

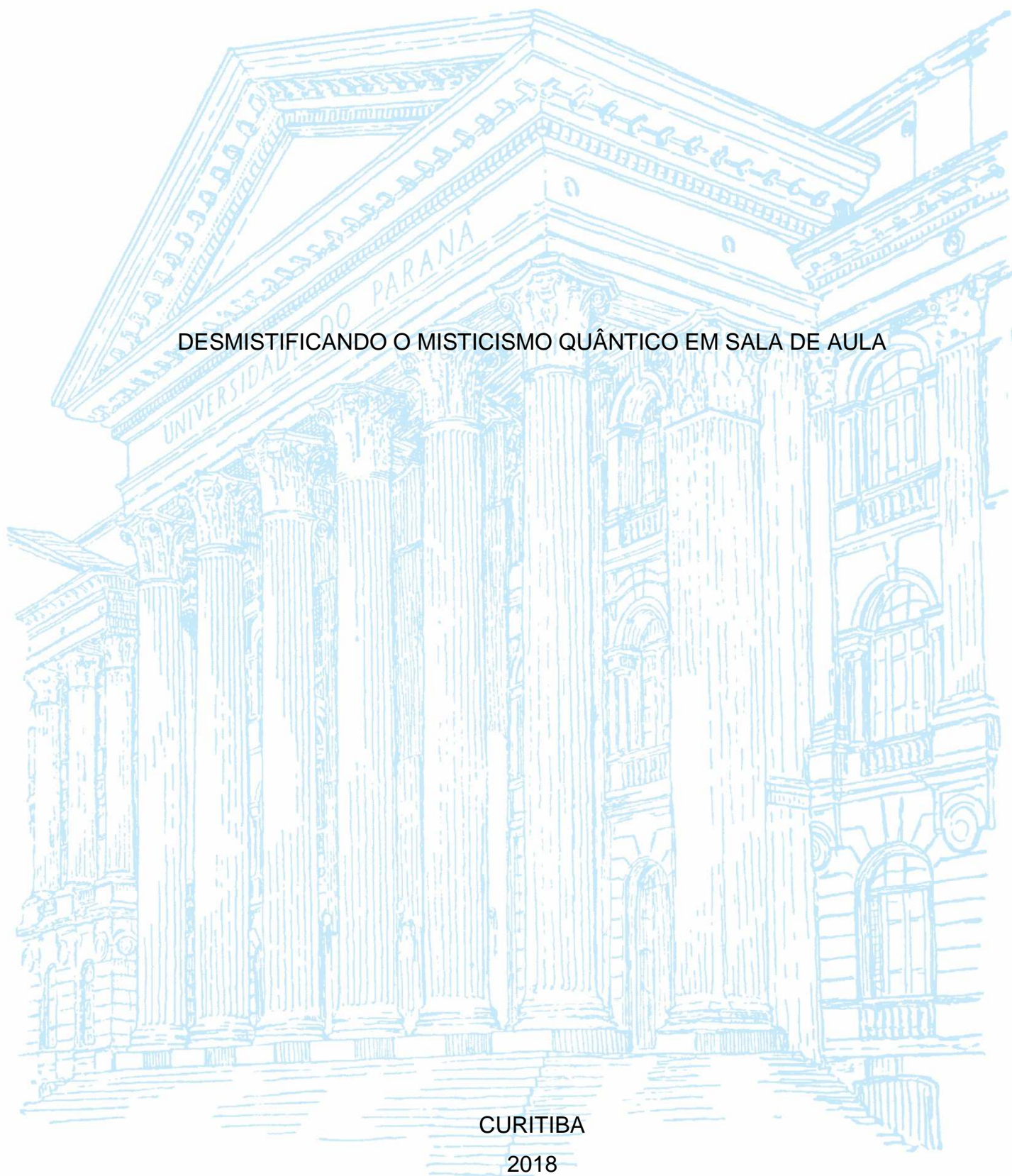
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CAIO CUCCIA BIAGIOTTO

DESMISTIFICANDO O MISTICISMO QUÂNTICO EM SALA DE AULA

CURITIBA

2018



CAIO CUCCIA BIAGIOTTO

DESMISTIFICANDO O MISTICISMO QUÂNTICO EM SALA DE AULA

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de Licenciatura em Física, Setor de Ciências Exatas da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Dr. Evaldo Ribeiro

CURITIBA

2018



ATA DA APRESENTAÇÃO E ARGUIÇÃO ORAL DE
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 07 dias do mês de dezembro de 2018, as 15 horas, na sala PE03, do Bloco II, Centro Politécnico, na Universidade Federal do Paraná, compareceu o acadêmico **CAIO CUCCIA BIAGIOTTO**, aluno do Curso de Licenciatura em Física do Setor de Exatas da Universidade Federal do Paraná, para fazer a apresentação e arguição oral relativa ao seu **Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)**, intitulado "**Desmistificando o Misticismo Quântico em Sala de Aula**", orientado pelo Professor Dr. Evaldo Ribeiro, perante a banca examinadora, que foi assim constituída: Prof. Dr. Evaldo Ribeiro, como Presidente da Banca, o Prof^ª. Dra. Thaís Rafaela Hilger, como 1º Membro da Banca e o Prof. Dr. Alexandre Dias Ribeiro, como 2º Membro da Banca. Após assistirem a exposição do acadêmico acima nomeado e arguirem-no sobre diferentes aspectos do TCC apresentado, os membros da banca reuniram-se para atribuição da nota final, a qual foi 100 (cem), de acordo com o **Relatório de Avaliação de TCC**, que acompanha esta Ata, estando o acadêmico aprovado na disciplina TCC2, com a recomendação de que todas as sugestões de correções indicadas pela Banca sejam atendidas e que a versão definitiva do TCC seja entregue conforme as regras estabelecidas pelo Colegiado de Curso e no prazo fixado. A nota final foi comunicada ao acadêmico. Nada mais havendo a ser tratado, o Presidente da Banca declarou encerrada a seção e todos os membros da Banca assinaram a presente Ata.

Prof. Dr. Evaldo Ribeiro
Presidente da Banca

Prof^ª. Dra. Thaís Rafaela Hilger
1º Membro da Banca

Prof. Dr. Alexandre Dias Ribeiro
2º Membro da Banca

Caio Cuccia Biagiotto
Orientando

Ao meu pai.

AGRADECIMENTOS

Aos que estiveram sempre presentes: pai, mãe, Moni e Nina.

Ao professor Evaldo Ribeiro pela orientação deste trabalho.

À professora Tânia Braga Garcia pelo empréstimo dos livros didáticos analisados neste trabalho.

A todos os meus professores, sem exceção.

Aos amigos de estudo: Adriano, Leandro e Marcão.

*Prefiro ter questões que não podem ser respondidas
do que respostas que não podem ser questionadas.*

Richard Feynman

*A ciência está atrás do que o universo realmente é,
não do que nos faz sentir bem.*

Carl Sagan

Feliz aqueles cujo conhecimento é livre de ilusões e superstições.

Siddhartha Gautama

*Nós também sabemos o quanto a verdade é muitas vezes cruel,
e nos perguntamos se a ilusão não é mais consoladora.*

Henri Poincaré

No amount of belief makes something a fact.

James (the Amazing) Randi

Se podes olhar, vê. Se podes ver, repara.

José Saramago

RESUMO

Apesar de ser uma teoria bem estruturada e verificada, a física quântica tem sido utilizada para embasar diversas pseudociências, denominadas misticismo quântico. O presente trabalho tem como objetivo criar uma sequência didática que sirva como base para o professor de física do ensino médio capacitar o aluno a distinguir física quântica de misticismo quântico, em particular textos que abordam a “mente quântica”, sustentada por pensamentos como “o observador cria a realidade”, por exemplo. Esta sequência de aulas foi desenvolvida a partir dos três momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco - problematização, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento - e contempla uma primeira parte com seis aulas, referentes a conteúdos de física quântica (experimento de fenda dupla, comprimento de onda de De Broglie e princípio da incerteza), e uma segunda parte com cinco aulas, que aborda conhecimentos (não presentes em livros didático destinados ao ensino médio) sobre ciência e pseudociência baseados nas ideias de Mário Bunge, e análises de discursos sobre física quântica presentes em filmes e livros, sendo eles científicos ou não. A pesquisa mostrou ser possível abordar o tema em sala de aula, aliado aos conteúdos de física moderna. Há muitas outras oportunidades para explorar diversos temas relacionados às pseudociências e ao misticismo quântico na escola.

Palavras-chave: Física Quântica. Ensino de Física. Pseudociência. Três Momentos Pedagógicos.

ABSTRACT

Despite being a well-structured and verified theory, quantum physics has been used to support several pseudosciences, known as quantum mysticism. The present work aims to create a didactic sequence that will serve as the basis for the high school physics teacher to enable the student to distinguish quantum physics from quantum mysticism, in particular texts that address the "quantum mind", supported by thoughts such as "the observer creates reality" for example. This sequence of classes was developed with the three pedagogical moments from Delizoicov, Angotti and Pernambuco - problematization, organization of knowledge and application of knowledge - and includes a first part with six lessons, referring to the contents of quantum physics (double-slit experiment - de Broglie's wavelength and uncertainty principle), and a second part with five lessons, which deals with knowledge (not present in high school textbooks) about science and pseudoscience based on the ideas of Mario Bunge, and analysis of speeches on quantum physics present in movies and books, whether scientific or not. Research has shown that it is possible to approach the subject in the classroom, combining with the contents of modern physics. There are many other opportunities to explore various topics related to pseudoscience and quantum mysticism in the school.

Keywords: Quantum Physics. Physics Education. Pseudoscience. Three Pedagogical Moments.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PREVISÃO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS.....	27
FIGURA 2 – DENSIDADE DE ENERGIA DE PLANCK.....	28
FIGURA 3 – EXPERIMENTO COM PROJÉTEIS.....	31
FIGURA 4 – EXPERIMENTOS COM ONDAS NA ÁGUA	32
FIGURA 5 – EXPERIMENTO COM ELÉTRONS	32
FIGURA 6 – PADRÃO DE INTERFERÊNCIA SURGINDO GRADUALMENTE	33
FIGURA 7 – OBSERVANDO OS ELÉTRONS	34
FIGURA 8 – SIMULAÇÃO DE EXPERIMENTO DE DUPLA FENDA.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – INCIDÊNCIA DOS CONTEÚDOS.....	44
---	----

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – LIVROS DISTRIBUÍDOS POR CATEGORIA	41
--	----

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – COMPARAÇÃO ENTRE AÇÕES DE CIENTISTAS E PSEUDOCIENTISTAS	26
QUADRO 2 – COMPARATIVO ENTRE OS CONTEÚDOS APRESENTADOS EM CADA LIVRO	43

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

BNCC	- Base Nacional Comum Curricular
PNLD	- Plano Nacional do Livro Didático
3MP	- Três Momentos Pedagógicos
PI	- Princípio da Incerteza
TQ	- Teoria Quântica
h	- Constante de Planck
π	- Número Pi
Å	- ångström

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	PROBLEMA E OBJETIVOS	15
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
2	METODOLOGIA.....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	21
3.1	O QUE É PSEUDOCIÊNCIA?	21
3.2	A TEORIA QUÂNTICA	26
3.2.1	A origem do quanta	27
3.2.2	A mecânica quântica	29
3.2.3	O experimento de dupla fenda	30
3.2.4	O Princípio da Incerteza de Heisenberg.....	35
3.3	MISTICISMO QUÂNTICO	37
3.4	A FÍSICA QUÂNTICA NOS LIVROS DO PNLD.....	41
3.5	OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS	46
3.5.1	Primeiro momento: Problematização.....	46
3.5.2	Segundo momento: Organização do conhecimento.....	47
3.5.3	Terceiro momento: Aplicação do conhecimento.....	48
4	DESENVOLVIMENTO.....	49
4.1	PARTE I - O OBSERVADOR NO MUNDO QUÂNTICO.....	49
4.1.1	Problematização – Aula 01: Ver, observar, medir.....	50
4.1.2	Problematização – Aula 02: Os experimentos de dupla fenda	50
4.1.3	Problematização – Aula 03: O misterioso elétron.....	52
4.1.4	Organização do Conhecimento – Aula 04: Onda de de Broglie	52
4.1.5	Organização do Conhecimento – Aula 05: Princípio da Incerteza.....	54
4.1.6	Aplicação do Conhecimento – Aula 06: Retorno à dupla-fenda	55
4.2	PARTE 2 - MISTICISMO QUÂNTICO	56
4.2.1	Problematização – Aulas 01 e 02: Discursos quânticos	57
4.2.2	Organização do Conhecimento – Aulas 03 e 04: Ciência e Pseudociência	59
4.2.3	Aplicação do Conhecimento – Aula 05: Ciência ou Pseudociência?	60
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	61
	REFERÊNCIAS.....	63

1 INTRODUÇÃO

A física quântica, desenvolvida ao longo do século XX, é um campo de conhecimento extremamente bem-sucedido na comunidade científica, além de possuir aplicações inesgotáveis na tecnologia. O domínio da teoria quântica se restringe à escala nanométrica e subnanométrica e, apesar de seu sucesso como teoria, mostrou-se complicado traduzi-la para o mundo macroscópico. Graças a esta dificuldade e às apropriações do discurso da ciência, o chamado "misticismo quântico" tem ganho lugar dentre as pseudociências mais populares na mídia e na sociedade (FREIRE JR; PESSOA JR; BROMBERD, 2011, p. 280).

A pseudociência acaba servindo de base para inúmeras tentativas de enganar pessoas leigas, seja vendendo produtos que não conseguem entregar o que prometem, seja fornecendo suposto conhecimento (ou justificativa para conhecimento), sobre o qual se baseiam metodologias relacionadas a alguma forma de autoajuda (como rotulado pelas livrarias modernas). Essas tentativas são frequentemente bem-sucedidas dada a falta de contato da população com a Física Moderna em geral, e também por causa de algumas (frequentes) falhas em divulgação científica.

Foi da identificação desta situação, que é nociva à sociedade, que surge a motivação do presente trabalho de conclusão de curso.

1.1 PROBLEMA E OBJETIVOS

O presente trabalho visa criar uma sequência didática capaz de introduzir o tema em sala de aula e capacitar alunos de ensino médio para que estes saibam diferenciar o misticismo quântico, como pseudociência, da física quântica. Como o título sugere, desmistificar o misticismo quântico em sala de aula. Acredita-se que o assunto é chamativo e possui capacidade de despertar o interesse dos jovens, por fazer uma conexão com o mundo real, e isso, de maneira indireta, pode fomentar o interesse em ciência de uma maneira geral. Esta sequência foi desenvolvida tendo como base metodológica de ensino os três momentos pedagógicos de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002).

No início desta pesquisa, a intenção era abordar todos os diversos temas recorrentes relacionados às pseudociências quânticas. Proposta que se mostrou

inviável devido à grande quantidade de abordagens disponível. O recorte escolhido foi o da realidade quântica (ou mente quântica), que pode ser resumido como a crença em que a mente do ser humano possui uma capacidade sobrenatural de modificar a realidade.

Para isso, foi feito uma pesquisa capaz de cumprir com alguns objetivos específicos deste trabalho:

- Conceituar pseudociência e misticismo quântico;
- Encontrar um método prático para diferenciar ciência de pseudociência;
- Fazer um breve resgate histórico da física quântica, salientando pontos relevantes à pesquisa;
- Identificar os conteúdos de física quântica que aparecem em livros do Plano Nacional do Livro Didático;
- Apresentar a metodologia dos três momentos pedagógicos.

1.2 JUSTIFICATIVA

O analfabetismo científico está cada vez mais evidenciado na conjuntura atual, como exemplificado pelos defensores da Terra plana, negadores do aquecimento global, descrentes da importância e poder da vacinação, movimentos criacionistas “anti-evolução”, entre tantos outros. Qualquer indivíduo está sujeito a virar um adepto ao misticismo quântico, “em sua maioria, pessoas com predisposição a uma visão mística de mundo, que não entendem exatamente do que trata a Física quântica, mas confiam ou acreditam nos livros de divulgação que leram” (FREIRE JR; PESSOA JR; BROMBERD, 2011, p. 293).

O Brasil possui cerca de 3,5 milhões de jovens entre 15 e 17 anos (idade considerada ideal para cursar o ensino médio regular) ainda no ensino fundamental e 1,6 milhões sem vínculo com a escola (SILVA, 2017, p. 17). Essa deficiência de escolaridade propicia a desinformação da população. Além de que “é bastante fácil que ideias desviantes sejam apresentadas em sala de aula como corretas, haja visto que muitos professores de Ciências mantêm concepções pseudocientíficas” (1990, 2001, 1994, 2015 apud MOURA, SANTOS, 2017, p. 726).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é a mais recente proposta de reformulação que envolve o ensino médio do país. No texto dedicado à área de ciências da natureza e suas tecnologias, afirma que seu objetivo é "preparar os estudantes para fazer julgamentos, tomar iniciativas, elaborar argumentos e apresentar proposições alternativas" (BRASIL, 2018, p. 538). Ele divide o ensino em três competências específicas da área de ciências da natureza e suas tecnologias, para que, em seguida, apresente um número variado de habilidades para que seja possível atingir cada uma dessas competências individualmente.

A terceira competência pode ser lida na íntegra abaixo:

Analisar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo, utilizando procedimentos e linguagens próprios das Ciências da Natureza, para propor soluções que considerem demandas locais, regionais e/ou globais, e comunicar suas descobertas e conclusões a públicos variados, em diversos contextos e por meio de diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC). (BRASIL, 2018, p. 539)

Esta competência possui 10 habilidades relacionadas a ela. Destas, 3 merecem destaque e serão apresentadas e comentadas em seguida.

Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica. (BRASIL, 2018, p. 545)

Esta habilidade dá atenção aos processos experimentais e a interpretação de modelos, com o objetivo de resolver situações-problema com o olhar científico. Em um mundo cercado de novas tecnologias, o conhecimento sobre a física quântica e suas bases experimentais validam uma avaliação científica diante de situações novas. Seu conhecimento é imprescindível para a compreensão clara e objetiva do mundo.

Comunicar, para públicos variados, em diversos contextos, resultados de análises, pesquisas e/ou experimentos – interpretando gráficos, tabelas, símbolos, códigos, sistemas de classificação e equações, elaborando textos e utilizando diferentes mídias e tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) –, de modo a promover debates em torno de temas científicos e/ou tecnológicos de relevância sociocultural. (BRASIL, 2018, p. 545)

O conteúdo de física quântica tem grande relevância sociocultural. É pauta de debates atuais, relaciona-se às novas tecnologias, está presente em diversas divulgações científicas e também em pseudociências.

Interpretar textos de divulgação científica que tratem de temáticas das Ciências da Natureza, disponíveis em diferentes mídias, considerando a apresentação dos dados, a consistência dos argumentos e a coerência das conclusões, visando construir estratégias de seleção de fontes confiáveis de informações. (BRASIL, 2018, p. 545)

Com o avanço das mídias eletrônicas e o acesso à informação em geral, é importante que o cidadão saiba identificar as fontes e informações que são confiáveis.

Desta forma, o trabalho mostra-se relevante diante deste cenário em que há uma apropriação e deturpação do discurso científico, aliado a uma educação precária e ainda em processo de reforma.

2 METODOLOGIA

Para responder à pergunta problema desta pesquisa e, por fim, desenvolver uma proposta de sequência didática coerente com o tema e com a realidade da educação brasileira no ensino médio, foi feita uma pesquisa bibliográfica perpassando por diversos assuntos.

Primeiramente, buscou-se definir “pseudociência”. Para isso, foi escolhido o autor Mario Bunge (1919 -), por discutir questões relacionadas às pseudociências e por ser referência no meio acadêmico em relação a este tópico. Bunge oferece também métodos mais práticos para identificar tanto ciência quanto pseudociência, sendo assim uma abordagem atraente a ser usada, já que a filosofia da ciência não faz parte dos conteúdos programáticos do ensino médio. A teoria de Bunge tratará de uma abordagem mais geral para que, em seguida, seja abordado com mais ênfase o misticismo quântico, também como pseudociência.

Neste íterim, foi relatado um breve histórico da física quântica, perpassando pelos marcos históricos relevantes a esta pesquisa. Foram utilizadas como base as obras de cunho histórico de Rocha, *et al.* (2011) e Pires (2011), e obras dedicadas às teorias da física de Feynman, Leighton e Sands (2008) e Eisberg e Resnick (1979). O objetivo não é fazer um relato histórico esmiuçado e detalhado, pois foge ao escopo deste trabalho. Porém, alguns acontecimentos e evoluções das ideias ocorridas na física ao longo do século XX são importantes para esta pesquisa. O experimento de dupla fenda com um feixe de elétrons e o Princípio da Incerteza de Heisenberg foram abordados com maior profundidade.

Em seguida, o misticismo quântico foi conceituado com base nas obras *O mundo assombrado pelos demônios* (SAGAN, 2013) e *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais* (FREIRE JR; PESSOA JR; BROMBERD, 2011). A primeira é considerada uma obra de referência na luta contra o analfabetismo científico, da exaltação do ceticismo e desmistificação das explicações místicas para os fenômenos da natureza. A segunda obra é uma das poucas escritas em português a tratar do tema. É, na verdade, uma coletânea de trabalhos que discute por diversos ângulos as implicações culturais relacionadas a Teoria Quântica. Ainda sobre o misticismo quântico, é discutida brevemente a pesquisa de Moura e Santos (2017),

em que os autores procuram identificar termos em títulos e sinopses de livros, capazes de catalogá-los como ciência ou pseudociência. Os livros da pesquisa possuem a palavra "quântica" como chamariz.

Essa etapa da pesquisa contribui para que seja possível visualizar todo o universo que o misticismo quântico abrange. Há várias abordagens e distorções atribuídas à física quântica. Surgiu a necessidade de fazer um recorte, pois propor desmistificar todas essas abordagens em sala de aula foge da magnitude deste trabalho.

Para auxiliar na escolha deste recorte, foi investigado a presença da física quântica em livros didáticos. Foram analisados 11 livros presentes no PNLD (Plano Nacional do Livro Didático), levantando os conteúdos recorrentes em cada livro e como eles são tratados. Esta análise teve cunho quantitativo, expondo através de gráficos e tabelas a divisão de conteúdo dos livros. Serviu para conhecer um panorama geral daquilo que está disponível para o professor de ensino médio.

Assim, unindo o que os textos mostravam ser um tema recorrente no misticismo quântico e uma possibilidade de utilizar o conhecimento dos livros didáticos, o recorte escolhido foi o da Realidade Quântica (ou Mente Quântica ou Observador Quântico), discutidos no próximo capítulo.

Por fim, os três momentos pedagógicos, propostos inicialmente por Demétrio Delizoicov, foram descritos individualmente, pois serviram de metodologia de ensino para a criação das sequências didáticas. Para isso, foram utilizadas as obras dos autores Delizoicov (1982, 2005, 2008), Delizoicov e Angotti (1990) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002).

3 REVISÃO DA LITERATURA

Conforme explicitado na metodologia, a pesquisa bibliográfica visa responder a pergunta problema inicial, discutindo obras e autores relevantes.

3.1 O QUE É PSEUDOCIÊNCIA?

O cientista, astrônomo, astrofísico, cosmólogo, escritor e divulgador científico norte-americano Carl Edward Sagan (1934-1996) escreve, em 1939, seu manifesto contra o Mundo Assombrado pelos Demônios. Este mundo em que o analfabetismo científico reina através das superstições, pseudociências, misticismo. “A ciência desperta um sentimento sublime de admiração. Mas a pseudociência também produz este efeito. As divulgações escassas e malfeitas da ciência abandonam nichos ecológicos que a pseudociência preenche com rapidez.” (SAGAN, 2013, p. 20).

Pseudociência traz respostas fáceis, banaliza a experiência, foge do exame cético. As pseudociências comumente se baseiam em evidência insuficiente ou apenas ignoram todas as evidências que apontam em um caminho divergente ao esperado. Essas ideias, hoje divulgadas massivamente nos meios de comunicação, tornam-se acessíveis em toda parte. É muito mais fácil inventar uma pseudociência do que construir uma ciência. A ciência é mais rigorosa em seus métodos, sempre confrontados com a natureza, enquanto a pseudociência evita o rigor.

A pseudociência difere da ciência errônea. A ciência prospera com seus erros, eliminando-os um a um. Conclusões falsas são tiradas todo o tempo, mas elas constituem tentativas. As hipóteses são formuladas de modo a poderem ser refutadas. Uma sequência de hipóteses alternativas é confrontada com os experimentos e a observação. A ciência tateia e cambaleia em busca de melhor compreensão. [...] A pseudociência é exatamente o oposto. As hipóteses são formuladas de modo a se tornar invulneráveis a qualquer experimento que ofereça uma perspectiva de refutação, para que em princípio não possam ser invalidadas. [...] Quando a hipótese pseudocientífica não consegue entusiasmar os cientistas, deduz-se que há conspirações para eliminá-la. (SAGAN, 2013, p. 39)

Ao analisar a palavra "pseudociência", é possível extrair rapidamente um significado da mesma. O prefixo "pseudo", conforme utilizado na língua portuguesa, indica algo falso ou irreal, pode remeter à dúvida e à mentira. Portanto, um jeito simplista de definir pseudociência seria dizer que ela é uma *ciência falsa*. A partir disto, surge a necessidade de definir o que é ciência, pois, se definida, pseudociência seria aquilo que não pode ser sustentada como ciência, apesar de desejar sê-lo.

O físico e filósofo da ciência Mario Bunge, natural da Argentina, busca, por meio de seus trabalhos, caracterizar uma pseudociência. Para isso, utiliza-se do conceito de campos cognitivos para que, a partir deles, defina-se ciência e pseudociência.

“Um campo cognitivo pode ser caracterizado como um setor de atividade humana acumulando, difundindo ou utilizando conhecimento de algum tipo”¹ (BUNGE, 1984, tradução nossa, p. 37). Dessa maneira, ciência e pseudociência podem ser caracterizadas como campos cognitivos, sejam elas verdadeiras ou falsas. Alguns exemplos de campo cognitivo são: teologia, matemática, numerologia, astronomia, química, psicologia, ciências sociais. Um total de 10 características são propostas por Bunge para definir campos cognitivos.

1. Comunidade cognitiva.
2. Sociedade hospedando esta comunidade.
3. Visão geral, visão de mundo ou filosofia da comunidade.
4. Domínio ou universo do discurso do campo cognitivo, os objetos sobre os quais o campo trata.
5. Antecedentes formais: ferramentas lógicas e matemáticas empregáveis no campo.
6. O antecedente específico, ou conjunto de pressupostos sobre o item 4, emprestado dos campos do conhecimento que não o campo em si.
7. Problema ou conjunto de problemas que o campo pode lidar.
8. Campo específico de conhecimento acumulado pelo campo.
9. Objetivos da comunidade cognitiva em cultivar o campo do conhecimento.
10. Metodologia ou coleção de métodos utilizáveis no campo.

¹ A cognitive field may be characterized as a sector of human activity aiming at gaining, diffusing, or utilizing knowledge of some kind, whether this knowledge be true or false (BUNGE, 1984, p.37).

Os campos cognitivos ainda podem ser divididos entre Campos de Crença e Campos de Pesquisa. A primeira divisão engloba as religiões, ideologias políticas e as pseudociências, enquanto a segunda, os campos das ciências humanas, matemáticas, ciência básica, ciência aplicada e ciências tecnológicas, esta última inclui medicina e direito.

Para que um campo cognitivo possa ser considerado ciência, Bunge (1984) elenca 12 novos itens, relacionados aos 10 primeiros. Qualquer campo que não satisfaça estas 12 condições, listadas abaixo, deve ser considerado como não-científico.

1. Cada um dos dez componentes de um campo cognitivo muda, ainda que lentamente, como resultado da investigação no mesmo campo, assim como em campos relacionados.
2. A comunidade de pesquisa do campo é um sistema composto por pessoas que receberam treinamento especializado, mantêm fortes laços de informação entre si e iniciam ou continuam uma tradição de investigação.
3. A sociedade do campo, que hospeda a comunidade, incentiva ou pelo menos tolera as atividades dos componentes da comunidade.
4. O discurso do campo é composto exclusivamente de entidades reais (ao invés de ideias livremente flutuantes).
5. A perspectiva geral ou formação filosófica consiste em (a) uma ontologia de acordo com a qual o mundo real é composto de coisas concretas que mudam legalmente (ao invés de coisas imutáveis, sem lei ou fantasmagóricas); (b) uma teoria realista do conhecimento (em vez de uma idealista ou convencionalista); (c) um sistema de valores que confere clareza, exatidão, profundidade, consistência e verdade; (d) o *ethos* da livre busca da verdade (em vez da busca limitada pela utilidade, pelo consenso ou pela conformidade com o dogma).
6. O antecedente formal é uma coleção de teorias lógicas ou matemáticas atualizadas (ao invés de serem vazias ou formadas por teorias formais obsoletas).
7. Os antecedentes específicos são uma coleção de dados atualizados e razoavelmente confirmados (ainda que não sejam incorrigíveis), hipóteses e teorias obtidas em outros campos de investigação relevantes para o campo cognitivo.

8. A problemática consiste, de modo exclusivo, em problemas cognitivos relativos à natureza (em particular, às leis) dos membros do universo do discurso, bem como problemas relativos a outros componentes do campo cognitivo.
9. O campo específico de conhecimento acumulado é uma coleção de teorias atualizadas e testáveis, hipóteses e dados compatíveis com os dos antecedentes específicos e obtidos no campo cognitivo em épocas anteriores.
10. Os objetivos da comunidade cognitiva incluem descobrir ou usar as leis do universo do discurso, sistematizar (em teorias) hipóteses sobre esse universo e aperfeiçoar as metodologias utilizadas no campo cognitivo.
11. Os métodos contêm procedimentos exclusivamente verificáveis (verificáveis, analisáveis, criticáveis) e justificáveis (explicáveis).
12. O campo cognitivo é um componente de um campo cognitivo mais amplo. Há pelo menos um outro campo de pesquisa (contínuo) tal que (a) as perspectivas gerais, os antecedentes formais e específicos, o campo específico de conhecimento, os objetivos e os métodos dos dois campos têm sobreposições não vazias, e (b) um campo é incluído no outro, ou cada membro do universo do discurso de um deles é um componente de um sistema pertencente ao outro universo.

De maneira análoga, define outras 12 condições para que um campo cognitivo seja chamado de pseudociência. Estas são relacionadas a seguir.

1. Os dez componentes do campo cognitivo podem sofrer pequenas mudanças e, se mudam, estas mudanças estão ligadas a controvérsias ou pressões externas, ao invés de pesquisas científicas.
2. As comunidades que se autodenominam cientistas, embora não conduzam pesquisas científicas ou se envolvam em práticas de pesquisa que passem pelos padrões científicos.
3. A sociedade que apoia a comunidade por razões práticas ou tolera a comunidade relegando-a além da fronteira de sua cultura oficial. Um exemplo seria apoio para fins apenas lucrativos.
4. O universo de discurso está repleto de entidades irreais ou pelo menos não certificáveis, como as influências astrais.

5. A visão geral inclui o: (a) entendimento de ontologia de entidades ou processos imateriais, ou (b) uma epistemologia que faz espaço para argumentos de autoridade ou para modos de cognição paranormais acessíveis apenas para iniciados ou treinados para interpretar certos textos canônicos (c) um sistema de valores que não inclui clareza, exatidão, profundidade, consistência ou verdade, ou (d) um carácter que, longe de facilitar a busca gratuita da verdade, recomenda a defesa firme do dogma.
6. O antecedente formal é geralmente modesto. A lógica nem sempre é respeitada e a modelagem matemática é mais exceção do que regra. Os poucos modelos matemáticos que foram propostos não são testáveis experimentalmente, logo são falsos.
7. O antecedente formal é pequeno ou nulo: uma pseudociência aprende pouco ou nada de outros campos cognitivos. Do mesmo modo, contribui pouco ou nada para o desenvolvimento do outro campo cognitivo.
8. Os problemas que o campo deseja lidar, incluem mais problemas práticos sobre a vida humana do que os problemas cognitivos.
9. O campo do conhecimento está praticamente estagnado e contém muitas hipóteses instáveis ou falsas. E não contém hipóteses universais e bem confirmadas.
10. Os objetivos dos membros da comunidade são geralmente práticos e não cognitivos, e relação as suas problemáticas. Eles não incluem os objetivos típicos da pesquisa científica, ou seja, a descoberta de teorias e leis para entender e prever fatos.
11. As metodologias contêm procedimentos que não são verificados por procedimentos científicos nem justificados por teorias bem confirmadas. As críticas não são bem-vindas pelos pseudocientistas.
12. Não há nenhum campo de conhecimento, exceto talvez outra pseudociência, que se sobrepõe ao campo cognitivo e esteja em posição de controlar ou enriquecer o campo. Ou seja, cada pseudociência é praticamente isolada: não há um sistema de pseudociências paralelo ao da ciência tradicional.

Para sintetizar as ideias apresentadas, Bunge propõe o quadro 1 que compara as atitudes e atividades entre cientistas e pseudocientistas.

QUADRO 1: COMPARAÇÃO ENTRE AÇÕES DE CIENTISTAS E PSEUDOCIENTISTAS

Atividades e Atitudes	Cientistas		Pseudocientistas		
	Sim	Não	Sim	Não	Opcional
admite a própria ignorância, busca sempre mais pesquisas	x			x	
avança levantando e resolvendo novos problemas	x			x	
saúda novas hipóteses e métodos	x			x	
propõe e tenta novas hipóteses	x				x
tenta encontrar ou aplicar leis	x			x	
preza a unidade da ciência	x			x	
confia na lógica	x				x
usa matemática	x				x
reúne ou usa dados, particularmente os quantitativos	x				x
procure contraexemplos	x			x	
inventa ou aplica objetivos, checando os procedimentos	x			x	
resolve disputas por experimento ou computação	x			x	
sustenta-se na autoridade		x	x		
suprime ou distorce dados desfavoráveis		x	x		
atualiza a própria informação	x			x	
busca comentários críticos de outras pessoas	x			x	
escreve artigos que podem ser interpretados por qualquer pessoa		x	x		
é provável que consiga fama instantânea		x	x		

FONTE: BUNGE, tradução nossa (1984).

A ciência busca a compreensão do mundo como ele é. A pseudociência nutre fantasias, muitas vezes ainda inatingíveis pela ciência, como vida após a morte e poderes premonitivos. Ser capaz de examinar ceticamente as informações capacita o ser humano a burlar o charlatanismo, treina o indivíduo a identificar a mentira, onde quer que ela esteja. A informação falsa ou distorcida é um instrumento para tirar proveito dos menos capazes, dos indefesos, dos desatentos e dos desavisados.

3.2 A TEORIA QUÂNTICA

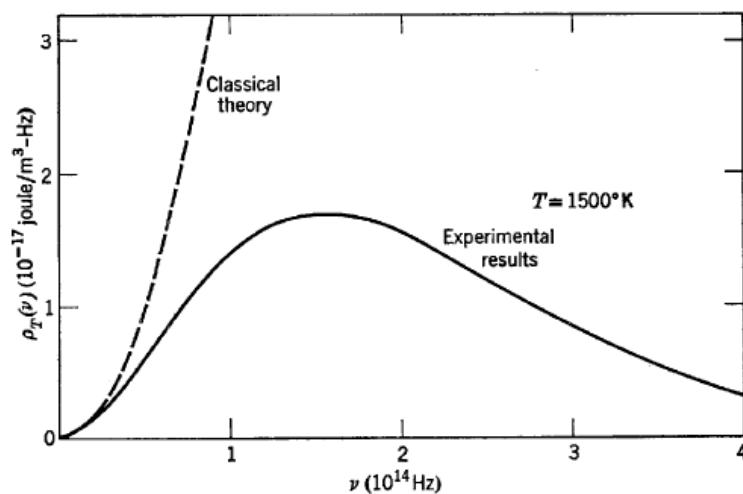
Após centenas de anos de desenvolvimento, a física passaria por uma nova revolução científica no final do século XIX, capaz de abalar todas as bases já estabelecidas desde então. Os cientistas desta época já estavam convencidos de que a matéria era composta por partículas, pontos materiais dotados de massa cuja mecânica newtoniana poderia ser aplicável. Esta mecânica tem a sua beleza por ser determinística, ou seja, os corpos do universo possuem, segundo ela, movimento predeterminado. Suas posições e velocidades são bem definidas em qualquer instante, com exatidão. É importante frisar que esta mecânica era inquestionável, pois "a sua aplicabilidade alcançava o movimento dos corpos celestes e dos sólidos (e líquidos) do mundo macroscópico, até aquele de partículas materiais, o que introduziu o aparecimento de uma teoria corpuscular da matéria, conforme ficou bem

demonstrado através da grande aceitação da Teoria Cinética dos Gases" (ROCHA, et al., 2011, p. 302-303)

3.2.1 A origem do quanta

A grande revolução da física quântica tem início no começo do século XX a partir dos trabalhos de Lorde Rayleigh (1842-1919) e James Jean (1877-1946). O estudo desenvolvido por eles pretendia encontrar uma equação matemática para prever a irradiação emitida por um corpo aquecido, a chamada radiação de corpo negro. A equação obtida por eles possuía discrepâncias com dados experimentais. No limite de frequências baixas, o espectro clássico se aproxima dos resultados experimentais, mas em altas frequências a previsão teórica vai a infinito. Esse comportamento aberrante para frequências altas ficou conhecido como "a catástrofe do ultravioleta", evidenciando a não validade da teoria clássica nesta região.

FIGURA 1 - PREVISÃO E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

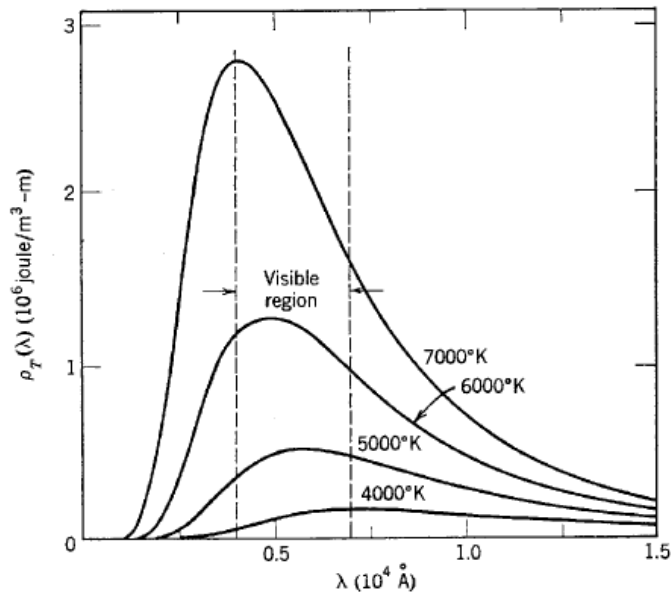


FONTE: Eisberg e Resnick (1985)

O resultado, mostrado na figura 1, frustrou Rayleigh e Jean e muitos outros cientistas da época. Foi Max Planck, que em 1900, apresenta uma conferência na Sociedade de Física de Berlim introduzindo um ajuste fenomenológico da curva experimental da radiação de corpo negro (figura 2). Inicialmente Planck questionou seus resultados já que, para concluí-los, fora necessárias inúmeras manipulações algébricas e admitir a ideia de que a radiação devia ser emitida em quantidades discretas, os minúsculos pacotes hoje chamados de *quanta*. Até então, a radiação eletromagnética era considerada um fenômeno tipicamente ondulatório, ideia

fundamentada pelas equações de James Clerk Maxwell (1831-1879). Cogitar que ela pudesse se comportar como porções discretas de energia era algo difícil. O quanta só seria confirmado com a Teoria do Efeito Fotoelétrico, publicada em 1905 por Albert Einstein (1879-1955), estabelecendo assim o início do que hoje se chama de Física Quântica.

FIGURA 2 – DENSIDADE DE ENERGIA DE PLANCK



FONTE: Eisberg e Resnick (1985)

Paralelamente, os físicos buscavam entender a estabilidade do átomo. Em 1913, Niels Bohr (1885-1962) apresentou um modelo atômico que sugeria que o elétron se movia em órbitas determinadas onde não emitia radiação, sua energia era constante. A radiação era emitida somente quando o elétron transitava entre órbitas, um *salto quântico*. Seu modelo foi capaz de descrever o espectro de radiação para o átomo de hidrogênio, antes observado experimentalmente (ROCHA, et al., 2011).

Em 1924, Louis de Broglie (1892-1987) propôs que o elétron também possuía um comportamento dual, similar ao discutido por Einstein no caso da luz. Sua tese foi corroborada com diversos experimentos da época, ancorados com a difração eletrônica, recém descoberta G. P. Thomson (1892-1975), em 1927, mostrou a difração de feixes de elétrons confirmando detalhadamente a relação de de Broglie $p = h/\lambda$. Não apenas os elétrons, mas todos os corpos materiais, “apresentam características ondulatórias em seu movimento, quando estão sob as condições da óptica física” (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 95). Porém, são necessários

comprimentos de onda de de Broglie relativamente grandes para que seja possível obter indício experimental da natureza ondulatória. A constante de Planck tem papel fundamental aqui, pois seu valor é muito pequeno, por esse motivo, a existência de ondas de matéria no mundo macroscópico não é passível de ser verificada experimentalmente. Por exemplo, uma bola de massa 1 kg movendo-se a 10 m/s teria um comprimento de onda $\lambda = 6,6 \times 10^{-25} \text{ \AA}$.

Em resumo, partículas macroscópicas têm massa grande o suficiente para que seu momento seja sempre alto e, conseqüentemente, seu comprimento de onda muito pequeno, além dos limites em que pode ser detectado experimentalmente (EISBERG; RESNICK, 1979, p.88). Já as partículas microscópicas possuem massa tão pequena que o momento fica reduzido, e seus comprimentos de onda são suficientes para serem comparáveis às dimensões de um sistema experimental.

3.2.2 A mecânica quântica

Buscando estruturar essa Teoria Quântica, Werner Heisenberg (1901-1976) e Erwin Schrödinger (1887-1961) desenvolvem separadamente, por volta de 1925, uma mecânica quântica. A primeira formulação consistente da nova teoria quântica foi de Heisenberg, em que "as quantidades físicas clássicas foram substituídas por matrizes matemáticas abstratas, definidas por postulados sem a ajuda da intuição. Essa teoria foi desenvolvida subsequentemente por Max Born (1882-1970) e Pascual Jordan (1902-1980)" (PIRES, 2011, p. 375). Atualmente, o cálculo de matrizes é bastante difundido, mas para a época em questão, era considerado difícil. As formulações matemáticas de Heisenberg foram sendo substituídas pela desenvolvida por Schrödinger e Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984). Heisenberg, em sua mecânica matricial, induziu as relações de incerteza, em que é impossível conhecer o momento e a posição de uma partícula simultaneamente com precisão suficiente, ao contrário do que a física clássica afirmava, criando um embate com o determinismo clássico.

Talvez a mais famosa formulação matemática da Teoria quântica é a equação de Schrödinger. Em sua mecânica ondulatória, idealizada na passagem do ano de 1925 ao ano de 1926, o físico austríaco calculou o valor correto para os níveis de energia de hidrogênio e de moléculas diatômicas. Esta equação é uma equação diferencial parcial, de primeira ordem no tempo e de segunda nas coordenadas espaciais, que descreve a evolução temporal de uma função de natureza complexa,

chamada função de onda. Schrödinger não sabia exatamente como interpretar seu significado. O alemão Max Born é quem propôs a interpretação de que o módulo da função de onda ao quadrado é proporcional à probabilidade que a partícula seja encontrada em determinada posição. Schrödinger nunca aceitou a interpretação de Born, que ficou conhecida como "interpretação de Copenhague" ou "interpretação ortodoxa". Em rebeldia a esta ideia, Schrödinger cria a analogia do Gato de Schrödinger, em que um gato é trancado em uma câmara com um frasco de cianureto de hidrogênio, que só seria liberado se o átomo radioativo decaísse. Depois de deixar o sistema intocado por um tempo, o gato teria 50% de chance de estar vivo ou morto. Enquanto a caixa estivesse fechada e a medição de vida ou morte do gato não fosse feita, o gato estaria em uma superposição de estados, ou seja, vivo e morto ao mesmo tempo. Ao abrir a caixa, a onda colapsa e o destino do gato é revelado.

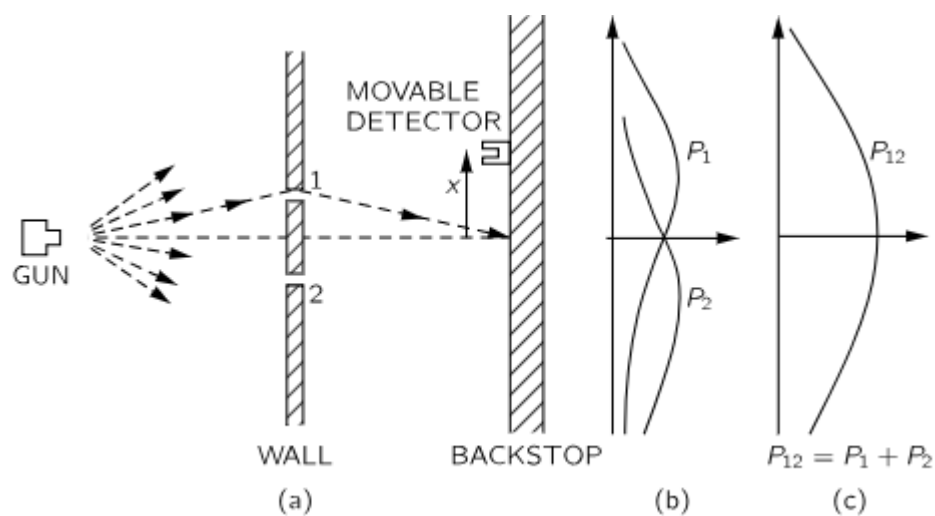
3.2.3 O experimento de dupla fenda

Para apresentar o experimento de dupla fenda com elétrons, essencial para o desenvolvimento desta pesquisa, será usado como base a descrição dada por Feynman (2008). Vale alertar que Feynman afirma, em 1960, que "Este experimento nunca foi feito desta forma [...] Estamos fazendo um 'experimento na mente', que escolhemos porque é fácil de pensar nele. [...] existem muitos experimentos que já foram feitos, onde a escala e as proporções foram escolhidas para exibir os efeitos que vamos descrever" (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p. 15). Apesar de achar impossível realizar este experimento, um ano depois, em 1961, o experimento de dupla fenda foi realizado pela primeira vez, por um estudante de graduação alemão, Claus Jönsson (CREASE, 2006, p. 2992). Apenas uma década depois seria desenvolvida tecnologia suficiente para realizar o experimento de elétrons isolados (discutido mais a frente). Em 1971, Pier Giorgio Merli, Giulio Pozzi e Gian Franco Missiroli, começaram a trabalhar com biprisma de elétron e planejaram um experimento de interferência, em que um elétron por vez era enviado pelo biprisma, aliado a um microscópio de elétrons. Os resultados apresentados a seguir seriam confirmados como previsto pela teoria.

Com o intuito de compreender o comportamento de elétrons, primeiramente será ilustrado o comportamento de partículas (como projéteis) e ondas (como ondas na água). O primeiro arranjo experimental discutido é ilustrado pela figura 3.

Nela, pode-se identificar um canhão que dispara projéteis em um amplo ângulo, em direção à uma parede blindada com dois orifícios que permitem a passagem de um projétil. Logo após, há um anteparo que irá absorver o impacto dos projéteis. Neste experimento, os projéteis não se partem, eles chegam inteiros no detector. A figura 3 mostra também algumas probabilidades: P_1 mostra a probabilidade do projétil atingir uma posição x , quando o orifício 2 está tapado; P_2 mostra a mesma situação, mas com o orifício 1 tapado; P_{12} mostra a soma dessas probabilidades. Neste resultado não há interferência, as probabilidades simplesmente se somam.

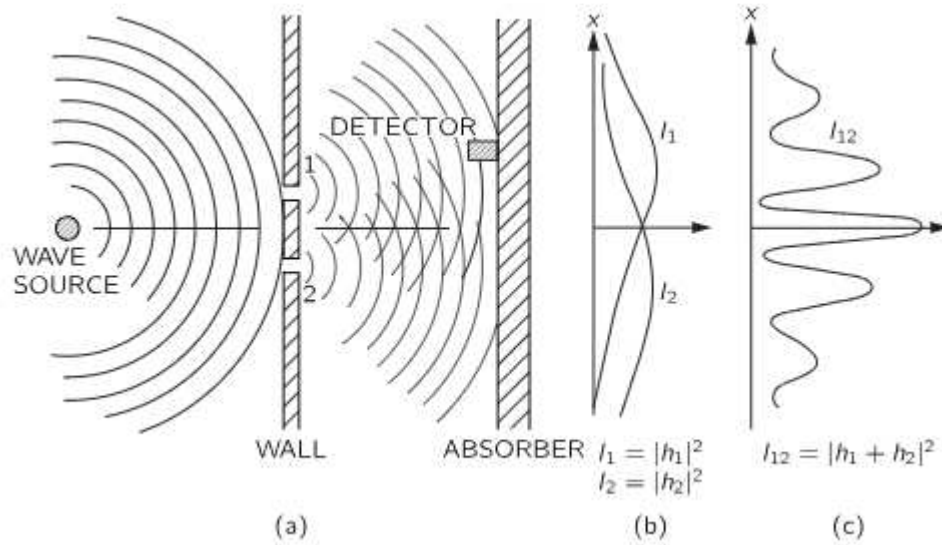
FIGURA 3 – Experimento com projéteis



FONTE: Feynman, Leighton e Sands (2011)

O próximo experimento a ser discutido é o experimento com ondas de água. Na figura 4 é possível observar o novo aparato, semelhante ao primeiro, mas desta vez, uma fonte produz ondas na água, que sofrerão difração ao passar pelas fendas. O novo detector mede a intensidade do movimento ondulatório. Tapando o orifício 1 obtemos I_2 e tapando o orifício 2 obtemos I_1 conforme mostra (b). A curva (c) é obtida com ambos abertos e mostra um padrão de interferência. Agora não há a simples soma das probabilidades.

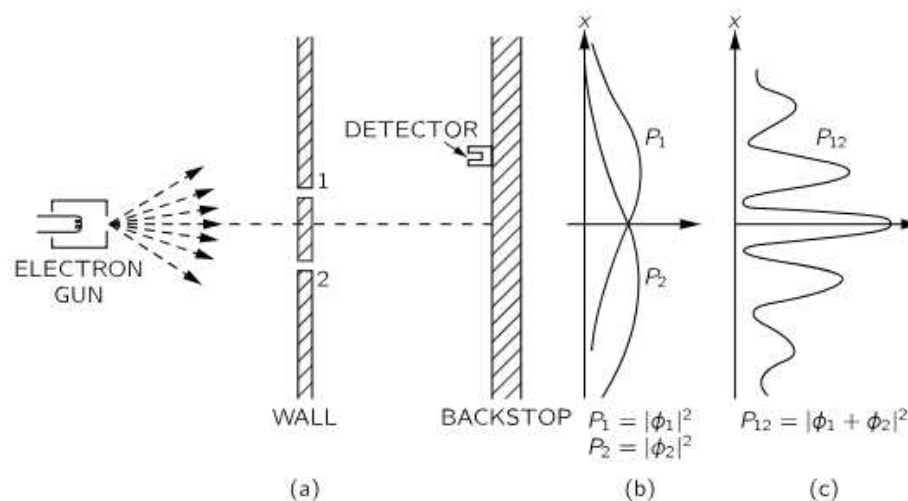
FIGURA 4 – Experimento com ondas na água



FONTE: Feynman, Leighton e Sands (2011)

Por fim, o novo experimento envolve um canhão que dispara elétrons, e todos os elétrons emitidos possuem a mesma energia. Cada vez que um elétron atinge o detector (pode ser um contador Geiger), ouve-se um clique, em que todos são iguais e não existe *meio-clique*. Agora, semelhante aos experimentos anteriores, ao fechar o orifício 1, obtém-se P_2 e ao fechar o orifício 2, P_1 , mostrado em (b) na figura 5. Quando se abrem os dois orifícios, o resultado obtido não é a soma de probabilidades obtida na figura 3. Comparando com o experimento de ondas, observa-se que há um padrão de interferência.

FIGURA 5 – Experimento com elétrons



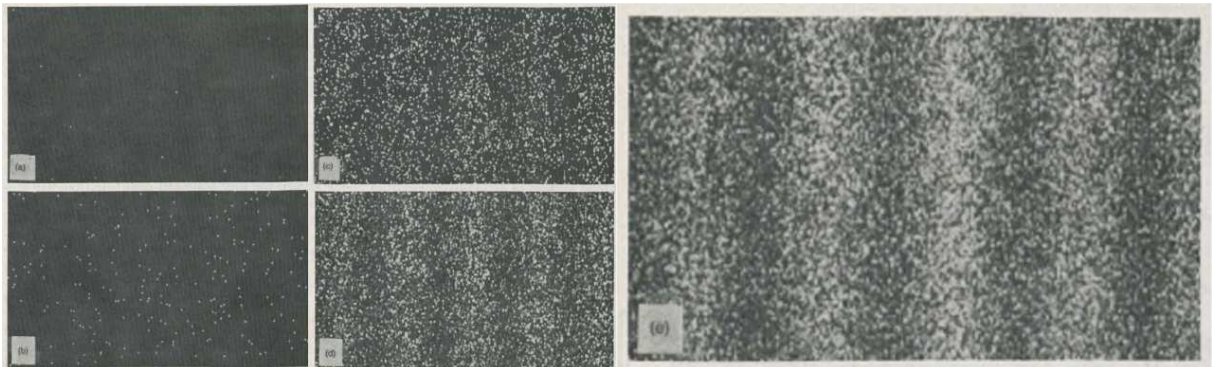
FONTE: Feynman, Leighton e Sands (2011)

O resultado é aparentemente muito misterioso. Os elétrons claramente chegam em unidades, como se fossem partículas, porém a probabilidade de onde chegam é igual à distribuição de intensidade de uma onda, comportando-se assim como onda e como partícula.

Esta dualidade é, na verdade, uma característica de todos os entes físicos (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 67), porém o comprimento de onda em corpos macroscópicos é extremamente pequeno, tornando o padrão de interferência sutil a ponto de ser indetectável.

Uma variação deste experimento envolve emitir um elétron de cada vez, para observar o padrão de interferência no anteparo formar-se lentamente. Dessa maneira, evitar-se-ia qualquer interação entre os elétrons, mostrando que esta não é a responsável pelo padrão de interferência. Somando os resultados do experimento com cada elétron, a mesma configuração de interferência seria encontrada. É importante esclarecer que é a “probabilidade de chegada dos elétrons no anteparo que é similar à intensidade de uma onda; é nesta característica que se manifesta o comportamento ondulatório.” (PIRES, 2011, p. 388).

FIGURA 6 – Padrão de interferência surgindo gradualmente



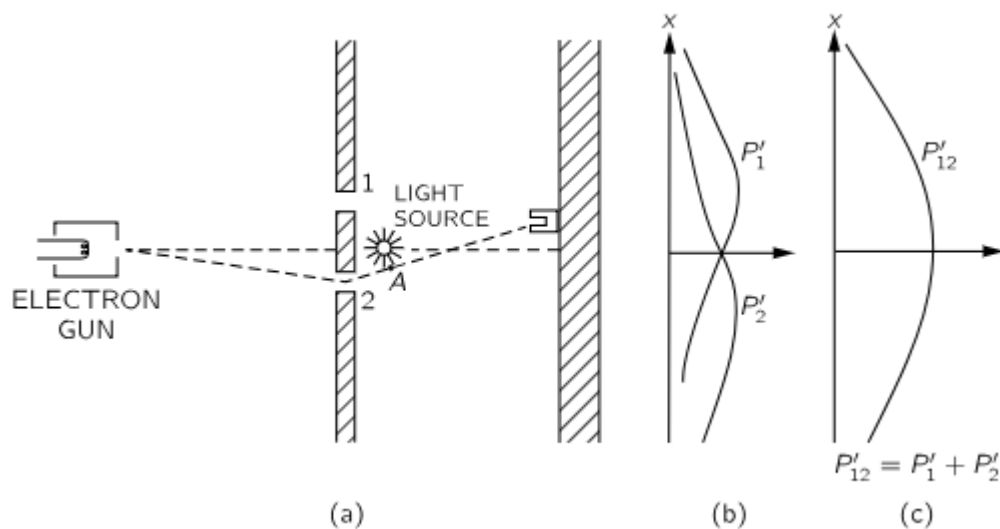
FONTE: Tonomura, *et al* (1989)

Na figura 6, é possível visualizar o padrão de interferência no anteparo, surgindo conforme os elétrons são lançados contra as fendas, um a um. Seguindo as imagens da figura 6, da esquerda para a direita e de cima para baixo tem-se 10 elétrons, 100, 3000, 20000 e 70000.

Uma questão importante de se levantar é se realmente os elétrons estão passando ora pelo orifício 1, ora pelo orifício 2. Finalmente, é feito o último experimento conforme ilustra a figura 7. Coloca-se uma fonte de luz logo após as

fendas da parede, com o intuito de espalhar a luz emitida pelas cargas elétricas quando passarem (se passarem) pelas fendas rumo ao detector. Por exemplo, se um elétron passar pela fenda 1, espera-se ver um flash da vizinhança deste orifício. Mas caso a luz vier das duas fendas ao mesmo tempo, o elétron teria passado pelas duas, ou talvez se dividido.

FIGURA 7 – Observando os elétrons



FONTE: Feynman, Leighton e Sands (2011)

O que ocorre é que, toda vez que se ouve um clique no detector, vê-se também um flash de luz vindo da fenda 1 ou da fenda 2, porém nunca das duas simultaneamente. Então, dizer que o elétron passa pelo orifício 1 ou pelo orifício 2, nunca pelos dois ao mesmo tempo, parece verdadeiro. Conforme a figura 7 mostra em (c), quando o experimento é arranjado desta maneira, os elétrons se comportam somente como partículas, de modo similar à figura 3. Basta apagar a luz emitida pela fonte, que a distribuição retorna a mostrar a interferência da figura 5.

A conclusão óbvia é que a luz está influenciando no resultado, e isso é correto, já que para ser possível observar o elétron, um fóton deve interagir com ele e chegar até o observador. O momento do fóton é da mesma ordem de grandeza do momento do elétron, alterando assim o seu movimento maneira suficiente para que mude sua trajetória, mudando também o padrão no anteparo. Poder-se-ia diminuir a intensidade da fonte de luz, pensando em diminuir os efeitos de influência do fóton, porém o momento do fóton é diretamente proporcional à sua frequência. Diminuindo a intensidade não alteraria o “esbarrão” dado no elétron. Uma outra alternativa então,

seria iluminar com luz de comprimento de onda maior, buscando não perturbar tanto o elétron, porém, neste caso, quando o comprimento de onda for maior do que a distância entre os orifícios, será visto um flash borrado, impossibilitando saber por qual dos dois o elétron passou.

Quando o elétron é detectado por algum tipo de interação, ele se manifesta com um comportamento corpuscular e quando está se movendo livremente age como onda. Niels Bohr resumiu esta situação em seu *princípio de complementaridade* (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 95), em que a escolha do modelo usado (corpuscular ou ondulatório) é determinado pela medida, pelo *observador*. Assim, radiação e matéria não podem ser simplesmente resumidas como onda ou partícula, é necessário um modelo mais geral, apesar de que, em situações mais simples, o modelo ondulatório ou o corpuscular pode ser usado e será suficiente.

Em resumo, é impossível arranjar o experimento de tal maneira que seja possível saber por onde o elétron passa, sem distorcer o resultado. Heisenberg sugeriu, em seu Princípio da Incerteza, que essas novas leis da natureza possuem uma limitação pela capacidade experimental. A mecânica quântica depende do PI e se ele for vencido em algum momento, ela daria "resultados inconsistentes e teria que ser descartada como uma teoria válida da natureza" (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p. 19). De certa maneira, o PI "protege" a mecânica quântica de colapsar.

3.2.4 O Princípio da Incerteza de Heisenberg

A essência do PI pode ser dada pelo experimento descrito. Para que haja interferência, a distância d entre as fendas deve ser comparável ao comprimento de onda do elétron λ_e . Pela relação de de Broglie temos:

$$p = h/\lambda \quad (1),$$

em que p é o momento da partícula, h a constante de Planck e λ o comprimento de onda. Assim o momento do fóton que irá colidir com o elétron pode ser dado por:

$$p_\gamma = h/\lambda_\gamma \quad (2).$$

O comprimento de onda da luz incidente λ_γ deve ser menor do que d , pois se for maior ou igual a d , não será possível determinar por que fenda passou o elétron

responsável pelo espalhamento da luz. E por λ_γ estar no denominador pode-se escrever:

$$h/\lambda_\gamma \geq h/d \quad (3).$$

Como d deve ser da ordem do comprimento de onda do elétron, então:

$$h/d \sim p_e \quad (4).$$

E, para que seja necessário identificar por qual fenda o elétron passou:

$$p_\gamma \geq p_e \quad (5).$$

O elétron sofrerá uma transferência de momento devido ao fóton que é da ordem do momento do fóton. Ou seja, a alteração do momento do elétron pode ser maior ou igual que seu próprio momento, antes da interação com o fóton.

Sendo assim, se o elétron tinha uma trajetória antes de ser iluminado, essa trajetória foi completamente modificada. A perturbação provocada no elétron com o intuito de detectar sua posição é suficiente para destruir completamente a informação sobre seu momento.

Entes quânticos não podem ser observados diretamente com os sentidos básicos do ser humano. Esta observação deve ser mediada por um aparato que inevitavelmente irá provocar no objeto observado uma perturbação capaz de contaminar outras informações.

Essa limitação pelo processo de medida é expressa pela inequação:

$$\Delta p_x \Delta x \geq h/4\pi \quad (6).$$

Essa relação pode ser expressa também em relação às outras componentes cartesianas: $\Delta p_y \Delta y \geq h/4\pi$ e $\Delta p_z \Delta z \geq h/4\pi$.

A partir dessas relações, pode-se inferir que, mesmo que tenhamos instrumentos ideais, nunca poderemos obter resultados melhores do que (6). “A restrição não é em relação à precisão com que p_x ou x podem ser medidas, mas em relação ao produto $\Delta p_x \Delta x$ numa medida simultânea de ambos”. (EISBERG; RESNICK, 1979, p.98).

Pires (2011), também reflete sobre o PI ser interpretado apenas como uma limitação da precisão dos instrumentos de medidas:

"Essa interpretação do princípio da incerteza, como o resultado da perturbação causada pelo aparelho de medida, não é inteiramente correta [...] Porém, a razão pela qual nós não podemos medir a posição e o momento simultaneamente, com uma precisão arbitrária, é justamente que os conceitos de entidades, como posição e momento, não existem simultaneamente. [...] A relação de incerteza é uma propriedade da Natureza e não uma propriedade de como fazemos observações. Ela não decorre de qualquer limitação em nossos instrumentos de medida e vale, se ou não, estamos medindo a posição ou o momento. O nome princípio de incerteza é de certa forma enganoso [...] uma partícula não pode ter uma posição exata e um momento exato ao mesmo tempo. Um ou outro desses valores é indeterminado, não apenas incerto. Um nome mais acurado seria princípio da indeterminação." (PIRES, 2011, p. 394-396)

Nas palavras de Bohr, "a incerteza e a indefinição são intrínsecas ao mundo quântico, e não apenas o resultado da percepção incompleta que temos dele" (1957 apud ROCHA, et al, 2011, p. 337).

3.3 MISTICISMO QUÂNTICO

Conforme foi visto nos itens anteriores, a física quântica pode dar a falsa impressão de ser construída totalmente pelo pensamento ou pelos dispositivos experimentais. Poder-se-ia acreditar que a física clássica é mais bem sucedida ao tentar retratar a natureza. O experimento de dupla fenda ilustra de maneira eficaz o mistério que circunda a teoria.

Isso abre brechas ao "misticismo quântico". Palavra hoje muito usada para descrever interpretações da teoria por um viés naturalista animista ou um idealismo subjetivista. Ou, por última instância, interpretações relacionadas a elementos religiosos. O misticismo quântico busca conectar a "espiritualidade" humana com os fenômenos observados pela física quântica.

O naturalismo animista é sinônimo de romantismo. Uma visão forte na antiguidade, de que a natureza possui alma, similar à humana, em que há uma finalidade em sua existência. "No renascimento europeu, houve um ressurgimento dessas tradições de magia, astrologia, alquimia e hermetismo, que caracterizavam o chamado 'naturalismo renascentista' e que influenciou cientistas como Gilbert, Kepler e van Helmont" (FREIRE JR; PESSOA JR; BROMBERD, 2011, p. 4912). Essa corrente de pensamento sugeria que o cientista poderia compreender a natureza através da intuição, ao invés do método científico.

O idealismo é central na metafísica de Hegel, que defendia uma certa racionalidade absoluta na natureza. O idealismo subjetivista toma a realidade como parte de um sonho na mente do indivíduo. A realidade depende da mente do sujeito cognoscente.

Para compreender cientificamente a mecânica quântica, é preciso conhecer uma certa base matemática. Uma matemática que passa pela aritmética, geometria euclidiana, até o cálculo vetorial, diferencial e integral, álgebra linear e conhecimentos de física-matemática. Esse domínio da ferramenta matemática pode ocupar um estudante por mais de dez anos, sem contar os aprendizados específicos da mecânica quântica. Assim, para um divulgador de ciência ou para um livro didático poder transmitir o conhecimento da física quântica para um leigo, pode ser uma tarefa árdua e quase impossível. Além de todos estes pré-requisitos, a física quântica tende a ser contrária ao senso comum, não intuitiva.

"Uma vez que o comportamento atômico é tão diferente da experiência cotidiana, é muito difícil se acostumar, ele parece peculiar e misterioso para todos - tanto para o iniciante como para o físico experiente. Mesmo os experts não o entendem da maneira que gostariam, e é perfeitamente razoável que seja assim porque todas as experiências humanas diretas ou intuitivas se aplicam a objetos grandes. Nós sabemos como as coisas grandes se comportam, mas numa escala pequena elas não se comportam dessa forma. Então precisamos aprender sobre elas de uma forma abstrata ou imaginativa e não por analogia com nossa experiência direta." (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.11).

Porém, mesmo que o leigo não consiga compreender a mecânica quântica, ela ainda pode ser verificada. Podemos comparar as predições quantitativas da teoria quântica com os comprimentos de onda uniformes das linhas espectrais dos elementos químicos, o comportamento dos semicondutores, dos microprocessadores, do laser.

Freire Jr., Pessoa Jr. e Bromberd (2011) dividem o misticismo quântico em teses. Essas serão apresentadas a seguir, pois caracterizam esse grupo de pseudociências que serão de extrema importância para a análise deste trabalho. As teses são divididas em I. Observador participante; II. Mente Quântica; III. Comunicação Quântica; IV Aplicações.

I. Observador participante

Esta tese aborda o papel do observador no ato da medição, o objeto é inseparável do observador. Essa posição não é mística por si só, mas ela é muitas vezes mencionada pelos naturalistas animistas.

Dizer que o observador humano é o responsável pelo colapso da “onda quântica”, é uma verdade. Porém, o problema existe quando é interpretada de maneira realista ao pensar que se há um observador, logo, alguém está forçando volitivamente o colapso da função de onda.

Como visto no experimento de dupla fenda, por exemplo, a escolha de como montar o experimento afeta o resultado, mas não existe aqui um poder de transformar a realidade regido pela vontade humana de forma sobrenatural. É claro que o ser humano é agente ativo, pois ele interage com seu experimento. O que não deve levar a uma conclusão, comum do místico quântico, em dizer que o observador, então, cria a realidade.

II. Mente Quântica

Na década de 80, o misticismo quântico ressurgiu, porém com novas hipóteses relacionadas ao cérebro humano e seus poderes. Aqui surge a ideia de que as leis naturais são as mesmas que as leis dos indivíduos, sustentando assim a comunicação quântica. É comum a relação entre livre arbítrio e o princípio da incerteza de Heisenberg. Se o mundo do muito pequeno é indeterminado, conseqüentemente a mente humana também será. Há também interpretações de que o cérebro humano é regido pelo emaranhamento quântico, por ser um sistema altamente integrado.

III. Comunicação Quântica

Estas mentes quânticas são capazes de se comunicar à distância. Os fenômenos ditos parapsicológicos se apropriam do discurso da física quântica envolvendo emaranhamento e não localidade quântica, para sustentar a telepatia, sentir eventos distantes, entre outros.

O best-seller de Rhonda Byrne, O Segredo, lançado em 2006, baseia-se no pressuposto de que a mente pode se unir ao universo, e este ser transformado apenas pelo pensamento positivo. A explicação apoia-se na física quântica, mais uma vez, pela capacidade que a mente teria de transformar a realidade de forma direta. O livro

recebe este nome pois alega que este “segredo” só era conhecido até então por pessoas ricas e famosas. Seu sucesso é grato ao pensamento positivo.

IV. Aplicações

A física quântica tem sido usada para fundamentar terapias alternativas. Estas práticas não se enquadram na medicina alopática e se resumem a práticas terapêuticas que recebem o nome de alternativas. A psicologia quântica é apresentada no livro *A cura quântica*, de D. Chopra (1990), um best-seller.

Os adeptos do misticismo quântico variam em sua natureza. Freire Jr., Pessoa Jr. e Bromberd (2011) afirmam que entre os cientistas naturais e os da área de humanas há uma minoria. Este grupo é, em maior parte, formado por indivíduos com uma predisposição a enxergar o mundo por uma visão mística. Eles não entendem a física quântica, mas acreditam cegamente em livros de divulgação. Há também um segundo grupo que, apesar de não compartilhar das teses do misticismo quântico, respeita crenças populares e a parapsicologia, por exemplo.

A penetração da mecânica quântica nos meios sociais e culturais é facilmente observada com uma simples pesquisa no Google. Ao consultar a palavra "quântica", surgirá uma imensa quantidade de websites relacionados à medicina quântica, cura ou terapia quântica, psicologia quântica, mente quântica e tantra quântico. Sem contar na busca em livrarias, hoje é possível encontrar livros sobre psicologia, responsabilidade, moralidade, imortalidade ou teologia quântica. Richard Dawkins responde a essa enxurrada de produtos de uma maneira bem sarcástica quando diz “ainda não encontrei um livro sobre feminismo quântico, administração financeira quântica ou teoria Afro-quântica, mas dê um tempo.” (DAWKINS, 2005, p. 174)

O trabalho de Moura e Santos (2017) investiga o catálogo online das quatro maiores livrarias online do Brasil: Cultura, Saraiva, Amazon e FNAC. Buscando livros que contêm a palavra "quântica" ou "quântico" em suas sinopses ou títulos, os pesquisadores chegaram a um total de 181 livros. Originalmente, esta seleção de livros estava dividida em diversos gêneros pelas livrarias, como autoajuda, ciências exatas, medicina alternativa. O autor, seguindo os critérios de demarcação de Bunge, reorganizou os livros em ciência, pseudociência e não ciência.

TABELA 1 – LIVROS DISTRIBUÍDOS POR CATEGORIA

Categoria	Freq.	%
Ciência	91	50
Pseudociência	81	45
Não ciência	9	5
Total	181	100

FONTE: Moura e Santos (2017)

A partir da tabela 1, pode-se observar que metade dos livros que possuem a palavra quântica, ou quântico, não são de origem científica. Após sua análise e procedimentos, os autores chegam a um conjunto de 22 palavras que podem auxiliar o leitor a identificar a real classificação do livro como sendo pseudociência. As palavras são as seguintes: espiritualidade, mente, ajudar, amor, indiano, humanidade, prática, objetivos, sabedoria, cura, doenças, espírito, seitas, problemática, justiça, menezes², singulares, renome, ética, funcionamento, concisa e crenças.

O trabalho mostra-se interessante para uma primeira análise, caso o leitor tenha recursos insuficientes para julgar a obra literária e reforça que o misticismo quântico está presente na cultura.

3.4 A FÍSICA QUÂNTICA NOS LIVROS DO PNLD

O programa do PNLD é destinado a avaliar e a disponibilizar obras didáticas, pedagógicas e literárias, entre outros materiais de apoio à prática educativa, de forma sistemática, regular e gratuita, às escolas públicas de educação básica das redes federais, estaduais, municipais e distritais e também às instituições de educação infantil comunitárias, confessionais ou filantrópicas sem fins lucrativos e conveniadas com o Poder Público. O Ministério da Educação (MEC) distribui os livros às escolas públicas básicas de todo o país.

² Curiosamente, os autores identificaram a palavra "menezes", pois esta aparecera em diversos títulos como "A força da calma no xamanismo de Jorge Menezes".

Foram analisados 11 livros presentes no PNLD:

1. Física 3 - Interação e Tecnologia (FILHO; TOSCANO, 2016)
2. Física aula por aula 3 (BARRETO; XAVIER, 2016)
3. Física 3 (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2017)
4. Física para o Ensino Médio 3 (YAMAMOTO; FUKU, 2017)
5. Física 3 - Conceitos e Contextos (OLIVEIRA et al., 2013)
6. Conexões com a Física 3 (MARTINI et al., 2013)
7. Física 3 (BONJORNIO et al., 2016)
8. Física 3 (ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013)
9. Física 3 (NANI; 2016)
10. Quanta Física 3 (KANTOR et al., 2010)
11. Física contexto & aplicações 3 (MÁXIMO; ALVARENGA, 2014)

Dentre os livros, buscou-se identificar quais capítulos tratavam do tema Mecânica/Física Quântica e quais conteúdos específicos são apresentados nestes capítulos. Todos os 11 exemplares são divididos em 3 volumes e o conteúdo de Física Quântica está inserido no último capítulo do terceiro volume, comumente intitulado de Física Moderna. Os conteúdos relacionados à Física Moderna, mas que não se enquadram à Física Quântica, não foram mensurados. Entre estes, a relatividade geral e restrita e a física nuclear.

A partir desta análise, o quadro 2 mostra a incidência dos assuntos nos livros do PNLD. A divisão dos conteúdos foi baseada na aparição dos mesmos nos livros analisados. Uma breve descrição do que pode ser encontrado nestes tópicos é descrita a seguir.

QUADRO 2 – COMPARATIVO ENTRE OS CONTEÚDOS APRESENTADOS EM CADA LIVRO

Conteúdos/tópicos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Surgimento da física quântica	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
Tecnologias	x					x			x	x	x
Radiação corpo negro		x	x	x			x	x	x	x	x
Efeito fotoelétrico		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Princípio da Incerteza		x	x	x		x		x	x	x	
Dualidade Onda-partícula		x	x	x			x	x	x	x	x
Menção Schrödinger			x	x					x		

FONTE: O autor (2018)

Surgimento da teoria quântica: refere-se à uma abordagem histórica, sem apresentar equações e dados quantitativos. Marcada pela queda da soberania da Mecânica Clássica e o surgimento de uma nova teoria. Geralmente introduz os capítulos.

Tecnologias: alguns livros abrem adendos breves para comentar sobre novas tecnologias que usam a teoria quântica como fundamento. Entre os mais recorrentes estão o laser, os LEDs, as células fotovoltaicas e supercondutores.

Radiação de corpo negro: busca do físico alemão Max Plank (1858-1947) para justificar a discrepância entre curva obtida experimentalmente e a curva teórica da radiação emitida por um corpo negro aquecido. A proporção entre a radiação eletromagnética e a frequência de vibração, introduzindo a constante de Plank e apresentando a equação relativa. Neste tópico são comumente apresentadas as palavras quantum e quanta, relacionando-as com "pacotes", dando o nome à nova teoria física que surgia.

Efeito fotoelétrico: alguns livros contam a história que antecede às descobertas de Einstein. Passando pelos experimentos de Hertz, Hallwachs e Lenard. Porém o principal foco dos conteúdos conta a história da descoberta de Einstein, energia quantizada e o comportamento também corpuscular do fóton.

Princípio da Incerteza: princípio enunciado por Werner Heisenberg (1901-1976), em 1927, afirma não ser possível conhecer com precisão a posição de uma partícula ao mesmo tempo que sua quantidade de movimento, e vice-versa, nos fenômenos quânticos.

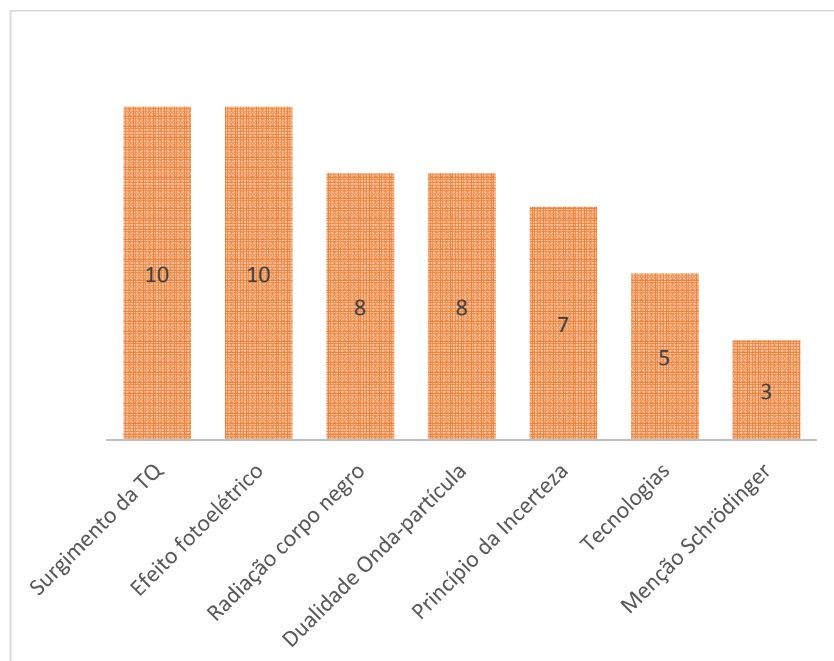
Dualidade onda-partícula: este tópico refere-se ao trabalho de Louis de Broglie. Suas proposições teóricas sobre o comportamento da matéria possibilitaram definir o comprimento de onda associado a uma partícula. Além de apresentar a equação de de Broglie, muitas vezes é feita uma abordagem histórica passando pelos experimentos de Huygens, Newton e Young.

Menções à Schrödinger: em nenhum livro há um tópico dedicado à função de onda proposta por Erwin Schrödinger. Por este motivo, foi computada recorrência à simples menção ao cientista e suas descobertas. Em dois livros é explicado o experimento mental do Gato de Schrödinger e, em outro, a sua interpretação probabilística do elétron.

A partir da tabela apresentada é possível observar que alguns livros dão mais atenção à Física Quântica do que outros. Mas, em todos os casos, o conteúdo é sempre apresentado no último capítulo dos livros e a quantidade de páginas dedicadas a este conteúdo é menor, se comparada aos conteúdos anteriores.

Para facilitar a visualização de quais conteúdos aparecem com maior recorrência nos livros analisados, o gráfico 1 foi criado:

GRÁFICO 1: INCIDÊNCIA DOS CONTEÚDOS



FONTE: O autor (2018)

Apenas nos livros 3, 4 e 9 o cientista Erwin Schrödinger foi citado, de maneira breve e superficial, exemplificado pelo único parágrafo dedicado ao cientista:

O experimento conhecido como “gato de Schrödinger”, proposto por Erwin Schrödinger, procurou mostrar que a teoria quântica é limitada ao mundo do infinitamente pequeno e que, sob o ponto de vista da quântica, um gato colocado em uma caixa poderia estar vivo e morto, ao mesmo tempo. (GUIMARÃES; PIQUEIRA; CARRON, 2017 p. 215)

O experimento de dupla fenda com elétrons foi citado apenas no livro de Martini et al. (2013) e não foi incluso na tabela por não ser um tópico especial no capítulo de física moderna.

É possível perceber, em uma primeira análise, que os livros do PNLD abordam a física moderna com superficialidade. Os conteúdos capazes de preparar o aluno para identificar pseudociências relacionadas ao misticismo quântico são muitas vezes ausentes ou insuficientes. Foram separados alguns trechos em que o PI é abordado, já que este conteúdo é vital para o desenvolvimento desta pesquisa:

"A iluminação do elétron com objetivo de medir sua posição gera uma mudança no seu movimento, acarretando uma incerteza na medida." (BARRETO; XAVIER, 2016, p. 224)

"[...] ao iluminar o elétron, o fóton de luz poderia modificar sua posição. Isso mostra que a observação do mundo atômico e subatômico o afeta, modificando-o e dificultando a obtenção de informações a respeito das características originais do sistema estudado." (MARTINI et al., 2013, p. 255)

"Para observar o elétron em uma órbita atômica, precisamos incidir um fóton de luz sobre ele. Esse fóton interage com o elétron, modificando seu estado" (ARTUSO; WRUBLEWSKI, 2013, p. 282)

"[...] um fóton deveria colidir no elétron [...] mas ao atingir o elétron, o fóton transfere para ele parte de sua energia, alterando a quantidade de movimento do elétron. Assim, quando se busca localizar o elétron com precisão, há alteração em sua velocidade, aumentando a incerteza na medida da velocidade." (NANI; 2016, p. 221)

O assunto é tratado com simplicidade e extrema objetividade. Cabe ao professor desenvolver estes assuntos em sala de aula e aprofundá-lo conforme achar

necessário. O livro didático é uma ferramenta importante para o docente, mas insuficiente em muitos conteúdos.

3.5 OS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Paulo Freire denomina educação bancária como a educação caracterizada pela transmissão acrítica e apolítica do conhecimento, uma "doação dos que se julgam sábios" (FREIRE, 2005, p.67). É um processo com um sentido único, professor - aluno. Freire defende uma educação em que a busca de conhecimento é incessante, o professor deve estimular o aluno ao espírito crítico e a não aceitar o conhecimento simplesmente imposto e transferido.

As perspectivas e ideias freirianas mostram-se, muitas vezes, problemáticas de serem transpostas à educação formal, pois foram desenvolvidas a partir da educação não formal. Com isso em mente, os 3MP, abordados inicialmente por Delizoicov (1982) e Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2002), foram capazes de transpor estas ideias de Freire para a atividade diária na escola.

Essa dinâmica didático-pedagógica, os 3MP, é dividida em três etapas distintas: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento.

3.5.1 Primeiro momento: Problematização

Para Delizoicov (2005), Gaston Bachelard (1884-1962) destaca-se como um cientista que deu atenção especial aos problemas de ensino-aprendizagem. Nas ideias de Bachelard, o conhecimento dá-se a partir da busca de soluções para problemas. O conhecimento científico é alcançado quando há rupturas do senso comum, deixando de lado o "conhecimento vulgar", um conhecimento que nasce da relação do estudante com a vida cotidiana, são conhecimentos empíricos. Os alunos chegam à escola com estas concepções alternativas ao conhecimento estruturado pela ciência. Mas aqui não basta a consciência de que existem as concepções, torna-se necessário obtê-las dos alunos, tomar conhecimento do que elas são. O primeiro momento pedagógico vem dessa necessidade, problematizar um conhecimento já construído pelo aluno e que o professor deve tomar conhecimento.

A problematização deve apresentar questões ou situações reais, que façam parte do cotidiano dos alunos, que eles vivenciam e se relacionam com o tema a ser

discutido. O professor deve organizar uma discussão sobre o problema proposto, com o intuito de buscar o questionamento das interpretações assumidas pelos estudantes, fazendo-os refletir sobre possíveis explicações contraditórias e limitações do conhecimento expressado pelos alunos. O professor não deve fornecer respostas prontas, as explicações formais virão posteriormente. A finalidade é buscar as ideias alternativas explicitadas pelo aluno. “Deseja-se aguçar explicações contraditórias e localizar as possíveis limitações do conhecimento que vem sendo expressado, quando este é cotejado com o conhecimento científico que já foi selecionado para ser abordado.” (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 201).

Essas questões devem ser encaradas como desafios pelos alunos, pois, ao se defrontar com as diversas interpretações, este sentirá uma necessidade de adquirir novos conhecimentos para entender a situação problema.

Mais do que simples motivação para se introduzir um conteúdo específico, a problematização inicial visa à ligação desse conteúdo com situações reais que os alunos conhecem e presenciam, mas que não conseguem interpretar completa ou corretamente porque, provavelmente não dispõem de conhecimentos científicos suficientes. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990, p. 29)

Em resumo, o problema será útil para encontrar as possíveis contradições e limitações do conhecimento exposto do aluno e deve permitir a introdução de um novo conhecimento científico, inédito ao aluno, seja ele de conceitos, modelos, leis e teorias, necessários para a solução do problema.

3.5.2 Segundo momento: Organização do conhecimento

Esta etapa compreende em estudar os conhecimentos científicos que possam capacitar o aluno a compreender o problema inicial.

A abordagem dos conceitos científicos é ponto de chegada, quer da estruturação do conteúdo programático quer da aprendizagem dos alunos, ficando o ponto de partida com os temas e as situações significativas que originam, de um lado, a seleção e organização do rol de conteúdos, ao serem articulados com a estrutura do conhecimento científico, e, de outro, o início do processo dialógico e problematizador. (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 194)

O professor é aconselhado a fazer uso de diversas ferramentas metodológicas para que possa ser desenvolvida a conceituação do conhecimento científico: textos para serem discutidos, trabalhos fora de sala de aula, formulação de questões,

experimentos, entre outros. Os tradicionais problemas "de lápis e papel" e exercícios de livros podem ser usados aqui.

3.5.3 Terceiro momento: Aplicação do conhecimento

O momento final destina-se a usar o conhecimento obtido ao longo das aulas para analisar e interpretar o problema inicial e outras situações problemas que também possam ser explicadas/compreendidas pelos mesmos conhecimentos científicos.

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento. (DELIZOICOV; ANGOTTI, 1990, p. 31)

Este momento deve capacitar o estudante a utilizar o corpo de conhecimento explorado em situações semelhantes em seu cotidiano, "é o potencial explicativo e conscientizador das teorias científicas que deve ser explorado" (DELIZOICOV; ANGOTTI; PERNAMBUCO, 2002, p. 202). Por isso há um momento de retorno à problematização, que agora deve ser vista com olhares da ciência.

Conforme é destacado por Delizoicov (2008), os 3MP não são apenas uma estratégia didática que pretende em sua primeira etapa introduzir um conteúdo, depois conceituar e, por fim, fazer avaliações e provas. Os três momentos possibilitam sistematizar elementos de situações significativas para determinado grupo de estudantes e problematizá-las a partir das ideias alternativas destes. Pretende-se localizar as limitações dos estudantes e desenvolver conhecimento e práticas distintas comumente usadas nos processos educativos.

4 DESENVOLVIMENTO

Este capítulo é dedicado a uma proposta de sequência didática dividida em aulas e estas, por sua vez, em momentos pedagógicos. Tem como objetivo desmistificar o misticismo quântico relacionado à realidade quântica, por isso preocupa-se apenas com conteúdos que contribuam para este fim. Não deve ser utilizada como uma sequência para lecionar física quântica, pois limita-se apenas ao objetivo proposto.

A primeira parte da sequência é dedicada à apresentação dos conceitos e equações da física, importantes para que os alunos compreendam parte da teoria quântica. A segunda parte busca desenvolver o senso crítico do aluno, para que este possa avaliar textos com certa autonomia, julgando tratar-se de ciência, pseudociência ou, até mesmo, algo em que não saiba ao certo.

Esta sequência tem intenção de ser um guia prático para que o professor possa seguir e modificá-lo à sua maneira, adaptando-o à sua sala de aula. Sendo assim, o professor possui a liberdade de inserir esta sequência didática a qualquer momento em seu currículo programático letivo, julgando qual momento mais adequado para isto. Da mesma maneira, este pode limitar ou ampliar o conteúdo exposto, dedicar mais ou menos aulas para cada assunto aqui abordado.

4.1 PARTE I - O OBSERVADOR NO MUNDO QUÂNTICO

A primeira parte da sequência didática é dividida em 6 aulas. Três para a problematização, duas para a organização do conhecimento e uma para a aplicação do conhecimento. A problematização da primeira aula visa levantar questões quanto ao ato de observar eventos no cotidiano do aluno e o ato de observar na busca de medir algo; nas duas aulas seguintes, problematiza-se o experimento de dupla-fenda do elétron. A organização do conhecimento preocupa-se em apresentar aos alunos os comprimentos de onda de de Broglie, junto a uma conversa sobre dualidade onda-partícula e, através de exercícios, refletir sobre o comportamento dual de entes macroscópicos e microscópicos; na segunda aula deste momento pedagógico, introduzir o Princípio da Incerteza de Heisenberg em sua forma matemática, discutindo sua abrangência através de exercícios. Por fim, na aplicação do

conhecimento, retornar à problematização inicial com nova perspectiva, utilizando o conhecimento adquirido durante o segundo momento pedagógico.

4.1.1 Problematização – Aula 01: Ver, observar, medir

O professor deve iniciar a aula questionando o que os alunos entendem pelo ato de observar. De acordo com as respostas obtidas, o professor deve guiar a discussão para que os alunos percebam que há uma diferença entre observar e ver. Que nem sempre se observa o mundo através do sentido da visão.

Perguntas guias:

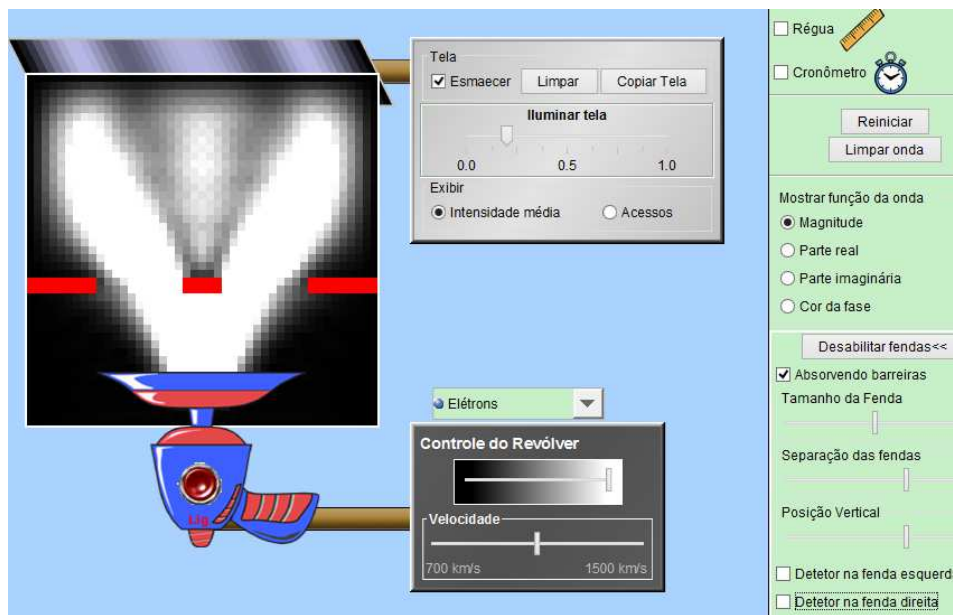
- O que significa "observar"?
- Como fazemos para observar algo?
- Ver é o mesmo que observar?
- Como podemos observar coisas que não podemos enxergar?
- Observar é o mesmo que medir?

Caso os alunos hesitem em dar exemplos que interessem à discussão, o professor pode questionar sobre como é feita a medição da temperatura de um corpo, de um objeto muito distante, entre outros. É importante fazer o aluno refletir sobre como usamos as palavras “ver”, “observar” e “medir”, e como um pesquisador faz uso das mesmas. A primeira aula deve ser finalizada com a pergunta "Como fazemos para observar corpos muito pequenos?". O professor deve estimular o aluno a pensar em corpos cada vez menores, até chegar na dimensão atômica.

4.1.2 Problematização – Aula 02: Os experimentos de dupla fenda

Nesta aula e na seguinte, serão mostrados aos alunos os experimentos apresentados em 3.2.3. Os arranjos experimentais podem ser expostos aos alunos através de projeções, desenhos esquemáticos na lousa, materiais impressos ou fazer utilização de simulações no computador. Há uma simulação do projeto PhET - Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder que pode ser uma opção de simulação. Fica a critério do professor optar pela maneira que mais se adapta a sua sala de aula.

FIGURA 8 – SIMULAÇÃO DE EXPERIMENTO DE DUPLA FENDA



Fonte: PhET - Interferência Quântica (2018)

A aula inicia-se introduzindo a montagem e as conclusões do experimento de dupla fenda com projéteis. O mesmo é feito com a montagem envolvendo ondas em água. Caso os alunos tenham estudado/recordem o conteúdo de ondulatória, podem ser feitos aprofundamentos relevantes neste momento, mas não é um conhecimento essencial para a continuidade da aula, apenas complementar.

O último arranjo é o experimento de dupla fenda envolvendo elétrons. Deve-se explicar detalhadamente como o experimento funciona, o canhão de elétrons, o detector no anteparo. É importante questionar os alunos sobre como eles acham que será o comportamento revelado no anteparo, se será de onda ou de partícula, comparando com os experimentos mostrados anteriormente.

Após esta discussão, o professor deve mostrar o que acontece quando o feixe é ligado. Uma nova discussão tem início.

Perguntas guias:

- Os elétrons aparentam chegar como partícula ou onda no anteparo?
- Por que o padrão acumulado na tela é ondulatório?
- Se ouvimos um clique no detector, o elétron não aparenta ser uma partícula?
- O que acontecerá se emitirmos um elétron de cada vez ao invés de um feixe?
- E se emitirmos um elétron de cada vez, mas observamos após uma grande quantidade de elétrons chegar na tela?

Aqui os alunos devem observar que o padrão continua igual, mesmo emitindo um elétron de cada vez. A aula finaliza com o professor questionando a natureza do elétron, se ele deve, afinal, ser considerado onda ou partícula.

4.1.3 Problematização – Aula 03: O misterioso elétron

A parte final da problematização tem como intuito unir a primeira parte da problematização com a segunda. Investigando o experimento, o aluno pode ou não sugerir que uma maneira interessante para esclarecer a dúvida sobre a natureza do elétron seria colocar um detector nas fendas. Assim, seria possível descobrir por qual fenda o elétron está passando e analisar seu comportamento.

Perguntas guias:

- Será que eles passam ora por uma fenda e ora por outra?
- Como podemos saber isso?
- Como funcionaria um detector capaz de "ver" o elétron?

O professor deve mostrar o que acontece após ligar um detector nas fendas.

Perguntas guias:

- O que mudou?
- Por que o padrão não é mais o de interferência?
- Quem fez com que o elétron mudasse seu comportamento?

A discussão deve finalizar com a conclusão de que o ato de observar o elétron influencia em seu comportamento de alguma forma.

4.1.4 Organização do Conhecimento – Aula 04: Onda de de Broglie

A primeira aula dedicada ao segundo momento pedagógico, deve focar no conceito de dualidade onda-partícula do elétron e, posteriormente, na natureza dual de todos os entes físicos.

Nos livros didáticos analisados neste trabalho, viu-se a presença de um viés histórico na apresentação do comprimento de onda de de Broglie. Fica à critério do professor fazer uma abordagem histórica ou não. O essencial é que a equação (1) seja apresentada aos alunos.

O professor deve deixar claro que se identifica o comportamento de algo como sendo partícula ou onda dependendo de como este é observado. A relação com o experimento de dupla-fenda será feita na aula 6, mas também pode ser comentado aqui o fato do elétron ter apresentado comportamento de partícula e de onda, em momentos distintos.

Como a constante de Planck surge nesta e em outras equações da física quântica, é também primordial que o professor discuta de onde ela surge. O primeiro contato do aluno com a constante de Planck pode ter ocorrido durante a aula de Efeito Fotoelétrico, já que o conteúdo de dualidade onda-partícula geralmente aparece depois do conteúdo de Efeito Fotoelétrico nos livros didáticos (quando estão presentes). Cabe ao professor adaptar a sua aula de acordo com seu currículo proposto para o ano letivo.

Nesta etapa da organização do conhecimento é interessante propor exercícios que justifiquem por que não observamos diariamente o comportamento de onda de entes macroscópicos.

Exemplo de exercício a ser proposto:

Sabe-se que a massa do elétron é de aproximadamente $9,1 \times 10^{-31}$ kg e possui velocidade típica de $3,0 \times 10^6$ m/s. Uma pessoa adulta de massa de 70 kg, corre a 2,0 m/s. Calcule o comprimento de onda associado ao elétron e a o comprimento de onda associado a pessoa.

Resolução:

$$\lambda_{\text{elétron}} = h/p_{\text{elétron}}$$

$$\lambda_{\text{elétron}} = (6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}) / (9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3,0 \times 10^6 \text{ m/s})$$

$$\lambda_{\text{elétron}} = 2,4 \times 10^{-10} \text{ m ou } 2,4 \text{ \AA}$$

$$\lambda_{\text{pessoa}} = h/p_{\text{pessoa}}$$

$$\lambda_{\text{pessoa}} = (6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}) / (70 \text{ kg} \cdot 2,0 \text{ m/s})$$

$$\lambda_{\text{pessoa}} = 4,7 \times 10^{-36} \text{ m}$$

Após o exercício e para concluir a aula, o professor deve salientar que ambos os valores obtidos são muito pequenos, quando comparados ao mundo macroscópico que os alunos estão acostumados a interagir diariamente. Porém, deve ser dito que o comprimento de onda de uma pessoa é muito menor quando comparado ao associado ao elétron. A ordem de ângström pode ser medida e o fenômeno de difração observado. No caso de uma pessoa, o efeito de difração deve ser desconsiderado.

4.1.5 Organização do Conhecimento – Aula 05: Princípio da Incerteza

A segunda aula da organização do conhecimento deve tratar do Princípio da Incerteza de Heisenberg. Para iniciar a discussão, sugere-se comentar o caráter determinístico da mecânica clássica. O professor pode citar exemplos já estudados por seus alunos: posição e velocidade de uma bola de futebol, carro, projéteis, etc.

Mais uma vez, os livros didáticos utilizam uma abordagem histórica para introduzir o tópico e esta pode ser uma opção ao professor. O essencial para o desenvolvimento desta parte da sequência didática é que a inequação que define o PI (6) seja apresentada. Como sua demonstração ultrapassa as limitações matemáticas do ensino médio, é recomendável que a reflexão proposta em 3.2.4 seja apresentada. Ela é de simples acompanhamento e serve de apoio ao conteúdo.

Analogamente à aula anterior, pode-se propor exercícios que mostrem como o PI influencia em medidas no mundo microscópico. É interessante que os exercícios e atividades propostas sejam feitos utilizando, majoritariamente, o elétron como exemplo, já que nas aulas seguintes retorna-se ao experimento de dupla-fenda.

Exemplo de exercício a ser proposto:

Utilizando os dados do exercício anterior, deseja-se calcular a incerteza na posição de uma pessoa e de um elétron, ao longo do eixo x. Para isso, é utilizado um instrumento que tem uma imprecisão na medida do momento de 3%. Suponha que ambos se movem no sentido positivo do eixo x.

- a) Qual o valor de Δx para a pessoa?
- b) Qual o valor de Δx para o elétron?

Resolução:

a) para a pessoa:

$$p_x = m \cdot v$$

$$p_x = 70 \text{ kg} \cdot 2 \text{ m/s}$$

$$p_x = 140 \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta p_x = 0,03 \cdot 140 \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta p_x = 4,2 \text{ kg.m/s}$$

Substituindo o valor encontrado em Δp_x $\Delta x \geq h/4\pi$:

$$\Delta x \geq (6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}) / (4\pi \cdot 4,2 \text{ kg. m/s})$$

$$\Delta x_{\text{pessoa}} \geq 1,3 \times 10^{-35} \text{ m}$$

b) para o elétron

$$p_x = m \cdot v$$

$$p_x = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg} \cdot 3,0 \times 10^6 \text{ m/s}$$

$$p_x = 2,73 \times 10^{-24} \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta p_x = 0,03 \cdot 2,73 \times 10^{-24} \text{ kg.m/s}$$

$$\Delta p_x = 8,2 \times 10^{-26} \text{ kg.m/s}$$

Substituindo o valor encontrado em $\Delta p_x \Delta x \geq h/4\pi$:

$$\Delta x \geq (6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}) / (4\pi \cdot 8,2 \times 10^{-26} \text{ kg. m/s})$$

$$\Delta x_{\text{elétron}} \geq 6,4 \times 10^{-10} \text{ m ou } 6,4 \text{ \AA}$$

Mais uma vez, ambos os resultados são bem pequenos, porém o resultado para o elétron é muito maior quando comparado com as dimensões típicas da matéria. Se comparado ao raio de Bohr, o resultado para o elétron é maior do que este. Assim, deve-se salientar ao aluno que a imprecisão no mundo macroscópico é tão pequena que é imperceptível e até impossível de medir na prática. Enquanto, no nível atômico, esta incerteza pode ser tão grande que inviabiliza uma medição precisa de certas grandezas.

A aula deve ser encerrada voltando à conversa sobre o determinismo da física clássica e como ele é falho em escalas muito pequenas. O professor deve discutir sobre a incerteza ser algo intrínseco à natureza e não à medida em si.

4.1.6 Aplicação do Conhecimento – Aula 06: Retorno à dupla-fenda

No momento final desta primeira parte da sequência didática, retorna-se à problematização, mas agora com um novo olhar. O aluno deve ser capaz de compreender os comportamentos, inicialmente estranhos a eles, do elétron no experimento de dupla-fenda. As mesmas perguntas feitas inicialmente devem ser refeitas e, com o apoio mais ativo do professor, serem respondidas com um olhar mais científico e de acordo com os conteúdos estudados nas aulas anteriores.

A seguir, são listadas algumas perguntas que podem ser respondidas aos alunos como forma avaliativa:

1. O que você entende por "observação"?

2. Comente as diferenças entre ver, observar e medir. Relacione com um cientista fazendo um experimento.
3. No experimento de dupla-fenda, como o ato de observar influencia no resultado final do experimento? Por que isso ocorre?
4. O elétron é uma partícula ou uma onda? Justifique.
5. O Princípio da Incerteza de Heisenberg vale para qualquer medida feita? Justifique.

O professor também pode colocar em sua avaliação exercícios semelhantes aos exemplos mostrados nas aulas 4 e 5.

Após esta primeira parte, espera-se que o aluno tenha alcançado uma compreensão mais segura das diferenças do mundo clássico e do mundo quântico, que tenha compreendido tanto a importância do PI para os entes quânticos como a aparente estranheza que surge ao tentar usar termos clássicos (onda, partícula) para descrever os comportamentos quânticos. Essa solidez esperada servirá de base para a abordagem de identificação de pseudociência, que vem a seguir.

4.2 PARTE 2 – MISTICISMO QUÂNTICO

A segunda parte da sequência didática é dividida em 5 aulas. Duas para a problematização, duas para a organização do conhecimento e uma para a aplicação do conhecimento. Durante a problematização, serão apresentados trechos de notícias, filmes e livros, com o tema física quântica. O professor deverá observar a percepção dos alunos em relação aos conteúdos apresentados. No segundo momento, serão apresentadas algumas ferramentas práticas no julgamento de discursos como pseudociência ou ciência. Diferentemente da primeira parte desta sequência didática, este conteúdo não está presente em nenhum livro didático disponível. O objetivo aqui é sugerir uma abordagem prática e passível de execução no ensino médio. Por fim, no terceiro momento, retorna-se às problematizações incentivando os alunos à fazerem novos julgamentos, aliados aos conhecimentos obtidos durante as aulas.

4.2.1 Problematização – Aulas 01 e 02: Discursos quânticos

O professor deve iniciar a aula questionando os alunos se estes já viram a física quântica em livros, em revistas, internet, etc. Caso os alunos citem alguma fonte específica, como por exemplo um filme, um website, que seja possível acessar durante a aula, pode ser uma opção para iniciar a discussão. Se o aluno não conseguir localizar, o professor deve trazer consigo alguns exemplos em que se fala de física quântica.

Todas essas fontes devem trazer informações científicas e pseudocientíficas, sem que estas sejam identificadas previamente pelo professor. A localização de textos falaciosos, com interpretações errôneas, é extremamente fácil. Basta uma busca, por exemplo, com as palavras “quântica”, “quântico” em qualquer website de busca na internet.

Uma sugestão curiosa é acessar livrarias virtuais e procurar os mesmos termos. Usando como exemplo o website da Amazon Brasil, ao pesquisar a palavra “quântica”, surgem na primeira página títulos bastante “suspeitos”, como: “O enigma quântico: O encontro da física com a consciência”; “Você é o universo: Crie sua realidade quântica e transforme sua vida”; “Orações quânticas: para a manifestação dos seus sonhos”; “A Física Quântica de Jesus”.

Essa é uma primeira sugestão de atividade proposta na problematização. O professor pode acessar um website de livraria online e pesquisar alguns termos (sugeridos pelos alunos) que surgiram na primeira parte da sequência didática. E, assim, questionar os alunos sobre a percepção deles apenas quanto aos títulos. Neste momento não é necessário perguntar se eles acham que se trata de ciência ou não, apenas observar a reação diante dos nomes dos livros.

A seguir, relaciona-se algumas opções que podem ser usadas em sala de aula para discussão com os alunos. Ambas as abordagens, científicas e pseudocientíficas, devem ser discutidas. As opções são inúmeras, aqui são listados apenas exemplos para agilizar o trabalho do professor. Os exemplos de textos científicos podem ser retirados do próprio livro didático. Reforça-se que exemplos dados pelos alunos são sempre valiosos e devem ser usados com prioridade.

O princípio da incerteza nos permite compreender como é possível que a radiação e a matéria tenham uma natureza dual (onda-partícula). Se tentarmos determinar experimentalmente se a radiação é onda ou partícula,

por exemplo, veremos que uma experiência que force a radiação a revelar seu caráter ondulatório suprime fortemente seu caráter corpuscular. Se modificarmos a experiência de forma a acentuar o caráter corpuscular, o caráter ondulatório desaparece. (EISBERG; RESNICK, 1979, p. 112).

Os experimentos da física quântica realmente nos revelam que as propriedades de um elétron mudam enquanto ele está sob observação, basta que focalizemos nossa atenção sobre ele, ainda que por um breve instante. Os experimentos sugerem que o simples ato de observar é um ato de criar, e que a consciência executa uma criação. (BRADEN, 2008, p. 8)

Em um universo participativo, o ato de focalizarmos nossa consciência — de olharmos para algum lugar e examinarmos o mundo — é, por si mesmo, um ato de criação. Nós somos aqueles que observam e estudam o mundo. Somos a mente (ou pelo menos parte de uma grande mente), como Planck descreveu. Ao olharmos para todos os lugares, nossa consciência faz algo para vermos. Princípio 5: O ato de focalizar nossa consciência é um ato de criação. A consciência cria! (BRADEN, 2008, p. 41)

O importante é o autoconhecimento e saber como a mente cria a realidade. E nisso a ciência avança e comprova, cientificamente, que é possível nos programarmos. Vastos estudos já comprovam a Física Quântica, agora a ciência abriu espaço para o cérebro, a Consciência Quântica. (WILGESS, 2018, não paginado)

Na mecânica clássica newtoniana uma partícula era descrita como um ponto. Podemos descrever sua posição e seu estado de movimento com três coordenadas espaciais e três componentes para a velocidade. Contudo, geralmente tal descrição específica não é possível. Quando observamos uma partícula em uma escala suficientemente pequena, existem limitações fundamentais que impedem a exata determinação da sua posição e sua velocidade. (YOUNG; FREEDMAN, 2014, p. 222)

No pensamento antigo, eu não podia mudar nada, pois não tenho nenhum papel na realidade. Ela já estava lá, feita de objetos que se moviam de sua maneira, a partir de leis determinísticas. A matemática determinava como reagiriam em determinada situação. Eu, o experimentador, não tenho papel algum. Na nova visão, sim a matemática pode nos dar alguma coisa, ela nos dá as possibilidades que esses movimentos podem assumir, mas não pode nos dar a experiência de que temos na minha consciência. Eu escolho aquela experiência. Então, literalmente, eu crio minha própria realidade [...] a física quântica está nos dizendo isso.³

³QUEM SOMOS NÓS?. Direção: William Arntz, Betsy Chasse, Mark Vicente. EUA: Playarte, 2004. 1 DVD (109 min), color.

Em resumo, essa problemática inicial servirá para o professor evidenciar a presença do discurso da mecânica quântica em diversos lugares e captar a concepção dos alunos em relação a esses discursos. É importante observar como os estudantes julgam estas falas. Para esta problematização inicial, estima-se a duração de duas aulas.

4.2.2 Organização do Conhecimento – Aulas 03 e 04: Ciência e Pseudociência

A organização do conhecimento propõe-se a equipar os alunos com ferramentas práticas possibilitando capacitá-los a julgar, em um primeiro momento, se alguma informação aparenta ser tendenciosa ou não, pseudociência ou ciência. O professor não deve criar a ilusão de que seus alunos irão tornar-se detetives capazes de identificar prontamente o que é ciência e o que não é. Até porque lhes faltará conhecimento científico e específico de cada área analisada. Porém, é possível criar um senso básico se algum discurso se mostra duvidoso e incentivar este olhar crítico no aluno, para que este não absorva tudo como verdade.

Ensinar filosofia da ciência ou epistemologia da ciência é inimaginável para os moldes em que a estrutura curricular escolar hoje está estruturada, seria necessária uma nova disciplina para dar conta de toda a filosofia da ciência. Nesta pesquisa foi apresentada uma única definição de ciência e pseudociência, visando um aspecto prático, mas há outros inúmeros autores que contribuíram e contribuem para o desenvolvimento da filosofia da ciência. Entre eles Karl Popper (1902 - 1994), Thomas Kuhn (1922 - 1996), Imre Lakatos (1922 - 1974), Paul Feyerabend (1924 - 1994).

O quadro 1 pode ser apresentada aos alunos e cada item discutido abertamente em sala de aula. As palavras presentes na pesquisa de Moura e Santos (2017) como palavras que podem ajudar o leitor a identificar livros classificados como pseudociência também podem ser relacionadas para os alunos. A partir da problematização envolvendo pesquisa por livros em livrarias digitais, outras palavras podem ser sugeridas tanto pelo professor ou pelos estudantes. Estas devem ser guardadas, pois servirão para a próxima aula.

O professor deve elucidar com exemplos, semelhantes aos apresentados na problematização, em que seja possível perceber se o conteúdo é pseudociência, ciência ou apenas dúvida.

4.2.3 Aplicação do Conhecimento – Aula 05: Ciência ou Pseudociência?

Neste último momento pedagógico, retornam-se às problematizações apresentadas nas aulas 01 e 02. Agora o aluno deve ser capaz de julgar com mais firmeza quais dos materiais apresentados aparentam se enquadrar em ciência ou pseudociência. É importante que os alunos tentem justificar suas escolhas, baseadas em conhecimentos obtidos nas aulas anteriores.

O objetivo é identificar se o aluno é capaz de refletir sobre as informações, seja essa reflexão correta ou não. O professor deve lembrar que o aluno não estará totalmente capacitado para esta tarefa, mas espera-se que suas capacidades argumentativas e interpretativas estejam aguçadas pelas discussões anteriores.

Como proposta avaliativa, sugere-se apresentar trechos de livros, notícias ou filmes (como feito na problematização) e pedir para que o aluno faça comentários sobre o conteúdo. Também pode ser solicitado ao aluno que este identifique termos e palavras chave que se relacionam com pseudociências. Reforça-se que o que precisa ser avaliado não é se o julgamento do aluno está certo ou errado, mas sim sua capacidade de reflexão sobre o conteúdo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho, foi almejado desmistificar o misticismo quântico em sala de aula. Porém, apesar deste ser uma parcela das pseudociências existentes, é ainda assim um grande universo de ideias. Dessa maneira, um recorte foi feito e serve como exemplo para outras possíveis pseudociências a serem “desmistificadas”.

Abordar epistemologia da ciência em sala de aula requer um estudo mais aprofundado, mas para os fins deste trabalho, as ideias de Bunge mostraram-se suficientes para introduzir o tema na escola. O conhecimento prévio do professor pode ser de grande valia para acrescentar e desenvolver novas atividades com os alunos, abordando outros vieses.

Lecionar física quântica no ensino médio é um desafio comumente expressado em pesquisas de ensino de física moderna. Neste trabalho, os conteúdos de física abordados estão presentes nos livros do PNLD, porém de maneira sucinta e superficial. O experimento de dupla fenda do elétron foi uma exceção, apesar de ser raramente citado, o conteúdo aqui exposto é um adendo aos livros didáticos.

A metodologia dos três momentos pedagógicos mostrou-se pertinente para construir a sequência didática de aulas. É uma forma lógica e significativa de estruturar uma sequência didática, além de que a problematização é uma estratégia útil para tornar o conhecimento mais próximo dos alunos e instigá-los durante todo o processo. Aqui foi necessário dividir a sequência em duas partes, já que o conteúdo de ambas se distinguiu, mas a metodologia é versátil e pode ser adaptada para qualquer tema.

Por este ser um trabalho de conclusão de graduação, limitou-se à criação da sequência didática sem que esta fosse aplicada em sala de aula, podendo tornar assim esta pesquisa com uma extensão além do viável. É evidente que a aplicação destas aulas em uma escola seria uma continuação natural e extremamente válida para este estudo, pois parte da sequência aqui apresentada depende da reação dos alunos para avançar no andamento das aulas.

Outra sugestão para futuros trabalhos seria realizar uma pesquisa capaz de responder com que frequência o professor de ensino médio explora o conteúdo de física moderna/física quântica nas salas de aula do país, em que anos os aborda, com que aprofundamento, que livros utiliza, como avalia os alunos, qual a recepção e

interesse destes, etc. E também qual a visão deste professor diante das pseudociências, pois o próprio professor pode ser alvo de ideias que nada de ciência têm. O desafio seria em como extrair esta informação dos docentes sem que estes fossem parciais.

Por fim, as pseudociências estão presentes na cultura e podem gerar problemas. A conscientização e instrução dos professores, o trazer a discussão para a sala de aula, parecem ser essenciais para a formação dos cidadãos que compõem a sociedade. Aqui foi apresentada uma proposta de como iniciar essa discussão, mas as possibilidades são vastas. Precisa-se ir além dos livros didáticos e explorar essas possibilidades com dedicação e consciência de sua importância na formação dos alunos.

REFERÊNCIAS

- ARTUSO, Alysso R.; WRUBLEWSKI, Marlon. **Física 3**. 1 ed. Curitiba: Positivo, 2013.
- BARRETO, Benigno; XAVIER, Claudio. **Física aula por aula 3**. 3 ed. São Paulo: FTD, 2016.
- BONJORNO, José R. et al. **Física 3**. 3 ed. São Paulo: FTD, 2016.
- BRADEN, Gregg. **A matriz divina**. Uma jornada através do tempo, do espaço, dos milagres da fé. São Paulo: Cultrix, 2008.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Educação é a Base. Brasília, 2018.
- BUNGE, Mario. **What is Pseudoscience?**. The Skeptical Inquirer, v. 9, 1984.
- BYRNE, Rhonda. **O Segredo**. 1 ed. Rio de Janeiro: Sextante, 2015.
- CHOPRA, Deepak. **A Cura Quântica**. São Paulo: Best Seller, 2013
- CREASE, Robert P. **Os dez mais belos experimentos científicos**. [ebook] 1 ed. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.
- DAWKINS, Richard. **O capelão do diabo** [ebook]. São Paulo: Companhia das letras, 2005.
- DELIZOICOV, Demétrio. **Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal**. Dissertação de mestrado. São Paulo: IFUSP/FEUSP, 1982.
- _____; **La Educación en Ciencias y la Perspectiva de Paulo Freire**. Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, v.1, n.2, p.37-62, 2008.
- _____; **Problemas e problematizações**. Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora. Florianópolis: UFSC, p. 125-150, 2005.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José A. **Física**. São Paulo: Cortez, 1990.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José A; PERNAMBUCO, Marta M. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. São Paulo: Cortez, 2002.
- EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. **Física Quântica. Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 35 ed. São Paulo: Elsevier, 1979
- _____; **Quantum Physics** of atoms, molecules, solids, nuclei, and particles. 2 ed. Santa Barbara: Hamilton Printing Company, 1985.

FEYNMAN, Richard; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Lições de Física**. The Feynman Lectures on Physics. Volume III. São Paulo: bookman, 2008.

_____; **The Feynman Lectures on Physics**. Volume III. New York: Basic Books, 2011

FILHO, G. Aurelio; TOSCANO, Carlos. **Física 3** - Interação e Tecnologia. 2 ed. São Paulo: Leya, 2016.

FREIRE JR, Olival; PESSOA JR, Osvaldo; BROMBERG; Joan L.; orgs. **Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais** [ebook]. Campina Grande: EDUEPB; São Paulo: Livraria da Física, 2011.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 43 ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.

GUIMARÃES, Osvaldo. PIQUEIRA, José R.; CARRON, Wilson. **Física 3**. 2 ed. São Paulo: Ática, 2017.

KANTOR, Carlos A; PAOLIELLO JR., Lilio A.; MENEZES, Luis C.; BONETTI, Marcelo C.; CONATO JR., Osvaldo; ALVES, Viviane M. **Coleção Quanta Física**. Manual do Professor, 3º Ano. 1 ed. São Paulo: PD, 2010.

MARTINI, Gloria et al. **Conexões com a Física 3**. 2 ed. São Paulo: Moderna, 2013.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Física 3: Contexto e Aplicações**. 1 ed. São Paulo: Scipione, 2014.

MOURA, Mairus D.; SANTOS, Renato P. **Detectando o misticismo quântico em livros publicados no Brasil com Ciência de Dados**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 3, o. 725-744, 2017.

NANI, Ana Paula S. **Física 3**. 3 ed. São Paulo: SM, 2016.

OLIVEIRA, Maurício P. P.; POGIBIN, Alexander; OLIVEIRA, Renata C. A.; ROMERO, Talita T. L. **Física 3 - Conceitos e Contextos**. 1 ed. São Paulo: FTD, 2013.

PhET - Simulações Interativas da Universidade de Colorado Boulder. **Interferência Quântica**. Disponível em <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/legacy/quantum-wave-interference> Acesso em 9 out. 2018.

PIRES, Antonio S. T. **Evolução das ideias da física**. 2 ed. São Paulo: Livraria da física, 2011.

QUEM SOMOS NÓS?. Direção: William Arntz, Betsy Chasse, Mark Vicente. EUA: Playarte, 2004. 1 DVD (109 min), color.

ROCHA, José F.; PONCZEK, Roberto I. L.; PINHO, Suani T. R.; ANDRADE, Roberto F. S.; OLIVAL, Freire J.; FILHO, Aurino R. **Origens e evolução das ideias da física**. Salvador: EDUFBA, 2011

SAGAN, Carl. **O Mundo Assombrado pelos Demônios**. A ciência vista como uma vela no escuro. 8 ed. São Paulo: Companhia de Bolso, 2013.

SILVA, M. R. **O Ensino médio Reformado: perguntas e respostas, tensões e proposições**. Publicado em: Ensino e Pesquisa em História e Humanidades nos Institutos Federais de Educação, Ciência e Tecnologia: desafios e perspectivas. 1ed. Brasília: Editora do IFB, v. 1, p. 15-28, 2017.

TONOMURA, A.; et al. **Demonstration of single-electron buildup of a interference pattern**. American Association of Physics Teachers 57 (2), 1989.

WILGESS, A. **Eu posso criar a minha realidade? A Mecânica Quântica explica que sim!**. Disponível em <<https://osegredo.com.br/eu-posso-criar-minha-realidade-mecanica-quantica-explica-que-sim/>> Acesso em: 25 out. 2018.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz F. **Física para o Ensino Médio 3**. 4 ed. São Paulo: Saraiva, 2017.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Sears & Zemansky Física IV**. Ótica e Física Moderna. 12 ed. São Paulo: Pearson, 2014.