim, os licenciandos puderam compreender a proposta da Física Moderna para o Ensino Médio de acordo com as orientações dos documentos mencionados.

Além disso, foi conduzida uma discussão sobre a experiência com o conteúdo e os desafios para a inserção da Física Quântica no Ensino Médio. Nesse momento, os licenciandos trouxeram depoimentos de suas próprias formações, tanto no ensino médio quanto na graduação. Em relação ao ensino médio, cinco dos seis estudantes afirmaram não ter tido contato com a Física Quântica. Já na disciplina de Introdução à Física Quântica, cursada por todos na graduação, relataram a abordagem matematizada e complexa do conteúdo. Todos destacaram a complexidade da transposição do conteúdo de Física Quântica devido à matemática necessária, a qual não faz parte do currículo do ensino médio.

Os estudantes ressaltaram a falta de espaço nas escolas para a abordagem completa da Física Moderna, incluindo a Física Quântica, no ensino médio. Essas considerações foram fundamentadas em discussões sobre a grade curricular do ensino médio e o número de aulas da disciplina de Física. Eles levantaram questões sobre a limitação de conhecimento dos professores de física na educação básica e a tendência de focar o ensino apenas no contexto da física clássica.

As ideias apresentadas pelos alunos relacionadas à transposição da Física Quântica para a educação básica estão intimamente ligadas à questão da operacionalização, à dificuldade de construir exercícios de fixação e à própria abordagem da Física Quântica em relação aos outros conteúdos de física, conforme discutido por Silva e Almeida (2011).

Para completar as discussões que englobam o Momento da constituição do bloco tecnológico-teórico, foi reservada uma aula para compreender o formato do Novo Ensino Médio (NEM) e as disciplinas dos Itinerários Formativos, a fim de que os licenciandos entendessem o novo processo de ensino nas escolas da rede pública de Minas Gerais. Como a responsável pela presente pesquisa atua como Coordenadora do NEM, ela conduziu essa explanação por meio de uma aula na plataforma do Google Meet.

[Digite aqui]

Convidamos os alunos, com base nas discussões desta semana, a reverem os vídeos que postaram no grupo do Facebook, buscando novas reflexões a partir dessas discussões e trazendo-as para a próxima aula, para que, sob nossa supervisão, pudessem apresentar e discutir propostas e possibilidades.

- **Semana 3: Orientações e discussões para a organização dos trabalhos a serem desenvolvidos pelos alunos**

Nesta semana, abordamos o *Momento do trabalho da técnica*, no qual a técnica a ser desenvolvida é escolhida, validada e seu alcance é determinado. Com base nas aulas da semana anterior, nos vídeos e nos comentários no grupo do Facebook, a professora da disciplina conduziu uma discussão sobre as impressões dos estudantes em relação ao material disponível e as possibilidades de sugestões a serem apresentadas.

Questionados sobre a maneira mais adequada de inserir a Física Quântica no Ensino Médio, com base nos documentos oficiais e no formato do NEM, os estudantes, possivelmente influenciados pelo referencial teórico dos artigos que apresentaram diferentes abordagens, discutiram a questão. Por exemplo, foi criticado o fato de os temas da Física Moderna/Física Quântica serem abordados apenas no final do terceiro ano, tanto nos livros quanto nos currículos de referência, desacordo quanto aos temas e citações superficiais da literatura nos livros didáticos.

Os estudantes ressaltaram a necessidade de um currículo mais robusto para a abordagem desse tema, que, embora ainda não tenha espaço assegurado na escola, poderia servir como ferramenta para discussões curriculares e cursos de extensão. Mencionaram que há muitos trabalhos que abordam o tema com frequência, e muitos autores defendem a necessidade de atualização curricular, conforme destacado por Ostermann e Moreira (2000).

A experiência até o momento, com a orientação da autora e da professora, levou os alunos a questionarem os recursos disponíveis na educação básica e a buscarem novas propostas que pudessem contribuir efetivamente para o ensino de Física Quântica no ensino médio. Com uma atividade extraclasse, os estudantes ficaram responsáveis por trazer uma proposta para a próxima aula.

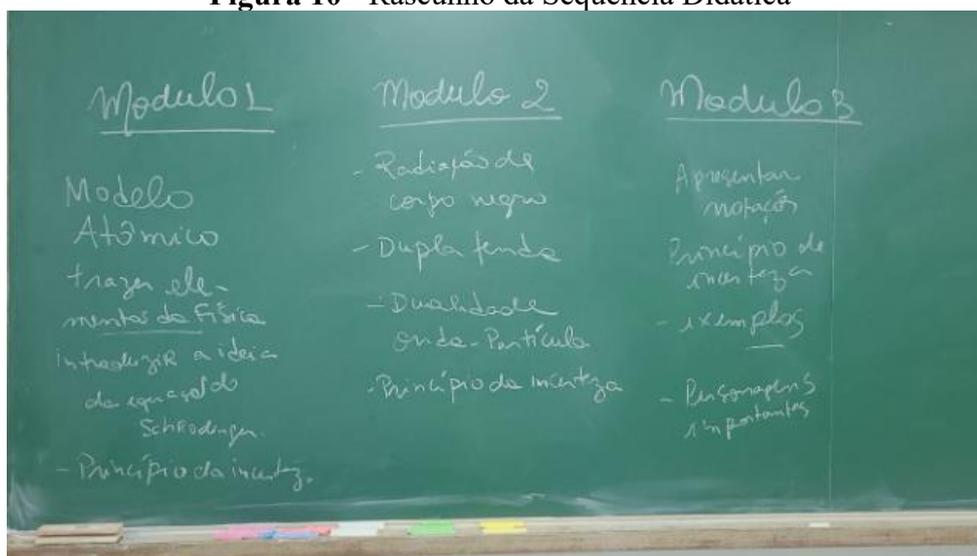
- **Semana 4: Defesa das propostas dos artigos e possíveis contribuições para um Módulo Didático**

[Digite aqui]

Nesta semana, durante o "*Momento de Institucionalização*", os estudantes apresentaram suas propostas e houve uma oportunidade para discutir os resultados. Durante essas discussões, nas atividades extraclasse, notaram uma certa complementaridade nos artigos e decidiram trabalhar em duplas de acordo com os temas de cada um.

Ao iniciar as discussões sobre as potencialidades dos materiais para as ações de inserção da Física Quântica no ensino médio, os licenciandos sugeriram a criação de uma sequência de Módulos Didáticos que abrangeriam os três anos do curso. A proposta inicial resultou na elaboração de uma sequência com três módulos didáticos, conforme mostrado na Figura 10, desenvolvida em equipe pelos seis alunos. Os tópicos destacados foram selecionados dos artigos disponibilizados e organizados de modo a fornecer apoio para a construção de uma nova proposta.

Figura 10 - Rascunho da Sequência Didática



Fonte: Silvia Martins

A construção do rascunho apresentado na Figura 10 foi realizada em sala de aula com o auxílio da professora e representou a consolidação das ideias dos estudantes a partir dos artigos e outros materiais didáticos que consultaram.

No Currículo de Referência de Minas Gerais (2018), os tópicos sugeridos para a abordagem da Física Quântica na disciplina de física incluem o efeito fotoelétrico, a dualidade onda-partícula e os modelos atômicos. No entanto, essa abordagem é considerada limitada em relação à importância de outros temas relevantes desta disciplina, por isso os alunos inseriram outros temas que consideraram importantes.

[Digite aqui]

A proposta trazida pelos estudantes abrange boa parte dos tópicos considerados importantes para a abordagem no nível médio (Hoernig, Massoni, Hadjimichef, 2021; Ostermann e Moreira, 2000) e é semelhante ao conceito de currículo espiral (Brunner, 1960). Nesse modelo, os tópicos não são estudados apenas uma vez, mas são revisitados para ampliar a complexidade e aproveitar conhecimentos básicos adquiridos no início do processo. Eles justificaram essa abordagem devido à complexidade dos conteúdos de Física Quântica, os quais necessitam de discussões mais aprofundadas.

Para o desenvolvimento do trabalho, os estudantes reorganizaram as duplas considerando o artigo de cada um. Cada dupla foi responsável por propor sequências didáticas estruturadas a partir do rascunho da Figura 10, buscando viabilidade para a discussão dos tópicos no ensino médio.

As atividades dos alunos iniciaram em sala de aula com a orientação da professora e foram finalizadas como atividades extraclasse para serem apresentadas nas semanas seguintes.

- **Semana 5: Desenvolvimento dos planos de aula para o Módulo Didático**

As aulas desta semana foram dedicadas à apresentação do desenvolvimento dos planos, orientações e reflexões sobre a proposta do Módulo Didático, encaminhando-as para o seu formato final. Essa etapa também foi conduzida pela professora da disciplina e nos direciona, no contexto da Transposição Antropológica do Didático (TAD), ao *Momento da Avaliação*, que está diretamente relacionado à institucionalização, pois é durante a avaliação que se testa o domínio e compreensão de uma organização praxeológica (Pasqualetto, 2018).

Os alunos analisaram os artigos classificados como *propostas didáticas*, sendo essa uma categoria relevante para o nosso trabalho. Nesse contexto, buscou-se observar as reflexões dos estudantes sobre os artigos selecionados em relação às propostas apresentadas por eles.

Segundo a visão dos estudantes, a melhor forma de distribuição dos três módulos propostos (organizados no Quadro 3) seria ao longo de todo o ensino médio, de modo que o Módulo 1 seja abordado no primeiro ano, o Módulo 2 no segundo ano e o Módulo 3 no terceiro ano. Acreditam que essa distribuição permitiria que os estudantes amadurecessem os tópicos trabalhados no primeiro módulo, o qual introduz a física quântica, para que as discussões sobre as complexidades apresentadas no segundo módulo possam ser mais aprofundadas. Após as discussões dos dois primeiros módulos, os estudantes planejaram abordar a Física Quântica considerando um formalismo matemático adaptado para o ensino médio. Somente após essa abordagem, propuseram discutir os personagens históricos da Física Quântica, a fim de que os [Digite aqui]

alunos possam compreender melhor o papel destes personagens na consolidação dos conteúdos, e, por fim, abordar as aplicações contemporâneas.

Quadro 3 - Tópicos dos Módulos Didáticos

Módulo 1	Módulo 2	Módulo 3
<i>Introdução</i>	<i>Estranhezas</i>	<i>Formalismo matemático</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Teorias da evolução atômica até o modelo de Schrödinger. • Implicações que os modelos trouxeram a física século XX • Efeito Compton • Efeito Fotoelétrico • Princípio da Incerteza de Heisenberg 	<ul style="list-style-type: none"> • Radiação do corpo negro • Dualidade onda-partícula • Peculiaridades do Princípio da Incerteza de Heisenberg 	<ul style="list-style-type: none"> • Notação matemática (Dirac) • Princípio da Incerteza. • Personagens importantes neste período de desenvolvimento • Aplicação da FQ nas tecnologias atuais.

Fonte: Elaborado pela autora

Nas apresentações os alunos aprofundaram as propostas de distribuição dos conteúdos nos módulos, elaborando sequências didáticas para cada um deles (Apêndice A), composto por 8 aulas cada um. Considerando o número reduzido de aulas disponíveis para a física no ensino médio, os estudantes sugeriram estratégias de aplicação dos módulos, de acordo com as possibilidades dos professores, da escola ou da universidade.

Assim, eles destacam que, apesar de considerarem melhor a abordagem de cada módulo em um ano do ensino médio, é possível trabalhar cada um dos módulos individualmente e adequados à realidade da sala de aula. Nesse sentido, consideram que cada módulo é completo e, dependendo da experiência dos estudantes e do professor, é possível escolher um deles e trabalhar e/ou adaptar a sequência proposta para o módulo selecionado.

Outra possibilidade seria a aplicação dos três módulos sequencialmente em um único ano, caso esta opção esteja disponível no cronograma da escola, na disciplina de física. Considerando a limitação de aulas de física, outra abordagem seria a implementação desses módulos, seja em um ano ou de forma dividida ao longo dos três anos do ensino médio, como projetos interdisciplinares entre a disciplina do currículo base (Física) e os Itinerários Formativos.

No contexto da universidade, existe a possibilidade de oferecer um curso de extensão, aberto à comunidade para a formação básica de Física Quântica. Como curso de extensão, os módulos e as sequências preparadas podem atender tanto estudantes e professores do ensino

[Digite aqui]

médio, quanto outros interessados em buscar conhecimentos na área. Consideramos que essa possibilidade é importante, uma vez que a cultura do misticismo quântico (Pessoa Jr, 2011; Saito, 2021) é fundamentada na falta de conhecimentos técnicos das pessoas fora da física e, assim, pensamos que a proposta dos estudantes pode contribuir para ampliar as discussões e, talvez, melhorar o debate do assunto entre pessoas leigas.

Após a aplicação da sequência, das observações, relatos e análise dos planos de aula desenvolvidos pelos licenciandos (Apêndice A), organizei todo o material desenvolvido por eles em quadros que estão no Apêndice G, no intuito de padronizar a formatação, organizar visualmente e facilitar no desenvolvimento do e-book. Na próxima seção faremos reflexões de como os artigos influenciaram no currículo e sequências didáticas dos módulos didáticos.

7.2 Reflexões sobre as propostas dos estudantes e o potencial dos artigos selecionados para a organização de um currículo de Física Quântica em nível médio

Nesta seção, buscaremos refletir sobre a condução da nossa sequência didática, que está ancorada nos artigos selecionados, para as propostas desenvolvidas pelos alunos. Buscamos identificar as potencialidades das leituras desses artigos para a elaboração dos módulos e das sequências didáticas correspondentes, tanto considerando a utilização dos artigos em si, quanto como inspiração para a busca de outros materiais complementares.

É importante ressaltar que a organização das duplas, a partir dos artigos e das propostas dos módulos, foi realizada pelos estudantes, com a orientação da professora da disciplina. Eles buscaram correlações e possibilidades para a elaboração de uma proposta, o que resultou na divisão dos grupos e na organização dos tópicos em módulos.

a) Módulo 1: Introdução a Física quântica

A proposta de um módulo introdutório, para a abordagem conceitual dos tópicos de Física Quântica, foi uma demanda levantada pelos estudantes durante as discussões em sala de aula. Considerando que esses tópicos envolvem conceitos complexos, os alunos destacaram a importância de introduzi-los de forma leve e acessível.

Para a organização da dupla responsável por esse módulo, os estudantes consideraram que, entre os artigos selecionados, os mais adequados são:

- "Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio"

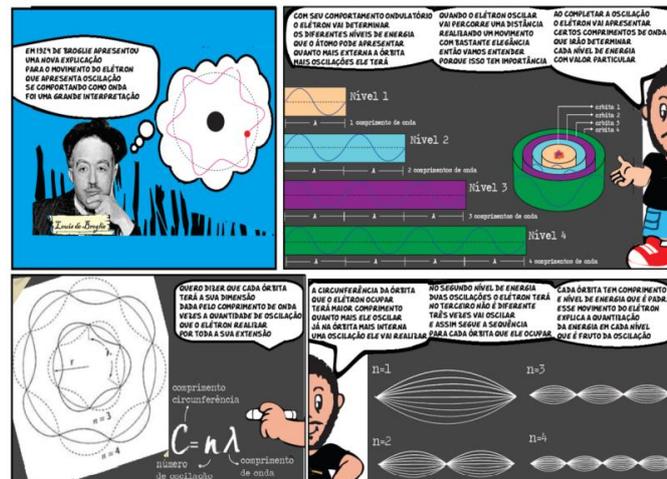
[Digite aqui]

(Feitosa *et al.*, 2020), que apresenta uma proposta didática a partir da discussão dos benefícios da literatura em cordel, da arte das HQs e sua aplicação no ensino de física e em outras áreas de conhecimento, menciona os cuidados ao se trabalhar com os versos rimados e conhecimento científico, apontando o grande potencial comunicativo, visual e lúdico das tirinhas e ressaltando seu valor cultural: “O cordel apresenta-se como uma das mais ricas manifestações da cultura popular nordestina e, aliado ao livro didático e outros recursos, pode contribuir positivamente para o ensino de Ciências” (Feitosa *et al.*, 2020, p. 667) e;

- "Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio", (Fernandes *et al.*, 2017), apresenta uma defesa de que a forma como a Física é introduzida influencia as interpretações. Nesse sentido, apresenta uma proposta didática que destaca as potencialidades da abordagem da Física Quântica através da arte, ressaltando a importância de construir conhecimento que relaciona as diversas vertentes da cultura humana.

O resultado do trabalho realizado com base na sequência sugerida pela dupla pode ser visto no Quadro 1 do Apêndice G. A construção da sequência para este módulo é amplamente embasada nos dois artigos sugeridos, estabelecendo-se como o módulo mais completo dos três apresentados. A primeira etapa da sequência, que se propõe como introdutória, tem como base a leitura guiada da história em quadrinhos "Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico" (Figura 11) presente no texto de Feitosa *et al.* (2020). Além disso, esta etapa é complementada por atividades experimentais utilizando simulações da plataforma PHET, que não estão presente em nenhum dos dois artigos, o que nos leva a deduzir que a proposta partiu da exposição das resenhas críticas dos artigos no *Momento Exploratório* e das discussões realizadas no *Momento trabalho da técnica*. E para concluir o módulo foram sugeridos jogos virtuais, reais e a apresentação de maquetes, sendo essa parte atribuído a criatividade deles. Dessa forma, os licenciandos buscaram discutir os conceitos de forma introdutória durante essa etapa inicial.

Figura 11- História em Quadrinhos



Fonte: Feitosa *et al.* (2020, p. 679)

Assim, na primeira etapa, aulas 1 a 5, foi valorizada a proposta do uso de histórias em quadrinhos para a apresentação e abordagem dos conceitos, conforme sugerido nos artigos propostos, baseando-se no artigo de Feitosa *et al.* (2020). Além disso, os estudantes destacaram a importância da experimentação virtual para a compreensão da Física Quântica, provavelmente influenciados pelas discussões prévias nos momentos didáticos, e presente na exposição da resenha crítica do artigo de Ferreira e Souza Filho (2019).

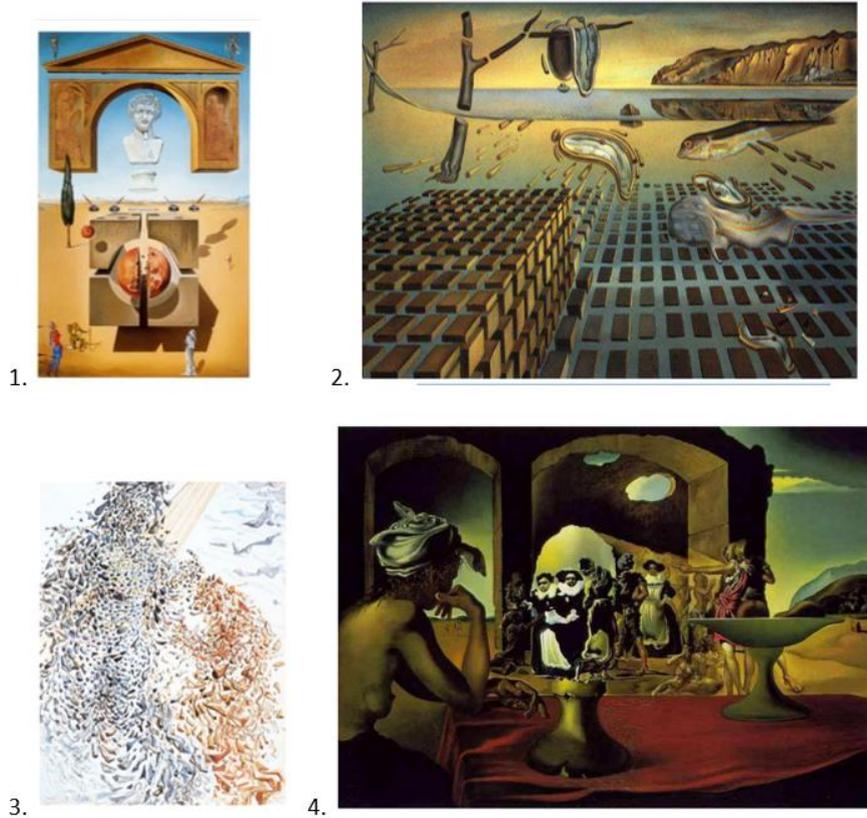
Considerando que a etapa introdutória trouxe elementos que permitem a discussão de conceitos abstratos, nas aulas 6 e 7, segunda etapa do módulo, os alunos abordaram o princípio da incerteza usando obras de arte.

Na aula 6 deste módulo, os licenciandos buscaram trazer a ideia de incerteza a partir das obras de arte. “Apresentar aos alunos as obras do pintor russo Víctor Molev e levantar alguns questionamentos aos alunos sobre o que eles veem nas obras”. Essas obras de arte fazem parte da literatura complementar pesquisada por eles, possivelmente influenciada pelo teor do artigo de Fernandes *et al.* (2017), e ressaltam que “pode-se trabalhar o conceito de incerteza com as obras de Salvador Dalí ou de Victor Molev”. Os pintores apresentam estilos de obras semelhantes, a intenção dos licenciandos foi ampliar as opções e criar um contraste entre as obras de arte.

Na aula 7, os licenciandos propuseram organizar os conceitos discutidos na aula anterior, aprofundando-se nas análises de obras de arte: “Trabalharemos com algumas obras de arte, especificamente a obra ‘Mercado de escravos com o busto de Voltaire’ de Salvador Dalí” (Figura 12), ancorando-se no texto de Fernandes *et al.* (2017).

[Digite aqui]

Figura 12 - Pinturas de Salvador Dali



Fonte: Fernandes *et al.* (2017, p. 521, 522, 523, 524).

Na segunda etapa, composta pelas aulas 6 e 7, os estudantes empenharam-se na construção de conceitos complexos a partir do artigo de Fernandes *et al.* (2017), estabelecendo conexões significativas com a etapa anterior e evidenciando a preocupação com a coerência da sequência ao se apoiarem em duas referências bibliográficas distintas, Fernandes *et al.* (2017) e Feitosa *et al.* (2020).

A aula 8 consiste em atividades de encerramento com o objetivo de consolidar os conceitos discutidos nas sete aulas anteriores, por meio de apresentações e jogos. Neste momento, é perceptível o interesse dos estudantes em introduzir os conceitos de Física Quântica de forma leve e divertida. Dessa forma, reforçaram a importância da coerência da sequência ao sugerirem mais uma atividade didática que traz leveza ao ensino de FQ.

Os planejamentos das atividades por aula ficaram visivelmente dentro do tempo estipulado, com exceção da última aula, na qual o número de atividades parece extrapolar o tempo disponível. Observa-se também o uso de diversos recursos didáticos que podem contribuir para uma aprendizagem significativa e para a fixação do conteúdo. Ficando evidente

[Digite aqui]

como a discussão sobre as propostas dos artigos influenciou positivamente os licenciandos, uma vez que estão presentes em todas as aulas e nas referências.

b) Módulo II: Estranhezas da Física Quântica

De acordo com a organização dos licenciandos, em virtude da complexidade e viés encontrados no material, o segundo módulo foi fundamentado nos seguintes artigos:

- "Concepções da dualidade onda-partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica" (Lima; Cavalcanti; Ostermann, 2020), no qual os autores destacam a existência de três abordagens da Física Quântica: histórica, fenomenológica e postulacional. Optando pela abordagem histórica, enfatizam a importância de trabalhar textos historicamente consistentes e trazem a discussão a partir de fontes primárias, ressaltando o enriquecimento do ensino de FQ ao proporcionar o contato com os textos originais.
- "Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica" (Hoernig; Massoni; Hadjimichief, 2021), que priorizou uma abordagem humanista que engloba discussões históricas e epistemológicas da ciência, buscando valorizar aspectos conceituais. Os autores destacam que o tempo limitado da disciplina no Ensino Médio e a falta de consenso sobre como e quais tópicos abordar podem dificultar o processo de ensino. Apresentam tópicos de interferência e difração como fundamentais e propõem experimentos, um deles é de baixo custo com o objetivo de abordar conceitualmente a relação entre energia e frequência.

Após a reflexão sobre esses dois artigos, o segundo módulo abordou aspectos mais complexos da teoria quântica em comparação ao primeiro módulo. Discutiram-se os limites entre a teoria clássica e a teoria quântica, explorando os tópicos de Radiação de Corpo Negro, Dualidade onda-partícula e revisando os conceitos do princípio da incerteza com base na experimentação. Esses conceitos foram considerados como "estranhezas" a partir das discussões do "Momento da institucionalização".

Para permitir anotações que contribuam para a preparação das aulas a partir da sequência didática, os estudantes responsáveis pelo Módulo Didático II acrescentaram um espaço

[Digite aqui]

reservado para algumas observações e comentários pedagógicos. Entendemos que essa estratégia pode caracterizar-se como um facilitador interessante para a aplicação da sequência.

Assim, desde a primeira aula, é destacada a importância dos eventos históricos para introduzir conceitos físicos e abordar descobertas de fenômenos que foram explicados apenas com a FQ. “*Ir mostrando os pontos onde a física clássica não conseguiu explicar*” e “*Fazer uma contextualização histórica sobre a dificuldade encontrada pelos físicos ao tentar entender e explicar alguns fenômenos quando o estudo do mundo microscópico começou a ser feito*” (Módulo 2, aula 1), como o efeito fotoelétrico e a radiação de corpo negro. Essa abordagem está alinhada com as ideias de Lima, Cavalcanti e Ostermann (2021), de que a abordagem histórica “[...] permite justamente oferecer esse “sentido” ao desenvolvimento da teoria, mostrando quais problemas motivaram as proposições de novos conceitos e evidenciando a necessidade de construir uma teoria quântica” (p. 2), fazendo referência a esse artigo diretamente na proposta, na forma de um comentário pedagógico, como importante material de apoio ao professor

Durante a apresentação do artigo de Hoernig, Massoni e Hadjimichief (2021) no grupo privado do Facebook, foi feita uma crítica aos experimentos, considerando-os “*muito elaborados e com materiais que não estão disponíveis na escola pública*”. No entanto, ressaltou-se a importância do uso de experimentos como facilitadores para a compreensão de fenômenos físicos. Essa discussão pode ter influenciado os licenciandos a buscarem outros artigos com propostas didáticas, a fim de contribuir para a elaboração da sequência de ensino. Como resultado dessa busca, os licenciandos propuseram a realização de um experimento de baixo custo (Oliveira *et al.*, 2019) e a utilização de experimentos virtuais (Brockington, 2005), “*Apresentar a simulação do Phet Colorado*” e “*Mostrar as diferenças de cada espectro e relacionar com o cotidiano*” (Módulo 2, aula 2).

Além disso, nas atividades experimentais propostas, os licenciandos buscaram promover o estímulo para que os alunos observem e formulem hipóteses sobre os experimentos apresentados, incitando assim o protagonismo estudantil, um aspecto também enfatizado nos artigos consultados, “*pedir para que os alunos expliquem os fatos apresentados como se construíssem a própria hipótese*” (módulo 2, aula 2). Apesar da inclusão de experimentos, a abordagem dos temas neste módulo é predominantemente teórica. “*Introduzir radiação térmica utilizando apenas a teoria, com apoio de imagens ilustrativas e simulações online*” (módulo 2, aula 3), uma abordagem que se mantém ao longo das outras aulas do módulo. Isso reforça a

[Digite aqui]

importância da abordagem conceitual, histórica e epistemológica, conforme defendido nos artigos de Lima, Cavalcanti e Ostermann (2020) e Hoernig, Massoni e Hadjimichef (2021).

Na aula 4, sugerem iniciar a aula com questionamentos “*Você conhece algo que pode ser duas coisas ao mesmo tempo?*” (módulo 2, aula 4), sobre a dualidade onda-partícula e ressaltam que “*Essa caracterização pode ser feita por meio de perguntas, ao passo que os alunos vão falando as características e o professor conclui ao final*”, sugerindo abordar sempre a teoria. Mas relatam que “*Esse tipo de atividade não vai substituir a caracterização do que é onda e do que é partícula, é apenas um complemento*” (módulo 2, aula 4), no entanto, não sugerem uma atividade para caracterizar. Para a aula 5, sugerem “*Realização do debate*”, novamente a abordagem conceitual defendida nos artigos de Lima, Cavalcanti e Ostermann (2020) e Hoernig, Massoni e Hadjimichef (2021).

A literatura complementar trazidas por eles são Oliveira *et al.* (2019) e Brockington (2005), que estimulam a experimentação para abordar conceitos quânticos. Na aula 6, “*foi utilizado o trabalho Oliveira et al. (2019), por ter sido considerado um experimento fácil de ser reproduzido*” e iniciam a aula com uma roda de conversa “*Pode-se verificar a hipótese levantada pelos alunos, e também verificar o conhecimento prévio deles sobre ondas*”. E na aula 7, sugerem “*Apresentar de fato o tema dualidade onda-partícula, utilizando as simulações do Phet Colorado*” e ainda trabalhar interferência e difração, ainda comentam que “*apesar de estarem tendo contato com a simulação, os alunos já terão visto algo parecido na aula anterior*”. Para finalizar o módulo, na aula 8, repetem o experimento de baixo custo de Oliveira *et al.* (2019) adicionando miçangas “*Esse momento vai acontecer com o intuito de que o professor fale um pouco mais sobre o Princípio da Incerteza, reforçando e avançando no que foi dito no módulo 1, dando para chegar na ideia de que a natureza é probabilística*”, no intuito de concatenar com o módulo 3.

Acredita-se que a proposta do módulo 2 pode enriquecer a discussão sobre a Física Quântica, especialmente se os alunos já tiverem passado pelas reflexões do primeiro módulo, que, como mencionado anteriormente, é o mais abrangente dos três. No entanto, percebe-se que os licenciandos ficaram muito presos a abordagem conceitual e histórica, substituindo apenas o experimento sugerido por Hoernig, Massoni e Hadjimichef (2021). Ao comparar com o primeiro módulo, eles ousaram menos. E considerando que, ao chegar neste módulo os alunos já possuem uma noção de quantização de energia. Seria interessante aprofundar um pouquinho,

[Digite aqui]

tendo em vista que os próprios licenciandos relatam na aula 4 que “*Esse tipo de atividade não vai substituir a caracterização do que é onda e do que é partícula, é apenas um complemento*”. Ao aprofundar o conteúdo o professor pode, além de ampliar a discussão, preparar os estudantes para o módulo 3.

c) Módulo III: formalismo matemático

Como relatado anteriormente, segundo a organização dos licenciandos, seguindo o viés adotado pelos artigos, o módulo 3 foi fundamentado nos seguintes artigos:

- "Física de partículas no Ensino Médio" (Dorsch e Guio, 2021), que realiza uma revisão de literatura tendo como o tema principal a física de partículas, o trabalho enfatiza a abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) usada para alfabetização científica. Além disso, os autores propõem uma sequência didática para o ensino de Física de partículas, indicando diversos recursos como objetos de aprendizagem, como vídeos, simulações, projeções, além de oferecer tópicos de formação para docentes e indicar literatura extra, caso queiram consultar.
- "O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz". O foco trabalho desenvolvido por Ferreira e Souza Filho (2016 e 2019) é discutir o fenômeno que acontece no experimento de fenda dupla e o comportamento dual da luz através da análise de dados, sendo essa a parte II do trabalho. Na parte I os autores utilizam o experimento virtual de dupla fenda para analisar o comportamento corpuscular e ondulatório, realizando uma análise clássica (Ferreira; Souza Filho, 2016) sendo citado brevemente neste artigo que compõe a parte II. Nessa etapa, segunda parte do trabalho, eles fazem a descrição histórica da discussão da natureza da luz comparando as teorias dos cientistas, destacando os principais estudos do início da física quântica e a proposta da dualidade onda-partícula da luz de maneira bem sucinta. Há uma riqueza de detalhes ao descrever todas as opções de uso do simulador e as imagens ilustrativas usadas que ajudam a compreender a explicação, como no caso do comportamento ondulatório quântico da luz. Na terceira parte do artigo, os autores apresentam o formalismo matemático baseado no livro *As lições de Feynman* (Feynman *et al.*, 2008), que fazem uma adaptação usando a Notação de Dirac para calcular o padrão de interferência e a amplitude de probabilidade, ressaltando que podemos chegar as partes mais avançadas

da física usando álgebra simples e que o único problema deste viés é não descrever o comportamento das partículas no espaço.

A proposta deste módulo buscou aproveitar os aprendizados dos módulos anteriores, mas ao mesmo tempo propondo uma sequência completa, que pudesse ser aplicada separadamente.

No contexto de inclusão dos textos na proposta da sequência, percebemos uma dificuldade dos estudantes. Eles se interessaram pela possibilidade de discussão histórica inclusão do formalismo matemático, proposto por Ferreira e Souza Filho (2019) e da inclusão de recursos por Dosch e Guio (2021). Em alguns momentos, durante as discussões em sala, os dois alunos relataram a dificuldade da construção da sequência e, por fim, optaram em focar na questão matemática e uma introdução histórica. Assim, a estrutura da sequência fundamentou-se no Ferreira e Souza Filho (2019), nas experiências e expectativas dos próprios alunos para a inserção do formalismo matemático, que é uma ideia bastante inovadora para o ensino médio, além de questões históricas e aplicações. Desse modo, apesar de terem discutidos vários elementos durante as aulas, não trouxeram para sua sequência aspectos significativos do trabalho de Dosch e Guio (2021), de modo que nem mesmo colocaram o artigo como referência direta para a sequência.

A proposta inicial foi desenvolver o formalismo de forma dinâmica, com analogias que possam facilitar e contribuir para a compreensão. Relatam que *“este módulo tem como objetivo finalizar tudo o que já foi visto anteriormente”* e ressaltam que *“toda a bagagem que os discentes adquiriram ao longo dos módulos anteriores será muito importante”*. Eles relembram que embora a proposta seja aplicar os módulos de forma independente, para finalizar com o formalismo matemático *“é recomendado que pelo menos o módulo 2 seja visto antes”* e ressaltam que é *“uma proposta ousada e corajosa”* (módulo 3, introdução).

Nessa perspectiva, trabalhar só o módulo 3 que enfatiza o formalismo matemático, pode associar ao modelo tradicional de ensino como apontado por Lima e Ricardo (2019) e podem levar os estudantes a perderem o interesse na proposta. Nesse sentido, a dupla adicionou elementos que buscam *“enriquecer e expandir a visão da Física Moderna para além da sala de aula”* (módulo 3, introdução), adicionando os avanços tecnológicos e *“os impactos que esses avanços substanciais tiveram na sociedade”* (módulo 3, introdução), apresentados por Dorsch e Guio (2021) na abordagem CTSA.

[Digite aqui]

A maneira como propuseram a aplicação do módulo 3 pode contribuir para sanar as dificuldades apontadas por Brockington e Pietrocola, (2005) sobre a baixa operacionalidade, e concordando com eles, Silva e Almeida (2011, p. 632) relatam que “a ausência da teoria quântica no Ensino Médio se justificaria, principalmente, pelo fato de ela possuir baixa operacionalidade. O nível das equações usadas pela Física Quântica é da matemática de ensino superior e não podem ser desenvolvidas no Ensino Médio. Para contornar esse problema, os licenciandos sugerem usar a notação de Dirac, proposta que foi apresentada por Ferreira e Souza Filho (2019). O artigo é usado em diferentes momentos do desenvolvimento do Módulo Didático e não se percebem outras referências e tampouco outras abordagens além das que foram usadas no artigo.

Já na primeira aula, visando tornar o módulo mais dinâmico e expandir a visão da FQ para além da sala de aula, apresentando os impactos que esses avanços substanciais tiveram na sociedade, os alunos sugerem um trabalho intitulado “*Física Moderna: das figuras importantes a suas contribuições para a sociedade*” (módulo1, aula1). O trabalho foi dividido em dois temas destaques: “*Os personagens importantes para a Física Moderna: Max Planck; Albert Einstein; Niels Bohr; Werner Heisenberg; Wolfgang Pauli; Paul Dirac; Erwin Schrödinger; Marie Curie*” e “*as contribuições dos avanços da Física Moderna para a sociedade: (trazer exemplos do cotidiano): GPS, leitor de Código de barras, efeito fotoelétrico, radiação (raio-x), nanotecnologia, entre outros*”. Esses temas apresentam elementos que contribuem para alfabetização científica apontado no artigo de Dorsch e Guio (2021)

O módulo foi dividido em 3 etapas e para finalizar a primeira etapa dessa sequência, constituída pela aula 1, 2 e 3, a dupla indicou que as aulas 2 e 3 fossem “*reservadas para as apresentações dos grupos*”. Sendo essa a única orientação disponibilizada para essas aulas.

Na segunda etapa, constituídas pelas aulas 4 e 5, a proposta “*é apresentar as equações de Schrödinger, sem aprofundar na parte matemática, sendo ... aulas mais expositivas*”, buscando trazer sentido à equação de Schrödinger, de uma forma que pudessem colaborar para o processo de abstração dos alunos, além de se apoiar nos trabalhos apresentados pelos alunos nas aulas 2 e 3. Para abordagem sem trazer o formalismo matemático, sugerem iniciar a aula a “*experiência mental do Gato de Schrödinger*” ou “*relacionar uma atividade cotidiano, para ilustrar a superposição de estados*”, sugerindo que “*o professor/a pode utilizar uma moeda*” e brincar de cara e coroa, perguntando “*Qual lado a moeda caiu?*”.

Para aula 5, a proposta é apresentar a equação de Schrödinger independente do tempo, buscando relacioná-la a outras equações, como “*o oscilador harmônico, energia mecânica*”, buscando discutir “*cada parte da equação para elucidar sua importância e conexões com esses conceitos*” e a “*sua importância para a Física*”, voltando ao experimento mental do Gato de Schrödinger para a discussão da superposição de estados.

A terceira e última etapa da sequência é constituída pelas aulas 6, 7 e 8. Para a primeira aula dessa etapa a proposta é “*introduzir as ideias iniciais de Paul Dirac e sua notação*” concatenando com as ideias apresentadas nos grupos (aulas 2 e 3) e “*trabalhar com a notação de Dirac*”, embasado no artigo de Ferreira e Souza Filho (2019) que, inclusive, é citado por eles como bibliografia.

Dando continuidade, para a aula 7 a proposta “*é revisar os conceitos do experimento de fenda simples e dupla, relacionar novamente o princípio da incerteza*”, e sugerem para isso “*as simulações do Phet Colorado e/ou utilizar experimentos de baixo custo para trabalhar essa revisão*”, ao citar os experimentos de baixo custo fazem uma referência ao módulo 2. E para finalizar a sequência para a aula 8 sugerem a “*continuação das atividades das aulas 6 e 7*”, sendo essa também a única orientação. A disposição da terceira etapa baseou-se no artigo de Ferreira e Souza Filho (2019).

Acreditamos que a proposta do módulo 3 pode contribuir positivamente para a discussão sobre a Física Quântica, especialmente se os alunos já tiverem passado pelas reflexões do primeiro e segundo módulo. No entanto, percebe-se um certo grau de dificuldade na elaboração das aulas, sendo este o módulo menos elaborado dos três no trabalho final da sequência aplicada, que nos parece esperado, considerando a maior complexidade da proposta dos alunos para esse módulo e tendo em vista que o artigo Ferreira e Souza Filho (2019) foi o único que trabalha didaticamente o formalismo matemático para EM. Nesse sentido, apesar de a Sequência se propor a ser completa, podendo ser aplicada sem a necessidade de aplicação das duas anteriores, acreditamos que seja recomendável que pelo menos o módulo 2 seja visto antes, porque alguns tópicos vistos anteriormente, retornam aqui de forma mais complexa.

7.3 Panorama da sequência didática

[Digite aqui]

Com base nos dados obtidos, destacamos que a maioria dos artigos contribuiu positivamente para o planejamento das aulas dos Módulos Didáticos. Os artigos foram incorporados em todos os planos de aula, e em alguns casos, as propostas apresentadas nos artigos foram utilizadas diretamente. Outros materiais também foram inseridos na construção dos Módulos Didáticos, e de maneira geral, esses materiais extras sofreram influência da leitura prévia, como as obras de Victor Molev, que possuem um estilo similar às pinturas de Salvador Dali, e os experimentos de baixo custo apresentados no MD II, que substituíram os experimentos de um dos artigos de referência.

A influência direta e indireta da leitura dos artigos nos licenciandos é evidente, uma vez que os professores tendem a replicar da maneira como aprenderam. Isso também é observado nas sequências elaboradas pelos estudantes de licenciatura, que utilizaram as sugestões presentes nos artigos como material de apoio. Em cada um dos módulos, a presença dos artigos era perceptível, inclusive na literatura complementar pesquisada pelos alunos.

Portanto, é possível afirmar que os artigos contribuem para a prática docente, influenciando de forma direta e positiva no planejamento das aulas. Por fim, ressalto a necessidade de mais artigos com propostas didáticas de Física Quântica no Ensino Médio, já relatado por Silva e Almeida (2011), estes podem sim contribuir para efetiva inserção da temática na escola básica, utilizando boas práticas e materiais consistentes.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As duas etapas da pesquisa trouxeram resultados considerados importantes contribuindo com reflexões sobre possibilidades e apoios para a melhor inserção da Física Quântica no nível médio. Entre os desafios identificados, destaca-se a falta de formação dos professores (tanto inicial quanto continuada) para abordar esse tema na educação básica, bem como as dificuldades na transposição didática dos conteúdos de Física Quântica, como a baixa operacionalidade.

Acredita-se que a categorização dos artigos pode auxiliar os professores a buscar apoio de acordo com suas necessidades e expectativas. Os artigos classificados como apoio indireto podem melhorar a formação dos professores em relação aos conteúdos específicos de FQ ou às análises de materiais disponíveis. Por outro lado, os artigos de apoio direto são fundamentais para auxiliar os professores na prática em sala de aula.

Dentro da categoria de apoio direto, os artigos classificados como "material de apoio para o Ensino Médio: formação e atuação de professores" apresentam conteúdos com linguagem simplificada e de fácil compreensão, podendo ampliar os conhecimentos dos professores em exercício e em formação. Além disso, caso o professor tenha interesse, esses artigos podem servir como conteúdo complementar para a abordagem da FQ em sala de aula. No entanto, nos artigos classificados como "propostas didáticas" encontra-se uma riqueza maior de recursos e estratégias para a prática do professor.

Considera-se que os artigos disponíveis na literatura de ensino de física podem ser uma valiosa fonte de apoio para os professores abordarem os conteúdos de Física Quântica, enfatizando não apenas o formalismo matemático, mas também o contexto histórico e os conceitos, adaptando-se ao nível de ensino de seus alunos.

O processo de proposição e aplicação da Sequência Didática, fundamentada nos artigos selecionados e categorizados na primeira etapa, evidenciou a importância da disponibilização de artigos já organizados. O trabalho da primeira etapa viabilizou a realização da segunda etapa, uma vez que na sequência proposta se aproveitou das reflexões sobre os artigos e de qual categoria seria a mais importante.

Além disso, no contexto da formação inicial de professores, acredita-se que essa sequência contribuiu para que os licenciandos pudessem refletir sobre os artigos e suas propostas, juntamente com suas experiências (tanto na educação básica quanto no ensino superior) e os conhecimentos acerca dos documentos oficiais. As discussões em sala de aula [Digite aqui]

evidenciaram o interesse dos estudantes em compreender melhor o contexto da FQ no EM. A apresentação da pesquisa, as reflexões gerais apresentadas sobre os artigos e os materiais disponibilizados (artigos escolhidos) levaram os estudantes a propor soluções, discutir viabilidades e compreender a importância de propostas didáticas e a constituição de Módulos Didáticos de Física Quântica no ensino médio.

No contexto global desse trabalho, acredita-se que a disponibilização desses resultados (tanto da primeira quanto da segunda etapa) pode resultar em um material de apoio importante para a formação e atuação de professores da educação básica e do ensino superior (formação de professores de física). Dessa forma, fica evidente que a elaboração de um produto educacional, ancorada nessa pesquisa, é um resultado importante para contribuir com uma maior inserção da Física Quântica no Ensino Médio, a ser apresentado a seguir.

9 PRODUTO EDUCACIONAL DESSA DISSERTAÇÃO

Como destacado nos capítulos anteriores, a elaboração do *e-book* "Física Quântica no Ensino Médio: abordagens, metodologias e uma sugestão de Módulos Didáticos" foi um desdobramento natural da organização dos artigos e dos resultados da aplicação da sequência didática proposta. Este produto educacional, disponível no link <http://educapes.capes.gov.br/handle/capes/778251>, representa não apenas o resultado desta dissertação, mas também uma ferramenta prática e acessível para os professores do ensino médio que desejam abordar o tema da Física Quântica de forma mais dinâmica e inovadora em suas aulas.

A criação deste trabalho foi motivada pelas interações com futuros professores durante a formação inicial, onde foi possível perceber a necessidade de materiais didáticos que auxiliassem na abordagem de temas complexos como a FQ. A partir da aplicação da sequência didática discutida no capítulo 7, foi possível consolidar as experiências e feedbacks dos participantes, resultando em um produto coletivo que reúne diferentes abordagens, metodologias e sugestões de módulos didáticos para serem utilizados em sala de aula.

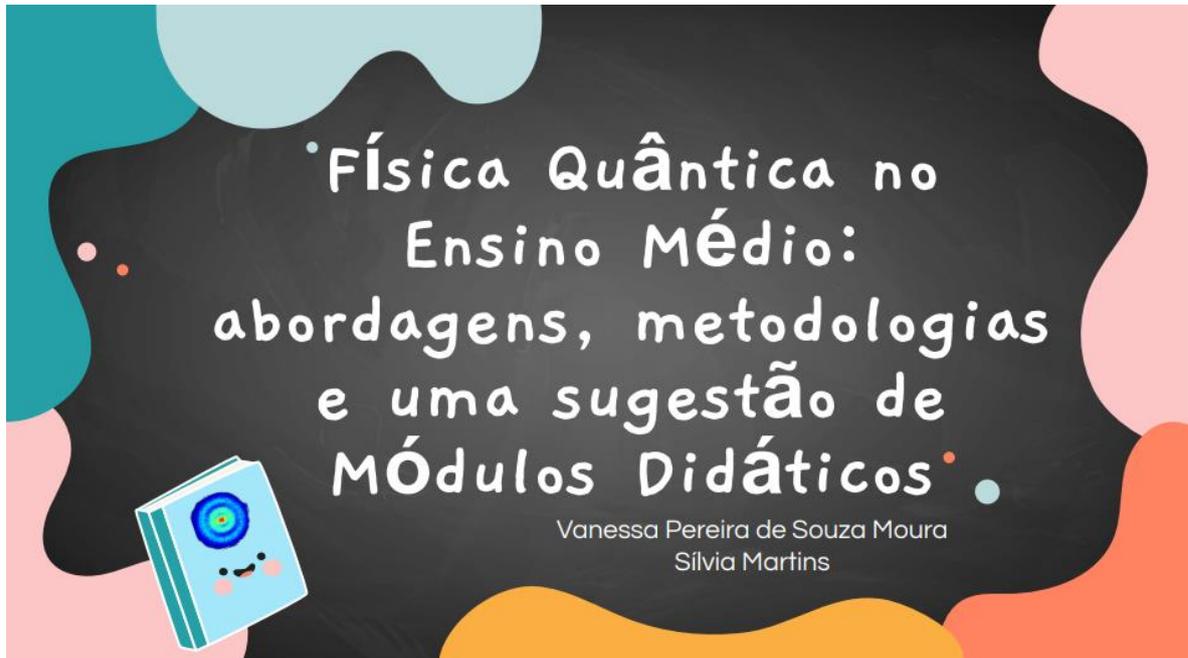
O guia digital contém sugestões de artigos de propostas didáticas, materiais para formação e atuação dos professores, experimentos de baixo custo, laboratórios de simulações virtuais, literatura complementar e histórias em quadrinhos, ou seja, um rico material didático necessário para auxiliar o professor na preparação de suas aulas de Física Quântica, levando em consideração a realidade do ambiente escolar em que está inserido, organizados pela autora dessa dissertação.

Além disso, o ebook apresenta uma sugestão de três Módulos Didáticos, cada um composto por oito aulas, que foram elaborados pelos licenciandos, com o objetivo de serem aplicados ao longo dos três anos do ensino médio, porém também podem ser trabalhados sequencialmente em apenas um ano letivo. Esses módulos possuem um grande potencial para promover discussões interdisciplinares, permitindo ao professor explorá-los de acordo com seus interesses e perspectivas. Isso proporciona uma abordagem flexível e adaptável às necessidades específicas de cada turma e professor, enriquecendo assim a experiência de aprendizado dos alunos e tornando o ensino da Física Quântica mais dinâmico e significativo.

O ebook se torna, portanto, uma ferramenta valiosa para os professores do ensino médio que buscam inovar em suas práticas pedagógicas e proporcionar aos alunos uma experiência de aprendizado mais significativa e envolvente. Além disso, ao disponibilizar o ebook de forma [Digite aqui]

acessível e gratuita, espera-se contribuir para a democratização do acesso ao conhecimento e para a melhoria da qualidade do ensino de Física Quântica nas escolas de ensino médio.

Figura 13: Capa do produto Educacional



Fonte: Criado pela autora

10 REFERÊNCIAS

- ABDALLA, E. Teoria quântica da gravitação: cordas e teoria M. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 147-155, mar. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000100017> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sfYbTkSRk6ZFHBd6NPg7hqn/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.
- ALMEIDA, A. M. O. A Integral de Caminhos: uma ponte entre a Mecânica Quântica e a Mecânica Clássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4207, 1-6, jul. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0372> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/4XSRV5QbfBJ9xc5X3rKZPXt/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 abr. 2022.
- ALVES FILHO, J. P. Regras da transposição didática aplicadas ao Laboratório Didático. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 17, n. 2, p. 174-182, ago. 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9006/13274> Acesso em: 10 set. 2022.
- ALVES-MAZZOTTI, A. J.; GEWANDSZNAJDER, F. **O método nas ciências naturais e sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. 2. ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2002.
- AMARAL, G. M. *et al.* *Quantum “Ghosts”*. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Campinas, v. 38, n. 3, e3309, 1-12, mar. 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0052> Disponível em: <http://old.scielo.br/pdf/rbef/v38n3/1806-1117-rbef-38-03-e3309.pdf> Acesso em: 20 set. 2022.
- AMORIM, R. G. *et al.* Mecânica Quântica 120 anos: Uma abordagem a partir da medida e de simetrias. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210076, 1-18, maio 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0076> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/qJKnwpYyXJWzRB83kzpCWHj/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 09 mar. 2022.
- AMORIM, R. G. G. *et al.* Função de Wigner-80 anos e as origens da geometria não-comutativa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 3604, jul. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300029> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/bx4mbhS7GdfdBpS5kvZWZNJ/?lang=pt> Acesso em: 18 out. 2021.
- ANDRADE, R. R. D.; NASCIMENTO, R. S.; GERMANO, M. G. Influências da Física moderna na obra de Salvador Dalí. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 3, p. 400-423, dez. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6243> Acesso em: 11 dez. 2021.
- ARAÚJO, J. C. B.; BORGES, G. R. P.; DRIGO FILHO, E. Supersimetria, método variacional e potencial de Lennard-Jones (12,6). **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 41-44, jan. 2006. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172006000100006> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/BTw4DbYK9jMyRfvbxMdcwkd/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 25, n. 2, p. 176-194, jun. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/PLkjm3N5KjnXKgDsXw5Dy4R/?lang=pt#>. Acesso: 08 ago. 2023.

AZEVEDO, A. L.; SOUSA, A. K. S.; CASTRO, T. J. Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre v. 41, n. 4, e20180349, 1-10, mar. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0349> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/vHfts85vGQtRvwvqfpyjNFG/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 08 jul. 2022.

BARONE, F. A.; NOGUEIRA, A. A.; PIMENTEL, B. M. O Efeito Casimir em Teoria das Fontes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, e3317, 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0033> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/TBBDYZqR85vYWN3S6wGqbGv/?lang=pt> Acesso em: 19 out. 2021.

BARROS, M. A.; BASTOS, H. F. B. N. Investigando o uso do ciclo da experiência Kellyana na compreensão do conceito de difração de elétrons. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 24, n. 1, p. 26-49, abr. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/1549> . Acesso em: 11 dez. 2021.

BASTOS FILHO, J. B. Os problemas epistemológicos da realidade, da compreensibilidade e da causalidade na teoria quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 125-147, jun. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442003000200002> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/9vkLc6MW7rMxHjsCmyykqkG/?lang=pt> Acesso em: 15 out. 2021.

BATAEL, H. O. *et al.* Operadores-escada generalizados para sistemas quânticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 2, e2305, 1-8, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0189>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nHBtxxfyzvixWZxzDhd9nDD/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2022.

BERNARDINI, A. E. Um modelo para interações entre quarks: a redução não-relativística em modelos de potenciais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 305-316, set. 2003. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000300008> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/96SnkBRL9gbhM9RpRdwcQ5G/?lang=pt> Acesso em: 15 out. 2021.

BERNARDINI, A. E.; LEO, S. Oscilação quântica de sabores com pacotes de ondas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 335-350, dez. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442004000400007> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/4TSFBCK6sMpvpmFXBTR4jfk/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

_____. Uma discussão sobre oscilações quirais e inversão de spin. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 507-515, dez. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000400003> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/LbccZrWD9QbGdSSnsnCzKfF/abstract/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

BETZ, M. E. M. Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 4, 4310-14, out. 2022. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400011> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZwJFPncfzjWscDv4yQySd4R/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

BIENZOBAS, P. F.; SALINAS, S. R. Modelo esférico quântico elementar. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 3, 33111, set. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300011> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/kpNXz6jMftMSKZ6Cpf6zgPx/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 08 maio 2022.

BISPO, W. F. O.; DAVID, D. F. G.; FREIRE JÚNIOR, O. As contribuições de John Clauser para o primeiro teste experimental do teorema de Bell: uma análise das técnicas e da cultura material. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 3, 3603-7, jul. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300028> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nzL4Sh6VtBZZ9FbwP8Vvx5c/?lang=pt> Acesso em: 16 out. 2021.

BITTAR, M. A teoria antropológica do didático como ferramenta metodológica para análise de livros didáticos. **Zetetike**, Campinas, SP, v. 25, n. 3, p. 364-387, 2017. DOI: 10.20396/zet.v25i3.8648640. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/zetetike/article/view/8648640>. Acesso em: 28 jul. 2023.

BOLIVAR, A. O. Limite clássico da mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 169-175, jun. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442003000200006> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sjfrqNXSHMQJTR6mFqtBSzf/?lang=pt#> Acesso em: 15 out. 2021.

BOLIVAR, A. O. Teorema de Ehrenfest e o limite Clássico da Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 190-195, jun. 2001. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172001000200009> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rFHC5V7h87tJkGrTqyLTVzQ/?lang=pt> Acesso em: 20 set. 2022.

BONJORNO, J. R. *et al.* **Física: eletromagnetismo e física moderna**. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016a.

[Digite aqui]

_____. **Física: mecânica**. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016b.

_____. **Física: termologia, óptica e ondulatória**. 3. ed. São Paulo: FTD, 2016c.

BOSE, S. A lei de Planck e a hipótese dos quanta de luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 463-465, set. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000300024> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Ptgh4FjxnKWZRZLVqVHCmnG/> Acesso em: 10 out. 2021.

BRAGA, J. P. Os cem anos do átomo de Sommerfeld. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 4, e4306, 1-8, jun. 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0110> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/8XfSsYvXWcWDBjPvTYJPFq/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conselho-nacional-de-educacao/base-nacional-comum-curricular-bncc> Acesso em: 10 nov. 2022.

_____. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio**. Brasília, DF, 2000. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/blegais.pdf> Acesso em: 07 nov. 2022.

_____. **Lei n. 9.394: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. Brasília, DF, 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm#:~:text=L9394&text=Estabelece%20as%20diretrizes%20e%20bases%20da%20educa%C3%A7%C3%A3o%20nacional.&text=Art.%201%C2%BA%20A%20educa%C3%A7%C3%A3o%20abrange,civil%20e%20nas%20manifesta%C3%A7%C3%B5es%20culturais.

_____. **PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, DF: SEMTEC, 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>. Acesso em: 22 set. 2022.

BROCKINGTON, G. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/mestradogui.pdf> Acesso em: 10 jul. 2023.

BROD, D. J. Bosons vs. Fermions: a computational complexity perspective. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, suppl. 1, e20200403, 1-24, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0403> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/JDtGnH8jDn8yCKwXBfFXMpR/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 10 set. 2022.

CABRAL, G. E. M.; LIMA, A. F.; & LULA JR., B. Interpretando o algoritmo de Deutsch no interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 109-116, abr. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442004000200005> Disponível em: [Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/PFBhyqwWPprgCFVTcxh5MVc/?lang=pt#> Acesso em: 12 out. 2021.

CALDEIRA, A. Feynman, dissipação e computação quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4211, 1-9, fev. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0381> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gqLHqzRTRNwJH3hHRfg5V5g/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 30 set. 2022.

CAMARGO, A. L. P. *et al.* Simulação do protocolo BB84 de criptografia quântica utilizando um feixe laser intenso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0149> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rtjpnrcryxChxYBM4QjCjwby/?lang=pt#> Acesso em: 20 out. 2021.

CAMPOS, H. S. Uma abordagem sobre a irracionalidade da realidade no problema da observação. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 2, p. 191-207, ago. 2002. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6621/6119>. Acesso em: 10 out. 2021.

CARDOSO, T. R.; CASTRO, A. S. DE. Estados estacionários de partículas sem spin em potenciais quadrados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 2306.1-2306.10, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000200007> Disponível em: Acesso em: 10 out. 2021.

CARUSO, F.; OGURI, V. O método numérico de Numerov aplicado à equação de Schrödinger. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 2, 2310-1-7, maio 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200010> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/fhykmyrthKFmGKDxdjczKss/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

CASTRO, L. A.; BRASIL, C. A.; NAPOLITANO, R. J. Elliptical orbits in the phase-space quantization. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. e3318, sept. 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0067> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/bC8fQ4pTvnnHrNfWC4nKzjf/?lang=en#> Acesso em: 19 out. 2021.

CATTANI, M. Quantum statistics: the indistinguishability principle and the permutation group theory. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 3, p. 405-414, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000300013> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xyn9cdHZrLv9RXXbwMmTNzt/?lang=en> Acesso em: 10 out. 2021.

CATTANI, M.; BASSALO, J. M. F. Atividade óptica de um meio dielétrico diluído: Pasteur e as simetrias moleculares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 3304.1-3304.16, jul. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000300004> Acesso em: 10 out. 2021.

[Digite aqui]

CHEVALLARD, Y. **La transposición didáctica**: del saber sábio al saber enseñado. [Título original: La transposition didactique. Du savoir savant au savoir enseigné]. Traducción de Claudia Gilman. Buenos Aires: Aique, 1991.

CHIBENI, S. S. Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 181-192, jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000200002> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gXbjRStJQkFhkRq7wv7GWsQ/#> Acesso em: 10 out. 2021.

CHIQUITO, A. J.; LANCIOTTI JÚNIOR, F. Super-redes semicondutoras: um laboratório de Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 315-322, dez. 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-47442004000400005> Acesso em: 10 out. 2021.

COUTINHO, F. A. B.; NOGAMI, Y.; TOYAMA, F. M. Unusual situations that arise with the Dirac delta function and its derivative. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 31, n. 4, p. 43024308, out. 2009. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000400004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/pcCFVXyJZ7BSq8mJKn6hnQP/abstract/?lang=pt#> Acesso em: 10 out. 2021.

CRUZ, F. P.; SANTOS, J. A.; OTOYA, V. J. V. Um novo método para o cálculo do Propagador da Eletrodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, e20180217, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0217> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/G9CkqfK6JsLzt3h88Zkzb4p/?lang=pt#> Acesso em: 21 out. 2021.

DAHMEN, S. R. Bose e Einstein: do nascimento da estatística quântica à condensação sem interação II. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 283-298, jun. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/CtCjSbN6nRgvnZ3znFWskyq/> Acesso em: 10 out. 2021.

DAHMEN, S. R. Bose e Einstein: do nascimento da estatística quântica à condensação sem interação I. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 271-282, jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000200014> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/YsTFW396SFGmZSXtZ4NSqzN/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

_____. Einstein e a teoria quântica de gases. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 109-111, mar. 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-47442005000100013> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/8gm6rZ38Tx76KsXTf3W5bKc/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

DARTORA, C. A.; CAMPOS, F. K. R. On the similarity transformations in second quantized fermion-boson interacting hamiltonian and the BCS theory. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 3, p. e3313, sep. 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0032> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/XrB7yChRg9Cc9wBbr9m3xFD/?lang=en> Acesso em: 19 out. 2021.

DAVIDOVICH, L. Os quanta de luz e a ótica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, 40205-12, dez. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173732073> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/j4FJ5CsQBJwqjThKQL8Gcy/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

DIEGUEZ, C. M. T. *et al.* Os fundamentos quânticos da Ressonância Magnética Nuclear. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 1, p. e1310, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0093> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/VHbzGXCnLH7Wy55qt96bRKt/abstract/?lang=pt> Acesso em: 20 out. 2021.

DIOGO, R. C.; OSÓRIO, A. S.; SILVA, D. R. R. A teoria antropológica do didático: possibilidades de contribuição ao ensino de Física. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, VI., 2007. Florianópolis. **Anais [...]**. 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/30976147/A_teor%C3%A1ntropol%C3%B3gica_do_did%C3%A1tico_possibilidades_de_contribui%C3%A7%C3%A3o_ao_ensino_de_f%C3%ADsica Acesso em: 20 out. 2022.

DORSCH, G. C.; GUIO, T. C. C. Física de Partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 43, e20210083, 1-32, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0083> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/7t5mJSb8rsk6TXWJXGyQY4n/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12 set. 2022.

DUARTE, C. A. Sobre a possibilidade da quantização dos fluxos de campo na radiação eletromagnética. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 3305, jul. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300005> disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/LgVpWnWvmkQTgMvztPdPYCC/abstract/?lang=pt> Acesso em: 16 out. 2021.

EINSTEIN, A. Sobre a teoria quântica da radiação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 93-99, mar. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000100010> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/pbtg8SQ5gjS5d7ZhncdxZQQ/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

EINSTEIN, A. Teoria quântica do gás ideal monoatômico: segundo tratado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 113-120, mar. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442005000100014> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/LwTY6SqqkRKzqkKxXLYVsWR/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

ESCOBAR, C. O. A invenção dos pártons. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4214, 1-4, maio 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0150> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/ckLjrFzX3VKPSXnr4hbHw6H/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 abr. 2022.

FANARO, M. L.; ARLEGO, M.; OTERO, M. R. The double slit experience with light from the point of view of Feynman's sum of multiple paths. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Campinas, v. 36, n. 2, 2308-7, maio 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200008> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/DxH5msQ4ydVnWtDGzVgQrj/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 10 out. 2022.

FASSARELLA, L. S. O Experimento de Hardy: a mais simples prova da violação do realismo local EPR. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. e20190077, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0077> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/6MpDf68WhFJfDcr8BKHRrLj/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

FEITOSA, S. S. *et al.* Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 37, n. 2, p. 662-694, ago. 2020. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p662> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n2p662/43909> Acesso em: 08 ago. 2022.

FERNANDES, R. F. A. M. *et al.* Pinturas do Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 2, p. 509-529, ago. 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p509> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n2p509/34627> Acesso em: 10 ago. 2022.

FERRARI, A. F. A busca por violações da simetria de Lorentz: testando os princípios da relatividade restrita na escala de Planck. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 4, p. e20190092, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0092> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/XtR6d5JWytVvsdCH5kWMkyP/abstract/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

FERRARI, A. F.; NOGUEIRA, A. A.; PALECHOR, C. Mínimo teórico para descrever campos quânticos em equilíbrio termodinâmico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, e3315, 1-21, fev. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0346> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KKYgv7fnhZPDL3hcjsPyrSR/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 nov. 2022.

FERREIRA, C. F.; SOUZA FILHO, M. P. O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 302-329, abr. 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p302> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p302/39941> Acesso em: 20 out. 2022.

[Digite aqui]

FERREIRA, D. C.; SOUZA FILHO, M. P. O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 2, p. 697-716, ago. 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n2p697> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n2p697/32435> Acesso em: 14 mar. 2022.

FERREIRA, G. F. L.; COSTA, R. C. T. Perturbação paramétrica em mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, p. 417-420, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442006000400002> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Cth859vqWBxY68TxQGJWj8s/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

FILGUEIRAS, C.; MORAES, F. Extensões auto-adjuntas de operadores em mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 11-13, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/RxjtVDYLWHFRgTCLSxNc8Zg/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

FLOQUET, S. *et al.* C^* -Álgebras e a Descrição da Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. e3303, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0277> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KwcpLDsSNtkSy6XG7kqrJpP/?lang=pt> Acesso em: 20 out. 2021.

FONSECA, P. *et al.* Estudo do poder de frenamento de partículas alfa na matéria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 1-5, abr. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000200005> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/yWYJ8rhp6T6nxfL3LqNHPDm/?lang=pt> Acesso em: 16 out. 2021.

FONTES, D. T. M.; RODRIGUES, A. M. A Física Moderna e Contemporânea nas perspectivas CTSA e História da Ciência nos livros didáticos de Física. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, Santos, v. 11, n. 25, p. 390-412, dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.unisantos.br/pesquiseduca/article/view/874/pdf> Acesso em: 09 out. 2022.

FREIRE JUNIOR, O. Das margens para o centro: Mudanças na pesquisa em fundamentos da mecânica quântica, 1950-1990. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 2, p. 369-377, ago. 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n2p369>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n2p369> Acesso em: 11 dez. 2023.

FREITAS, F.; FREIRE JÚNIOR, O. A formulação dos 'estados relativos' da teoria quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 2307--15, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000200008> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Rrkx4RFpxWf5CQfCYkr67S/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

[Digite aqui]

FREITAS, G. B.; VEIGAS, R. G.; DRIGO FILHO, E. Poço quadrado quântico finito e método de fatorização. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1502-1504, jan. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000100014> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Rrknx4RFpxWf5CQfCYkr67S/?lang=pt#> Acesso em: 10 out. 2021.

FURTADO, J. Sobre a ação de Euler-Heisenberg e o espalhamento da luz pela luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, e20180253, 1-10, jan. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0253> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/m8hFpDBQNByDkxR9HsxT3nQ/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 set. 2022.

FURTADO, J.; HELAYEL-NETO, J. A. Teoria de Grupos e o Papel das Simetrias em Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20200338, 1-17, nov. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0338> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/tx6ZpVfzWmbwNgKFLGznmfJ/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 abr. 2022.

GALETTI, D. Um livro de Mecânica Quântica ansiosamente esperado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 429-430, dez. 2004. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172004000400019> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KHLHKGMPPGGJ9q65shqdzfv/?lang=pt> Acesso em: 12 out. 2021. PAREI AQUI

GALETTI, D.; MARCHIOLLI, M.A.; LIMA, C. L. Von Neumann e a descrição da Mecânica Quântica no espaço de fases. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, e20180269, 1-8, jan. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0269> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nR4SBBPsJpY64XsPrhsqr6K/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 set. 2022.

GIARDINO, S. Angular invariant quantum mechanics in arbitrary dimension. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 3307, jul. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000300007> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/nT5wgdFKDhnQ4v5cFfXwjYs/?lang=en> Acesso em: 18 out. 2021.

GIRARDELLI, D.; ZAVANIN, M. Z.; GUZZO, M. M. Equivalência entre a mecânica quântica e a mecânica quântica PT simétrica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 1304-1-9, mar. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173711645> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/6J6PzLj6SsQ3NnvTkKfq3tk/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 08 mar. 2022.

GODOY, L. P.; AGNOLO, R. M. D.; MELO, W. C. **Multiversos - Ciências da natureza: matéria, energia e a vida**. São Paulo: FTD, 2020a.

_____. **Multiversos - Ciências da natureza: origens**. São Paulo: FTD, 2020b.

_____. **Multiversos - Ciências da natureza: eletricidade na sociedade e na vida**. São Paulo: FTD, 2020c.

[Digite aqui]

_____. **Multiversos - Ciências da natureza: ciência, sociedade e ambiente.** São Paulo: FTD, 2020d.

_____. **Multiversos - Ciências da natureza: movimentos e equilíbrios na natureza.** São Paulo: FTD, 2020e.

_____. **Multiversos - Ciências da natureza: ciência, tecnologia e cidadania.** São Paulo: FTD, 2020f.

GOMES N. D.; CARACANHAS M. A.; BAGNATO V. S. Modelo clássico para resfriamento atômico: Uma forma pedagógica de entender o problema. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 36, n. 1, p. 1311-1-5, fev. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100011> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/btyvjMdv6nBQjQHSnvMh6D/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 15 set. 2022.

GOMES, G. G.; PIETROCOLA, M. O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 2604-1-11, jul. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000200019> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/g7F4wDfZYtBSGjB66bg9B8L/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

GOMES, N. D.; CARACANHAS, M. A.; BAGNATO, V. S. Modelo clássico para resfriamento atômico: Uma forma pedagógica de entender o problema. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 1311, jan. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100011> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/btyvjMdv6nBQjQHSnvMh6D/?lang=pt> Acesso em: 18 out. 2021.

GONCALVES, V. P.; LAZZARI, L. DA S. Uma introdução às estrelas estranhas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20200032, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0032> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/LtYTlFJkfLDrXmfVfkdbDg/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

GROSMAN, P. H.; BRAGA, D. G.; HUGUENIN, J. A.. Realização experimental da simulação do algoritmo de Deutsch com o interferômetro de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0201> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/vsbkGBMwDqK9LHPMbnHzfsF/?lang=pt#> Acesso em: 21 out. 2021.

GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física: eletromagnetismo e física moderna.** v. 3. 2. ed. São Paulo: Ática, 2017a.

_____. **Física: física térmica, ondas e óptica.** v. 2. 2. ed. São Paulo: Ática, 2017b.

_____. **Física: mecânica.** v. 1. 2. ed. São Paulo: Ática, 2017c.

[Digite aqui]

_____. **Física ensino médio**. v. 3. 2. ed. São Paulo: Ática, 2017d.

HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; HADJIMICHEF, D. Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 43, p. e20210044, 1-18, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0044> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/bRTgnq5YBknbQDJChnCsMRx/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; LIMA, N. W. As visões sobre a ciência e sobre a realidade nos enunciados de Richard P. Feynman: Uma análise metalinguística de alguns de seus textos didáticos e de divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20200019, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0019> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/mkQRMMYjw4zpR7dtZkQqCDP/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

JESUS, G. F. *et al.* Computação quântica: uma abordagem para a graduação usando o Qiskit. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210033, 1-21, jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0033> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/qRcz9vCVfYMv4J4rDjKqLTP/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 out. 2022.

JOSÉ, M. A.; PIQUEIRA, J. R. C., LOPES, R. D. Introdução à programação quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 1, 1306- 1-9, fev. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100006> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/fXHgBXQHqmfz7kJ6CskyjYx/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 14 mar. 2022.

KAZUHITO, Y. FUKU, L. F. **Física para o ensino médio**. v. 1. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2017a.

_____. **Física para o ensino médio**. v. 2. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2017b.

_____. **Física para o ensino médio**. v. 3. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2017c.

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias**: o novo ritmo da informação. 8. ed. Campinas: Papyrus, 2012.

KLUTH, V. S.; ALMOULOU, S. A. Transposição didática em *chevallard*: conceitos e teorização primordiais para a teoria antropológica do didático. **Revista Eletrônica de Educação Matemática - REVEMAT**, Florianópolis, v. 15, n. 1, p. 01-22, 2020. <https://doi.org/10.5007/1981-1322.2020.e72961> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/revemat/article/view/1981-1322.2020.e72961> Acesso em: 13 jan. 2024.

LAPA, J. M. **Laboratórios virtuais no ensino de física**: novas veredas didático- pedagógicas. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal da Bahia, Universidade Estadual de Feira de Santana Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia

[Digite aqui]

e História das Ciências, Salvador. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/16020/1/Jancarlos%20Menezes%20Lapa.pdf> Acesso em: 22 out. 2021.

LENART, V. M. *et al.* Demonstração da geração de ondas eletromagnéticas estacionárias em um cabo coaxial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20200178, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0178> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ThDYvPSYtZjVXdSF569hTQF/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

LIMA N.; CAVALCANTI C.; ORTERMANN, F. Concepções de dualidade onda-partícula: uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 43, e20200270, 1-16, out. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/yFLHKMG9B4HWKZfPtDNgPsn/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12 set. 2022.

LIMA, N. W.; MORAES, A. G.; MONTEIRO, A. V. G. “Cântico dos cânticos, quântico dos quânticos”: as relações dialógicas entre artes, ciências contemporâneas e saúde no álbum Quanta, de Gilberto Gil. **História, Ciências, Saúde-Manguinhos**, v. 28, n. 1, p. 187–209, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/S0104-59702021000100010> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/hcsm/a/bngkQpWTKbmkZ54YYzbgPLR/abstract/?lang=pt#> Acesso em: 20 out. 2022.

LIMA, A. A. *et al.* Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20190191, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0191> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zmFYrhnnhLQ8dMHk7CDmSfs/?lang=pt#> Acesso em: 21 out. 2021.

LIMA, L. G.; RICARDO, E. C. O ensino de mecânica quântica no nível da abstração científica presente na interface Física-Literatura. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 8-54, abr. 2019. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n1p8> Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7008478>. Acesso em: 14 mar. 2022.

LIMA, N. W.; CHAIB, J. P. M. C. Uma tradução comentada do artigo “A Termodinâmica Oculta das Partículas” de Louis de Broglie. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210246, 1-14, set. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0246> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/4K5qjVqD9CMZyCJWfPDhfwM/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

LIMA, N. W.; OSTERMANN, F.; HOLANDA CAVALCANTI, C. J. Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 2, p. 435-459, ago. 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p435>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n2p435> . Acesso em: 11 dez. 2023.

[Digite aqui]

LIMA, N.; CAVALCANTI, C.; OSTERMANN, F. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, p. e20200270, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/yFLHKMG9B4HWKZfPtDNgPsn/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

LOBATO, T.; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de física do ensino médio. **Ciência educ.** 2005, vol.11, n.01, pp.119-132, 2005. Disponível em: http://educa.fcc.org.br/scielo.php?pid=S1516-73132005000100010&script=sci_abstract Acesso em: 21 out. 2021.

LÜDKE, E. Medidas de elétrons livres no vácuo e estatística de Fermi-Dirac. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 4701-4701, out. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400022> Disponível em: Acesso em: 16 out. 2021.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. 2. ed. Rio de Janeiro: EPU, 2013.

MAGALHÃES, A. R. B.; FONSECA, C. H. D'ÁVILA.; NEMES, M. C. Thouless theorem for one and two degrees of freedom. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 161-166, abr. 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Mnp7KfcFGXpPwgY6HctxtJk/> Acesso em: 10 out. 2021.

MAIA FILHO, A. M.; SILVA, I. O experimento WS de 1950 e as suas implicações para a segunda revolução da mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 2, nov. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0182> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KRhqvJf5J4kKKGwgHVhWRry/abstract/?lang=pt#> Acesso em: 15 set. 2022.

MARCHIOLLI, M. A. Mecânica Quântica no Espaço de Fase: I. Formulação de Weyl-Wigner. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 421-436, dez. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442002000400009> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zp679ZdVWp3JgPG45jM7KGP/#> Acesso em: 20 out. 2021.

MARINO, E. C. Jorge André Swieca: uma figura ímpar na física brasileira. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 3602-1-3602-6, jul. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731932> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/sVBd7Wxc6zQqThvZtKNKHJCJ/?lang=pt#> Acesso em: 19 out. 2021.

MASSONI, N. T.; ALVES-BRITO, A. Física quântica e o ensino de física na contemporaneidade: reflexões à luz da história e da epistemologia revisada de Popper. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 331-348, jan. 2021. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/233067/001128870.pdf?sequence=1> Acesso em: 20 dez. 2023.

MATSAS, G. E. A. Gravitação semiclássica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 1, p. 137-145, mar. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000100016>
[Digite aqui]

Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/JgPdTcrbQzYdbHsMtVmKtvD/?lang=pt>
Acesso em: 10 out. 2021.

MAZIERO, J. A relação de incerteza de Maccone-Pati. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 4, e4306, 1-5, abr. 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0014> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QJcND6Qk98ywmQrRQhgLv7B/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

_____. A representação de Kraus para a dinâmica de sistemas quânticos abertos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. e2307, 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0005> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/n9m5gM7khSrYvqGGHSpFNDK/?lang=pt> Acesso em: 19 out. 2021.

_____. Entendendo a entropia de von Neumann. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 1, p. 1314, jan./mar. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173711701> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/NrC4f9gwPNZWHzd7CcFrxtQ/?lang=pt> Acesso em: 19 out. 2021.

MEIRA FILHO, D. P. *et al.* Equação de Klein-Gordon-Fock para uma partícula sob efeito de campo magnético clássico em coordenadas da frente de luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210172, 1-10, set. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0172> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/MtVcNLZjMyWQD87vWh7nvNw/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 nov. 2022.

MELO, C. A. M.; PIMENTEL, B. M.; RAMIREZ, J. A. Teoria algébrica de processos da medida em sistemas quânticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 3, p. 1-13, jul. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000300006> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/cv4ZTY4WPRKSSwpWmZgg4Gj/?lang=pt> Acesso em: 16 out. 2021.

_____. A. Princípio da ação quântica de Schwinger. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 4, 4302-16, out. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400002> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/VYwQPFQ7gLqnQ77GZhdg45g/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado da Educação de Minas Gerais. **Currículo Referência de Minas Gerais**. Minas Gerais, 2018. Disponível em: <https://curriculoreferencia.educacao.mg.gov.br/> Acesso em: 10 out. 2021.

MIZRAHI, S. S. Abordagem epistemológica em um livro-texto sobre mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 309-310, jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442005000200017> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/cBq8XBypCJyMMw46RGzbyD/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

[Digite aqui]

MONERAT, G. A. *et al.* Sobre o método semi-analítico de Chhajlany e Malnev para soluções aproximadas não-perturbativas da Equação de Schrödinger com potencial polinomial par. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 1, e1308, 1-15, 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0113>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/qPk8GxT85GLkhrwv7gqbbxR/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2022.

MONERAT, G. A. *et al.* O método de Galerkin para a quantização de sistemas Hamiltonianos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 4301-1-4301-11, out./dez. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173741912> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/m6LK8vBzDBSBtQ89nSVg8QN/?lang=pt> Acesso em: 19 out. 2021.

MONERAT, G. A. *et al.* Quantização de sistemas hamiltonianos via método de diferenças finitas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 1, p. 1304-1310, jan. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000100004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZtyWjdNPhBFtkbYfnkLzPcs/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R. Tendências das pesquisas sobre o ensino da física moderna e contemporânea apresentadas nos ENPEC. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 6., 2007, Florianópolis. **Anais [...]** Belo Horizonte: ABRAPEC, 2007.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, Bauru - SP, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132009000300007> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/bqMYJGjV6zGgMm7N6FpBWFQ/#> Acesso em: 10 nov. 2023.

MONTEIRO, J. M. C.; ALGOZINI, A.; DRIGO, E. Solução do átomo de hidrogênio usando Supersimetria. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 4, e20180315, 1-10, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0315> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/t7Ctx895C7jN5mGt5GJNyHJ/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 nov. 2022.

MOURA, M. D.; SANTOS, R. P. Detectando misticismo quântico em livros publicados no Brasil com Ciência de Dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 725-744, dez. 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p725>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p725> . Acesso em: 11 dez. 2023.

MOURA V. P. S. **O uso dos simuladores virtuais no ensino de física**. Orientador: Alex Medeiros de Carvalho. 2021. 41 f. TCC (Especialização) – Curso de Pós-graduação Lato Sensu e Ensino de Ciências e Matemática, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro, Uberlândia, 2021.

[Digite aqui]

MOURA, M. D.; SANTOS, R. P. Detectando misticismo quântico em livros publicados no Brasil com Ciência de Dados. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 725-744, dez. 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n3p725> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n3p725/35415> Acesso em: 14 mar. 2022.

NASCIMENTO, L. O.; CORRÊA, A. B. Aplicação do Formalismo CTP em uma Ação com Operador Pseudo-Diferencial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20190177, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0177> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/5hPK43pXRb6MPNQ4ByGDvMG/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

NASCIMENTO, C. S.; UIBSON, J. Uso de experimentos no ensino de física: uma revisão sistemática da literatura. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE, v. 15, 5., set. 2021, Sergipe. **Anais [...]** Sergipe: UFS, 2021. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/16377/2/UsosExperimentosEnsinoFisica.pdf> Acesso em: 10 de out. 2023.

NETTO, J. S.; OSTERMANN, F. E.; CAVALCANTI, C. J. H. Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de Mach-Zehnder integrado a atividades didáticas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 35, n. 1, p. 185-234, abr. 2018. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n1p185> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n1p185/36176> Acesso em: 10 set. 2022.

NÓBREGA, F. K.; MACKEDANZ, L. F. Espalhamento Bhabha: um estudo detalhado. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 3, p. e3318, 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0395> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Rny9KVk9WBZ8nhzWFVSmBRF/?lang=pt> Acesso em: 20 out. 2021.

NOVAES, M. A eletrodinâmica quântica de Feynman: tradução de sua palestra Nobel. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4208, 1-14, fev. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0376> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/k86qzvYvPbWbnHSgxfG3RB/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

_____. Mecânica Quântica no Espaço de Fase: II. Estados Coerentes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 4, p. 421-436, dez. 2002. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442002000400010> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/DHF7jSh6fHpD3kCY6RJ6VBF/?lang=pt> Acesso em: 11 out. 2021.

OLIVEIRA, A. N. *et al.* Algoritmos quânticos com IBMQ Experience: Algoritmo de Deutsch-Jozsa. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 44, p. e20210333, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0333> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/jwThwdbMLr5M4GtgGMLk8Bn/?lang=pt> Acesso em: 22 out. 2021.

[Digite aqui]

OLIVEIRA, B. G. Teoria Quântica de Átomos em Moléculas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, n. 2, e20190061, mar. 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0061> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rFHC5V7h87tJkGrTqyLTVzQ/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

OLIVEIRA, D. M. Uma proposta para o ensino de teoria quântica de campos na graduação: a eletrodinâmica de Maxwell-Chern-Simons como motivação. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 3, 3309-1-9, out. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000300009> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/XnSzVYb3VsCpqYnwsKbpXSz/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

OLIVEIRA, I. N. *et al.* Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma Arduino. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 37, n. 2, p. 828-848, ago. 2020. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n2p828> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2020v37n2p828> Acesso em: 10 set. 2022.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Revista Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 18, n. 2, p. 135-151, ago. 2001. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5165349> Acesso em: 10 mar. 2023.

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**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/600>. Acesso em: 30 mar. 2023.

_____. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea no ensino médio”. **Revista Investigação 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: 10 mar. 2023.

OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 193-203, jun. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000200003> <https://www.scielo.br/j/rbef/a/VsZGXKsCS3vDBnXq7dCvKBH/?lang=pt> Disponível em: Acesso em: 10 out. 2021.

PAES, R. P.; NASCIMENTO, V. A. Estudo teórico de transição quântica de fases em gases bosônicos aprisionados por redes ópticas periódica e quase periódica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, 2019, v. 41, n. 1, e20180031, 1-7, jul. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0031> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/8B85GXsqvF8zcWwT7kDx7P/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

[Digite aqui]

PAIVA, E. Sobre o espalhamento Compton inverso. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 3, 3303, jul. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000300003> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/6yTLgyj4xN8rGsz8JMgJ5nz/?lang=pt> Acesso em: 19 out. 2021.

PARENTE, F. A. G.; SANTOS, A. C. F.; TORT, A. C. Os 100 anos do átomo de Bohr. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 4, 4301, out. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000400001> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/VYcRWRjrjX9fQVG8xYsRjNQ/?lang=pt#> Acesso em: 18 out. 2021.

_____. O átomo de Bohr no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 36, n. 1, 1502-4, fev. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100020> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/dQggYvcbVVxTPhKH7WMwf7G/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 22 out. 2022.

PASQUALETTO, T. I. **O ensino de física via aprendizagem baseada em projetos: um estudo à luz da teoria antropológica do didático**. Tese (Doutorado em) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Programa de Pós-graduação em ensino de Física, Porto Alegre, p. 237. 2018. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/188390> Acesso em: 10 out. 2021.

PAULINO, K. H. *et al.* Solução quântica para o poço duplo quadrado unidimensional assimétrico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 4, 4306-1-8, fev. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000400006> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/g9wwJp5NDFvYBm4QbvJKQ6f/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2022.

PAULO, I. J. C.; MOREIRA, M. A. O problema da linguagem e o ensino da mecânica quântica no nível médio. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 2, p. 421-434, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132011000200011> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/RtNHskBcj4FMzWm7DPGGGZD/?lang=pt> Acesso em: 10 mar. 2022.

PEREIRA, A. *et al.* Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da física quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 29, p. 831-863, out. 2012. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2012v29nesp2p831> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p831> . Acesso em: 11 dez. 2021.

PEREIRA, R. G.; MIRANDA, E. Introdução à Teoria Quântica de Campos: do Oscilador Harmônico ao Campo Escalar Livre. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 24, n. 2, p. 237- 246, jun. 2002. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172002000200021>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/pdszKrCyffkHtBvbwXBT7NF/abstract/?lang=pt#> Acesso em: 16 out. 2021.

PEREIRA, S. H.; FÉLIX, M. G. 100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 1-10, jan. 2013. [Digite aqui]

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100013> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/GypPJnq9mfc5HbGnSy6xCVj/?lang=pt#> Acesso em: 18 out. 2021.

PESSOA JÚNIOR, O. O fenômeno cultural do misticismo quântico. *In*: FREIRE JÚNIOR, O.; PESSOA JÚNIOR, O.; BROMBERG, J. L. (orgs.). **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011. p. 281-302. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/xwhf5/pdf/freire-9788578791261.pdf> Acesso em: 10 maio 2023.

PETRÔNIO, R. Epistemologia da matéria: algumas reflexões sobre sua representação e estatuto ontológico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 4305, out. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400006> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QzwcFb3F4xdwDcnMpdgtFLy/?lang=pt#> Acesso em: 19 out. 2021.

PIGOZZO, D.; NASCIMENTO, M. M.; LIMA, N. W. Problemas do discurso de Deepak Chopra: uma análise metalinguística de “A cura quântica”. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 38, n. 3, p. 1589-1618, dez. 2021. <https://doi.org/110.5007/2175-7941.2021.e76854> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/76854> . Acesso em: 11 dez. 2023.

PIQUEIRA, J. R. C. Teoria quântica da informação: impossibilidade de cópia, entrelaçamento e teletransporte. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 4, 4303-8, nov. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400003> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/XZ8FbFnDYZ33r4xHtJFSDQL/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 nov. 2022.

PLEITEZ, V. Richard Feynman e a QED. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4208, 1-15, mar. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0392> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/k86qzvYvPbWbnHSgxfG3RB/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 set. 2022.

PRATAVIERA, G. A.; MIZRAHI, S. S. Many-particle Sudarshan-Lindblad equation: mean-field approximation, nonlinearity and dissipation in a spin system. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 4303, out. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400004> Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000400004> Acesso em: 19 out. 2021.

QUAGLIO, J. Deduzindo a Equação de Schrödinger através da Analogia Óptico-Mecânica de Hamilton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210208, 1-5, set. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0208> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/TNhbM68DvrWXFkQffggFY9g/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2022.

RABELO, W. R. M.; COSTA, M. L. M. Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 40, n. 4, e4306. 1-10, abr. 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-> [Digite aqui]

2018-0038 Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/3Mjbd4BKTrDQdsYWmwvDZh/?format=pdf&lang=pt>
 Acesso em: 11 ago. 2022.

REIS, J. C.; GUERRA, A.; BRAGA, M.: Science and art: unlikely relations? **História, Ciências, Saúde**, Manguinhos, v. 13, supp., p. 71-87, Oct. 2006. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/hcsm/a/5BmmbQZ7hCm8BxJ36tyK4bd/?format=pdf&lang=pt>
 Acesso em: 10 out. 2021.

_____. Física e arte: a construção do mundo com tintas, palavras e equações. *Cienc. Cult.*, São Paulo, v. 57, n. 3, p. 29-32, set. 2005. Disponível em:
http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252005000300016&lng=en&nrm=iso Acesso em: 18 fev. 2023.

RIBEIRO FILHO, A. Realismo e Localidade em Mecânica Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 37, n. 3, p. 3801-1-3, set. 2015. Disponível em:
<https://doi.org/10.1590/S1806-11173731849>
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/VgXWpT6hSh6y8HBQtPJnfrb/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2022.

SOUSA, J. R.; DARTORA, C. A. Um estudo didático da dinâmica de spins. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, p. e20210099, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0099> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/chJkfkzJKJ6HKH6C5Y5grzp/?lang=pt> Acesso em: 22 out. 2021.

RICCI, T. F.; OSTERMANN, F.; PRADO, S. D. O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 79-88, 2007. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000100014> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/qRvkBDYhX5QW8RjZWqrmhhD/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

RIGOLIN, G.; RIEZNIK, A. A. Introdução à criptografia quântica. **Revista Brasileira De Ensino De Física**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 517-526, dez. 2005. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172005000400004> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/9nqhvdBC5fVYzvR5sjXCNHk/?lang=pt#> Acesso em: 10 out. 2021.

ROCHA, D. F. S. S. *et al.* Diagnóstico de dificuldades de ensino-aprendizagem de Física no Ensino Fundamental e Médio e implicações das competências e habilidades das novas diretrizes. **Research, Society and Development**, Vargem Grande Paulista, v. 10, n. 14, p. e239101421980, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21980>. Disponível em:
<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/21980>. Acesso em: 6 jan. 2024.

ROCHA, G. R. O que é Real? A busca inconclusa sobre o significado a Física Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 41, n. 1, e20180103, 1-3, ago. 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0103> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/KXvqpczwszczpCzpSKDQv7Tm/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

ROSA, G. G.; LIMA, N. W.; CAVALCANTI, C. J. H. Diferentes proposições do princípio da incerteza para posição e momentum: integrando formalismo matemático, fenomenologia e interpretações no ensino da teoria quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 44, e20210298, 1-13, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0298> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zFDJQDyPZtwpddy5C5QWNYR/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 mar. 2022.

SAITO, M. T. O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação. **Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 4, n. 3, p. 1101-1129, set. 2021. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12903>. Disponível em: <https://seer.upf.br/index.php/rbecm/article/view/12903>. Acesso em: 17 fev. 2024.

SALES, G. L. *et al.* Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3501-13, jul. 2008. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000300017> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gFjQrpLRRGXMKDDfXwf6fDC/?lang=pt> Acesso em: 10 out. 2021.

SALES, J. H.; SUZUKI, A. T.; SORIANO, L. A. Partículas e antipartículas no cone de luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 3, 3309-6, set. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731845> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/HK6N4F4KMKKWQJzmQypQXBR/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 30 set. 2022.

SANTI, N. S. M.; SANTARELLI, R. Desvendando a radiação Hawking. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 3, p. e20180312, 2019. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0312> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/CM5JzVF3Gtf5ztK3CB5vH4g/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

SANTOS, A. C. F. The first steps in vision in the classroom. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 1-4, abr. 2010. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172010000200003> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Y3vkvxGwGptQFbjpmSRWJB3F/?lang=en> Acesso em: 10 out. 2021.

SANTOS, A. C. O Computador Quântico da IBM e o IBM Quantum Experience. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0155> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zrxfftmWFG3XrynDbwYx78P/?lang=pt> Acesso em: 20 out. 2021.

SANTOS, A. C. T.; SIQUEIRA, M. R. P. A mecânica quântica nos livros didáticos aprovados pelo PNLD 2018 e 2021: um comparativo a partir da transposição didática. **Experiências em [Digite aqui]**

Ensino de Ciências, v. 18, n. 4, p. 402-411, Nov. 2023. Disponível em: <https://fisica.ufmt.br/eenciojs/index.php/eenci/article/view/1295> Acesso em: 13 dez. 2023.

SANTOS, M. C.; MENEZES, M. B. A Teoria Antropológica do Didático: uma releitura sobre a teoria. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), Campo Grande*, v. 8, dez. 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/pedmat/article/view/1456> Acesso em: 20 out. 2021.

SENA, V. L. O.; SOARES-PINTO, D. O. O isomorfismo inesperado entre um sistema de bilhar e um algoritmo quântico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210088, 1-12, jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0088> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/jqxPx5F83yq9tqfDkWXrKgG/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12 mar. 2022.

SETLIK, J.; SILVA, H. C. Trabalhando a materialidade textual na licenciatura em física: como licenciando(a)s escolhem, analisam e propõem textos para o ensino da teoria quântica. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 38, n. 1, p. 538-568, abr. 2021. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e72924> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/72924/45622> Acesso em: 14 mar. 2022.

SILVA NETO, C. P.; FREIRE JUNIOR, O. Herch Moysés Nussenzveig e a ótica quântica: consolidando disciplinas através de escolas de verão e livros-texto. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 2, 2601-1-11 abr. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000200028> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/g7F4wDfZYtBSGjB66bg9B8L/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M. Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 28, n. 3, p. 624-652, dez. 2011. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n3p624> Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2011v28n3p624/20255> Acesso em: 14 mar. 2022.

SILVA, A. C.; ALMEIDA, M. J. P. M.; HALLACK Ostermann, M. L. Fragmentos do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 32, n. 1, p. 53-75, abr. 2015. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2015v32n1p53>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n1p53> . Acesso em: 11 dez. 2021.

SILVA, I. Uma nova luz sobre o conceito de fóton: para além de imagens esquizofrênicas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 4, p. 4204-11, out. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731945> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/smz83BybLjppJbB8hncSBQx/?lang=pt#> Acesso em: 19 out. 2021.

SILVA, I.; FREIRE JÚNIOR, O. A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 1, 1601-1-14, fev. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000100026> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZxnY9LHbJCVBDgYLxP3YTZN/?format=pdf&lang=pt>
Acesso em: 10 set. 2022.

SILVA, I.; FREIRE JUNIOR, O.; SILVA, A. P. B.. O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 4, p. 4601-4601, out. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000400019> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/dBcWPVHXMDksTkY5K5XR8mc/?lang=pt> Acesso em: 16 out. 2021.

SLOVINSCKI, L.; ALVES-BRITO, A. O experimento da borracha quântica: discutindo o quântico pelo clássico em sala de aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 38, n. 2, p. 1113-1134, ago. 2021. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e76484>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/76484> Acesso em: 11 dez. 2023.

SOARES-PINTO, D.; NAVES, C. O Interferômetro de Mach-Zehnder e a Escolha Retardada Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 43, e20210085, 1-10, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0085> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/HY8FkChHktyV8bxd7FhG5Bk/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 12 mar. 2022.

SOUSA, J. R.; COIMBRA, D. Análise da convergência na Teoria da Perturbação Estacionária. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 129-137, abr. 2004. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172004000200008> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KyTK4NFy7BssvDbhbQXSCML/?lang=pt> Acesso em: 12 out. 2021.

SOUSA, J. R.; DARTORA, C. A. Um estudo didático da dinâmica de spins. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210099, 1-19, 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0099> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/chJkfkzJKJ6HKH6C5Y5grzp/?lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

SOUSA, M. S. M.; NASCIMENTO, F. A. Aplicações do cálculo numérico para resolução de equações transcendentais na mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, e20190144, 1-9, out. 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0144>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/TTht8k3kr7jbgW4WkZRfPVL/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 out. 2022.

SOUZA, R. S. *et al.* Matriz de referência como instrumento de apoio ao professor na condução do ensino de mecânica quântica para a licenciatura em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 44, p. e20210041, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0041> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/KgwJxpmWKzyhSJT6BjmYjGS/?lang=pt> Acesso em: 22 out. 2021.

SOUZA, A. R.; NEVES, L. A. S. O livro paradidático no ensino de Física: uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1145-1160, dez. 2016. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2016v33n3p1145> Disponível em:

[Digite aqui]

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p1145/33009>
Acesso em: 10 set. 2022.

SOUZA, D. G.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Formação continuada de professores viabilizada pela aproximação entre a escola e a universidade: uma narrativa histórica das experiências da iniciativa NUPIC (USP). **Investigação em ensino de ciências**, v. 26, n. 3, p. 102-133, dez. 2021. DOI: <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2021v26n3p102> Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/2510> Acesso em: 19 out. 2023.

SOUZA, M. F. *et al.* Um breve tratado sobre a aproximação paraxial. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 1-13, jul. 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000300008> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/scm3YkhJzw7fzH9V3KXzXWf/?lang=pt> Acesso em: 19 out. 2021.

SOUZA, P. J. P. *et al.* Computação Quântica Adiabática: Do Teorema Adiabático ao Computador da D-Wave. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 43, e20210049, 1-13, mar. 2021. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0049> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/D4nhdQTcJ5x4DsbwMrfcy8R/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 30 set. 2022.

SOUZA, R. S. *et al.* Contributos ao ensino de mecânica quântica a partir da análise da complexidade de questões presentes no ENADE à luz da Taxonomia de Bloom revisada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 42, e20190004, 1-15, nov. 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0004>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/5p7y3tMq8TBrK89LvrKkCHt/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 08 abr. 2022.

SOUZA, R. S. *et al.* Ensino de Mecânica Quântica na licenciatura em Física por meio da História e Filosofia da Ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 914-944, ago. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/74157/47046> Acesso em: 10 set. 2022.

STUDART, N. O legado de Feynman visto por pesquisadores brasileiros. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, e4201, 1-7, maio 2018. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2018-0157> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/kC6Rhzn9N3fwyf3FWpzRvtB/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 20 set. 2022.

SUAVE, R. N.; FERREIRA, E. A.; NOGUEIRA, J. A. Análise da repentina duplicação da largura de um poço quadrado infinito 1-dim: um resultado surpreendente à primeira vista. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20190292, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0292> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/gd7gsqKHMWbmbpBdKTPxRggB/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

TENFEN, D. N.; TENFEN, W. O modelo atômico de Bohr e as suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 1, p. 216-235, abr. 2017. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n1p216>. Disponível em:

[Digite aqui]

<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p216> . Acesso em: 11 dez. 2023.

TONIDANDEL, D. A. V.; ARAÚJO, A. E. A. A função delta revisitada: De Heaviside a Dirac. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 3, p. 3306-9, jul. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173731851> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/SR4zZjrBJ7zX8b8rc4g4wmw/?lang=pt#> Acesso em: 19 out. 2021.

TRANCANELLI, D. Grandezas físicas e análise dimensional: da mecânica à gravidade quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, v. 38, n. 2, e2505, 1-12, fev. 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2015-0003> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/z8ZCRv75nd3Q7jCc9VfL5NK/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 11 ago. 2022.

TRINDADE, J.; FIOLHAIS, C.; GIL, V. Atomic orbitals and their representation: can 3-D computer graphics help conceptual understanding?. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 27, n. 3, p. 319-325, set. 2005. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442005000300004> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/88Bm5K6w3r45rZv6CCv3Tkz/?lang=en#> Acesso em: 10 out. 2021.

VALVERDE, C. *et al.* Alguns aspectos da óptica quântica usando campos luminosos em modos viajantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 37, n. 2, 2311-10, jun. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173721792> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QC6b4YPPBwBNZK9hFzJchpL/?format=pdf&lang=pt> Acesso em: 10 set. 2022.

VASCONCELOS, S. S.; FORATO, T. C. M. Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 35, n. 3, p. 851-887, dez. 2018. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n3p851>. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2018v35n3p851> Acesso em: 11 dez. 2023.

VELÁSQUEZ-TORIBIO, A. M. Teoria da medida, decoerência e a interpretação de Montevideu da mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 44, p. e20210384, 2022. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0384> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/vxwPbjrFTMSMKxKVDcpDtQC/?lang=pt#> Acesso em: 22 out. 2021.

VELLOSO, M.; ACIOLY, V.; SANTOS, A. C. F. Introduzindo o conceito de força do oscilador nas disciplinas iniciais de mecânica quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. e20200209, 2020. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0029> Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/mLvKxt59wgR46pH9TWjhdzJ/?lang=pt> Acesso em: 21 out. 2021.

VIANA, J. D. M. Feynman e as Integrais de trajetória. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 4, 4206-9, fev. 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-> [Digite aqui]

0373 Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/FnVJsyGRRVSBVRV4jW3CX3Nn/?lang=pt&format=pdf>
 Acesso em: 10 out. 2022.

VINCENZO, S. Classical path from quantum motion for a particle in a transparent box. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 36, n. 2, 2313-1-5, maio 2014. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172014000200013> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/ryqCmKBQcgp8ZpGFMJB3r6S/?format=pdf&lang=en> Acesso em: 30 out. 2021.

_____. On time derivatives for $\langle X \rangle$ and $\langle p \rangle$: formal 1D calculations. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 2308-9, abr. 2013. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000200008> Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/262713515_On_time_derivatives_for_X_and_p_for_mal_1D_calculations Acesso em: 16 out. 2021.

YAMASHITA, M. T. Um método numérico para a solução de problemas em física quântica de poucos corpos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 3312.-4, jul. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Xhz9LVZTMLWfC3ySsPtKzJt/> Acesso em: 10 out. 2021.

ZANOTTA, D. C.; CAPPELLETTO, E.; MATSUOKA, M. T. O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 2313, abr. 2011. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172011000200014> Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/rbef/a/Xhz9LVZTMLWfC3ySsPtKzJt/#> Acesso em: 16 out. 2021.

ZILLI, S. R. **A robótica educacional no Ensino Fundamental: perspectivas e prática**. 2004. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30367994.pdf> Acesso em: 10 out. 2021.

APÊNDICE A – ARTIGOS DO CADERNO BRASILEIRO DE ENSINO DE FÍSICA

Os artigos relacionados à Física Quântica listados abaixo foram encontrados na plataforma virtual do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, utilizando os termos definidos pelo autor desta dissertação, no período de vinte anos, de janeiro de 2002 a janeiro de 2022.

Caderno Brasileiro de Ensino de Física			
Nº	Ano de publicação	Volume e número	Título
1	2002	v. 19, n. 2	Uma abordagem sobre a irracionalidade da realidade no problema da observação.
2	2007	v. 24, n 1	Investigando o uso do ciclo da experiência Kellyana na compreensão do conceito de difração de elétrons.
3	2007	v. 24, n 3	Influências da física moderna na obra de Salvador Dalí.
4	2011	v. 28, n. 3	Física Quântica No Ensino Médio: O Que Dizem As Pesquisas.
5	2012	v. 29, n. Esp. 2	Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da física quântica.
6	2015	v. 32, n. 1	Fragments do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade.
7	2015	v. 32, n. 2	Das margens para o centro: Mudanças na pesquisa em fundamentos da mecânica quântica, 1950-1990.
8	2016	v. 33, n. 2	O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional
9	2016	v. 33, n. 3	O livro paradidático no ensino de Física – uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos
10	2017	v. 34, n. 1	O modelo atômico de Bohr e as suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio.
11	2017	v. 34, n. 2	Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio
12	2017	v. 34, n. 2	Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM 2015.
13	2017	v. 34, n. 3	Detectando misticismo quântico em livros publicados no Brasil com Ciência de Dados.

[Digite aqui]

14	2018	v. 35, n. 1	Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de Mach -Zehnder integrado a atividades didáticas.
15	2018	v. 35, n. 3	Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores.
16	2019	v. 36, n. 1	O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz.
17	2019	v. 36, n. 1	O Ensino da Mecânica Quântica no nível médio por meio da abstração científica presente na interface Física-Literatura
18	2020	v. 37, n. 2	Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio.
19	2020	v. 37, n. 2	Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma Arduíno.
20	2021	v. 38, n. 1	Trabalhando a materialidade textual na licenciatura em física: como licenciando(a)s escolhem, analisam e propõem textos para o ensino da teoria quântica.
21	2021	v. 38, n. 2	O experimento da borracha quântica: discutindo o quântico pelo clássico em sala de aula
22	2021	v. 38, n. 2	Ensino de Mecânica Quântica na licenciatura em Física por meio da História e Filosofia da Ciência.
23	2021	v. 38, n. 3	Problemas do discurso de Deepak Chopra: uma análise metalinguística de “A cura quântica”.

APÊNDICE B – ARTIGOS DA REVISTA BRASILEIRA DE ENSINO DE FÍSICA

Os artigos relacionados à Física Quântica listados abaixo foram encontrados na plataforma virtual da Revista Brasileira de Ensino de Física, utilizando os termos definidos pelo autor desta dissertação, no período de vinte anos, de janeiro de 2002 a janeiro de 2022.

Revista Brasileira de Ensino de Física			
Nº	Ano de publicação	Volume e número	Título
1	2002	v. 24, n. 2	Introdução à Teoria Quântica de Campos: do oscilador harmônico ao campo escalar livre.
2	2002	v. 24, n. 4	Mecânica Quântica no Espaço de Fase: I. Formulação de Weyl- Wingner
3	2002	v. 24, n. 4	Mecânica Quântica no Espaço de Fase: II. Estados coerentes
4	2003	v.25, n. 2	Limite Clássico da Mecânica Quântica
5	2003	v.25, n. 2	Os Problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica
6	2003	v.25, n. 3	Um Modelo para Interações entre Quarks: A Redução Não-Relativística em Modelos de Potenciais
7	2004	v. 26, n. 2	Interpretando o algoritmo de Deutsch no interferômetro de Mach-Zehnder
8	2004	v. 26, n. 2	Análise da convergência na Teoria da Perturbação Estacionária
9	2004	v. 26, n. 4	Um livro de Mecânica Quântica ansiosamente esperado
10	2004	v. 26, n. 4	Super-redes semicondutoras: Um laboratório de mecânica Quântica
11	2004	v. 26, n. 4	Oscilação quântica de sabores com pacotes de ondas
12	2005	v. 27, n. 1	Teoria quântica da gravitação: Cordas e teoria M
13	2005	v. 27, n. 1	Gravitação semiclássica
14	2005	v. 27, n. 1	Einstein e a teoria quântica de gases
15	2005	v. 27, n. 1	Teoria quântica do gás ideal monoatômico – segundo tratado
16	2005	v. 27, n. 1	Sobre a teoria quântica da radiação
17	2005	v. 27, n. 2	Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder

[Digite aqui]

18	2005	v. 27, n. 2	Bose e Einstein: Do nascimento da estatística quântica à condensação sem interação II
19	2005	v. 27, n. 2	Bose e Einstein: Do nascimento da estatística quântica à condensação sem interação I
20	2005	v. 27, n. 2	Abordagem epistemológica em um livro-texto sobre mecânica quântica
21	2005	v. 27, n. 2	Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg
22	2005	v. 27, n. 3	Atomic orbitals and their representation: Can 3-D computer graphics help conceptual understanding?
23	2005	v. 27, n. 3	A lei de Planck e a hipótese dos quanta de luz
24	2005	v. 27, n. 4	Introdução à criptografia quântica
25	2005	v. 27, n. 4	Uma discussão sobre oscilações quirais e inversão de spin
26	2006	v. 28, n. 1	Supersimetria, método variacional e potencial de Lennard-Jones (12,6)
27	2006	v. 28, n. 2	Thouless theorem for one and two degrees of freedom
28	2006	v. 28, n. 4	Perturbação paramétrica em mecânica quântica
29	2007	v. 29, n. 1	Extensões auto-adjuntas de operadores em mecânica quântica
30	2007	v. 29, n. 1	O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica.
31	2007	v. 29, n. 3	Quantum statistics: the indistinguishability principle and the permutation group theory
32	2008	v. 30, n. 2	Estados estacionários de partículas sem spin em potenciais quadrados
33	2008	v. 30, n. 2	A formulação dos ‘estados relativos’ da teoria quântica
34	2008	v. 30, n. 3	Um método numérico para a solução de problemas em física quântica de poucos corpos
35	2008	v. 30, n. 3	Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico
36	2009	v. 31, n. 3	Atividade óptica de um meio dielétrico diluídos: Pasteur e as simetrias moleculares
37	2009	v. 31, n. 4	Unusual situations that arise with the Dirac delta function and its derivative
38	2010	v. 32, n. 1	Poço quadrado quântico finito e método de fatorização
39	2010	v. 32, n. 1	Quantização de sistemas hamiltonianos via método de diferenças finitas

[Digite aqui]

40	2010	v. 32, n. 2	The first steps in vision in the classroom
41	2010	v. 32, n. 2	Estudo do poder de frenamento de partículas alfa na matéria
42	2010	v. 32, n. 4	Solução quântica para o poço duplo quadrado unidimensional assimétrico
43	2011	v. 33, n. 2	O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física
44	2011	v. 33, n. 2	O experimento de Stern-Gerlach e o spin do elétron: um exemplo de quasi-história
45	2011	v. 33, n. 3	Teoria algébrica de processos da medida em sistemas quânticos
46	2011	v. 33, n. 3	Uma proposta para o ensino de teoria quântica de campos na graduação: a eletrodinâmica de Maxwell-Chern-Simons como motivação
47	2011	v. 33, n. 4	O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton
48	2011	v. 33, n. 4	Medidas de elétrons livres no vácuo e estatística de Fermi-Dirac
49	2011	v. 33, n. 4	Teoria quântica da informação: impossibilidade de cópia, entrelaçamento e teletransporte
50	2013	v. 35, n. 1	100 anos de supercondutividade e a teoria de Ginzburg-Landau
51	2013	v. 35, n. 1	Introdução à programação quântica
52	2013	v. 35, n. 2	On time derivatives for $\langle X \rangle$ and $\langle P \rangle$: formal 1D calculations
53	2013	v. 35, n. 2	Herch Moysés Nussenzveig e a ótica quântica: consolidando disciplinas através de escolas de verão e livros-texto
54	2013	v. 35, n. 3	Modelo esférico quântico elementar
55	2013	v. 35, n. 3	Sobre a possibilidade da quantização dos fluxos de campo na radiação eletromagnética
56	2013	v. 35, n. 3	As contribuições de John Clauser para o primeiro teste experimental do teorema de Bell: uma análise das técnicas e da cultura material
57	2013	v. 35, n. 3	Função de Wigner-80 anos e as origens da geometria não-comutativa
58	2013	v. 35, n. 3	Angular invariant quantum mechanics in arbitrary dimension
59	2013	v. 35, n. 4	Princípio de ação quântica de Schwinger
60	2013	v. 35, n. 4	Os 100 anos do átomo de Bohr
61	2014	v. 36, n. 1	Modelo clássico para resfriamento atômico: Uma forma pedagógica de entender o problema

[Digite aqui]

62	2014	v. 36, n. 1	A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclassical a uma abordagem quântica
63	2014	v. 36, n. 1	O átomo de Bohr no Ensino Médio
64	2014	v. 36, n. 2	Classical path from quantum motion for a particle in a transparent box
65	2014	v. 36, n. 2	O método numérico de Numerov aplicado à equação de Schrödinger
66	2014	v. 36, n. 2	The double slit experience with light from the point of view of Feynman's sum of multiple paths
67	2014	v. 36, n. 3	Um breve tratado sobre a aproximação paraxial
68	2014	v. 36, n. 3	Sobre o espalhamento Compton inverso
69	2014	v. 36, n. 4	Epistemologia da matéria: Algumas reflexões sobre sua representação e estatuto ontológico
70	2014	v. 36, n. 4	Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto
71	2014	v. 36, n. 4	Many-particle Sudarshan-Lindblad equation: Mean-field approximation, nonlinearity and dissipation in a spin system
72	2015	v. 37, n. 1	Entendendo a entropia de von Neumann
73	2015	v. 37, n. 1	Equivalência entre a mecânica quântica e a mecânica quântica PT simétrica
74	2015	v. 37, n. 2	Alguns aspectos da óptica quântica usando campos luminosos em modos viajantes
75	2015	v. 37, n. 3	Realismo e Localidade em Mecânica Quântica
76	2015	v. 37, n. 3	A função delta revisitada: De Heaviside a Dirac
77	2015	v. 37, n. 3	Jorge André Swieca: Uma figura ímpar na física brasileira
78	2015	v. 37, n. 3	Partículas e antipartículas no cone de luz
79	2015	v. 37, n. 4	Os quanta de luz e a ótica quântica
80	2015	v. 37, n. 4	Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas
81	2015	v. 37, n. 4	O método de Galerkin para a quantização de sistemas Hamiltonianos
82	2016	v. 38, n. 2	Grandezas físicas e análise dimensional: da mecânica à gravidade quântica
83	2016	v. 38, n. 2	A representação de Kraus para a dinâmica de sistemas quânticos abertos
84	2016	v. 38, n. 3	Quantum "Ghosts"
85	2016	v. 38, n. 3	O Efeito Casimir em Teoria das Fontes
86	2016	v. 38, n. 3	Elliptical orbits in the phase-space quantization

87	2016	v. 38, n. 3	On the similarity transformations in second quantized fermion-boson interacting hamiltonian and the BCS theory
88	2016	v. 38, n. 4	Os cem anos do átomo de Sommerfeld
89	2017	v. 39, n. 1	Sobre o método semi-analítico de Chhajlany e Malnev para soluções aproximadas não-perturbativas da Equação de Schrödinger com potencial polinomial par
90	2017	v. 39, n. 1	O Computador Quântico da IBM e o IBM Quantum Experience
91	2017	v. 39, n. 2	Simulação do protocolo BB84 de criptografia quântica utilizando um feixe laser intenso
92	2017	v. 39, n. 4	A relação de incerteza de Maccone-Pati
93	2018	v. 40, n. 1	Os fundamentos quânticos da Ressonância Magnética Nuclear
94	2018	v. 40, n. 2	Operadores-escada generalizados para sistemas quânticos
95	2018	v. 40, n. 3	Mínimo teórico para descrever campos quânticos em equilíbrio termodinâmico
96	2018	v. 40, n. 3	Espalhamento Bhabha: Um Estudo Detalhado
97	2018	v. 40, n. 3	C*-Álgebras e a Descrição da Mecânica Quântica
98	2018	v. 40, n. 4	Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits
99	2018	v. 40, n. 4	Richard Feynman e a QED
100	2018	v. 40, n. 4	Feynman e as Integrais de Trajetória
101	2018	v. 40, n. 4	A Integral de Caminhos: Uma Ponte entre a Mecânica Quântica e a Mecânica Clássica
102	2018	v. 40, n. 4	O legado de Feynman visto por pesquisadores brasileiros
103	2018	v. 40, n. 4	A eletrodinâmica quântica de Feynman – tradução de sua palestra Nobel
104	2018	v. 40, n. 4	Feynman, dissipação e computação quântica
105	2018	v. 40, n. 4	A invenção dos pártons
106	2019	v. 41, n. 1	O que é o Real? A busca inconclusa sobre o significado da física quântica
107	2019	v. 41, n. 1	Estudo teórico de transição quântica de fases em gases bosônicos aprisionados por redes ópticas periódica e quase periódica
108	2019	v. 41, n. 2	O experimento WS de 1950 e as suas implicações para a segunda revolução da mecânica quântica
109	2019	v. 41, n. 2	Realização experimental da simulação do algoritmo de Deutsch com o interferômetro de Mach-Zehnder

[Digite aqui]

110	2019	v. 41, n. 3	von Neumann e a descrição da Mecânica Quântica no espaço de fases
111	2019	v. 41, n. 3	Sobre a ação de Euler-Heisenberg e o espalhamento da luz pela luz
112	2019	v. 41, n. 3	Um Novo Método para o Cálculo do Propagador da Eletrodinâmica
113	2019	v. 41, n. 3	Desvendando a radiação Hawking
114	2019	v. 41, n. 4	Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio
115	2019	v. 41, n. 4	Solução do átomo de hidrogênio usando Supersimetria
116	2019	v. 41, n. 4	A busca por violações da simetria de Lorentz: testando os princípios da relatividade restrita na escala de Planck
117	2019	v. 41, n. 4	O Experimento de Hardy: a mais simples prova da violação do realismo local EPR
118	2020	v. 42	Contributos ao ensino de mecânica quântica a partir da análise da complexidade de questões presentes no ENADE à luz da Taxonomia de Bloom revisada
119	2020	v. 42	Aplicações do cálculo numérico para resolução de equações transcendentais na mecânica quântica
120	2020	v. 42	Teoria Quântica de Átomos em Moléculas
121	2020	v. 42	Análise da repentina duplicação da largura de um poço quadrado infinito 1-dim: um resultado surpreendente à primeira vista
122	2020	v. 42	Uma revisão dos princípios da conversão fotovoltaica de energia.
123	2020	v. 42	Demonstração da geração de ondas eletromagnéticas estacionárias em um cabo coaxial
124	2020	v. 42	Introduzindo o conceito de força do oscilador nas disciplinas iniciais de mecânica quântica
125	2020	v. 42	As visões sobre a ciência e sobre a realidade nos enunciados de Richard P. Feynman: Uma análise metalinguística de alguns de seus textos didáticos e de divulgação científica
126	2020	v. 42	Uma introdução às estrelas estranhas
127	2020	v. 42	Aplicação do formalismo CTP em uma ação com operador pseudo-diferencial
128	2021	v. 43	Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica

[Digite aqui]

129	2021	v. 43	Física de Partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica Quântica
130	2021	v. 43	Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica
131	2021	v. 43	O Interferômetro de Mach-Zehnder e a Escolha Retardada Quântica
132	2021	v. 43	Deduzindo a Equação de Schrödinger Através da Analogia Óptico-Mecânica de Hamilton
133	2021	v. 43	Teoria de Grupos e o Papel das Simetrias em Física
134	2021	v. 43	Equação de Klein-Gordon-Fock para uma partícula sob efeito de campo magnético clássico em coordenadas da frente de luz
135	2021	v. 43	O isomorfismo inesperado entre um sistema de bilhar e um algoritmo quântico
136	2021	v. 43	Computação Quântica Adiabática: Do Teorema Adiabático ao Computador da D-Wave
137	2021	v. 43	Um estudo didático da dinâmica de spins
138	2021	v. 43	Computação quântica: uma abordagem para a graduação usando o Qiskit
139	2021	v. 43	Mecânica Quântica 120 anos: Uma abordagem a partir da medida e de simetrias
140	2021	v. 43	Uma tradução comentada do artigo “A Termodinâmica Oculta das Partículas” de Louis de Broglie
141	2021	v. 43, suppl. 1	Bosons vs. Fermions – A computational complexity perspective
142	2022	v. 44	Diferentes proposições do princípio da incerteza para posição e momentum: integrando formalismo matemático, fenomenologia e interpretações no ensino da teoria quântica
143	2022	v. 44	Teoria da medida, decoerência e a interpretação de Montevideu da mecânica quântica
144	2022	v. 44	Matriz de referência como instrumento de apoio ao professor na condução do ensino de mecânica quântica para a licenciatura em física
145	2022	v. 44	Algoritmos quânticos com IBMQ Experience: Algoritmo de Deutsch-Jozsa

APÊNDICE C – ARTIGOS CLASSIFICADOS COMO “PROPOSTA DIDÁTICA”

Após a análise dos artigos das duas revistas, listados nos Apêndices A e B, foi realizada uma classificação. Na listagem abaixo estão os artigos classificados como "Propostas Didáticas", que apresentam sugestões para o Ensino Médio e algumas para o Ensino Superior. As propostas apresentam abordagens diferentes e foram organizadas nas subcategorias: experimentos e simulações, literatura e arte, e diferentes abordagens, metodologias e recursos.

	Artigo	Tipo de Ensino
1	O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório, e o desenvolvimento de um software computacional	EM
2	O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz	EM
3	Uma abordagem pedagógica no ensino da computação quântica com um processador quântico de 5-qbits	ES
4	Fenômenos intermediários de interferência e emaranhamento quânticos: o interferômetro virtual de Mach-Zehnder integrado a atividades didáticas	ES
5	Espectroscopia óptica de baixo custo: uma estratégia para a introdução de conceitos de física quântica no ensino médio	EM
6	Construção de uma maquete experimental automatizada para a determinação da constante de Planck com o auxílio da plataforma Arduino	SI
7	Medidas de elétrons livres no vácuo e estatística de Fermi-Dirac	ES
8	Atividades de modelagem exploratória aplicada ao ensino de física moderna com a utilização do objeto de aprendizagem pato quântico	EM
9	Atomic orbitals and their representation: Can 3-D computer graphics help conceptual understanding?	EM

[Digite aqui]

10	O modelo atômico de Bohr e suas limitações na interpretação do espectro do átomo de hélio	EM
11	O experimento da borracha quântica: discutindo o quântico pelo clássico em sala de aula	EM
12	Física Quântica na Escola Básica: investigações para a promoção de uma Aprendizagem Conceitual, Histórica e Epistemológica	EM
13	Influências da física moderna na obra de Salvador Dalí	EM
14	Pinturas do Salvador Dalí para introduzir os conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio	EM
15	O Ensino da Mecânica Quântica no nível médio por meio da abstração científica presente na interface Física-Literatura	EM
16	O livro paradidático no ensino de Física – uma análise fabular, científica e metafórica da obra Alice no País do Quantum: A Física Quântica ao alcance de todos	EM
17	Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio	EM
18	Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica	ES
19	Investigando o uso do ciclo da experiência Kellyana na compreensão do conceito de difração de elétron	ES
20	Física de Partículas no ensino médio Parte I: Eletrodinâmica Quântica	EM
21	O átomo de Bohr no Ensino Médio	EM
22	Quantum “Ghosts”	EM

APÊNDICE D – ARTIGOS CLASSIFICADOS COMO “MATERIAL DE APOIO PARA O ENSINO MÉDIO: FORMAÇÃO E ATUAÇÃO DE PROFESSORES”

Após a análise dos artigos das duas revistas, listados nos apêndices A e B, foi realizada uma classificação. Na listagem abaixo estão os artigos classificados como "Material de apoio para o ensino médio: formação e atuação de professores ", que refletem sobre o contexto histórico e as contribuições dos físicos, trabalhos que dissertam sobre as teorias e as diferentes interpretações, formação para interpretação e a utilização do Interferômetro virtual de Mach-Zender e o Princípio da Incerteza. Além de artigos trabalhos oferecem uma revisão de conceitos que amplia e fortalece o conhecimento do professor em sala de aula.

	Artigo	Tema abordado
1	O modelo do grande elétron: o background clássico do efeito Compton	A imagem do físico Compton é frequentemente associada a teoria quântica, no entanto sua biografia apresenta um físico que estudava radiações de altas frequências, que os problemas não dependiam da teoria quântica.
2	As contribuições de John Clauser para o primeiro teste experimental do teorema de Bell: uma análise das técnicas e da cultura material.	O trabalho apresenta o contexto histórico sobre as contribuições de Clauser para testar as desigualdades de Bell e mostra porque o experimento não poderia ter sido realizado anteriormente.
3	Uma nova luz sobre o conceito de fóton: Para além de imagens esquizofrênicas	Conta a história da evolução do conceito de fóton, revisando os experimentos da velha MQ até os experimentos que levaram ao conceito mais sofisticado do fóton.
4	A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semi-clássica a uma abordagem quântica	Disserta sobre a descoberta e explicação do efeito Compton, desde a abordagem clássica até a abordagem quântica e como isso repercutiu na comunidade dos físicos.
5	Das margens para o centro: Mudanças na pesquisa em fundamentos da mecânica quântica, 1950-1990	Relata a história da mudança de pensamento e pesquisa sobre os conceitos de MQ é relatada, destacando a contribuição dos dissidentes quânticos e conexões que até hoje não foram resolvidas.
6	O experimento WS de 1950 e as suas implicações para a segunda revolução da mecânica quântica	Apresenta a importância do experimento para a segunda revolução quântica, sendo o primeiro associado ao entrelaçamento

[Digite aqui]

		quântico e foi desenvolvido por uma mulher em um ambiente dominado por homens.
7	O legado de Feynman visto por pesquisadores brasileiros	Descreve as contribuições, do ponto de vista de pesquisadores brasileiros, de Feynman para a física e ensino de física.
8	Uma tradução comentada do artigo “A Termodinâmica Oculta das Partículas” de Louis de Broglie	Traz um texto histórico original e faz comentários sobre a evolução das ideias de de Broglie sobre a termodinâmica oculta das partículas.
9	Niels Bohr, espectroscopia e alguns modelos atômicos no começo do século XX: um episódio histórico para a formação de professores	Apresenta uma narrativa histórica no intuito de proporcionar uma formação crítica ao docente sobre a física desenvolvida no século XX.
10	Os 100 anos do átomo de Bohr	Aborda o trabalho do físico dinamarquês Niels Bohr, que publicou um dos mais importantes trabalhos da física do século 20. O artigo destaca a relevância do modelo atômico proposto por Bohr, que introduziu um modelo para um átomo de um elétron construído com base em fatos experimentais e na hipótese de quantização de energia de Max Planck.
Esses textos refletem sobre o contexto histórico, as descobertas e contribuições dos cientistas em relação aos fenômenos e conceitos da Física Quântica.		
11	Os Problemas Epistemológicos da Realidade, da Compreensibilidade e da Causalidade na Teoria Quântica	O artigo aborda três problemas, a realidade, a compreensibilidade e a causalidade, bem como a divergência de pensamentos e a influência do positivismo na interpretação de Copenhagen.
12	Teoria quântica da gravitação: Cordas e teoria M	Proporcionar uma discussão sobre a teórica da teoria das cordas, hoje conhecida como teoria M, bem como suas falhas.
13	Elementos de mecânica quântica da partícula na interpretação da onda piloto.	Explana sobre a interpretação da onda piloto, umas das interpretações MQ ignoradas pelos livros didáticos.
14	A formulação dos ‘estados relativos’ da teoria quântica	O texto apresenta a teoria dos estados relativos, apresentada por Everett (1957), que muitas vezes é confundida com a teoria de muitos-mundos na literatura.
15	Fragmentos do paradoxo EPR em um trecho de divulgação científica: uma	Descreve o paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen (EPR), dissertando sobre as

	pesquisa de cunho exploratório com ingressantes na universidade	possibilidades do tema para a física escolar e a introdução de temas de FQ através de textos de divulgação científica.
Estes artigos dissertam sobre as diversas teorias e interpretações da Física Quântica.		
16	O tratamento clássico do interferômetro de Mach-Zehnder: uma releitura mais moderna do experimento da fenda dupla na introdução da física quântica	O trabalho apresenta os detalhes do tratamento matemático do IMZ em regime clássico, com o objetivo de ser uma ponte para discussões do IMZ em regime quântico.
17	Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder	No trabalho os autores analisam o fenômeno de interferência, comparando as diversas interpretações e dando ênfase a interpretação de muitos mundos.
18	Uma abordagem conceitual e fenomenológica dos postulados da física quântica	Discute de maneira qualitativa os postulados da FQ, os conceitos envolvidos, traduzindo o formalismo quântico para professores do EM, são apresentados de forma conceitual e fenomenológica usando o interferômetro Mach- Zehnder.
Estes trabalhos oferecem uma base teórica sólida para interpretação e a utilização do Interferômetro virtual de Mach-Zehnder em sala de aula.		
19	Certezas e incertezas sobre as relações de Heisenberg	O trabalho apresenta e discute o “princípio da incerteza”, desenvolvida por Heisenberg. A exposição ocorre de maneira conceitual apontando referências históricas.
20	Diferentes proposições do princípio da incerteza para posição e momentum: integrando formalismo matemático, fenomenologia e interpretações no ensino da teoria quântica	O artigo discute a importância do Princípio da Incerteza e a falta de abordagem detalhada desse tema nos livros didáticos contemporâneos. E faz uma abordagem do formalismo matemático, fenomenológica e as interpretações. Explicam dois experimentos mentais propostos por Heisenberg e discutem quatro interpretações do princípio. O artigo destaca a importância de trazer fontes primárias para o ensino de Física e propõe uma abordagem pluralista para enriquecer a compreensão do Princípio da Incerteza.
Os artigos contribuem significativamente para a compreensão do Princípio da Incerteza de Heisenberg.		
21	O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física	É apresentada uma discussão histórica e teórica sobre a criação e o funcionamento do

		GPS, a correção temporal e uma proposta de atividade prática.
22	O Computador Quântico da IBM e o IBM Quantum Experience	Apresenta características e funcionalidades do IBM (computador quântico), como divulgação científica e o uso da plataforma IBM Quantum Experience como uma proposta didática.
23	Mecânica Quântica 120 anos: Uma abordagem a partir da medida e de simetrias	Apresenta a revisão de conceitos estruturantes da MQ, mostrando a importância experimental, teórico e algébrica.
24	Os quanta de luz e a ótica quântica	Discute a radiação do corpo negro, lei de Planck, a teoria da emissão induzida, o maser, o laser e a revolução conceitual da ótica quântica. *
Os trabalhos oferecem uma revisão de conceitos que amplia o conhecimento do professor		

APÊNDICE E - QUADROS DOS MÓDULOS DIDÁTICOS

A partir das propostas desenvolvidas pelos licenciandos que está no Anexo 1, confeccionei os quadros abaixo contendo os módulos I, II e III, respectivamente, com o objetivo de padronizar a formatação, organizar visualmente e facilitar na confecção do ebook.

Quadro 1: Módulo Didático 1

MÓDULO DIDÁTICO I – 8 aulas	
<p>Sugestão: O Módulo Didático pode ser aplicado no 1º ano do Ensino Médio, mas também pode ser integrado em projetos interdisciplinares com o aprofundamento dos Itinerários Formativos.</p> <p>Conteúdo programado: Teorias da evolução atômica até o modelo de Schrödinger, implicações que os modelos trouxeram a física século XX, quantização de energia, Efeito Compton, Efeito Fotoelétrico, Princípio da Incerteza de Heisenberg.</p>	
AULA: 1	OBJETIVO: Apresentar a evolução dos modelos atômicos.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar o modelo pré-socráticos (5 elementos), o pensamento de partícula de Sócrates, o átomo de Dalton, Thomson, Rutherford, Bohr. • As camadas energéticas. • Átomo quântico e as partículas prótons, nêutrons e elétrons. • Atribuir trabalho. 	<p>Preparação para aula (10 minutos). Desenvolvimento da aula (40 minutos). Separar os grupos e realizar uma leitura guiada sobre a evolução dos modelos atômicos, utilizando para isso a <i>primeira parte</i> da História em Quadrinhos “Os moídos e peijas desde o átomo clássico até o átomo quântico”. É importante relatar as dificuldades encontradas pelos cientistas a cada descoberta e resultados experimentais que não condiziam com as explicações daquela época. Separar 4 grupos para pesquisar e montar maquetes dos modelos atômicos. Orientar cada grupo sobre os trabalhos a serem desenvolvidos, a data e tempo para apresentação do trabalho.</p>
AULA: 2	OBJETIVO: Introduzir o conceito de quantização de energia.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Ler a segunda parte do texto “Os moídos e peijas desde o átomo clássico até o átomo quântico”. • Contextualizar a evolução dos modelos atômicos. • Apresentar de forma visual o efeito fotoelétrico. • Trabalhar o conceito de quantização de energia. 	<p>Preparação para a aula (10 minutos). Desenvolvimento da aula (40 minutos). Separar novamente os grupos e realizar a leitura guiada da <i>segunda</i> parte da HQ “os moídos e peijas desde o átomo clássico até o átomo quântico”, que aborda a evolução atômica a partir da ideia da quantização de energia proposta por Planck. A HQ não trata especificamente dos conceitos de efeito fotoelétrico e do efeito Compton, mas pode ser usada como material de apoio para introduzir, potencializando a compreensão destes fenômenos. Mostrar o efeito fotoelétrico usando a simulação do PHET Colorado (https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric) e enfatizar o conceito de quantização de energia.</p>
AULA: 3	OBJETIVO: Reconhecer e diferenciar o efeito Compton do efeito fotoelétrico.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Estudar o efeito Compton 	Preparação para a aula (10 minutos).

[Digite aqui]

<ul style="list-style-type: none"> Abordar as diferenças entre o efeito Compton e o efeito fotoelétrico. 	<p>Desenvolvimento da aula (40 minutos). Retomar a ideia de quantização de energia da HQ para explicar o efeito fotoelétrico. É interessante mostrar novamente a simulação do PHET Colorado para explicar o efeito fotoelétrico. Explicar o efeito Compton utilizando a simulação (http://physics.bu.edu/~duffy/semester2/c35_compton.html) enfatizar a quantização de energia e diferenciando-o do efeito fotoelétrico.</p>
AULA: 4	OBJETIVO: Revisar os conceitos de cada modelo atômico e discutir a influência de de Broglie e de Arthur Compton na física quântica.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Retomar a discussão sobre os modelos atômicos. Evidenciar o papel de figuras importantes como de Broglie e Arthur Compton. Atividade de fixação. 	<p>Preparação para a aula (15 minutos). Retomar as ideias abordadas na HQ e em seguida os alunos devem expor a pesquisa realizada que foi atribuída como trabalho na Aula 1. Desenvolvimento da aula (35 minutos). Nesta aula será realizada a apresentação da pesquisa teórica em grupo. Os alunos devem expor um apanhado geral modelos atômicos, dos cientistas e da evolução do conhecimento sobre a estrutura da matéria na época. Esta aula deverá enfatizar o modelo atômico e a influência de de Broglie e Arthur Compton para a mecânica quântica. O objetivo é extrair o que foi compreendido pelos estudantes sobre o processo de evolução das teorias atômicas e sanar as dúvidas quando houver. Para finalizar, o professor pode organizar um jogo no Kahoot, ou outra atividade da sua preferência, sobre os conceitos de evolução dos modelos atômicos, o efeito Compton, o efeito fotoelétrico e disponibilizar para os alunos. <https://kahoot.it/challenge/0329173?challenge-id=98c6afaa-c4fe-44d0-ad71-d1dc4902f3bb_1671489582881></p>
AULA: 5	OBJETIVO: Estudar o modelo quântico e introduzir o conceito de orbitais.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Estudar o modelo atômico de Schrödinger. Diferenciar os modelos de Bohr e Schrödinger. 	<p>Preparação para a aula (15 minutos). Leitura guiada da parte final do texto “Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico” que dá ênfase no modelo atômico desenvolvido por Erwin Schrödinger. Desenvolvimento da aula (35 minutos) Após a leitura, aprofundar as ideias de de Broglie e do átomo quântico de Schrödinger, destacando as contribuições de cada um para a compreensão da estrutura atômica. Utilizar a simulação virtual "Modelos Atômicos de Hidrogênio" para ilustrar exemplos práticos, incluindo o modelo de Schrödinger e o modelo de Bohr, e demonstrar a diferença entre eles. Incentivar a participação dos alunos durante a demonstração. Simulação disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/hydrogen-atom</p>

[Digite aqui]

AULA: 6	OBJETIVO: Introduzir o princípio da Incerteza.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar obras de arte dos pintores Víctor Molev e Salvador Dalí • Estimular os alunos a fazerem observações sobre as obras e associar as observações à ideia de incerteza. 	<p><i>Preparação para a aula (20 minutos).</i> Reserve esse tempo para apresentar brevemente a biografia e o contexto artístico de Victor Molev, para que os alunos compreendam melhor suas obras. Mostre também algumas obras de arte de Salvador Dalí que abordem a ideia de incerteza e ilusão, para criar um contraste interessante com as obras.</p> <p><i>Desenvolvimento da aula (30 minutos).</i> Ao introduzir o conceito de Princípio da Incerteza de Heisenberg, comece com uma explicação clara e simples do princípio, antes de conectar com as obras de arte de Molev e Dalí. Isso ajudará os alunos a compreender melhor a conexão entre arte e física quântica. Incentive os alunos a fazer comparações entre as obras de Molev e Dalí, destacando como cada um deles aborda a ideia de incerteza de maneiras diferentes. Além disso, considere incluir atividades práticas, como pedir aos alunos que criem suas próprias obras de arte inspiradas no conceito de incerteza, ou realizar uma discussão em grupo sobre as diferentes percepções das obras de Molev e Dalí. Isso pode ajudar a envolver os alunos e aprofundar sua compreensão do tema.</p>
AULA: 7	OBJETIVO: Aprofundar os conceitos do Princípio da Incerteza.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Estudar a obra "Mercado de escravos com o busto de Voltaire" de Salvador Dalí. • Relacionar a obra com o Princípio da Incerteza de Heisenberg. 	<p>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos) Introdução (5 minutos) Apresentar a obra "Mercado de escravos com o busto de Voltaire" de Salvador Dalí. Estimular os alunos a analisar de forma crítica a obra e refletir sobre o conceito de incerteza. Discussão da obra (25 minutos) Iniciar a discussão fazendo perguntas chaves que estimulem a reflexão dos alunos, como: O que vocês percebem ao olhar para a obra? Como a obra de Dalí representa o conceito de incerteza? Como a perspectiva influencia a nossa percepção da realidade? Qual a mensagem que a obra transmite sobre a incerteza e a mudança de perspectiva? Como a interpretação da obra pode mudar quando observada de diferentes ângulos, e como isso se relaciona com a incerteza de Heisenberg? De que forma a obra de Dalí desafia a ideia de uma realidade estável e previsível, relacionando-se com o conceito de incerteza?</p> <p>Atividade prática (15 minutos) Propor uma atividade prática em que os alunos criem sua própria obra de arte que represente o conceito de incerteza e a mudança de perspectiva. Se essa proposta foi executada na aula anterior,</p>

[Digite aqui]

	os alunos devem apresentar suas obras e explicar como elas refletem o conceito discutido. Conclusão (5 minutos) Fazer uma breve recapitulação da discussão e atividade prática Reforçar a importância de refletir sobre a incerteza e a mudança de perspectiva para compreender a FQ.
AULA: 8	OBJETIVO: Avaliar a aprendizagem nas apresentações dos trabalhos em grupo.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Responder o Quiz • Apresentação das maquetes • Jogo educativo 	<p>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)</p> <p>Visando iniciar a aula de maneira interativa e descontraída, sugere-se elaborar um Quiz sobre o conteúdo abordado durante o módulo para que os alunos respondam.</p> <p>Em seguida, expor as maquetes e cada grupo apresentar o que foi desenvolvido pelo grupo (trabalho da aula 1).</p> <p>Após as apresentações, propõe-se a realização de um jogo de tabuleiro, onde cada grupo terá que responder a 7 perguntas corretamente para finalizar a “corrida”. As regras do jogo incluem a definição da ordem de respostas por sorteio, e a progressão no tabuleiro de acordo com as respostas corretas. Caso a resposta seja incorreta, a vez passa para o próximo grupo. O jogo prosseguirá até que todas as perguntas sejam respondidas e todos os grupos alcancem a “linha de chegada”. Ao final, poderá ser realizada uma premiação, a critério do professor.</p>
<p>REFERÊNCIAS:</p> <p>FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. Tópicos de Física Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, ensinados à luz de uma unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.</p> <p>FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.</p> <p>UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. PHET Interactive simulations. Simulações interativas para ciências e Matemática. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric> Acesso em: 19 dez 2022.</p> <p>Kahoot. What is Kahoot, 2018. Disponível em: <https://kahoot.it/> Acesso em: 19 de dez 2022.</p> <p>Victor molev pixels. disponível em <https://victor-molev.pixels.com/collections/illusory+portraits> Acesso em 19 dez 2022.</p> <p>slave market with the disappearing bust of voltaire. Disponível em: <http://archive.thedali.org/mwebcgi/mweb.exe?request=record;id=123;type=101> Acesso em 19 dez 2022.</p> <p>Experimento feito Compton por: Arts and Science. Disponível em: <http://physics.bu.edu/~duffy/semester2/c35_compton.html> Acesso em 19 dez de 2022.</p>	

Quadro 2: Módulo Didático 2

MÓDULO DIDÁTICO II – 8 aulas

[Digite aqui]

<p>Sugestão: O Módulo Didático é sugerido para aplicar no 2º ano do Ensino Médio, mas também pode ser integrado em projetos interdisciplinares com os aprofundamentos dos Itinerários Formativos.</p> <p>Conteúdo programado: Radiação de Corpo Negro, Dupla-Fenda, Dualidade Onda-Partícula e Princípio da Incerteza.</p> <p>Vídeo de apoio ao professor: Por Que Precisamos da Dualidade Onda-Partícula?</p>	
AULA: 1	OBJETIVO: Contextualizar o desenvolvimento da Física Quântica.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Contextualizar a história da Física Quântica. • Mostrar os fenômenos que a Física Clássica não conseguiu explicar e deram origem a Física quântica. • Apontar as diferenças entre o mundo macro e o mundo quântico. 	<p><i>Preparação para a aula (10 minutos)</i> Comece a aula com uma pergunta provocativa ou um breve vídeo que desperte a curiosidade dos alunos sobre o tema a ser abordado, como: Você já parou para pensar por que a física clássica não conseguia explicar certos fenômenos microscópicos? O que será que os físicos do século passado descobriram que mudou nossa compreensão do mundo subatômico?</p> <p><i>Desenvolvimento da aula (40 minutos)</i> Contextualizar a história abordando as dificuldades encontradas pelos físicos ao tentar compreender os fenômenos experimentais do mundo microscópico. Explicar os pontos onde a física clássica não conseguiu explicar os entes estudados. Sugere-se usar simulações para demonstrar o efeito fotoelétrico, contextualizando os acontecimentos de acordo com a Teoria Clássica e Quântica. Outra sugestão é usar também o gráfico Rayleigh-Jeans construído a partir das Teorias Clássicas e comparar com o gráfico dos resultados experimentais. É interessante ressaltar que os cientistas da época estavam receosos com tudo que estava acontecendo e que Planck inclusive chegou a se questionar se a introdução da constante h (constante de Planck) era apenas um artifício matemático ou se realmente havia um significado mais profundo.</p>
<p>OBSERVAÇÕES: O professor pode usar a simulação do Phet Colorado para explicar sobre a radiação do corpo negro, concatenando com o assunto da próxima aula. Comentário pedagógico: A contextualização do trabalho é uma forte aliada na relação do professor/aluno e se faz necessário quando o assunto abordado é denso e complexo, no caso específico a maioria dos alunos desenvolvem um preconceito com o conteúdo de física (geralmente após o primeiro ano do ensino médio). A contação da história da ciência também envolve os estudantes, fugindo da ideia de que a física está envolta somente de fórmulas e cálculos. O artigo Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica traz uma breve descrição do contexto histórico e alguns trechos podem ser usados na aula.</p>	
AULA: 2	OBJETIVO: Compreender o espectro eletromagnético.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Estudar o espectro eletromagnético. • Analisar a simulação virtual da Radiação do Corpo Negro. • Pesquisar sobre radiação de Corpo Negro 	<p><i>Preparação para a aula (20 minutos)</i> Apresentar o espectro eletromagnético completo, explicando as escalas das frequências e comprimentos de ondas, além de destacar a diferença entre radiações ionizantes e não-ionizantes, e relacioná-las com exemplos do cotidiano.</p> <p><i>Desenvolvimento da aula (30 minutos)</i> Demonstrar da simulação do Espectro do Corpo Negro na plataforma Phet Colorado, estimulando os alunos a observarem e discutirem os resultados da simulação.</p>

[Digite aqui]

	<p>https://phet.colorado.edu/sims/html/blackbody-spectrum/latest/blackbody-spectrum_all.html?locale=pt_BR</p> <p>Promover uma discussão em sala de aula para que os alunos construam hipóteses a partir dos resultados da simulação virtual.</p> <p>Deliberar um tempo para que os alunos pesquisem sobre a radiação de corpo negro, leiam sobre o assunto ou assistam algum vídeo, buscando respostas para explicar a simulação. O docente pode indicar materiais científico para os alunos.</p>
<p>Comentário pedagógico: Introduzir conceitos com calma e de maneira elaborada pode fortalecer a aprendizagem significativa. A simulação virtual é uma maneira acessível de construir aulas com possíveis resultados de aulas práticas, no entanto com custo zero. As ilustrações podem incitar debates futuros e estimular os alunos a criar hipóteses.</p>	
AULA: 3	OBJETIVO: Compreender a radiação do corpo negro
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Abordar o contexto histórico. • Apresentar o tema: o que é o corpo negro? 	<p><i>Preparação para a aula (20 minutos)</i></p> <p>Contextualização a história da origem do conceito, evolução das ideias até chegar à Física Moderna e sua importância para ciência.</p> <p>Estímulo aos alunos para participarem, expondo o que aprenderam com a pesquisa da aula anterior.</p> <p><i>Desenvolvimento da aula (30 minutos)</i></p> <p>Introdução aos conceitos de Corpo Negro: absorção versus reflexão da luz.</p> <p>Utilização de imagens ilustrativas e simulação do Phet Colorado para tornar o conteúdo mais visual e interativo.</p>
<p>Comentário pedagógico: Apenas a introdução do assunto é necessária, uma vez que aprofundar mais que o proposto pode confundir e desanimar os estudantes. O tema abordado nessa aula é a continuidade das pesquisas realizadas previamente pelos alunos, assim os alunos podem expor o que foi pesquisado e sanar as dúvidas.</p>	
AULA: 4	OBJETIVO: Introduzir a Dualidade onda-partícula.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Problematicar sobre a dualidade onda-partícula. • Caracterizar uma onda e uma partícula. • Ler o texto: Teoria corpuscular x Teoria Ondulatória. (https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/BlocoXI-Dualidade.pdf) 	<p><i>Preparação para a aula (10 minutos)</i></p> <p>Realizar a problematização inicial, instigando os alunos com perguntas do tipo: “Você conhece algo que pode ser duas coisas ao mesmo tempo?”</p> <p>Em seguida, mostrar como o estudo da natureza da luz colocou em prova a teoria vigente e precisou da criação de uma nova teoria para conseguir explicar.</p> <p><i>Desenvolvimento da aula (40 minutos)</i></p> <p>Apresentar as características de uma onda e de uma partícula.</p> <p>Estimular a imaginação. Ex.: Imagine que vive em um mundo sem computadores e celulares e quer contar uma novidade para um amigo que mora em outra cidade. O que pode fazer? Escrever uma carta é uma opção. Para a mensagem chegar ao destino, essa carta física deve ser enviada, viajar até à casa da outra pessoa, para que ela possa receber e ler a mensagem.</p> <p>Mas atualmente poderia, por exemplo, mandar um e-mail. A mensagem chegaria da mesma maneira, mas sem a necessidade de uma carta física ir até o local, uma vez que quem se desloca são as ondas eletromagnéticas, e não a partícula.</p>

[Digite aqui]

	<p>A luz é onda ou partícula?</p> <p>Mostre que esse questionamento existe desde antes do surgimento da Física Moderna com leitura do texto “Teoria corpuscular x Teoria Ondulatória”</p> <p>Após a leitura, dividir a turma em dois grupos e organizar um debate, cada grupo irá defender uma teoria. Um grupo ficará responsável em defender a teoria corpuscular e o outro a teoria ondulatória.</p> <p>Sugestão: os alunos podem pesquisar sobre os (as) cientistas que defendiam cada ideia e assumir os papéis desses personagens.</p>
<p>OBSERVAÇÕES:</p> <p>Para a elaboração desta aula, foi utilizado um material desenvolvido em uma parceria entre a Universidade de São Paulo e Professores da Rede Pública de Ensino do Estado, parte integrante do trabalho de BROCKINGTON (2005) e o texto do arquivo da Laboratório de Pesquisa em Ensino de Física da Faculdade de Educação da USP, disponível em <https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/BlocoXI-Dualidade.pdf></p>	
AULA: 5	OBJETIVO: Debater sobre a Dualidade onda - partícula
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Organizar as perguntas para o debate. Organizar e mediar o debate. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula: 50 minutos</i></p> <p>Esta aula será dinâmica e os alunos assumem o papel de protagonistas, o professor irá apenas estimular o debate com as perguntas e mediar quando necessário, de tal forma que possa avaliar os alunos em grupo e individualmente.</p>
<p>Comentário pedagógico: Nessa etapa o professor consegue perceber a dedicação a pesquisa pelos argumentos usados para defender, além de perceber se o discente compreendeu o conteúdo pela coerência das falas.</p>	
AULA: 6	OBJETIVO: Introduzir conceitos de interferência construtiva e destrutiva.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Montar o experimento. Preparar as perguntas para roda de conversa. Organizar e mediar a roda de conversa. 	<p>Como inspiração para o primeiro experimento, sugere-se usar o trabalho de OLIVEIRA et al (2019), por ser considerado de fácil reprodução, de baixo custo e com resultado satisfatório.</p> <p><i>Preparação da aula: 20 minutos</i></p> <p>Os alunos devem ser instruídos a manusear, observar o experimento e levantar hipóteses dos acontecimentos.</p> <p><i>Desenvolvimento: 30 minutos</i></p> <p>A sugestão é que o professor faça uma roda de conversa e aborde o que foi observado durante experimento. Se possível verificar as hipóteses levantadas e ainda analisar o conhecimento dos alunos sobre ondas mecânicas e eletromagnéticas, fenômenos de interferência construtiva e destrutiva.</p>
<p>Comentário pedagógico: O tempo reservado para o reconhecer o experimento, sem que haja uma explicação logo de início incentiva os alunos a tentar compreender e trabalhar a percepção.</p>	
AULA: 7	OBJETIVO: Trabalhar os conceitos de interferência construtiva e destrutiva e a dualidade onda-partícula.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> Trabalhar as simulações de interferência construtiva e destrutiva. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula: 50 minutos</i></p> <p>Explicar o fenômeno da interferência de ondas e utilizar a simulação do experimento da fenda dupla disponível gratuitamente no site do Phet Colorado (https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt_BR) para</p>

[Digite aqui]

<ul style="list-style-type: none"> • Explicar conceitos de interferência construtiva e destrutiva • Abordar o que acontece no experimento de dupla fenda e contextualizar com a dualidade onda-partícula. • Trabalhar a radiação do corpo negro. 	<p>ilustrar esse processo, manuseando para demonstrar o comportamento dual da luz, com as interferências construtivas e destrutivas. Em seguida, realizar uma exploração do problema da dualidade onda-partícula, mostrando como a luz pode se comportar tanto como onda (observado nas interferências) quanto como partícula. Estimular os alunos a comparar a simulação do Phet com o experimento realizado na aula da aula 6. Revisar os conceitos de radiação de corpo negro, ressaltando que a explicação desse fenômeno só foi possível quando a luz foi tratada como partícula, evidenciando os indícios da dualidade onda-partícula.</p>
<p>Comentário pedagógico: É interessante fazer uma ligação entre todas as aulas do módulo, de maneira que o conteúdo programático seja evidenciado e cumprido, envolvendo os alunos e mostrando que as ações têm um objetivo.</p>	
<p>AULA: 8</p>	<p>OBJETIVO: Aprofundar sobre o conceito de Princípio da Incerteza</p>
<p>ROTEIRO</p>	<p>METODOLOGIA</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Montar o experimento. • Organizar as perguntas para estimular os alunos a levantar hipóteses. • Mediar as hipóteses. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula: 50 minutos</i></p> <p>Para esta aula, será necessário levar novamente o experimento utilizado na aula 6, que consiste em um pote com água, juntamente com uma miçanga pequena e leve.</p> <p>O objetivo é realizar o mesmo experimento, porém desta vez com a adição da miçanga na água para que ela se propague junto com a onda. Os alunos serão convidados a palpitar em que lugar a miçanga vai chegar, e o experimento será repetido diversas vezes. Na maioria das vezes, a miçanga chegará ao mesmo ponto, mas em outras ocasiões, ela poderá alcançar lugares diferentes.</p> <p>Durante a realização do experimento, o professor deverá enfatizar o Princípio da Incerteza, reforçando e expandindo o conteúdo trabalhado no Módulo 1 até chegar à ideia da natureza probabilística dos fenômenos quânticos.</p>
<p>Comentário pedagógico: Incentivar a participação do aluno como protagonista, observador que sugere hipóteses em todas as atividades.</p>	
<p>REFERÊNCIAS:</p> <p>https://sites.usp.br/nupic/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/BlocoXI-Dualidade.pdf</p> <p>DE OLIVEIRA, Paulo José Pereira et al. Aprendendo Física moderna por meio de um experimento de baixo custo: um relato de aula prática. ScientiaTec, v. 6, n. 1, p. 90-105, 2019. Disponível em < https://periodicos.ifrs.edu.br/index.php/ScientiaTec/article/view/3277/pdf ></p> <p>BROCKINGTON, Guilherme. A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio. São Paulo: Dissertação de Mestrado IFUSP, 2005.</p>	

Quadro 3: Módulo Didático 3

<p>MÓDULO DIDÁTICO III – 8 aulas</p>
<p>Sugestão: O Módulo Didático pode ser aplicado nas disciplinas eletivas (como projeto) ou no 3º ano do Ensino Médio.</p>
<p>Conteúdo programado: Notações da mecânica quântica, princípio da Incerteza, exemplos e personagens importantes, equações de Schrödinger.</p>

[Digite aqui]

AULA: 1	OBJETIVO: Pesquisar sobre as figuras que contribuíram para a Física Moderna e para a sociedade atual.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar o tema. • Dividir os grupos. • Orientar a pesquisa, organização do trabalho e tempo de apresentação. 	<p><i>Preparação para a aula (10 minutos)</i> Apresentar o tema do trabalho: “Física Moderna: das figuras importantes a suas contribuições para a sociedade”. O trabalho terá dois temas em destaque:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Os personagens importantes para a Física Moderna: Max Planck; Albert Einstein; Niels Bohr; Werner Heisenberg; Wolfgang Pauli; Paul Dirac; Erwin Schrödinger; Marie Curie. 2. As contribuições dos avanços da Física Moderna para a sociedade (trazer exemplos do cotidiano): GPS, leitor de Código de barras, efeito fotoelétrico, radiação (raio-x), nanotecnologia, entre outros. <p>A proposta é dividir a turma em grupos (a quantidade de grupos ficará a cargo do professor, dependendo do tamanho da turma). Uma parte dos grupos ficará responsável pelo tema 1 e a outra parte ficará responsável pelo tema 2.</p> <p><i>Desenvolvimento da aula (40 minutos)</i> O professor pode deixar esse tempo para que os alunos possam organizar o trabalho e a pesquisa, além de orientar os grupos.</p>
AULA: 2	OBJETIVO: Apresentar as pesquisas realizadas pelos grupos.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Organizar as apresentações dos grupos. • Preparar perguntas. • Mediar as dúvidas apresentadas. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)</i> Apresentar os trabalhos sobre o tema 1. Os personagens importantes para a Física Moderna: Max Planck; Albert Einstein; Niels Bohr; Werner Heisenberg; Wolfgang Pauli; Paul Dirac; Erwin Schrödinger; Marie Curie. É importante estimular que todos os integrantes dos grupos e a turma participem.</p>
AULA: 3	OBJETIVO: Apresentar as pesquisas realizadas pelos grupos.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Organizar as apresentações dos grupos. • Preparar perguntas. • Mediar as dúvidas apresentadas. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)</i> Apresentar os trabalhos sobre o tema 2. As contribuições dos avanços da Física Moderna para a sociedade (trazer exemplos do cotidiano): GPS; leitor de Código de barras; efeito fotoelétrico; radiação (raio-x); nanotecnologia entre outros. É importante estimular que todos os integrantes dos grupos e a turma participem.</p>
AULA: 4	OBJETIVO: Introduzir a equação de Schrödinger.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Recapitular quem foi Erwin Schrödinger. • Caracterizar a equação de onda de Schrödinger. 	<p>A proposta é apresentar as equações de Schrödinger, sem aprofundar no formalismo matemático, sendo essa aula mais expositiva.</p> <p><i>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)</i> Recapitular quem foi Erwin Schrödinger, seus pensamentos e ideias. (Uma sugestão é mencionar o que o grupo apresentou sobre ele). Em seguida, apresentar a equação, buscando mostrar</p>

[Digite aqui]

	o que levou a construção dela, bem como, a sua importância para a Física.
OBSERVAÇÕES: Utilizando a experiência mental do Gato de Schrödinger como referência, é proposta uma atividade prática para ilustrar o conceito de superposição de estados. Neste caso, o professor(a) pode utilizar uma moeda, com uma face representando "cara" e a outra "coroa". A ideia é que os alunos não vejam qual face a moeda caiu. Após o lançamento da moeda, o professor(a) pergunta “Qual lado a moeda caiu?” e os alunos expressam o que eles acham sem olhar. Em seguida, o professor(a) permite que os alunos vejam qual foi a face da moeda que ficou para cima e verifica quais alunos acertaram.	
AULA: 5	OBJETIVO: Estudar a equação de Schrödinger, independente do tempo.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar a equação de onda de Schrödinger. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)</i> Apresentar a equação independente do tempo pode facilitar a compreensão de sua relação com outros temas, como o oscilador harmônico, energia mecânica e a relação de de Broglie. Será detalhada cada parte da equação para elucidar sua importância e conexões com esses conceitos.</p>
OBSERVAÇÕES: Uma forma de apresentar as equações de Schrödinger é relacioná-las com outros temas, por exemplo, fazer analogia com a energia mecânica, como a relação de de Broglie e com o oscilador harmônico.	
AULA: 6	OBJETIVO: Introduzir a Notação de Dirac para a MQ.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Mostrar o experimento da fenda dupla (Phet Colorado). • Introduzir a notação de Dirac usada na MQ de EM. 	<p>A aula será dividida em duas etapas. <i>Preparação para a aula (25 minutos)</i> Na primeira parte revisar os conceitos do experimento de fenda simples, fenda dupla e relacionar novamente o Princípio da Incerteza. <i>Desenvolvimento da aula (25 minutos)</i> Na segunda parte, introduzir as ideias iniciais que levou Paul Dirac a propor uma notação para a mecânica quântica. (Sugestão: mencionar o grupo que falou sobre Paul Dirac)</p>
OBSERVAÇÕES: Uma sugestão para o docente trabalhar a notação de Dirac é abordada no trabalho “O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz.”	
AULA: 7	OBJETIVO: Explicar a Notação de Dirac para a MQ.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Explicar a notação de Dirac para explicar o que ocorre no experimento da fenda dupla, contextualizando a interpretação. 	<p><i>Preparação e desenvolvimento da aula (50 minutos)</i> A notação de Dirac será utilizada para explicar o experimento de dupla fenda. Os autores do trabalho sugerido na aula 6, se baseiam nos trabalhos de Richard Feynman e seus colaboradores, utilizando o livro “Lições de Física”. Tanto o trabalho quanto o livro, introduzem a notação de Dirac de uma forma mais simples aos alunos, para que eles consigam compreender o que são os Brackets (Bras e Kets), sem exigir um nível matemático avançado.</p>
REFERÊNCIAS: Artigo “O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz.”	

[Digite aqui]

AULA: 8	OBJETIVO: Concluir o tema e avaliar os alunos.
ROTEIRO	METODOLOGIA
<ul style="list-style-type: none"> • Atividade avaliativa 	<p>Para finalizar o MDIII o docente pode dividir a turma em duplas e entregar uma atividade que deve ter perguntas dos temas que foram abordadas nas aulas anteriores. A sugestão é que a turma vá respondendo as questões uma por vez, antes de passar para próxima pergunta cada dupla expõe suas respostas e o professor pode mediar e sanar caso surja alguma dúvida.</p>
<p>REFERÊNCIAS: UNIVERSITY OF COLORADO BOULDER. PHET Interactive simulations. Simulações interativas para ciências e Matemática. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_all.html?locale=pt_BR> FERREIRA, D. C.; SOUZA FILHO, M. P. O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 36, n. 1, p. 302–329, abr. 2019. DOI: 10.5007/2175-7941.2019v36n1p302. Disponível em: https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2019v36n1p302 . Acesso em: 11 dez. 2023.</p>	

ANEXO A – TRABALHO FINAL DO MÓDULO DIDÁTICO DESENVOLVIDO PELOS LICENCIANDOS DE FÍSICA DA UFU

Este trabalho foi desenvolvido em conjunto pelos licenciandos do quinto período do curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), ao término da aplicação da sequência didática desenvolvida em colaboração pela autora desta dissertação e pela professora da disciplina, orientadora deste trabalho. A descrição das 24 aulas do Módulo Didático está integralmente apresentada tal como foi entregue neste anexo.

1 Introdução

No tempo presente, a realidade do cenário educacional para o ensino de Física é um currículo pautado no ensino da teoria clássica, como a mecânica e a termodinâmica clássica e o eletromagnetismo. Esta realidade vem sendo criticada e questionada há tempos, como pode-se ver no trabalho desenvolvido por Pinto e Zanetic (1999, p.7): “Estamos nos aproximando do final do século XX e a Física nele desenvolvida está longe de comparecer às aulas de nossas escolas.”.

Algumas mudanças aconteceram, já que alguns livros didáticos abordam temas da Física Moderna, mesmo que de maneira resumida. Porém, só isso não é suficiente para que essa temática seja de fato introduzida no currículo e faça parte do conhecimento dos estudantes da educação básica.

O não ensinamento da Física Moderna nas escolas causa uma defasagem no acompanhamento do desenvolvimento desta área, que é tão importante e está presente no cotidiano de todos, seja por meio de lasers, computadores, o uso de um LED ou do GPS.

Outros sim, com o surgimento de uma área da física totalmente nova, o estudo do mundo microscópico se tornou popular pelo choque que trouxe à sociedade científica e à população em geral, com isso era inevitável que não surgissem mal-entendidos acerca desses conceitos recém introduzidos. Pessoa JR (2011) retrata justamente essa interposição de fatos que se tornaram inverdades totalmente fora do proposto pela ciência, pontuando que esse fenômeno cultural denominado misticismo quântico, que utiliza de conceitos físicos para propor conselhos relacionados ao trabalho da mente humana e conexão de consciências e escolhas. É essa discrepância da realidade que precisa ser reparada, uma vez que a popularização do misticismo quântico faz com que os alunos que venham a se deparar com a física moderna façam esse tipo [Digite aqui]

de associação automaticamente e esqueçam do conteúdo científico por trás, impedindo, em um caso mais extremo e a longo prazo, a evolução da física moderna.

Apesar dos fatos citados anteriormente serem muito atuais, no século passado, um dos principais precursores da física moderna desacreditou de muito do que vinha sendo desenvolvido e a sua curiosidade e questionamentos levaram aos conhecimentos que temos hoje. Segundo Martins(2005), Einstein estudava a teoria a respeito da relatividade já feita por Lorentz e Poincaré e achava absurdo a consideração do éter em tais materiais, adotando uma visão empirista que o fez se dedicar à temática e trazer ao mundo, em 1905, os três artigos mais famosos da sua vida que postularam a Teoria da Relatividade. Infelizmente, essa mesma teoria, que contesta a consideração do inobservável, hoje é usada sob pretextos encenados para disseminar filosofias sobre tratamento e bem estar humano que nada tem a ver com a física moderna.

É devido aos fatos aqui apresentados que o ensino de física moderna ainda no Ensino Médio se faz tão importante, para que essas percepções errôneas possam ser superadas, tomando um passo certo por vez. Entretanto, essa proposta ainda se faz desafiadora pois os documentos oficiais que regem o ensino brasileiro pouco citam a física, portanto é de praxe que se trate apenas da física clássica e a moderna seja postergada, determinada como último tópico de ensino para o último ano, fase em que os alunos já aprovados não costumam frequentar o ambiente escolar, os alunos reprovados focam na recuperação, os jovens que pretendem seguir no meio acadêmico se concentram em vestibulares e aqueles que almejam o mercado de trabalho já estão no meio e consideram o dever de concluir o Ensino Médio já como cumprido.

Ao refletir sobre todos esses pontos e visando auxiliar o professor vigente na Educação Básica à trazer o tema para a sala de aula, o grupo autor do presente produto educacional propõe uma tentativa de desvio desses obstáculos dividindo um material pedagógico em três módulos, que podem ser trabalhados de maneira corrida, embaralhada, individual ou um a cada ano do ensino médio. A obra traz, de maneira descomplicada e visual, conceitos bases para a percepção da física moderna, introduzindo essa área do conhecimento a partir de subsunçores comuns aos alunos e de práticas acessíveis e chamativas aos olhos curiosos e mentes prontas para aprender.

Ademais, a equipe desenvolvedora também se sensibiliza com a necessidade imposta aos educadores de seguir novos documentos oficiais regentes ao país e a cada estado independentemente, uma vez que a física perde destaque e horas aulas para projetos [Digite aqui]

interdisciplinares, queremos fazer disso uma oportunidade para introduzir a física moderna, ainda que com menos aulas disponíveis, mas fazendo o possível para que o conhecimento científico perpetue na nossa sociedade. Citando Gadotti(2000), é necessário mais do que apenas debater ideias, precisamos criar um espírito.

2 Apresentação dos módulos

A ideia da criação de um produto educacional que levasse aos alunos do ensino médio conceitos de física moderna, se deu em sua maior parte pela necessidade de com os avanços das tecnologias e das novas descobertas científicas, entender como estas novas tecnologias funcionam em seus conceitos mais fundamentais. A equipe desenvolvedora deste produto educacional decidiu fazer a divisão dos conceitos a serem aprendidos com relação a física moderna em três módulos, que foram pensados em serem aplicados cada um em um dos anos do ensino médio. As diversas reuniões realizadas buscaram a melhor maneira de se aplicar os diferentes conceitos de física moderna nas escolas, levando em conta o tempo reduzido para aplicação do produto, quais os tópicos mais importantes, como estes deveriam estar dispostos em todo o produto em relação a ordenação, ligação entre os módulos, e como fazer para que conceitos tão novos e complexos fossem aplicados de uma forma não maçante e sem se dissociar das ideias fundamentais dos conceitos apresentados, o que geralmente pode ocorrer ao tentar introduzir tais conceitos, caindo assim e termos físicos errados e que nada tem a ver com os conceitos reais e dos fenômenos que se refere aos tópicos de física moderna.

A parte inicial de elaboração do produto foi a definição dos tópicos a serem colocados, e em seguida como estes estariam dispostos em todo o produto educacional. Foi decidido a separação do produto em três módulos, devido ao limite de horas usadas para realização do mesmo. Tal disposição buscou que os três módulos fossem independentes, possibilitando ao professor usar de cada um de forma individual, e também que possuíssem algum conceito em comum para que o professor caso opte por aplicar os três módulos estes não sejam desconexos, o tópico escolhido para ser a ponte de ligação entre os três módulos foi o princípio da incerteza de Heisenberg, por ser algo que pode levar o aluno ao erro se ensinado de forma muito superficial e sem aplicação do conceito correto.

O primeiro módulo foi pensado como uma introdução à física moderna, onde inicialmente seriam aplicados às ideias de evolução das teorias atômicas até o modelo atômico mais aceito atualmente que é o modelo atômico de Schödinger, então se seguiria para as [Digite aqui]

implicações que estes modelos atômicos trouxeram para a física do século XX, como os efeitos Compton e o efeito fotoelétrico, e por fim introduzir o conceito do princípio da incerteza de Heisenberg.

O segundo módulo buscaria tratar da parte das “estranhezas” que a física moderna trouxe apresentando inicialmente a ideia de radiação de corpo negro, experimentos como o da fenda dupla, que levaria a ideia de uma onda-partícula, e por fim também trataria do princípio da incerteza de Heisenberg, apresentando as peculiaridades deste de forma mais “palpável” e de uma forma lúdica.

Por fim, o módulo três buscaria trabalhar a parte matemática da física desenvolvida no século XX, e os personagens que foram os precursores e os mais importantes deste período para a física. Novamente o intuito deste produto não é um curso de física moderna como seria aplicado em um curso superior, mas sim de mostrar os alunos como as descobertas teóricas e experimentais do século passado influenciam nas tecnologias usadas no seu dia a dia, assim os conceitos matemáticos usados aqui não serão cobrados sua utilização, mas sim mostrar que a matemática usada é algo muito diferente do usado comumente nas escolas.

Como deixado claro ao professor, a criação deste produto educacional foi realizada buscando uma introdução aos conceitos básicos de física moderna a ser aplicado no ensino médio, podendo este ser aplicado durante os três anos, sendo um em cada ano, ou aplicado de forma independente, ficando a cargo do professor decidir como aplicar e possíveis modificações desejadas pelo mesmo.

(Referências dentro do texto)

3 Conversa com o professor

Neste produto educacional buscamos juntar algumas áreas como artes, química, física e literatura com objetivo de aproximar a física moderna dos conceitos ensinados no ensino básico, mais especificamente para o ensino médio.

Como discutido, a mecânica quântica e a relatividade, são áreas da física, pouco ou nada aprofundadas no ensino médio e além disso, a maioria dos conceitos são considerados abstratos para a maioria das pessoas em um primeiro contato.

Sabendo disso, buscamos fazer uma sequência didática com aulas que juntam teoria, prática e experimentos para que o entendimento da física moderna seja menos abstrato e mais proveitoso para todos os envolvidos no aprendizado.

[Digite aqui]

Para isso, os módulos foram pensados para serem aplicados nos itinerários formativos, um em cada ano. Mas não há perda de aproveitamento se eles forem aplicados em sequência, ou se o professor por falta de tempo puder aplicar apenas um dos três módulos propostos. Eles foram pensados, para que fossem completos sozinhos. Porém, se forem aplicados os três haverá uma compreensão mais ampla por parte dos alunos.

4 - Módulo 1

Neste módulo apresentamos um conjunto de 8 aulas para serem dadas no primeiro ano do ensino médio como uma alternativa para introduzir conceitos como, modelos atômicos, princípio da incerteza, efeito Compton e efeito fotoelétrico, aproximando o aprendizado do ensino básico dos conceitos gerais da física moderna.

Este começará demonstrando a evolução das ideias dos modelos atômicos aceitos em diferentes épocas até o aceito nos dias de hoje, seguindo com a importância destes modelos atômicos para o descobrimento do efeito Compton e efeito fotoelétrico. Por fim, finaliza com uma introdução do princípio da incerteza de Heisenberg.

4.1 Apresentação do Módulo

Nível de Ensino/Turma: 1º Ano do Ensino Médio

Disciplina: Eletivas Tema da aula: **Física Moderna Módulo 1** Quantidade de aulas: 8 aulas.

Aula 1

a) Conteúdos

Modelo Atômico.

Modelos pré-socráticos para explicação das origens de tudo: cada filósofo tinha um arké, a maioria se resumindo nos quatro elementos fundamentais: água, fogo, terra e ar. Alguns pensadores inclusive pensavam que os números formavam tudo, mas Sócrates propôs a ideia de que tudo era feito de uma coisa muito, muito pequena, uma partícula. A partir daí, vários cientistas desenvolveram essa ideia. Dalton, em 1808, propôs o modelo de que o átomo era uma esfera maciça, parecido com uma bola de bilhar. Em 1903, Thomson propôs a existência de elétrons, que se mantinham grudados à superfície de carga positiva dessa esfera. Bohr, em 1911, propôs um núcleo positivo formado de prótons e nêutrons com elétrons se movendo em órbita ao redor do núcleo. Rutherford aprimorou a teoria de Bohr sugerindo que as cargas negativas (elétrons) se moviam em camadas de diferentes níveis energéticos. Hoje, com o estudo quântico,

[Digite aqui]

sabemos que existem diversas outras partículas elementares dentro de um átomo, como quarks, fótons e gluóns.

Separar os alunos em grupos, e pedir que eles montem os modelos atômicos, que é para ser levado na aula 4.

b) Objetivos

Esta primeira aula tem o objetivo de introduzir a evolução dos diferentes modelos atômicos, e apresentar o projeto que os alunos deverão apresentar ao final do módulo

c) Recursos

Texto de Apoio;

Lousa;

Pincel;

Projeter;

Tecnologias;

Internet;

d) Etapas da aula

- Preparação para a aula (10 minutos)

Durante a primeira etapa da aula, o professor deverá explicar o projeto.

Desenvolvimento da aula (40 minutos)

Separar os grupos e contar a história do átomo e as aceitações destes modelos durante a história com a HQ “os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”.

- Atividades para os estudantes

e) Avaliação

Durante a primeira aula não será realizada avaliação para os alunos. Porém será analisado todo o nível de comprometimento com o aprendizado dos alunos em cada uma das aulas do módulo. A atividade deixada pelo professor aos alunos sobre os modelos atômicos deverá ser apresentada pelos alunos no final do módulo.

Fontes/Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física**

[Digite aqui]

Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

Aula 2

a) Conteúdo

- Trabalhar sobre o efeito fotoelétrico

Na segunda aula dando sequência aos conceitos de mecânica quântica deverá ser lido com os alunos em sala de aula a segunda parte da HQ “os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”, que trata da evolução atômica de a partir da ideia da quantização de energia proposta por Max Planck, apesar da HQ não tratar especificamente dos conceitos de efeito fotoelétrico e efeito Compton, a utilização da mesma como ferramenta de ensino destes tópicos é algo que facilitaria um maior entendimento destes fenômenos.

Objetivos:

Apresentar de forma visual o conceito do efeito fotoelétrico com imagens e simulações (Phet colorado)

Recursos:

Lousa;

Giz;

Texto de apoio;

Datashow;

Internet;

Computador.

10 minutos

Leitura do texto os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico.

40 minutos

Contextualizar a evolução dos modelos atômicos e apresentar de forma visual os conceitos do efeito fotoelétrico para na aula seguinte apresentar os conceitos do efeito Compton

- Atividade:

[Digite aqui]

A atividade será desenvolvida ao final da aula 4 finalizando os conteúdos de efeito fotoelétrico, efeito Compton e modelos atômicos

Referências:

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

PHET. **Interactive Simulations da Universidade do Colorado - Efeito Fotoelétrico**. 2016. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric>. Acesso em: 19 dez 2022.

Aula 3

Conteúdo:

- Trabalhar sobre o efeito Compton
- apresentar a diferença de efeito compton para efeito fotoelétrico

Objetivos:

Aproveitar os consertos já introduzidos na aula anterior sobre efeito fotoelétrico para se explicar o efeito compton também usando simulações e imagens.

Recursos:

Lousa;

Giz;

Datashow;

Internet;

Computador.

50 minutos

Dentro da aula 3 se retoma novamente a leitura da HQ e buscaria-se trabalhar com os conceitos de efeito fotoelétrico já trabalhados na aula anterior para se explicar o que ocorre no efeito Compton. (Olhar simulações de efeito compton)

- Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física**

[Digite aqui]

Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

Arts and Science. Disponível em: http://physics.bu.edu/~duffy/semester2/c35_compton.html. Acesso em 19 dez 2022.

Aula 4 Conteúdo

- Retomar a discussão sobre os modelos atômicos trazendo os elementos da Física.

Objetivo recapitular os conceitos de modelos atômicos, das teorias atômicas e da influência de de Broglie e de Arthur Compton para a física

Recursos:

Lousa;

Giz;

Datashow;

Internet;

Computador.

15 minutos

Leitura completa do texto os moídos e peejas desde o átomo clássico até o átomo quântico dando um foco nas ideias do desenvolvimento do modelo atômico

35 minutos

Nesta aula será trabalhado em sala um apanhado completo dos conceitos de aulas anteriores buscando saber se os estudantes compreenderam o processo de evolução das teorias atômicas, até o átomo quântico de Rutherford-Bohr, e da influência de De Broglie para a mecânica quântica

- Apresentar aos alunos o Kahoot para os alunos a fim de fixar os conceitos de evolução dos modelos atômicos e sobre os efeitos compton e fotoelétrico (exemplo de atividade:

https://kahoot.it/challenge/0329173?challenge-id=98c6afaa-c4fe-44d0-ad71-d1dc4902f3bb_1671489582881>)

- Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física**

[Digite aqui]

Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

Aula 5

Conteúdo:

- O átomo quântico

Objetivo

Apresentar o modelo atômico atual aceito na comunidade científica através da simulação “Modelos Atômicos de Hidrogênio” do PHET Colorado, onde teremos como principal objetivo associar as ideias de órbitas e introduzir o conceito de orbitais.

Recursos:

Lousa;

Giz;

Datashow;

Internet;

Computador.

15 minutos

Leitura da parte final do texto os modelos e peças desde o átomo clássico até o átomo quântico dando foco no modelo atômico desenvolvido por Erwin Schrödinger .

35 minutos

Na aula 5 será trabalhado o modelo atômico de Schrödinger . Como material de apoio a HQ aqui também se faz presente pois suas duas últimas páginas se dedicam a aprofundar as ideias de De Broglie e introduziu o átomo quântico de Schrödinger . Nessa aula, utilizaremos um experimento virtual chamado “Modelos Atômicos de Hidrogênio” do PHET Colorado, aba modelo de Schrödinger (Fig. 1), onde é possível visualizar os orbitais e diferenciar do modelo na aba Bohr (Fig. 2).

[Digite aqui]

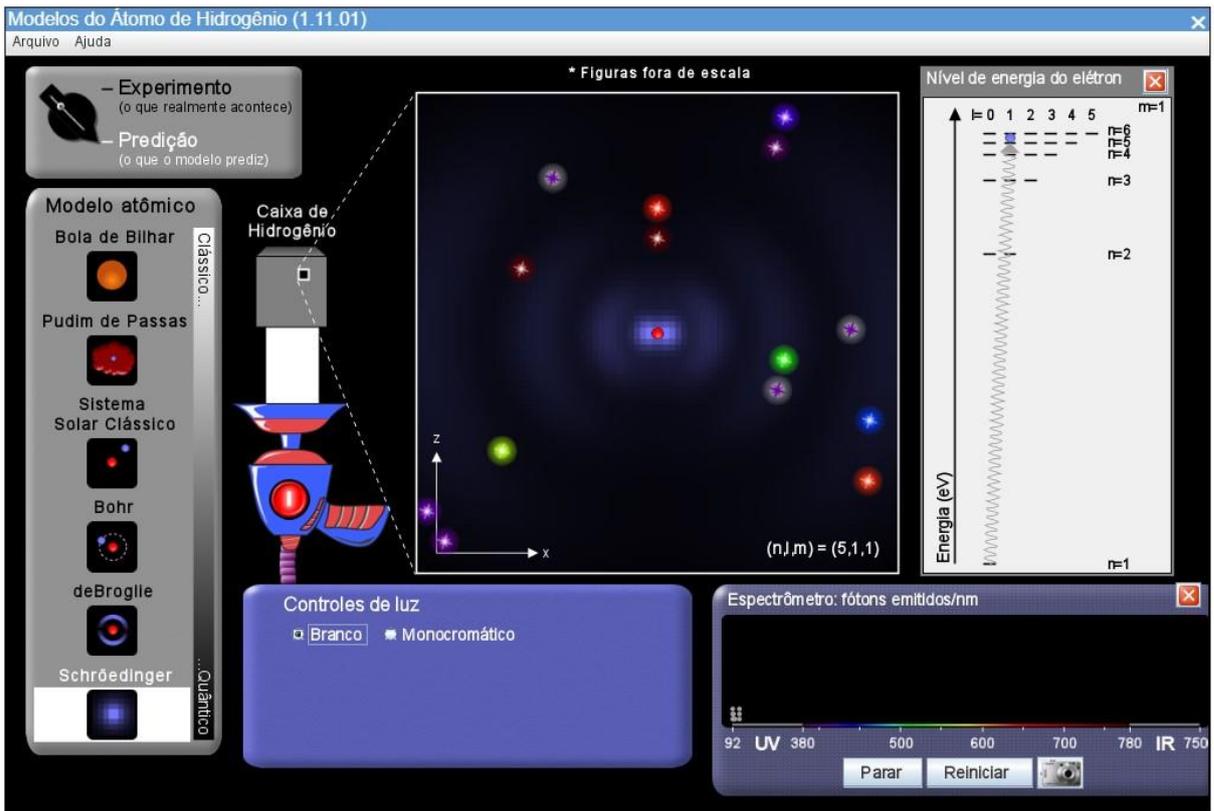


Fig.1 Modelo Experimento PHET Átomo de Schrödinger .

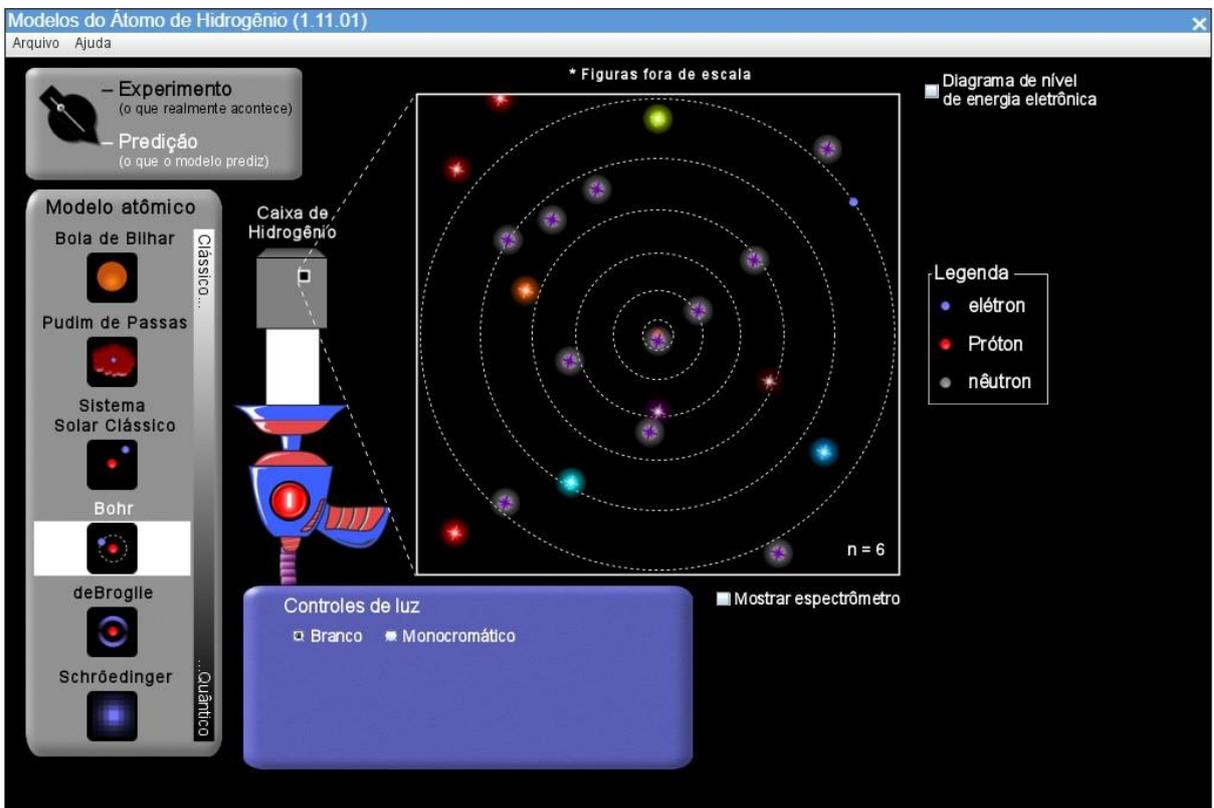


Fig. 2 Experimento PHET Modelo atômico de Bohr.

● Atividade:
[Digite aqui]

A atividade será desenvolvida ao final da aula 7 finalizando os conteúdos de efeito fotoelétrico, efeito compton e modelos atômicos.

- Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

PHET Interactive Simulations, versão 1.11, Universidade do Colorado. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/hydrogen-atom>, acesso em: 9 de janeiro de 2023.

Aula 6

Conteúdo

- Princípio da Incerteza **Objetivo**

utilizar de obras de arte para se explicar de forma visual a ideia de incerteza

Recursos:

Lousa;

Giz;

Datashow;

Internet;

Computador.

20 minutos

Apresentar aos alunos as obras do pintor russo Vítor Mole e levantar alguns questionamentos aos alunos sobre o que eles vêem nas obras (uma visão incerta, pois ao focar na imagem como um todo não se vê os detalhes, e ao se olhar os detalhes não se vê a obra como um todo).

30 minutos

Neste ponto a HQ deve ser usada apenas para retomar os conceitos de mecânica quântica já trabalhados para se explicar o princípio da incerteza de Heisenberg, pois a mesma dedica-se a trabalhar apenas a evolução atômica, aqui como sugestão pode-se trabalhar o conceito de

[Digite aqui]

incerteza com as obras de Salvador Dalí, ou de Victor Molev, buscando aqui não trabalhar com os conceitos puramente físicos do conteúdo, mas sim introduzir o conceito de incerteza.

- Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

Victor molev pixels. disponível em <https://victor-molev.pixels.com/collections/illusory+portraits>. acesso em 19 dez 2022.

Aula 7 (retomar a aula 6)

Conteúdo

- Princípio da Incerteza

Objetivo

Trabalharemos com algumas obras de arte, especificamente a obra "Mercado de escravos com o busto de Voltaire" de Salvador Dalí.

Recursos:

Lousa;

Giz;

Datashow;

Internet;

Computador.

50 minutos

O objetivo desta aula não seria entender o princípio da incerteza em si, como a física a explica, mas fazer os alunos refletirem que uma única coisa pode ou não ser o que pensamos, dependendo do jeito que olhamos, percebemos e interpretamos. O professor deverá fazer algumas perguntas chaves para que surja a discussão do que os alunos enxergam ao ver a obra.

- Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física**

[Digite aqui]

Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

Victor molev Illusory portraits. disponível em <https://victor-molev.pixels.com/collections/illusory+portraits>>. acesso em 19 dez 2022.

slave market with the disappearing bust of voltaire. Disponível em: <http://archive.thedali.org/mwebcgi/mweb.exe?request=record;id=123;type=101>>. acesso em 19 dez 2022.

Aula 8 Conteúdo

- Finalização do módulo e apresentação das atividades

Objetivo finalizar o módulo e avaliar a aprendizagem dos alunos

Recursos:

Lousa;

Giz;

Datashow;

Internet;

Computador.

50 minutos

Elaborar algum quiz sobre o conteúdo abordado durante o módulo. A ideia é que seja uma atividade interativa e descontraída, sem o rigor de uma avaliação. apresentar as maquetes apresentadas na aula 1. ao final da apresentação das maquetes, a aula seguirá como um jogo de tabuleiro, onde cada grupo ficará terá de responder 7 perguntas de forma correta para finalizar a “corrida”. Tal jogo será realizado da seguinte forma, um representante de cada grupo ficará em pé em cima de uma “casa” do tabuleiro, e por sorteio será definida a ordem de respostas das questões sobre o conteúdo aplicado. a cada resposta correta o grupo passará para a casa seguinte, caso a resposta dada pelo grupo seja incorreta, o grupo permanecerá na casa, e será dada a oportunidade ao grupo seguinte de responder a questão, caso estes acertem avançam uma casa, caso a resposta seja incorreta, a pergunta será realizada ao próximo grupo e assim se seguirá o

[Digite aqui]

jogo até a última pergunta ser realizada e todos os grupos avançarem a “linha de chegada”. (pode ser realizada uma premiação ao final da corrida, ficando esta ao cargo do professor).

- Referências

FEITOSA, S. dos S.; NOBRE, FRANCISCO AUGUSTO SILVA. **Tópicos de Física Quântica em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinados à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa**. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física), Universidade Regional do Cariri (URCA), 2019. 207p.

FERNANDES, Rúbia de Fátima Antunes Martins et al. **Pinturas de Salvador Dalí para introduzir conceitos de Mecânica Quântica no Ensino Médio**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 2, p. 509-529, 2017.

Victor molev Illusory portraits. disponível em <https://victor-molev.pixels.com/collections/illusory+portraits>>. acesso em 19 dez 2022.
slave market with the disappearing bust of voltaire. Disponível em: <http://archive.thedali.org/mwebcgi/mweb.exe?request=record;id=123;type=101>>. acesso em 19 dez 2022.

Experimento feito Compton por: Arts and Science. Disponível em: http://physics.bu.edu/~duffy/semester2/c35_compton.html>. Acesso em 19 dez de 2022.

PHET. **Interactive Simulations da Universidade do Colorado - Efeito Fotoelétrico**. 2016. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/photoelectric>. Acesso em: 19 dez 2022.

5 - Módulo 2

Neste módulo apresentamos um conjunto de 8 aulas inicialmente pensadas para serem aplicadas no segundo ano do ensino médio, porém, como discutido anteriormente, os módulos podem ser aplicados em sequência ou separadamente sem prejuízos.

Os principais temas aqui abordados são: Radiação de Corpo Negro, Dupla-Fenda, Dualidade Onda-Partícula e Princípio da Incerteza. Desta Forma, estas aulas contribuem para a formação dos alunos no sentido de que auxilia na compreensão da Física que vem sendo desenvolvida nos últimos tempos, além de propor uma descrição histórica para situar melhor os discentes e também propõe o uso de experimentos com o intuito de despertar o interesse da turma e facilitar a compreensão de tópicos mais complexos.

5.1 - Apresentação do Módulo

[Digite aqui]

Nível de Ensino/Turma: 2º Ano do Ensino Médio Quantidade

de aulas: 8 aulas.

Vídeo de apoio ao professor: [Por Que Precisamos da Dualidade Onda-Partícula?](#)

Aula 1 10 minutos

Organizar a sala e apresentar o módulo 2 para os alunos.

Citar que é um trabalho de continuação em relação ao módulo 1, e que os assuntos abordados serão: radiação de corpo negro, dupla-fenda, dualidade onda-partícula e Princípio da Incerteza.

40 minutos

Fazer uma contextualização histórica sobre a dificuldade encontrada pelos físicos ao tentar entender e explicar alguns fenômenos quando o estudo do mundo microscópico começou a ser feito, como a radiação de corpo negro, para ir mostrando os pontos onde a física clássica não conseguiu explicar os entes estudados. Pode-se recapitular o efeito fotoelétrico e citar os pontos que deveriam acontecer de acordo com a Teoria Clássica, mas que na prática não eram vistos. (Página 53 do livro do Eisberg). No caso da radiação de corpo negro sugere-se mostrar o gráfico com os resultados experimentais e com a previsão de Rayleigh-Jeans feita a partir das Leis Clássicas (um exemplo pode ser visto na figura 3 no Anexo ao final do capítulo).

É interessante citar que os próprios cientistas da época estavam em dúvida quanto a tudo que estava acontecendo. Planck chegou a se questionar se a introdução da constante h (constante de Planck) era apenas um artifício matemática ou se realmente havia um significado mais profundo.

Observação:

Se sobrar tempo sugere-se que o professor utilize a simulação do Phet colorado para explicar um pouco sobre o que é radiação de corpo negro, concatenando com o assunto da segunda aula, que é sobre espectro eletromagnético.

Comentário pedagógico: A recontextualização do trabalho é uma forte aliada no fortalecimento da relação do professor com os alunos, ainda mais quando será tratado um assunto mais denso nas próximas aulas, que os alunos já têm um preconceito enraizado. A contação da história da ciência também envolve mais os estudantes, perdendo a ideia de que a física está envolta somente de fórmulas e cálculos.

[Digite aqui]

O artigo Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica traz uma breve descrição do contexto científico inicial na seção 3.1.

Aula 2

Conteúdo

Espectro eletromagnético

15 minutos

Apresentar o que é; Mostrar as diferenças de cada espectro e relacionar com o cotidiano, bem como a importância de cada espectro.

15 minutos

Apresentar a simulação do Phet Colorado pedindo para que os alunos expliquem os fatos apresentados como se construíssem a própria hipótese a partir da simulação virtual.

20 minutos

Explicar e deliberar tempo para os alunos iniciarem a tarefa: pedir que eles pesquisem sobre a radiação de corpo negro, leiam sobre o assunto ou assistam algum vídeo. (procurar algum material que dê pra ser indicado aos alunos)

Comentário pedagógico: Introduzir conceitos com calma e de maneira mais elaborada é um método fortemente aliado à aprendizagem significativa. A simulação digital é uma maneira acessível de se fazer uma aula mais prática e ilustrativa, incitando o debate que vem logo depois e faz os alunos pensarem por conta própria, trazendo suas curiosidades para o próximo encontro.

Aula 3

Conteúdo

Radiação de corpo negro

50 minutos

Introduzir radiação térmica utilizando apenas a teoria, com apoio de imagens ilustrativas e simulações online. Com isso, utilizar de fatores históricos que levaram à descoberta do que é um corpo negro e citar rapidamente para que ele é utilizado na física moderna.

Comentário pedagógico: Apenas a introdução ao assunto é necessária, uma vez que aprofundar mais que o proposto pode confundir e desanimar os estudantes, pois o conteúdo é muito avançado para o nível médio. O tema tratado dá continuidade às pesquisas feitas como tarefa, uma forma de reconhecimento do trabalho feito fora da sala de aula.

Aula 4

[Digite aqui]

Para a elaboração desta aula, foi utilizado um material desenvolvido em uma parceria entre a Universidade de São Paulo e Professores da Rede Pública de Ensino do Estado, parte integrante do trabalho de BROCKINGTON (2005).

Conteúdo

Dualidade onda-partícula - introdução

10 minutos

Problematização inicial. O professor pode começar a aula instigando os alunos com uma pergunta. Por exemplo: “Você conhece algo que pode ser duas coisas ao mesmo tempo?”

Partindo disto, o professor pode fazer um link com a primeira aula, dizendo que o estudo da natureza da luz foi uma das coisas que colocou à prova a teoria vigente e precisou de uma nova teoria para que fosse explicada.

20 minutos

Caracterizar para os alunos o que é uma onda e o que é uma partícula.

Essa caracterização pode ser feita por meio de perguntas, ao passo que os alunos vão falando as características e o professor conclui ao final.

Para que eles consigam visualizar melhor é possível contar uma história simples. Esse tipo de atividade não vai substituir a caracterização do que é onda e do que é partícula, é apenas um complemento.

Imagine que você vive em um mundo sem computador e celular e quer muito contar alguma novidade a um amigo que mora em outra cidade. O que você pode fazer? escrever uma carta é uma opção. Para a mensagem chegar até a outra pessoa, essa carta física vai precisar ser enviada, ir até a outra pessoa para que ela receba a mensagem.

Nos dias de hoje a gente poderia, por exemplo, mandar um email. A mensagem chegaria da mesma maneira até a outra pessoa, mas sem a necessidade da carta física ir até ela, uma vez que quem se desloca são as ondas eletromagnéticas, e não a partícula.

10 minutos

A luz é onda ou partícula?

Mostrar aos alunos que esse questionamento existe desde antes do surgimento da Física Moderna. A exemplificação disso e alguns argumentos serão mostrados a partir da leitura de um texto, que o professor solicitará dois voluntários para auxiliarem na leitura. O texto é um diálogo entre um crente da teoria corpuscular de Newton e um crente da teoria de Huygens do livro “Evolução da Física” de Einstein e Infeld.

[Digite aqui]

10 minutos

Aproveitando a dinâmica da leitura, e o debate entre os defensores das duas teorias, o professor irá informar os alunos sobre a atividade do debate e irá solicitar que a turma seja dividida em dois grupos. Um grupo ficará responsável em defender a teoria corpuscular e o outro a teoria ondulatória. O professor ainda poderá sugerir que os alunos pesquisem sobre os (as) cientistas que defendiam cada ideia, para que eles possam assumir os papéis desses personagens, aproveitando assim da curiosidade e imaginação dos discentes, além de trazer um pouco de elementos de storytelling.

Aula 5

Conteúdo: Dualidade onda-partícula - debate

50 minutos

Realização do debate, visto que, os alunos já se prepararam. O professor irá mediar o debate de tal forma que possa avaliar os alunos em grupo e individualmente. A mediação será realizada através de perguntas.

Comentário pedagógico: Aqui o professor consegue perceber a dedicação dos alunos para pesquisarem argumentos sobre o lado defendido, e se conseguiram compreender para defender de maneira coerente.

Aula 6

Como inspiração para o primeiro experimento descrito, foi utilizado o trabalho DE OLIVEIRA et al (2019), por ter sido considerado um experimento fácil de ser reproduzido, de baixo custo e com um resultado satisfatório para o que é proposto na aula.

Conteúdo: dualidade onda-partícula

20 minutos

Tempo disponível para os alunos mexerem no experimento e observarem o que está acontecendo. **30 minutos**

Sugere-se que o professor faça uma roda de conversa com os alunos para conversar sobre o que foi observado durante os primeiros 20 minutos. Pode-se verificar a hipótese levantada pelos alunos, e também verificar o conhecimento prévio deles sobre 'ondas'. Onda mecânica e eletromagnética, fenômenos de interferência construtiva e destrutiva.

Comentário pedagógico: O tempo para os alunos reconhecerem o experimento, sem que haja uma resposta logo de início, os incentiva a tentar compreender e trabalhar a percepção. Para

[Digite aqui]

evitar as distrações no momento de "trabalho livre" dos alunos, a roda de conversa em seguida os faz se esforçarem para a atividade avaliativa.

Observação:

Ao final do capítulo há duas instruções de como montar experimentos de baixo custo para visualizar o fenômeno observado no experimento de dupla-fenda. Partindo disto, deixamos algumas sugestões.

Sugestão 1

O professor leva o/os experimento/os para dentro da sala, de preferência mais do que uma unidade para que os alunos consigam interagir.

Sugestão 2

O professor disponibiliza a instrução para os alunos e solicita que eles levem o experimento pronto para dentro da sala de aula.

Se o professor optar pela segunda opção, é necessário que as instruções sejam entregues ao final da aula 4 para que os estudantes tenham tempo de preparar a montagem do experimento.

Aula 7 50 minutos

Mostrar as simulações de interferência.

Apresentar de fato o tema dualidade onda-partícula, utilizando as simulações do Phet Colorado ([Interferência, Fenda Dupla, Difração - Simulações Interativas PhET](#)). Assim, apesar de estarem tendo contato com a simulação, os alunos já terão visto algo parecido na aula anterior. Explicar sobre a interferência de uma onda, mostrar a simulação, e expandir esse problema para a luz, chegando na dualidade onda-partícula.

Mostrar que com o experimento de dupla fenda foi mostrado que a luz se comportava como uma onda, justamente por ser possível mostrar experimentalmente que acontece o fenômeno de interferência.

Depois disso, cabe voltar na aula de radiação de corpo negro, e lembrar que para explicar aquele problema, a luz precisou ser entendida como partícula. Então, surge o indício da dualidade onda-partícula, onde a luz pode se comportar das duas maneiras.

Comentário pedagógico: É interessante fazer a ligação entre todas as aulas do módulo, de maneira que os propósitos da iniciativa estejam sempre evidentes e sendo cumpridos, envolvendo os alunos e mostrando que os esforços tem um objetivo que segue sendo realizado continuamente.

Aula 8

[Digite aqui]

Conteúdo: Princípio da Incerteza

50 minutos

Levar novamente um dos experimentos utilizado na aula 6 (o do pote com água) junto com uma miçanga pequena e leve.

A ideia é fazer o mesmo experimento da aula 6, mas dessa vez com a miçanga na água para ela se propagar junto com a onda.

A ideia é brincar com os alunos, e pedir que eles palpitem em que lugar a miçanga vai chegar.

A brincadeira tem que ser repetida várias vezes, porque por mais que na maioria das vezes a miçanga chegue em um mesmo lugar, em outros momentos ela vai chegar em lugares diferentes.

Esse momento vai acontecer com o intuito de que o professor fale um pouco mais sobre o Princípio da Incerteza, reforçando e avançando no que foi dito no módulo 1, dando para chegar na ideia de que a natureza é probabilística.

Comentário pedagógico: Continuamos com a participação dos alunos como protagonistas que nunca agem apenas como observadores, após o incentivo feito pela atividade lúdica.

5.2 - Sugestão de roteiro para a aula 1 do módulo 2

Agora que já concluímos o módulo 1 e conhecemos o átomo quântico e alguns de seus comportamentos, estudaremos os seguintes tópicos: radiação de corpo negro, dupla-fenda, dualidade onda-partícula e Princípio da Incerteza. São nomes que parecem complexos, uma coisa sofisticada, mas não é nenhum “bicho de sete cabeças”, vocês sabem ou conseguem supor o nome das e dos cientistas por trás dessas teorias? Conseguem pensar o que deve ser cada uma dessas ideias, a partir do que já estudamos anteriormente? ***aguardar interação**

dos alunos após as perguntas*

Pois é, muitas mentes estão por trás da ciência, mas nós sabemos que a ciência não se faz com um gênio que tem uma ideia mirabolante em algum instante aleatório da vida dele, a ciência se faz por caminhos tortuosos e sem padrão. Principalmente quando tudo que você conhecia anteriormente é colocado à prova e você precisa de uma teoria totalmente nova para explicar algo nunca visto antes. Foi isso que aconteceu com os primeiros estudiosos que focaram suas atenções no mundo microscópico. Sabemos que Newton estabeleceu várias leis que regem a física até hoje, mas com a novidade do mundo atômico muitos postulados caíram por terra e se tornaram sem sentido quando se depararam com o comportamento das partículas elementares.

[Digite aqui]

Um desses problemas que exigiu uma teoria completamente nova para ser explicado, foi a radiação de corpo negro, que estudaremos com mais calma ao longo dessas aulas. Mas o que levou os cientistas da época a pensarem sobre isso? Qual foi o ponto de partida? Um dos questionamentos foi como explicar a mudança de cor e a intensidade do brilho quando um metal é aquecido. (nesse momento, o professor pode levar imagens para que os alunos visualizem o problema, já que é algo que todo mundo já deve ter visto. Exemplo na figura 4 encontrada no Anexo). Ao colocar um metal em contato com alta temperatura, em um primeiro momento a radiação emitida não será visível. Ao passo que o metal vai ficando cada vez mais quente ele vai adquirindo uma coloração vermelho escura, depois um vermelho brilhante. Se a temperatura for muito alta, ele pode chegar a um tom de branco azulado. Quando o metal muda de cor, ele está emitindo radiação eletromagnética e emite em todos os comprimentos de onda.

Para estudar esse fenômeno, foi idealizado um objeto que absorveria toda a energia incidida sobre ele e emitiria apenas radiação devido a sua temperatura. Isso é o que caracteriza um corpo negro. Ao estudar esse objeto, foi observado que a intensidade medida para cada comprimento de onda dependia apenas da temperatura e não do material utilizado para compor o objeto. Sabendo disso, e tendo visto esse resultado experimental diversas vezes, o desafio foi conseguir uma equação que descrevesse o comportamento observado.

O entendimento desse comportamento foi muito complicado porque os físicos estavam utilizando o conhecimento da Física Clássica para tentar compreender esse novo problema. Assim, surgiu o que chamamos de catástrofe do ultravioleta. (Mostrar o gráfico do resultado obtido experimentalmente versus a equação obtida com a teoria clássica. Deixar claro para os alunos que diversas vezes os experimentos apontaram para o mesmo comportamento, e o melhor resultado obtido para a teoria destoou muito do que era visto na prática. Concluir que assim, os cientistas precisaram começar a pensar em novas ideias e imaginar e testar novas hipóteses para explicar o que estava sendo estudado. O gráfico pode ser visualizado na figura 3 no Anexo ao final do capítulo).

Outro problema que os Físicos não conseguiram resolver utilizando a teoria clássica, foi o efeito fotoelétrico que já estudamos no módulo 1. Alguém lembra do que se trata esse efeito?

aguardar interação dos alunos após as perguntas

Ainda pensando na barra de ferro que emite radiação, podemos analisar agora o seu comportamento ao ser exposta à uma determinada frequência de radiação eletromagnética. Foi [Digite aqui]

comprovado experimentalmente que o material emite um elétron como reação, já que a exposição aos pacotes de luz (fótons provenientes da radiação) aumentam o nível energético dos elétrons, transferindo as suas próprias à eles, fazendo com que eles "saltem". A teoria clássica afirmava, a partir de cálculos e previsões, que a barra poderia ser exposta a qualquer frequência de radiação que passaria um tempo absorvendo essa energia até que fosse suficiente para o elétron saltar. A experimentação e a teoria quântica comprovaram o contrário, que era necessário uma frequência suficientemente alta para a ejeção do elétron e, independente do tempo que a exposição continuasse sendo feita, não funcionaria se a frequência fosse baixa.

Agora imagina você, realizando experimentos que contradiziam tudo que você sabia, tudo que você estudou por anos... Certamente iria achar que seus resultados estão errados, incompletos ou que está alucinando! Vários cientistas da época do nascimento da física moderna se sentiram assim, a insegurança, surpresa e dúvida eram o cenário predominante, mas seguiram em busca da verdade, em busca de desvendar a natureza em que vivemos.

O próprio Einstein, que hoje temos como referência de genialidade, morreu questionando a teoria quântica como absurda e irreal, uma vez que contradiziam suas crenças particulares, tendendo ao sentido religioso do que a realidade. Pouco tempo após sua morte, experimentos comprovaram que a teoria clássica continha erros no cenário do mundo microscópico.

5.3 - Roteiro para a construção dos experimentos

Experimento 1

Experimento 2

6 - Módulo 3

Este módulo tem como objetivo finalizar tudo o que já foi visto anteriormente, ou seja, toda a bagagem que os discentes adquiriram ao longo dos módulos anteriores será muito importante. Vale ressaltar que o módulo 3 pode ser apresentado independentemente dos outros, porém, é recomendado que pelo menos o módulo 2 seja visto antes, porque alguns tópicos vistos anteriormente, retornam neste capítulo.

O módulo tem como objetivo ampliar a bagagem dos discentes em relação a Física Moderna, apresentando os personagens importantes, bem como, apresentar as equações de Schrödinger e a notação de Dirac. Uma proposta ousada e corajosa, buscando enriquecer e expandir a visão da Física Moderna para além da sala aula, apresentando os impactos que esses avanços substanciais tiveram na sociedade.

[Digite aqui]

6.1 - Apresentação do Módulo

Nível de Ensino/Turma: 2º Ano do Ensino Médio

Disciplina: Eletivas Tema da aula: **Física Moderna Módulo 3** Quantidade

de aulas: 8 aulas.

Conteúdo a serem apresentados:

- Notações da mecânica quântica;
- Princípio da Incerteza;
- Exemplos e personagens importantes;
- Equações de Schrödinger ;

Aula 1 Início da aula (10 min)

Apresentar o tema do trabalho: “Física Moderna: das figuras importantes a suas contribuições para a sociedade”. O trabalho terá dois temas em destaque:

1. Os personagens importantes para a Física Moderna;
 - a. Max Planck; Albert Einstein; Niels Bohr; Werner Heisenberg; Wolfgang Pauli; Paul Dirac; Erwin Schrödinger ; Marie Curie.
2. As contribuições dos avanços da Física Moderna para a sociedade (trazer exemplos do cotidiano).
 - a. **Sugestões:** GPS; Leitor de Código de barras; Efeito fotoelétrico; Radiação (raio-x); Nanotecnologia, etc.

A proposta é dividir a turma em grupos (a quantidade de grupos ficará a cargo do professor, dependendo do tamanho da turma). Uma parte dos grupos ficará responsável pelo tema 1, enquanto a outra parte ficará responsável pelo tema 2. Cada apresentação deverá ter no mínimo 10 a 15 minutos, é importante que todos os integrantes dos grupos participem.

Restante da aula (30 - 40 min)

O professor pode deixar esse tempo para que os alunos possam se organizar, além de orientar os grupos.

Aulas 2 e 3

As aulas 2 e 3 ficaram reservadas para as apresentações dos grupos.

Aulas 4 e 5 (50 min)

A proposta é apresentar as equações de Schrödinger , sem aprofundar na parte matemática, sendo essas últimas aulas mais expositivas. A ideia é apresentar as equações, mostrar o que levou ao surgimento dessas equações e qual é a importância delas para a Física e como elas se relacionam com os outros temas, já vistos pelos discentes ao longo dos módulos 1 e 2 e dos conteúdos apresentados nas aulas no decorrer do semestre. Uma forma de apresentar [Digite aqui]

de se trabalhar as equações de Schrödinger relacionando-as com outros temas, é utilizar a equação independente do tempo, fazendo ganchos com a energia mecânica, relação de de Broglie e oscilador harmônico.

● **Aula 4**

- **Início da aula (15 min):** Recapitular quem foi Erwin Schrödinger , seus pensamentos e ideias. (Uma sugestão é mencionar o grupo que apresentou sobre ele). Os **35 min** restantes, ficará para apresentar as equações, buscando mostrar o que levou a construção dessas equações, bem como, a importância delas para a Física.

● **Aula 5**

- O professor(a) irá apresentar retomar a aula 7, só que agora, irá utilizar a equação independente do tempo, sendo essa, mais fácil de relacionar com outros temas, como: oscilador harmônico, energia mecânica, relação de de Broglie.

Aulas 6, 7 e 8 (50 min) ● Aula 6

- A aula 7 será dividida em duas etapas: a primeira **(25min)**, é revisar os conceitos do experimento de fenda simples e dupla, relacionar novamente o princípio da incerteza, podendo ser trabalhado mais a fundo na aula 6, ao utilizar a notação de Dirac. Para isso, o professor(a) poderá se basear no módulo 2 ou no trabalho apresentado na aula 6, utilizando as simulações do Phet Colorado e/ou utilizar experimentos de baixo custo para trabalhar essa revisão. A segunda etapa **(25 min)**, será para introduzir as ideias iniciais de Paul Dirac e sua notação, nesse caso, o que levou Dirac a propor uma notação para a mecânica quântica. (Sugestão: mencionar o grupo que falou sobre Paul Dirac)

● **Aula 7**

- Na aula 6 do módulo 3, o professor(a) irá trabalhar com a notação de Dirac, para isso, as aulas se baseiam no trabalho **“O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz.”** A notação de Dirac será utilizada para explicar o experimento de dupla fenda, vista no módulo 2. Os autores se baseiam nos trabalhos de Richard Feynman e seus colaboradores, utilizando o livro **“Lições de Física”**. O trabalho acima e o livro, introduz a

[Digite aqui]

notação de Dirac de uma forma mais simples aos alunos, para que eles consigam compreender o que são os Brackets (Bras e Kets), sem exigir um nível matemático avançado.

- **Aula 8**

- Continuação das atividades das aulas 6 e 7.

- **Proposta de atividade para as aulas 4 e 5:**

- Se basear na experiência mental do **Gato de Schrödinger** e fazer uma atividade com algo cotidiano, para ilustrar a superposição de estados. Nesse caso, o professor(a) irá utilizar uma moeda, sendo uma face cara e outra coroa. A ideia é que os alunos não vejam qual face a moeda caiu, após o lançamento da moeda, o professor(a) pergunta “Qual lado a moeda caiu?” e os alunos dizem o que eles acham sem olhar. Após esse momento inicial, o professor autoriza os alunos a olharem qual foi a face da moeda que ficou pra cima e verifica quais alunos acertaram.

REFERÊNCIAS

BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. São Paulo: Dissertação de Mestrado IFUSP, 2005.

DE OLIVEIRA, Paulo José Pereira et al. **Aprendendo Física moderna por meio de um experimento de baixo custo: um relato de aula prática**. ScientiaTec, v. 6, n. 1, p. 90-105, 2019.

FERREIRA, Danilo Cardoso; DE SOUZA FILHO, Moacir Pereira. **O experimento virtual da dupla fenda ao nível de ensino médio (Parte I): uma análise clássica do comportamento corpuscular e ondulatório e o desenvolvimento de um software computacional**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 2, p. 697-716, 2016.

FERREIRA, Danilo Cardoso; DE SOUZA FILHO, Moacir Pereira. **O experimento virtual da dupla fenda ao nível do ensino médio (Parte II): uma análise quântica do comportamento corpuscular e ondulatório da luz**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 36, n. 1, p. 302-329, 2019.

PESSOA JR, Osvaldo. O fenômeno cultural do misticismo quântico. **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais**, p. 281, 2011.

PINTO, Alexandre Custódio; ZANETIC, João. É possível levar a física quântica para o ensino médio?. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 16, n. 1, p. 7-34, 1999.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Física e história**. Ciência e Cultura, v. 57, n. 3, p. 25-29, 2005.

GADOTTI, Moacir. **Perspectivas atuais da educação**. São Paulo em perspectiva, v. 14, p. 03-11, 2000.

[Digite aqui]

Anexo

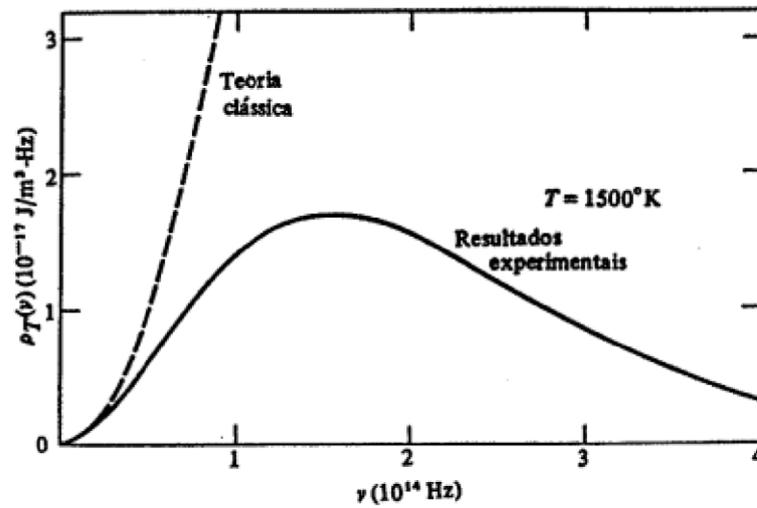


Figura 3: A previsão feita por Rayleigh-Jeans sobre a densidade de energia de uma cavidade de corpo negro (linha pontilhada) em comparação com os resultados obtidos experimentalmente (linha sólida).



Figura 4: Exemplo de imagem a ser utilizada no roteiro de aula sugerido

[Digite aqui]