



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I – CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO  
MATEMÁTICA  
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS E  
MATEMÁTICA**

**VICTORIA MIGUEL DOS SANTOS SILVA**

**INSERÇÃO DA DUALIDADE ONDA–PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO  
DE ABORDAGENS HISTÓRICA E EXPERIMENTAL**

**CAMPINA GRANDE  
2023**

**VICTORIA MIGUEL DOS SANTOS SILVA**

**INSERÇÃO DA DUALIDADE ONDA–PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO  
DE ABORDAGENS HISTÓRICA E EXPERIMENTAL**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

**Área de concentração:** Ensino de Ciências e Matemática

**Linha de Pesquisa:** Metodologia, didática e formação do professor no Ensino de Ciências e Educação Matemática

**Orientador:** Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos

**CAMPINA GRANDE  
2023**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S586i Silva, Victoria Miguel dos Santos.  
Inserção da dualidade onda-partícula no ensino médio por meio de abordagens histórica e experimental [manuscrito] / Victoria Miguel dos Santos Silva. - 2023.  
82 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Profissional em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2023.

"Orientação : Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos, Coordenação do Curso de Física - CCT. "

1. Ensino de Física. 2. Metodologia ativa. 3. Ensino remoto. 4. Educação básica. I. Título

21. ed. CDD 530.7

VICTORIA MIGUEL DOS SANTOS SILVA

INSERÇÃO DA DUALIDADE ONDA PARTÍCULA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO  
DE ABORDAGENS HISTÓRICA E EXPERIMENTAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática.

Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática

Aprovada em: 16/03/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

*Marcos A. B. Santos*

---

Prof. Dr. Marcos Antônio Barros Santos (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Joelson Pimentel de Almeida*

---

Prof. Dr. José Joelson Pimentel de Almeida

---

Prof. Dr. José Joelson Pimentel de Almeida  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

*Mayane Leite da Nóbrega*

---

Profa. Dra. Mayane Leite da Nóbrega  
Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF)

*Patrícia da Cunha Gonzaga Silva*

---

Profa. Dra. Patrícia da Cunha Gonzaga Silva  
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Ao meu amado filho Guilherme, pelo amor mais sincero, simples e profundo que eu poderia sentir e viver. Pois, de todas as bênçãos que Deus me proporcionou, Guilherme é a melhor e maior de todas elas. À GUILHERME, dedico.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por guiar meus passos e me permitir batalhar para realizar cada sonho que nasce em meu coração. Deus é fiel em minha vida, agradeço por ser tão bom para mim!

Ao meu amado filho Guilherme, por ser meu maior incentivo nessa vida, e por todos os sorrisos lindos que me inspiram e me renovam.

Aos meus pais Leozita e Sebastião, por todo apoio e por acreditarem mais em mim e em minha capacidade do que eu mesma.

Ao meu esposo Francisco, pelo companheirismo, apoio, incentivo e amizade.

A minha amiga Carol, pela ajuda no começo desse capítulo de minha vida.

Aos cantores de Deus, nos momentos de desânimo, da vontade de desistir, da falta de inspiração... ouvir e cantar sobre Deus me acalmava.

Ao meu orientador Professor Doutor Marcos Antônio Barros Santos, por toda ajuda desde o comecinho até aqui. Agradeço pelas aulas, pela paciência e por ser uma pessoa tão bacana além de um excelente professor.

Aos professores da banca examinadora, por todas as contribuições com o nosso trabalho.

A todos, meu muito obrigada!

*“A percepção do desconhecido é a mais fascinante das experiências. O homem que não tem os olhos abertos para o misterioso passará pela vida sem ver nada.”*

Albert Einstein

## RESUMO

O presente estudo, através de uma pesquisa pedagógica, tem por objetivo verificar em que medida a produção de uma sequência didática, com base na metodologia ativa *sala de aula invertida*, contribui para a inserção de um conteúdo específico da Física Moderna e Contemporânea, a Dualidade Onda-Partícula, no terceiro ano do ensino médio, por meio de abordagens Histórica e Experimental. Tal proposta foi pensada para ser desenvolvida virtualmente, haja vista o cenário de pandemia vivenciado em 2019 e a necessidade de professores readaptarem suas metodologias, dando ênfase ao uso de tecnologia. Para isso, foi utilizada uma rede social para manter contato com os estudantes e obter-se um espaço para aprendizagem não formal, plataformas digitais para a realização de atividades, através de formulários online, plataformas para promover encontros virtuais e utilizados, ainda, simulações virtuais. Foi aplicado um pré-teste para verificar o conhecimento prévio dos estudantes e, ao fim dos encontros dessa proposta, um pós-teste para analisar o avanço desses estudantes diante da temática abordada. A proposta mostrou-se bastante produtiva, pois pudemos observar a participação e o interesse dos estudantes, diante da temática e metodologia utilizada.

**Palavras-Chave:** ensino de física; Metodologia Ativa; ensino remoto; educação básica.



## **ABSTRACT**

The present study, through a pedagogical research, aims to verify to what extent the production of a didactic sequence, based on the active inverted classroom methodology, contributes to the insertion of a specific content of Modern and Contemporary Physics, the Duality Wave-Particle, in the third year of high school, through Historical and Experimental approaches. This proposal was designed to be developed virtually, given the pandemic scenario experienced in 2019 and the need for teachers to readapt their methodologies, emphasizing the use of technology. For this, a social network was used to keep in touch with students and obtain a space for non-formal learning, digital platforms for carrying out activities, through online forms, platforms to promote virtual meetings and also used virtual simulations. A pre-test was applied to verify the students' prior knowledge and, at the end of the meetings of this proposal, a post-test was applied to analyze the progress of these students regarding the theme addressed. The proposal proved to be very productive, as we were able to observe the participation and interest of the students, in view of the theme and methodology used.

Keywords: teaching of physics; Active Methodology; remote learning; basic education.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Primeiro encontro com os estudantes .....	41
Figura 2 –	Imagem inicial da apresentação de slides do primeiro encontro .....	42
Figura 3 –	Perguntas e algumas das respostas do pré-teste respondido no formulário Google Forms .....	43
Figura 4 –	Primeira página da apresentação de slides .....	48
Figura 5 –	Apresentação do grupo 1 .....	51
Figura 6 –	Apresentação do grupo 1 .....	51
Figura 7 –	Apresentação de slides do grupo 2 .....	53
Figura 8 –	Apresentação do grupo 2 .....	53
Figura 9 –	Apresentação do grupo 4 .....	55
Figura 10 –	Início do software do experimento do interferômetro de Mach-Zehnder .....	56
Figura 11 –	Visualização do caminho percorrido pelo feixe de luz no Interferômetro de Mach-Zehnder visto de frente e de cima .....	57
Figura 12 –	Formação de padrões de interferência ao ligar a opção laser .....	58
Figura 13 –	Padrões de interferência formados após a retirada de um dos espelhos semitransparentes .....	58
Figura 14 –	Contagem de fótons nos anteparos e no detector .....	59
Figura 15 –	Observação dos dois detectores .....	59
Figura 16 –	Interferência formada com um e com dois filtros polaroide .....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EF	Ensino de Física
EM	Ensino Médio
FM	Física Moderna
FMC	Física Moderna e Contemporânea
HFC	História e Filosofia da Ciência
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação
NDC	Natureza da Ciência
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
SAI	Sala de Aula Invertida
TICs	Tecnologias de Informação e Comunicação

## LISTA DE SÍMBOLOS

$E$	Energia de uma partícula de luz
$h$	Constante de Planck
$\nu$	Frequência
$m_0$	Massa de repouso
$c$	Velocidade da luz
$\lambda$	Comprimento de onda (lâmbida)
$p$	Partícula

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	16
2.1	O Ensino de Física no ensino médio .....	16
2.2	A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio	18
2.3	O uso de abordagens histórica e experimental no Ensino de Física .....	21
2.3.1	<i>História e Filosofia da Ciência: a utilização da abordagem histórica no Ensino de Física</i> .....	21
2.3.2	<i>A abordagem experimental no Ensino de Física</i> .....	24
2.4	Metodologia Ativa de Aprendizagem: a sala de aula invertida .....	25
2.5	A Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) .....	28
2.6	A Dualidade Onda-Partícula .....	29
2.6.1	<i>Breve contexto histórico</i> .....	31
2.6.2	<i>Breve contexto sobre Albert Einstein e a Dualidade Onda-Partícula</i> .....	32
2.6.3	<i>Breve contexto sobre Louis de Broglie e a Dualidade Onda-Partícula em 1922 a 1924</i> .....	33
3	METODOLOGIA .....	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	41
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	65
	REFERÊNCIAS .....	68
	APÊNDICE I – SEQUÊNCIA DIDÁTICA .....	72
	APÊNDICE II – QUESTÕES DO PRIMEIRO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS .....	77
	APÊNDICE III – QUESTÕES DO SEGUNDO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS .....	78
	ANEXO A – TRECHO DE ARTIGO ENVIADO AOS ALUNOS ATRAVÉS DO WHATSAPP .....	79
	ANEXO B – ROTEIRO DO EXPERIMENTO DO INTERFERÔMENTRO DE MACH-ZEHNDER.....	80

## 1 INTRODUÇÃO

Ao se investigar a qualidade do Ensino de Física (EF), é possível deparar-se com pesquisas que discutem as dificuldades referentes a este, durante o período da formação básica (ROBILOTTA, 1988; PENA & RIBEIRO FILHO, 2008; MONTEIRO, NARDI & BASTOS FILHO, 2009). Dentre essas, podemos destacar a concepção dos alunos de uma disciplina difícil e sem conexão com a sua realidade, estimulando-os a pensar que aprender Física em nada lhes acrescentam. Ademais, isso é reforçado, algumas vezes, pela metodologia de ensino que se encontra sendo utilizada em sala de aula, uma vez que é comum a aplicação e utilização da prática conhecida como ensino tradicional.

Tendo em vista que as metodologias de ensino possuem autonomia e influência sobre o comportamento do estudante na aula, podendo influenciar sobre seu interesse de participação, existem estratégias de ensino que podem despertar no estudante a vontade por participar de seu processo de aprendizagem, e, este quando envolvido e interessado no contexto, aprenda. Podemos citar como exemplos de estratégias de ensino atividades laboratoriais, jogos, textos, filmes, apresentação de trabalhos, etc.

Quando pensamos na “Geração Z”<sup>1</sup>, é provável que lhe sejam intrínsecos a curiosidade e os questionamentos sobre como funcionam essas tecnologias. Para obter essas respostas, deve-se partir das leis e teorias da ciência que são utilizadas para esse desenvolvimento tecnológico. Diante dessa percepção, vale ressaltar um fato que me inquieta desde a graduação, a falta da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio, à qual só obtive acesso na minha graduação em Licenciatura em Física.

Nas sociedades contemporâneas, muitos são os exemplos da presença da Ciência e da Tecnologia, e de sua influência no modo como vivemos, pensamos e agimos: do transporte aos eletrodomésticos; da telefonia celular à internet; dos sensores óticos aos equipamentos médicos; da biotecnologia aos programas de conservação ambiental; dos modelos submicroscópicos aos cosmológicos; do movimento das estrelas e galáxias às propriedades e transformações dos materiais (BRASIL, 2018, p. 546).

Diante desse contexto, se torna evidente a relevância do estudo da Física Moderna e Contemporânea (FMC) ainda no Ensino Médio (EM). A contribuição que o estudo dessa parte da Física apresenta é necessária para que os estudantes

---

<sup>1</sup> Geração Z: pessoas nascidas entre os anos de 1995 e 2010.

aprendam e compreendam, ainda estando no EM, não somente sobre o processo de construção e avanço da tecnologia, mas também sobre o modo como o mundo que os cercam acontece. Especialmente, pelo fato de muitos desses estudantes, após a conclusão de seu ensino básico, não terem mais contato com a disciplina em questão.

A importância de se introduzir a FMC no EM, evidenciando a necessidade de compreensão do mundo moderno, é destacada por diversos autores, conforme se comprova a seguir:

É inegável que os conteúdos contemporâneos da ciência exercem uma influência cada vez maior no cotidiano das pessoas exigindo que sua compreensão seja imprescindível para o entendimento do mundo moderno. Os cidadãos vivem inseridos em uma sociedade cada vez mais tecnológica, fruto de uma industrialização que tomou proporções inimagináveis a partir do século XX, alavancada por “revolucionárias” teorias científicas. A “Física Moderna” que surgia seria, então, fundamental para a leitura do mundo que o homem viria a construir (BROCKINGTON, 2005, p. 9).

De acordo com Terrazzan (1992, *apud* PENA, 2006, p. 1), os conteúdos de FMC influenciam no entendimento do mundo atual e a inserção do cidadão na sociedade define a necessidade de se debater e estabelecer maneiras para abordar tais conteúdos no EM, pois esse cidadão deve sair da escola pronto para interagir em sociedade, de modo que ele possa compreender, de fato, a realidade à qual está exposto.

Conforme observa-se, já há algum tempo, a introdução da FMC é vista não somente como interessante, mas também como importante para o ensino e, por isso, a fala de Terrazan (1992), é considerada bastante atual. Com a introdução da FMC na sala de aula, temos a possibilidade de os estudantes reconhecerem a aproximação da Física com seu cotidiano, e terem contato com a Ciência do século XX, de modo que percebam que a Ciência é algo que se constrói ao longo do tempo.

O conhecimento da FMC permite o conhecimento sobre a utilização e a utilidade dessa parte da Ciência em seu cotidiano, como por exemplo compreender como ocorre o funcionamento das portas automáticas, como funciona a iluminação pública, como ocorre a leitura dos códigos de barra, entre outras possíveis situações.

Monteiro, Nardi e Bastos Filho (2013) destacam que os pesquisadores Gil Pérez, Senet e Solbes (1987) defendem que a FMC proporciona uma visão mais coerente sobre a Física e sobre o trabalho científico e que outros pesquisadores como Stannard (1990) e Torre (1998), trazem que a FMC além de motivar os estudantes,

pode conectá-los à história, proporcionando, assim, um maior entendimento sobre as tecnologias. Para que ocorra a introdução da FMC no EM, de modo que não aconteça uma mera reprodução do livro didático, é necessário que os professores de Física, quando em sua formação, conheçam os aspectos do conhecimento daqueles que participaram da consolidação da FMC, como também o seu processo de construção.

Buscando auxiliar neste quesito, este estudo apresenta a realização de uma sequência didática estruturada em seis encontros com duração de aproximadamente quarenta e cinco minutos, cada. De caráter qualitativo, com a aplicação de pré-teste e pós-teste, as aulas, que serão aqui chamadas de encontros, possuem abordagem histórica e abordagem experimental, com ênfase na metodologia de ensino ativa: a sala de aula invertida. Resultando assim, em nosso produto educacional que se encontra disponível no apêndice A.

Para isso, nos embasamos em exemplos de inserções bem-sucedidas de conteúdos no EM que dizem respeito a FMC. Ferreira *et. al* (2021) apresentam uma proposta didática para alunos do 3º ano médio, fazendo a inserção da Teoria da Relatividade Geral; Silveira e Girardi (2017) desenvolveram um experimento com Arduino, para lhes auxiliarem no ensino de FMC no EM. Já Batista e Silveira (2017) desenvolveram uma sequência didática de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade.

Brockington (2005) elaborou um curso de introdução de elementos de Física Quântica, com o objetivo de inserir no EM a FMC, o qual era composto por uma sequência didática sobre o estudo da dualidade onda-partícula e Alvarenga (2008) também desenvolveu um curso, com o objetivo de introduzir conceitos fundamentais de FM.

Esses estudos nos levaram aos seguintes questionamentos: objetivando o processo do desenvolvimento científico e visando incluir a FMC no EM, é possível trabalhar a teoria fundamental da Dualidade Onda-Partícula com estudantes do 3º ano médio a partir das perspectivas histórica e experimental? Será possível a inserção dessa temática através desses recursos?

Partindo desses pressupostos, traçamos como objetivo geral verificar em que medida a produção de uma sequência didática, com base na metodologia ativa *sala de aula invertida*, contribui para a inserção de um conteúdo específico da Física Moderna e Contemporânea, a Dualidade Onda-Partícula, no terceiro ano do ensino médio, por meio de abordagens Histórica e Experimental.



Para isso, organizamos esta dissertação em cinco capítulos. O primeiro diz respeito à introdução, na qual apresentamos o problema e a justificativa de nossa pesquisa. O segundo capítulo aborda nosso referencial teórico, que apoia nossa análise, trazendo discussões em torno do Ensino de Física. O terceiro capítulo apresenta a metodologia utilizada em nossa pesquisa, e a descrição para a realização. O quarto capítulo trata dos resultados e discussões. Por fim, no quinto capítulo, temos as considerações finais.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo trazemos discussões que serviram de base teórica para nossa pesquisa. Abordando sobre o Ensino de Física, a inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, abordagens histórica e experimental no Ensino de Física, metodologia de sala de aula invertida, e a Dualidade Onda-Partícula.

### 2.1 O Ensino de Física no ensino médio

Quando se fala sobre o EF no EM, é comum observar que um dos desafios encontrados em se ensinar Física é a falta de interesse dos estudantes em aprenderem, de fato, o conteúdo da disciplina, desafio esse já aludido em algumas pesquisas da área de ensino que abordam e discutem sobre a problemática (ROBILOTTA, 1988; PENA & RIBEIRO FILHO, 2008; MONTEIRO, NARDI & BASTOS FILHO, 2009). Diante desse contexto, o professor que busca obter êxito em suas aulas, se vê na necessidade de desenvolver metodologias de ensino que possam reverter essa situação.

Visando a melhoria do EF, de modo que aproxime o estudante da Ciência, uma vez que esse a enxerga como distante de sua realidade, o professor precisa ser a ponte nesse processo de ensino e aprendizagem, inspirando e passando confiança, de modo a tornar-se o mediador do processo de aprendizagem de seu público.

Os documentos oficiais nacionais de educação buscam auxiliar o professor em seu processo de ensino, reconhecendo a complexidade que engloba o ensino básico, e reconhecendo a responsabilidade existente na ação do professor.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) é um documento de caráter normativo que define o conjunto orgânico e progressivo de **aprendizagens essenciais** que todos os alunos devem desenvolver ao longo das etapas e modalidades da Educação Básica, de modo a que tenham assegurados seus direitos de aprendizagem e desenvolvimento, em conformidade com o que preceitua o Plano Nacional de Educação (PNE). Este documento normativo aplica-se exclusivamente à educação escolar, tal como a define o § 1º do Artigo 1º da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB, Lei nº 9.394/1996)<sup>1</sup>, e está orientado pelos princípios éticos, políticos e estéticos que visam à formação humana integral e à construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva, como fundamentado nas Diretrizes Curriculares Nacionais da Educação Básica (DCN)<sup>2</sup>. (BRASIL, 2018, p. 07 – **grifo do autor**).

Visando a formação geral do estudante, diante as necessidades existentes para sua vida em sociedade e introdução ao mercado de trabalho, a escola precisa estar comprometida com a educação e a construção do projeto de vida. Diante isto, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação (LDB, 1996, Art. 35) traz as seguintes finalidades para o Ensino Médio:

- I – A consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos;
- II – A preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores;
- III – O aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico;
- IV – A compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina (BRASIL, 2018, p. 464).

Para isso, é preciso e necessário assumir a condição de que todos os estudantes são capazes de aprender e de alcançar objetivos, independentemente de suas características pessoais. Além disso, favorecer a atribuição de sentido às aprendizagens, garantir o protagonismo do estudante, valorizar os papéis sociais, promover aprendizagem colaborativa e estimular atitudes cooperativas e propositivas, pois serão geradas experiências que irão favorecer a preparação de vida em sociedade e trabalho (BRASIL, 2018, p. 465).

Na direção de substituir o modelo único de currículo do Ensino Médio por um modelo diversificado e flexível, a Lei nº 13.415/201754 alterou a LDB, estabelecendo que:

**O currículo do ensino médio** será composto pela **Base Nacional Comum Curricular e por itinerários formativos**, que deverão ser organizados por meio de oferta de diferentes arranjos curriculares, conforme a relevância para o contexto local e a possibilidade dos sistemas de ensino, a saber:

- I – linguagens e suas tecnologias;
- II – matemática e suas tecnologias;
- III – ciências da natureza e suas tecnologias;
- IV – ciências humanas e sociais aplicadas;
- V – formação técnica e profissional (LDB, Art. 36; ênfases adicionadas). (BRASIL, 2018, p. 468 – **grifo do autor**)

A BNCC da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias enfatiza a importância de se aprender sobre Ciências da Natureza, de maneira que esse aprendizado não se restrinja somente a conteúdos conceituais, definindo competências e habilidades que permitam a articulação de aprendizagens essenciais com a contextualização social, cultural, ambiental e histórica. Normalmente, os

conhecimentos conceituais da área de Ciências da Natureza encontram-se sistematizados em leis, teorias e modelos.

A elaboração, a interpretação e a aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são aspectos fundamentais do fazer científico, bem como a identificação de regularidades, invariantes e transformações. Portanto, no Ensino Médio, o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas, com vistas a sua aplicação em contextos diversos (BRASIL, 2018, p. 548).

Desse modo, contextualizar a Ciência e a Tecnologia de maneira social, histórica e cultural é fundamental para a compreensão do empreendimento humano e social, e compreensão das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente. (BRASIL, 2018, p. 549)

Objetivando a concretização do conhecimento, é importante que exista entre o professor e o estudante uma relação agradável, que seja vista e sentida com confiança, para que as discussões dos conteúdos ocorram de maneira natural, permitindo-os pensar, questionar, buscar o porquê das coisas. Essa relação estimula, nos estudantes, o interesse de participação, que, ao efetivar-se, diferencia-se do que conhecemos como método tradicional, uma vez que nesse modelo temos somente o professor com voz ativa na sala de aula.

## **2.2 A inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio**

Em nossa sociedade, é comum estarmos envolvidos com a tecnologia e seus avanços, que se fazem presentes em nosso cotidiano, através de celulares, televisões, computadores, etc, todavia, o funcionamento de tais objetos não é algo que todos conhecem ou compreendem.

Segundo Terrazan (1992 *apud* PENA, 2006, p. 1), “aparelhos, artefatos e fenômenos cotidianos em uma quantidade muito grande apenas são compreendidos se alguns conceitos estabelecidos a partir do século XX forem utilizados”.

Brockington (2005) apresenta diversas pesquisas que tratam da inserção da FMC no EM com justificativas que vão do

“reconhecimento da Física como uma construção humana (ZANETIC, 1989), passando pelo interesse de atrair jovens para a carreira científica (STANNARD, 1990; WILSON, 1992) até a contribuição para uma mudança

em nossa “visão de mundo” (FREIRE JR, 1995).” (BROCKINGTON, 2005, p. 17).

Tal afirmação se justifica, porque os conceitos de FMC influenciam o entendimento do mundo atual que nos cerca e na inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão na sociedade. Proporcionando a este uma nova visão de mundo, juntamente com o reconhecimento de sua compreensão diante os conceitos da Física e suas aplicações no mundo.

[...] é imprescindível o estudante do Ensino Médio (EM) conhecer os fundamentos da tecnologia atual, já que atua em sua vida e certamente definirá o seu futuro profissional. O que justifica a importância de incluir conceitos básicos da física moderna e, em especial, de se fazer uma ponte entre a Física da sala de aula e a Física do cotidiano (computador, mostradores de cristal líquido, leitores ópticos, xerox, impressora laser, portas e torneiras automáticas, controle remoto, laser em Medicina, fibras ópticas, etc) (PENA, 2006, p. 1).

Objetivando o desenvolvimento da visão contemporânea do estudante, a introdução da FMC no EM permite que o professor possa trabalhar a Física, relacionando-a com a realidade do estudante, uma vez que estamos tratando de uma Física mais atual, que facilita a alusão a situações com que os estudantes possam estar familiarizados, auxiliando-os, assim, na compreensão do mundo ao seu redor e do seu desenvolvimento tecnológico.

A partir de uma perspectiva epistemológica, Gil Pérez, Senet e Solbes (1987) defendem que o ensino de tópicos da Física Moderna aos estudantes da Educação Básica poderá contribuir para que os mesmos obtenham uma visão mais coerente de toda a Física, como também da própria natureza do trabalho científico. Os autores acreditam ainda na possibilidade do ensino da mencionada Física contribuir para a superação do ponto de vista de que o desenvolvimento da ciência seja linear e cumulativo (MONTEIRO, NARDI, BASTOS FILHO, 2009, p. 558).

O Ensino de Física que se encontra sendo desenvolvido ao modo tradicional, abordando conceitos que vão somente até o início do século XX, precisa ser inovado, de modo que contemple o desenvolvimento da Física Moderna, visto que esta parte da Física explica os fenômenos que a Física Clássica não explica. A Física Moderna e Contemporânea traz uma nova visão de mundo, por ser “uma Física que hoje é responsável pelo atendimento de novas necessidades que surgem a cada dia, tornando-se cada vez mais básica para o homem contemporâneo”, como destacado por Pinto & Zanetic (1999 *apud* Pena, 2006, p. 1).

A favor da introdução da FMC na educação básica, alguns argumentos são destacados a seguir:

A partir da pressuposição de que o conhecimento é uma produção cultural, Torre (1998) apresenta algumas razões para a introdução da FMC na Educação Básica, a saber: a) conectar o estudante com a sua história; b) preservar os estudantes dos obscurantismos pós-modernos; c) possibilitar que o aluno possa localizar corretamente o ser humano na escala temporal e espacial da natureza; d) propiciar o entendimento sobre as múltiplas e evidentes consequências tecnológicas da FMC; e) ensejar beleza, como também prazer, pelo conhecimento, haja vista que tudo isso constitui parte inseparável da cultura, pois o saber nos faz livres e valoriza a humanidade. (MONTEIRO, NARDI, BASTOS FILHO, 2009, p. 558)

É comum que os conteúdos de FMC não sejam trabalhados e estudados no EM por conta da carga horária que a disciplina possui, tornando-se insuficiente para que se chegue até a parte que os livros didáticos abordam a parte de FMC, apresentada, geralmente, como o último conteúdo dos livros didáticos.

[...] além da desatualização curricular, desmotivação dos estudantes, abordagem excessivamente formalista, ênfase no ensino da cinemática e baixa qualificação acadêmica dos professores, a ausência da FMC nos currículos escolares também é um problema para a qualidade do ensino de Física nas escolas. [...] a FMC, por ser instigante (assuntos que os jovens leem em revistas de divulgação, em jornais ou na Internet; desafios a serem enfrentados pela Física no futuro; etc), pode contribuir para minimizar alguns dos problemas apontados acima. Por que, então, não começar (a aprender Física) com tópicos contemporâneos? (PENA, 2006, p.1).

A escolha dos conteúdos a serem ensinados na perspectiva da inserção da FMC no EM deve acontecer de maneira cautelosa, levando em consideração as necessidades existentes desses conteúdos com relação aos conceitos e leis existentes da Física, de modo a contemplá-las para que exista uma demonstração correta e coerente. Os cálculos matemáticos que a FMC possui também devem ser desenvolvidos cuidadosamente, para que os estudantes não os enxerguem como “mais uma dificuldade existente” e acabem criando mais uma barreira no processo de aprendizagem.

Assim sendo, cabe ao professor fazer uma análise geral, estudar, de fato, como irá abordar os conceitos escolhidos, buscar a metodologia mais adequada de ensino e abordagem que irá utilizar para realizar a inserção da FMC. Isso deve ocorrer de modo que tal abordagem o auxilie, aguçando a curiosidade e a vontade de entender

dos estudantes, sobre o que está sendo dito e mostrado, o que, conseqüentemente, despertará a vontade por compreender e aprender a Física.

## **2.3 O uso de abordagens histórica e experimental no Ensino de Física**

Nesta seção abordaremos sobre a utilização de abordagens histórica e experimental.

### ***2.3.1 História e Filosofia da Ciência: a utilização da abordagem histórica no Ensino de Física***

A História e Filosofia da Ciência (HFC) pode facilitar a compreensão da ciência e de seus fenômenos, além de desfazer a visão errada de que o conhecimento científico literalmente aconteceu. Isto é, que foi algo que alguém pensou e surgiu, ou que foi descoberto como em um estalar de dedos; permitindo-se, assim, que se perceba como de fato a ciência acontece, por meio de um processo de construção, e que o seu desenvolvimento envolve fatores sociais, que dizem respeito à sociedade, à cultura, à política e à economia.

A contextualização histórica não se ocupa apenas da menção a nomes de cientistas e a datas da história da Ciência, mas de apresentar os conhecimentos científicos como construções socialmente produzidas, com seus impasses e contradições, influenciando e sendo influenciadas por condições políticas, econômicas, tecnológicas, ambientais e sociais de cada local, época e cultural (BRASIL, 2018, p. 550)

A HFC surge como uma abordagem metodológica de ensino pode contribuir, de maneira positiva, pelo fato de ser vista como um meio de ensino e estudo mais atrativo, despertando o interesse do estudante pelo conhecimento científico, haja vista o modo como as discussões sobre a ciência acontecem, possibilitando ao estudante a oportunidade de conhecer o processo de construção da ciência. Além disso, por reconhecer que esse processo faz parte de uma construção que se encontra diretamente ligada ao contexto social e cultural, desenvolvendo no estudante embasamento para argumentação e conseqüentemente compreensão.

Nesse sentido Silva, Fonseca e Daltro (2013) apontam que:

[...] a significação científica torna-se mais apresentável quando o saber se mostra como uma construção humana, a partir de um processo inerente aos ajustes de conhecimentos anteriores, desvinculando-se do imediatismo das equações, cujo algebrismo muitas vezes distorcem o processo por não apresentarem conexão e sentido. Historicamente, alguns conceitos da Física têm sido difíceis de serem apreendidos, por isso faz-se necessário incluir novas metodologias que visem integrar novos conceitos à estrutura cognitiva dos aprendizes (SILVA, FONSECA e DALTRO, 2013, p. 4).

A utilização da abordagem histórica no EF é pauta em diversas pesquisas que defendem seu uso e justificam que essa abordagem possui a propriedade de atrair e motivar os estudantes, pois favorece a compreensão dos conceitos científicos, tornando o conteúdo ensinado mais próximo do estudante e ressalta o valor cultural da ciência, evidenciando o fato de essa constituir um conhecimento que se encontra sujeito a alterações, exatamente por ser uma construção humana, e assim, permitir uma melhor compreensão sobre o método científico. Ademais, proporciona aos estudantes o conhecimento sobre a Natureza da Ciência (NDC), o qual contribui para a formação do cidadão crítico (SOUZA, 2014, p. 14).

Quando falamos em formação do cidadão crítico, nos referimos ao desenvolvimento do pensamento crítico do estudante, o desenvolvimento de seus princípios morais e de sua intelectualidade para conviver em sociedade. O estudante deve ser preparado para compreender o conhecimento científico e sua relação com o cotidiano, de modo que entenda o avanço científico e o avanço da tecnologia e possa reconhecer a relação existente entre a teoria e a prática.

Silva, Alves e Leboeuf (2019, p. 740) destacam que a abordagem dos aspectos da HFC quando realizada de maneira adequada, permite aos estudantes a compreensão da ciência como uma construção coletiva, ao invés da falsa ideia de um processo que aconteceu de maneira isolada e construída por um cientista. E que a HFC contribui para a compreensão de que a ciência é um processo contínuo que se encontra em constante evolução, sendo construída por diversos nomes.

Nesse sentido, a utilização dessa abordagem pode ser tomada como uma estratégia de ensino, porque facilita a contextualização dos conceitos científicos e permite a discussão sobre a NDC e suas características, além de apresentar a Física por uma perspectiva diferente, da qual se tornou comum em apresentar as equações matemáticas e fazer resolução de exercícios.

Apesar dos benefícios que a abordagem histórica possui no Ensino de Física, sua importância não pode ser resumida somente a isto. É preciso, também, que o professor busque se aperfeiçoar sobre a perspectiva de como fazer acontecer,



refletindo sobre as diversas abordagens, os textos que tomará como referencial teórico, os materiais que fará uso em suas aulas e o modo adequado de utilizá-los.

Souza (2014, p. 13), aponta que, para a melhoria do Ensino de Física, é necessário que o professor possua conhecimentos sobre as competências e habilidades e sobre os conteúdos de Física, para que possa trabalhar a HFC em sala de aula, porque sem esses, surge mais uma dificuldade para que o professor trabalhe com propostas diferentes das quais se encontra habituado.

No entanto, para que a abordagem histórica se faça presente na sala de aula, é preciso que o professor da disciplina a conheça. Ainda que não seja confirmada uma relação direta entre o professor conhecer a HFC e utilizá-la em sala de aula, é recomendável que o professor conheça o assunto para que possa, caso deseje, torná-lo parte da sua prática. Segundo Silva (2006), mesmo não sendo condição estritamente necessária, é importante que estudos em HFC façam parte da formação do professor (SOUZA, 2014, p. 17).

Segundo o autor citado, para que a HFC se faça presente no ensino médio, é preciso que os cursos de licenciatura introduzam, em seus currículos, a maneira como, de fato, trabalhar a HFC no ensino médio e qual metodologia de ensino aplicar. É necessário, também, que reconheçam que a abordagem histórica e filosófica, vista de maneira superficial na formação do professor, não satisfaz a necessidade existente em reconhecer fontes primárias e relacionar as competências com os conteúdos a serem ensinados, uma vez que, quando se deseja utilizar a HFC para fins didáticos, surgem dificuldades.

Levando em consideração o fato de que, em cursos de licenciatura, não se veem todas as competências ditas como necessárias para a inclusão da HFC no ensino médio e o fato de que os livros didáticos, quando trazem algum contexto histórico, o fazem de maneira resumida e bastante superficial, é importante que o professor busque por materiais de qualidade, para que possa auxiliá-lo. Do contrário, será repassado para os alunos algo que não condiz com a realidade, caracterizando uma pseudo-história que levará o estudante a ter uma concepção errada sobre o desenvolvimento científico que estiver sendo abordado.

O trabalho de Forato (2009) é um exemplo de como um conhecimento superficial tanto da HFC quanto de NDC não é suficiente para o sucesso de uma intervenção. [...] Além do conhecimento científico, Martins (2002), aponta que é necessário buscar adquirir requisitos básicos, tais como, conhecimento linguístico, uma boa leitura, um pouco de curiosidade, bastante cautela para evitar fazer afirmações generalizadas e principalmente o abandono da presunção (SOUZA, 2014, p. 22).

O professor precisa fazer perguntas, incitando a vontade de entender e aprender, fornecendo sempre informações, para que eles possam pensar sobre suas respostas, proposições e concepções, mas prevenindo-se para que não caia em repetição e isso acabe tornando a aula cansativa. Assim, eles poderão perceber a maneira como a ciência se desenvolveu, compreender que o que sabemos hoje de Física é advindo de uma longa construção, que ocorreu em um longo período de tempo, dependendo de diversos trabalhos e cientistas.

O potencial da HFC para a construção do conhecimento científico inclui também a parte experimental associada ao Ensino da Física, com a replicação de experimentos históricos. Nesta perspectiva experimental, a HFC permitiria a discussão explícita dos problemas vividos pelos cientistas ou filósofos naturais, além de atrair aqueles mais afetos às atividades manuais do que à leitura de textos (HEERING & OSEWOLD, 2007 *apud* SOUZA, 2014, p.17).

Portanto, temos que incluir a HFC no ensino médio para o Ensino de Física, o qual, ao ser trabalhado de maneira correta e cautelosa em relação ao material didático adotado, auxilia na melhor compreensão do desenvolvimento e conhecimento científico.

### **2.3.2 Abordagem experimental no Ensino de Física**

Já discutimos sobre a necessidade de trabalhar a educação científica de maneira que os estudantes participem de forma ativa, durante seu processo de construção do conhecimento, desenvolvendo a sua autonomia com relação à cultura e sua inserção no contexto social, levando-os a compreender com uma maior facilidade sobre os avanços tecnológicos e científicos.

Seguindo essa linha de raciocínio, a realização de uma atividade experimental como estratégia de ensino potencializa o saber científico, de maneira que permite ao estudante conseguir compreender, de maneira facilitada, a explicação do conceito. Assim, obtém-se uma aprendizagem não somente significativa, como também consistente, visando a relação existente entre o teórico e o experimental.

A elaboração dessa estratégia de ensino possui a versatilidade de poder ser idealizada para acontecer não somente em um laboratório equipado, mas também em uma sala de aula, utilizando-se materiais de baixo custo ou, até mesmo, a realização de experimentos virtuais, em que o professor faz uso do computador como ferramenta,

por exemplo. O que de fato deve acontecer, independentemente do local de realização, é a discussão em torno do processo de construção do conceito físico.

Na realidade, o uso de experimento nas aulas de física é essencial por diversos motivos, a começar pelo estímulo dos alunos pelas aulas, pela circulação dos conhecimentos científicos e na forma dinâmica onde se repassa os conteúdos de física. Perceber essa importância dos experimentos é perceber o quanto a física é relevante nos conceitos e nas situações cotidianas, permitindo que o aluno interaja com a natureza, com as tecnologias e com o cotidiano relacionado que está sendo adquirido no ambiente escolar em relação à disciplina de física (SILVA & DUARTE, 2018, p. 5).

As atividades experimentais nas aulas de Física permitem ao professor utilizar-se de estratégias que o auxiliem a desenvolver habilidades que estejam voltadas a contextualização, dinamização e inovação, de maneira que este seja criativo e dinâmico para que o estudante possa reconhecer a aproximação da Física com o seu cotidiano diante ao processo da construção de seu conhecimento (SILVA & DUARTE, 2018).

[...] mais do que fornecer informações, é fundamental que o ensino se volte para o desenvolvimento de competências que permitam ao aluno lidar com experimentações, informações, compreendê-las, elaborá-las, refutá-las, quando for o caso, enfim, compreender o mundo e nele agir com autonomia. (SILVA & DUARTE, 2018, p. 3).

Por conseguinte, temos que a atividade experimental acaba se tornando uma estratégia de ensino e aprendizagem eficaz, visto que o estudante se vê com a oportunidade de buscar e encontrar informações que facilmente podem relacionar com o seu cotidiano. Para isso, é importante que essa atividade seja planejada para que essa relação possa ser feita e compreendida, proporcionando investigação e interação entre os estudantes, e favorecendo a metodologia do professor.

## **2.4 Metodologia ativa de aprendizagem: a sala de aula invertida**

A metodologia tradicional das aulas expositivas e dialogadas configura a ideia de que na sala de aula existe uma condição ideal, visando a expectativa de que todos os estudantes aprendam do mesmo modo e ao mesmo tempo, tendo em vista que esses se encontram expostos, simultaneamente, às informações e às explicações que o professor transmite. Sabemos que o idealismo dessa prática pode até ser bonito, em que o professor ensina, em seguida, passa atividade e o estudante estuda para

poder responder suas atividades, mas, na prática, os resultados obtidos nem sempre condizem com o resultado esperado.

Tendo em vista que os âmbitos sociais e culturais estão intimamente relacionados às tecnologias, observa-se que com a educação não poderia ser diferente. Todavia, para muitos dos profissionais da educação um dos principais desafios é saber como aliar as tecnologias ao ensino de forma que haja um processo de interação e colaboração entre os estudantes e o professor. (DA SILVA *et al.*, p. 493, 2021)

Quando pensamos em uma aula que possua uma boa participação e, conseqüentemente, surta efeitos na aprendizagem, nos deparamos com a necessidade de utilizar novas metodologias, diferentes das quais já estamos habituados. E quando isso acontece, é importante que não somente a metodologia mude, mas a prática do professor também se transforme diante da realidade, na qual ele se encontra.

[...] os recursos digitais podem ser úteis, oferecendo conteúdo a ser estudado, bem como promovendo a comunicação entre professores e alunos em horário e lugar de conveniência de cada um, ou seja, permitindo simultaneamente estudo independente e comunicação assíncrona, respeitando a individualidade e a disponibilidade dos envolvidos (DA SILVA *et al.*, 2021, p. 493).

Objetivando, então, a participação ativa e efetiva do estudante e sua conseqüente aprendizagem, pensa-se na metodologia ativa de aprendizagem, sala de aula invertida (SAI). Esse é um método, em que o estudante, de fato, se envolve em seu processo de desenvolvimento da aprendizagem, resolvendo problemas e buscando soluções de modo autônomo, cabendo-lhe buscar os melhores meios para essas devidas realizações.

Aaron Sams foi o professor que teve a ideia de gravar aulas em vídeo para que os estudantes assistissem como dever de casa, para que o tempo em sala de aula fosse utilizado para ajudá-los com conceitos que não compreenderam. Assim, surgiu a SAI durante o ano letivo de 2007-2008 quando dois professores de química, Aaron Sams e Jonathan Bergmann, incomodados com o fato de os estudantes não absorverem de fato o conteúdo trabalhado na sala de aula, de modo que lhes permitissem fazer o dever de casa.

A ideia consistia em gravar as aulas, os alunos assistirem como dever de casa e fazerem anotações sobre o que aprenderam, com testes aplicados ao fim de cada unidade de ensino. “Aplicamos esse método durante um ano e ficamos muito

satisfeitos com o nível de aprendizagem dos alunos e tínhamos comprovações de que o modelo funcionava melhor para as crianças” (BERGMANN e SAMS, 2018, n.p).

Na metodologia da SAI, o ensino acontece de maneira que os estudantes recebem o conteúdo a ser estudado e as instruções acerca dele, para que, durante a aula, possam apresentar e explicar o conteúdo, desenvolver discussões, resolver problemas, etc. Nesta abordagem, cabe ao estudante estudar antes da aula, para que, na duração da aula em sala de aula, crie um espaço de perguntas, debates e atividades práticas. O professor surge, ao ajudar sobre as dificuldades encontradas, conforme são apresentadas, além de tornar-se também o mediador do debate que acontece em sala.

A sala de aula, ao se transformar em um espaço de debates, proporciona discussões acerca do que foi significativo para o estudante, obtendo um maior aprofundamento, auxiliando cada estudante na construção do seu conhecimento e promovendo uma maior autonomia, mostrando que o conhecimento é algo que pode se dar de forma dinâmica e interativa. (DA SILVA *et al.*, 2021, p. 495)

De acordo Felcher *et al.* (2021, p. 4), a metodologia da sala de aula invertida otimiza o tempo e a aprendizagem do estudante, uma vez que ele passa a ser responsável por buscar o conhecimento, antes de ir ao encontro do professor em sala de aula. Essa abordagem, além de proporcionar o debate acerca do conteúdo a ser estudado, ampliando o que se pode compreender, visto que o estudante é o protagonista de seu processo de aprendizagem, desenvolve também entre a turma o trabalho em grupo, uma vez que a interação desenvolvida na sala de aula possibilita que até o estudante que é envergonhado se sinta à vontade para expressar a sua opinião e o que aprendeu acerca das questões, às que se encontra exposto.

Nitidamente, a aula gira em torno dos alunos, não do professor. Os estudantes têm o compromisso de assistir aos vídeos e fazer perguntas adequadas. O professor está presente unicamente para prover feedback especializado. Também compete aos alunos a realização e apresentação dos trabalhos escolares. Como também se oferece um guia de soluções, os alunos são motivados a aprender, em vez de apenas realizar os trabalhos pela memória. Além disso, os alunos devem recorrer ao professor sempre que precisarem de ajuda para a compreensão dos conceitos. O papel do professor na sala de aula é o de amparar os alunos, não o de transmitir informações. (BERGMANN e SAMS 2018, n.p)

Felcher *et al.* (2021) aponta que para a implementação da sala de aula invertida acontecer, é importante o planejamento acerca da sala, e isso se dá no sentido do que será desenvolvido online e presencialmente, como a elaboração do material que

será disponibilizado para os alunos virtualmente e as atividades que serão realizadas posteriormente.

Conciliar o processo de ensino e aprendizagem com as tecnologias digitais disponíveis se faz necessário, uma vez que estimula um melhor desempenho e desenvolvimento do saber e conhecer por parte do estudante (DA SILVA *et al*, 2021, p. 493). É evidente a necessidade de refletir sobre o uso de metodologias de ensino que desenvolvam a participação ativa do público alvo em seu processo de aprendizagem, além de proporcionar interação em sala através do conteúdo abordado.

## **2.5 A utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs)**

Com o avanço da tecnologia e dos meios de comunicação na sociedade, as Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) tornaram-se uma ferramenta auxiliadora para o processo de ensino e aprendizagem, uma vez que através dessas temos acesso infinito a diferentes recursos digitais disponíveis, além de proporcionar mais atratividade para os estudantes com relação às aulas.

Muitas são as discussões em torno dos novos paradigmas educacionais, os quais demonstram os benefícios das novas práticas de ensino e da necessidade de mudar de vez a postura tradicional da educação. Para Charlot (1976, p. 151), uma postura educacional tradicional "fundamentalmente conservadora, assegura a transmissão de uma cultura que deixou de tornar inteligível o mundo em que vivemos". (SCHOENARDIE & DESCOVI, 2018, p. 51)

Tomando para a disciplina de Física, essa postura tradicional como citada acima, restringe na maioria das vezes, o ensino em resolução de exercícios como a finalidade de fixação de equações, e aulas expositivas. Resultando em o estudante enxergar a disciplina como algo distante de sua realidade e desmotivando-o a aprender. (SCHOENARDIE & DESCOVI, 2018, p. 51).

Vivemos em uma sociedade moderna, e esta nos exige pensar sobre a educação na contemporaneidade, permitindo-nos modificar os métodos de ensino, de maneira que possamos oferecer aos nossos estudantes um ensino que proporcione interação para aprender e compreender, levando em consideração a modernidade em que vivemos. Assim, as TICs proporcionam acesso rápido as informações atualizadas através de seus mecanismos de busca, auxiliando e contribuindo no processo de

ensino e aprendizagem (MARTINSI, 2008; ALMEIDA, 2003, apud LIMA & ARAÚJO, 2021, p.1).

Para Kenski (2007, p.46), “*Não há dúvida de que as novas tecnologias de comunicação e informação trouxeram mudanças consideráveis e positivas para a educação*”. Diante disso, podemos compreender que a utilização das tecnologias em sala de aula pode contribuir para o processo de aprendizagem do aluno e também para sua interação com o ambiente em que estiver inserida e com os indivíduos que os rodeia, tornando dessa maneira a sala de aula um espaço mais atrativo e interativo para todos os envolvidos no processo. (LIMA & ARAÚJO, 2021, p. 1 – grifo do autor).

A utilização das TICs nos permitiu viver em um contexto onde as formas de comunicação, relacionamento, e conseqüentemente de trabalho e estudo, puderam ser alteradas e vivenciadas de outras maneiras.

A implementação das TICs no processo de ensino permite ao professor promover ao seu público, uma relação direta com o seu cotidiano, uma vez que é comum vermos jovens com acesso à internet e a tecnologia, e isto resulta em despertar no estudante o interesse de participação, até mesmo para aqueles que não possuem meios de acesso à tecnologia, resultando em auxiliar no processo de construção da compreensão.

Assim, a elaboração para a sua utilização, deve contemplar as concepções que os estudantes possuem com relação as tecnologias, para que possam associar a sua realidade, e introduzir de maneira adequada as TICs no processo de aprendizagem desses estudantes.

## 2.6 A Dualidade Onda-Partícula

O conceito de dualidade comportamental de um sistema tem como invariante<sup>2</sup> a possibilidade de o sistema poder ser analisado como onda ou como partícula, ou seja: é possível aplicar o modelo de partícula para explicar algumas situações do sistema e o modelo ondulatório em para explicar outras. O modelo a ser aplicado não pode ser previsto, de modo que a dualidade é considerada como uma possibilidade para todo sistema quântico, mesmo que não tenha sido empregada para explicar o comportamento de todos os sistemas quânticos. Assim, o invariante da dualidade comportamental é estável e uniforme (RAMOS, 2018, p. 34).

Os estudos de Albert Einstein (1879 – 1955) tiveram grande influência sobre os estudos de Louis De Broglie (1892 – 1987), o qual considerou que a matéria possuía

---

<sup>2</sup> “O **invariante** de um conceito diz respeito ao conhecimento daquilo que não muda de um objeto para outro que esteja sob o mesmo conceito e é o que garante a sua universalidade” (RAMOS, 2018, p. 33 – grifo da autora).

comportamento ondulatório, de modo que “se ondas se comportam como partículas, partículas talvez se comportem como ondas” (BROCKINGTON, 2005, p. 43).

Para De Broglie (1929), a luz não poderia ser compreendida somente com uma teoria corpuscular, porque a equação que define a energia de uma partícula de luz dada por  $E = h \cdot \nu$ , varia de acordo com a frequência ( $\nu$ ), e isso não seria possível, porque, frente a uma teoria corpuscular, não poderia ser incluído o conceito de frequência. Diante disso, ele já entendia que existia a necessidade de uma teoria que apresentasse o conceito de onda e de partícula para a luz e que, pelo postulado de Bohr, o movimento dos elétrons nos átomos seria determinado por números inteiros, e, por isso, parecia estar relacionado à interferência e aos modos normais de vibração. E esta relação indicava que os elétrons não deveriam ser representados somente por uma teoria corpuscular, como destacado por De Broglie (1929):

Isso sugeriu a ideia para mim que elétrons não poderiam ser representados como simples corpúsculos, mas também deveria haver uma periodicidade relacionada com eles. Eu, então, cheguei à seguinte conclusão que guiou meus estudos: para ambos, matéria e radiação, luz em particular, é necessário introduzir o conceito corpuscular e o conceito ondulatório ao mesmo tempo. Em outras palavras, a existência de corpúsculos acompanhados por ondas tem de ser considerada em todos os casos. Contudo, como corpúsculos e ondas não podem ser independentes porque, de acordo com a expressão de Bohr, estes constituem duas forças complementares da realidade, deve ser possível estabelecer um certo paralelismo entre o movimento de um corpúsculo e a propagação de uma onda associada. O primeiro objetivo a alcançar seria, portanto, estabelecer essa correspondência. (DE BROGLIE, 1929, p. 247 *apud* RAMOS, 2018, p.26)

Essa ideia do autor supracitado partiu da ideia do “átomo de luz”, considerado como uma pequena região do espaço, onde, estando a energia altamente concentrada, forma uma unidade indivisível, sendo a energia total dada por  $E$ , em que, pelo Princípio da Inércia da energia, pode-se atribuir uma massa de repouso ( $m_0$ ), obtida através da equação:  $E = m_0 c^2$  (equação 1), sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo. A lei de Einstein para o *quantum* de luz indica que não é possível considerar uma quantidade isolada de energia sem uma determinada frequência, dado por  $E = h\nu_0$  (equação 2). Comparando as equações 1 e 2, temos a hipótese fundamental da teoria de De Broglie (1929), onde “cada elemento de energia de massa ( $m_0$ ) está associado a um elemento periódico com frequência ( $\nu_0$ ) dada por  $\nu_0 = \frac{m_0 c^2}{h}$ , sendo



medida no referencial de repouso do pacote de energia” (SANTOS, 2010, p.19 *apud* RAMOS, 2018, p. 26).

De acordo com Brockington (2005), partindo das proposições de Einstein e Planck, De Broglie (1929) buscou por respostas, uma vez que “se ondas se comportam como partículas, partículas talvez se comportem como ondas”, e diante de seus questionamentos, fazendo uso da Teoria da Relatividade, ele chegou à relação fundamental entre o momento de uma partícula ( $p$ ) e o seu comprimento de onda ( $\lambda$ ), dado por:  $\lambda = \frac{h}{p}$ .

Com isso, em 1924, Louis de Broglie introduz a ideia da “dualidade onda-partícula”, propondo a existência de uma onda fictícia que acompanharia o movimento de qualquer corpo, tornando indissociável a propagação da onda do movimento do corpo (JAMMER, 1966, p.244). Em seu trabalho, ele prevê que os elétrons deveriam exibir propriedades ondulatórias, como a difração, afirmando então que o comportamento dual da radiação também era aplicado à matéria. A confirmação experimental veio em 1927, com a difração obtida pelos físicos Davisson e L. H. Germer, nos laboratórios Bell, e G.P.Thomson, acentuando ainda mais o caráter antiintuitivo da Mecânica Quântica. (BROCKINGTON, 2005, p. 44)

### **2.6.1 Breve contexto histórico**

No início do século XX, já existiam teorias da Física bem desenvolvidas que explicavam sobre o comportamento do mundo. A Mecânica, por exemplo, já se encontrava estabelecida no formalismo hamiltoniano e newtoniano. A Teoria do Eletromagnetismo já havia sido estabelecida por Maxwell e a Termodinâmica e a Mecânica Estatística começavam a surgir através dos trabalhos de Ludwig Boltzmann. Como sabemos, as teorias, citadas acima, fazem parte da estrutura classificada que, hoje, chamamos de Física Clássica (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.3).

Diante do processo e avanço da urbanização, no final do século XIX e início do século XX, os cientistas ficaram motivados a buscarem e, conseqüentemente, “se dedicarem ao desenvolvimento de métodos objetivos e reproduzíveis de intensidade luminosa”, isso se deu por conta do processo de iluminação que as cidades necessitavam com a urbanização. Diante dessa busca, originou-se o conceito de corpo negro (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.3).

Buscando descrever teoricamente o fenômeno do corpo negro, era preciso que houvesse uma relação simultânea entre a termodinâmica e a teoria eletromagnética, pois as cargas que oscilavam no corpo negro deveriam estar em equilíbrio

termodinâmico com a radiação. A descrição clássica desse equilíbrio, que hoje chamamos de modelo de Rayleigh-Jeans, conduzia a uma função de densidade de energia que descrevia bem o comportamento de radiações de baixa frequência em alta temperatura e tende ao infinito para grandes frequências. Wien elaborou uma proposta inspirada na mecânica estatística, que descrevia bem a densidade de energia associada a radiações de grande frequência e baixa temperatura, mas não a radiações de baixa frequência. Em 1900, surge Max Planck, que chegou a uma função que descreve de maneira adequada a radiação do corpo negro em todo espectro e a solução encontrada aconteceu “através de uma interpolação dos dois modelos anteriores” (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.3-4).

A partir de 1905, diversos cientistas começavam a verificar que a Física Clássica não era capaz de descrever os fenômenos em escala atômica. A Física possuía dois ramos distintos, um era o de corpos ponderáveis que trata das partículas que se encontram localizadas no espaço e o outro de campos contínuos que estão distribuídos pelo espaço e são responsáveis por mediar as interações entre as partículas (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.4-5).

O problema de determinação da função que descreve o espectro de corpo negro, até então, não implicava nenhuma ruptura com tal esquema ontológico. As propostas de Planck tanto em 1900 [19] quanto em 1901 [20] não apresentam nenhuma proposta clara de quantização da radiação eletromagnética; mas da distribuição de energia nos osciladores que fazem parte da constituição da matéria (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.5).

### **2.6.2 Breve contexto sobre Albert Einstein e a Dualidade Onda-Partícula**

No século XX, surge Einstein com seu trabalho “Sobre um Ponto de Vista Heurístico sobre a Emissão e Transformação da Luz”. Em 1905, discutindo sobre a natureza ondulatória da luz, afirma que a radiação tem comportamento corpuscular, pois, ao mesmo tempo em que é emitida, ela se propaga. Foi a partir de seus estudos sobre termodinâmica e teoria estatística que Einstein avançou em seus estudos sobre radiação do corpo negro. Em seu artigo de 1905, o físico partiu da equação de Wien, usando um modelo de gás diluído e chegou a equação:

$$E = \frac{R\beta v}{N}$$

onde  $\frac{R\beta}{N}$  possui o valor igual a constante de Planck  $h$ . “Einstein, entretanto, não afirma isso em seu artigo. Em 1906, Einstein reconhece que, no seu artigo anterior, ele imaginava que sua proposta era incompatível com o modelo de Planck.” (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.5).

Em 1909, uma nova visão sobre a natureza da luz foi apresentada por Einstein. Em um artigo intitulado “Sobre o estado presente do problema da radiação”, Einstein [18, p. 357] determina a expressão do valor médio das flutuações da energia  $e^2$  da radiação presente em um volume  $v$ , descrita pela fórmula de radiação de Planck da radiação do corpo negro (e não mais de Wien) e obtém a seguinte expressão:

$$e^2 = \frac{R}{Nk} \left( v h \eta_0 + \frac{c^3}{8\pi v^2} \frac{\eta_0^2}{v} \right)$$

Einstein observa que o segundo termo entre parênteses pode ser obtido diretamente da lei de radiação de Rayleigh (compatível com uma concepção ondulatória de radiação eletromagnética), enquanto o primeiro termo não pode ser derivado de tal concepção (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.6).

O artigo “*Sobre o estado presente do problema da radiação*” é o primeiro artigo verdadeiramente dual, pois nele propriedades corpusculares e ondulatórias são auferidas ao mesmo ente na mesma escala. Em 1905, o *quantum* era considerado partícula e o comportamento ondulatório poderia acontecer por ser um efeito estatístico. Em 1909, Einstein destaca que a radiação possui em sua estrutura campos e corpúsculos (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.6).

Usando apenas argumentos dimensionais, Einstein interpreta o primeiro termo da equação (1) como estando relacionado à flutuação de energia de uma radiação corpuscular e o segundo termo como a uma radiação ondulatória. Nesse sentido, Einstein avança em relação à sua primeira proposta. Como ele mesmo afirma, entretanto, tal proposta é apenas conjectural – não há ainda uma apresentação formal capaz de descrever a natureza dual de tal radiação (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.6).

### **2.6.3 Breve contexto sobre Louis De Broglie e a Dualidade Onda-Partícula de 1922 a 1924**

No ano de 1922, surge De Broglie, com seu estudo sobre a natureza da luz, sendo sua visão corpuscular. Para ele, *quanta* possui massa e em repouso todos os *quantas* são iguais, sendo que o que diferencia é a velocidade observada, e que a frequência de um *quantum* está relacionada com sua energia e velocidade. De Broglie mostra que é possível chegar à expressão de Planck para radiação, quando se

considera a possibilidade de formação de moléculas de *quanta*. Nesse estudo, ele vai a desencontro com a teoria eletromagnética, porque considera a radiação quantizada e permite que os *quanta* se movam com diferentes velocidades no vácuo (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.7).

Nos anos de 1923 e 1924, De Broglie traz propostas que possuem uma descrição dual para todo sistema físico. No trabalho de 1923, De Broglie fala sobre corpos materiais que possuem massa  $m_0$ , sua noção de massa é relativística. Em 1924, “ele associa uma onda a todo “corpo material em movimento” (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.8).

De Broglie parte da descrição relativística e dual, associando a todo corpo material um fenômeno ondulatório, suas ondas possuem velocidade acima da velocidade da luz e não podem transportar energia, segundo a Teoria Especial da Relatividade. Ele mostra que a todo corpo material deve-se associar um grupo de ondas e que a velocidade desse grupo é igual à velocidade da partícula (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.8).

Em 1924, de Broglie argumenta que tal visão dual permite a síntese de duas áreas da física: a ótica geométrica e a mecânica. No contexto da ótica geométrica, pode-se tratar a propagação da luz como um conjunto de raios, e o caminho da luz pode ser descrito pelo Princípio de Minimização de Fermat. No caso da mecânica, as trajetórias dinamicamente possíveis das partículas podem ser obtidas pelo Princípio de Mínima Ação, ou, quando só há campos conservativos, pelo Princípio de Maupertuis. Louis de Broglie mostra, em 1924, que o Princípio de Maupertuis para partícula é exatamente idêntico à expressão do Princípio de Fermat aplicado à onda associada à partícula. Ou seja, pode-se tratar um ente físico tanto pela mecânica do ponto material quanto pela “óptica” das ondas associadas (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.8).

Apesar de a visão de Louis de Broglie ser considerada como uma visão dual, isso não significa dizer que é consistente com a visão contemporânea. A visão dualista de De Broglie, “dá origem a algumas interpretações da física quântica que podem ser denominadas de dualista-realista” (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.9).

Para sintetizar a essência da visão de Louis de Broglie, trazemos ainda uma citação em que o físico apresenta sua concepção sobre a natureza da matéria e da radiação: “O propósito da mecânica ondulatória é operar a síntese entre a dinâmica do ponto material e a teoria das ondas na forma de Fresnel” [29, p. 225]. Deve-se ter clareza que essa síntese implicava, para de Broglie, a existência de uma partícula e, principalmente, de uma onda material associada a ela. Para reforçar essa ideia, trazemos um trecho de um artigo publicado por de Broglie mais de quarenta anos depois de seu discurso do Nobel: (LIMA, CAVALCANTI & OSTERMANN, 2021, p.9).

No ano de 1924, De Broglie propõe a existência de uma onda fictícia que acompanha o movimento de qualquer corpo, introduzindo, assim, a ideia de dualidade onda-partícula (JAMMER, 1966, p.244 *apud* BROCKINGTON, 2005, p.44).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo, iremos descrever sobre a metodologia utilizada durante a pesquisa, a qual teve como objetivo principal verificar em que medida a produção de uma sequência didática, com base na metodologia ativa sala de aula invertida, contribuiria para a inserção de um conteúdo específico da Física Moderna e Contemporânea, a Dualidade Onda-Partícula, no terceiro ano do ensino médio, por meio de abordagens Histórica e Experimental. Essa sequência didática (apêndice I) resultou no nosso produto educacional.

No que se refere à natureza da pesquisa, adotamos uma abordagem de caráter qualitativo e seu processo metodológico aconteceu através da pesquisa pedagógica.

O interesse pelo objeto de estudo surgiu desde uma inquietação gerada durante minha formação no Ensino Médio, a ausência do ensino de FMC. Área essa que só conheci e à qual tive acesso, quando já estava na metade do curso de graduação em Licenciatura em Física.

Outro fator que serviu de inspiração para o desenvolvimento desta proposta foi o ensino remoto. Inicialmente, a pandemia do Covid-19 causou um caos, de modo que professores e estudantes tiveram que se adaptar a uma nova realidade que estava sendo imposta, readaptando e aprendendo a usar e utilizar a tecnologia a seu favor, apesar das dificuldades.

A ideia de utilização da SAI surgiu com a curiosidade sobre o nível de comprometimento dos estudantes com seus estudos, visto que esses estavam em casa e, desse modo, a responsabilidade que eles possuíam pelos seus estudos seria ainda maior. Desse modo, buscamos desenvolver uma proposta de ensino diferenciada, discutindo conceitos da Física, a partir da história e experimentação, com a elaboração de uma sequência didática, que acontece em torno do conceito da Dualidade Onda-Partícula.

A intervenção aconteceu com uma turma de jovens que cursava o terceiro ano do ensino médio regular de uma escola pública estadual, da qual participaram entre 14 e 16 estudantes, voluntariamente, no decorrer de 6 encontros, com duração aproximada de 45 minutos cada. Esses encontros aconteceram de maneira virtual, pois a proposta foi elaborada para ser desenvolvida desta maneira, visto o cenário pandêmico enfrentado recentemente e a necessidade de os professores readaptarem suas metodologias de ensino, dando ênfase ao uso da tecnologia e dos recursos

virtuais. Dessa maneira, fora proposto um trabalho de sala de aula invertida online, buscando adequar à nossa realidade o mesmo conceito da sala de aula invertida convencional.

Diante da metodologia escolhida, houve a criação de um grupo no WhatsApp, cujos participantes foram os estudantes que participaram da pesquisa juntamente com a professora pesquisadora. O grupo servia para manter contato direto com os estudantes, constituindo-se, assim, não somente como um meio de comunicação, mas também como um ambiente de aprendizagem não formal, no qual foram postados textos, áudios, vídeos, links e etc., com o intuito de dar suporte e orientação aos estudantes antes dos encontros.

A educação não formal ocorre fora dos espaços escolares, sendo, portanto no próprio local de interação do indivíduo, sofre as mesmas influências do mundo contemporâneo como as outras formas de educação, mas, pouco assistida pelo ato pedagógico e desenvolve uma ampla variedade de atividades para atender interesses específicos de determinados grupos. (ALMEIDA, 2014, p.2)

Para Almeida (2014), embora seja pouco assistida pelo ato pedagógico, a aprendizagem não formal ocorre de maneira intencional, atendendo a finalidades específicas, e sofre influências do mundo contemporâneo, assim como as demais formas de educação.

A educação, de forma geral, passa constantemente por processos de mudanças, provocadas pelos avanços das tecnologias, pelas produções incessantes de conhecimentos, pelos novos meios de comunicação que buscam atender e acompanhar as exigências do mundo contemporâneo, mediado pela globalização, que se apresenta como um novo sistema de poder (ALMEIDA, 2014, p.3).

Após a formação do grupo no *WhatsApp*, foi disponibilizado o *link* de acesso para o formulário inicial, elaborado no aplicativo do *Google Forms*. Este formulário diz respeito ao primeiro questionário (apêndice II), estruturado em duas seções. A primeira seção apresenta perguntas, a fim de identificar o conhecimento prévio dos estudantes e a segunda seção um vídeo do YouTube intitulado “Por que precisamos da Dualidade Onda-Partícula?”. Este vídeo se encontra disponibilizado no link: [https://www.youtube.com/watch?v=CgY\\_zBuK2Cw](https://www.youtube.com/watch?v=CgY_zBuK2Cw).

A partir das respostas obtidas no questionário, foram definidos e informado aos alunos, através do grupo do WhatsApp, data e horário do primeiro encontro. O

encontro aconteceu através da plataforma de reuniões *Google Meet*, com o objetivo de discutir, juntamente com os estudantes, as respostas e suas percepções sobre o vídeo que assistiram e sua possível conexão com seu cotidiano.

Após o primeiro encontro *on-line*, a professora pesquisadora encaminhou aos estudantes, através do grupo no *WhatsApp*, um artigo intitulado “Concepções de Dualidade Onda-Partícula: uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica”, texto de Nathan Lima, Cláudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann, disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270>, cuja primeira página se encontra disponível neste trabalho (anexo A). O texto deveria ser lido para que os estudantes pudessem construir um ponto crítico durante seus estudos sobre a História da Dualidade Onda-Partícula.

O segundo encontro *on-line* concentrou-se em fazer um debate sobre a leitura do artigo e sobre a perspectiva de cada um dos leitores. Neste encontro, a professora mediou o debate, objetivando aguçar os estudantes a discutirem e ouvirem o ponto de vista dos demais colegas acerca da leitura.

A professora pesquisadora apresentou, de maneira breve, o conteúdo estudado, e após a sua apresentação, abriu um momento para discussão, em torno de dez minutos. Feito isso, a professora refez as perguntas que fizeram parte do primeiro formulário, para que os alunos respondessem, a fim de verificar as novas concepções adquiridas.

Com a finalização do segundo encontro, a professora pesquisadora obteve uma noção sobre os níveis de conhecimento, desenvoltura e oratória de cada estudante. Então, ficou a seu cargo promover uma divisão de grupos, num total de quatro, compostos por quatro estudantes.

Os estudantes foram aconselhados a se reunirem com seus grupos, para que se preparassem, estudando sobre o assunto, de maneira a se aprofundarem ainda mais na leitura do texto e buscarem por outras narrativas, no intuito de, no próximo encontro, assumirem a responsabilidade de defenderem seus conhecimentos e pontos de vista para os demais colegas.

Pelo grupo de *WhatsApp*, a professora pesquisadora apresentou aos estudantes os experimentos por simulação, explicando, através de textos, áudios e vídeos sobre o funcionamento do um laboratório virtual, fazendo uso de experimentos virtuais de conteúdos já estudados em anos anteriores na escola. O objetivo era que o conhecimento sobre a simulação virtual fosse adquirido e os estudantes pudessem



definir qual experimento iriam estudar e se preparar para apresentar à turma. Posteriormente a esse contato via WhatsApp, foi enviado aos estudantes um vídeo sobre como utilizar o simulador PhET, disponibilizado no YouTube, através do link: <https://www.youtube.com/watch?v=VaNKqA3lab4&t=30s>.

Após esse contato através do grupo de WhatsApp, os próximos encontros foram de responsabilidade dos 4 grupos de estudantes, sendo um encontro para cada grupo, os quais precisaram estudar, pesquisar e se preparar para a aula que dariam ao restante da turma. A professora pesquisadora ficou responsável por orientar os estudantes sobre pesquisas, sobre a preparação de suas apresentações e por retirar dúvidas.

Foi orientado que as apresentações acontecessem, utilizando slides e simulações para o melhor aproveitamento da turma em relação ao conteúdo abordado. Também houve a sugestão de que o restante da turma fizesse anotações sobre o conteúdo, ao qual iriam assistir, para que, posteriormente, pudessem retirar eventuais dúvidas, além de servir também como material para estudo.

Ao fim de cada um desses encontros, a professora pesquisadora estava disponível para falar brevemente sobre os conteúdos apresentados pelos estudantes, quando considerasse necessário, promovendo debates e retirando dúvidas caso essas surgissem. Foi considerada como meio de avaliação a participação de cada estudante.

O terceiro encontro foi do grupo 1 e o conteúdo desenvolvido foi *Reflexão e Refração da Luz*. Neste encontro, deveria ser trabalhada a contextualização, de modo que não fosse desenvolvida somente a parte conceitual, mas também o contexto histórico, com o objetivo da verificação do modo como a luz se comporta, conforme é projetada em diferentes cores ou superfícies.

O quarto encontro foi do grupo 2 sobre a *Difração e Interferência de Ondas*. Deveria ser abordada a contextualização de modo histórico e conceitual, com o objetivo de demonstrar, através do simulador, o comportamento de ondas na luz, som e água, diante de espaçamentos existentes na fonte utilizada para a construção do padrão de interferência.

O quinto encontro foi do grupo 3, este grupo ficou responsável pelo *Efeito Fotoelétrico*. A aula deveria ser composta por contextualização histórica e conceitual. Foi sugerida ao grupo a utilização do laboratório virtual, com objetivo de proporcionar a compreensão de como a radiação eletromagnética pode arrancar elétrons da

superfície metálica, suas aplicações em objetos como televisões, iluminação urbana, portas automáticas, etc.

Por fim, o sexto encontro foi de responsabilidade do grupo 4, com o tema *Dualidade Onda-Partícula*, primando pela contextualização histórica e conceitual. O experimento utilizado deveria ser o de duas fendas.

Ao fim da apresentação do grupo, a professora pesquisadora apresentou aos estudantes o experimento do Interferômetro de Mach-Zehnder, que se encontra disponível na internet, juntamente com seu roteiro (anexo B). O objetivo dessa apresentação foi que os estudantes pudessem observar o comportamento da luz, diante da produção de interferências construtivas e destrutivas pelos detectores do interferômetro.

Por fim, foi enviado o *link* de atividade em formulário (apêndice III) para os estudantes, a fim de verificar sobre os conhecimentos adquiridos durante a intervenção.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

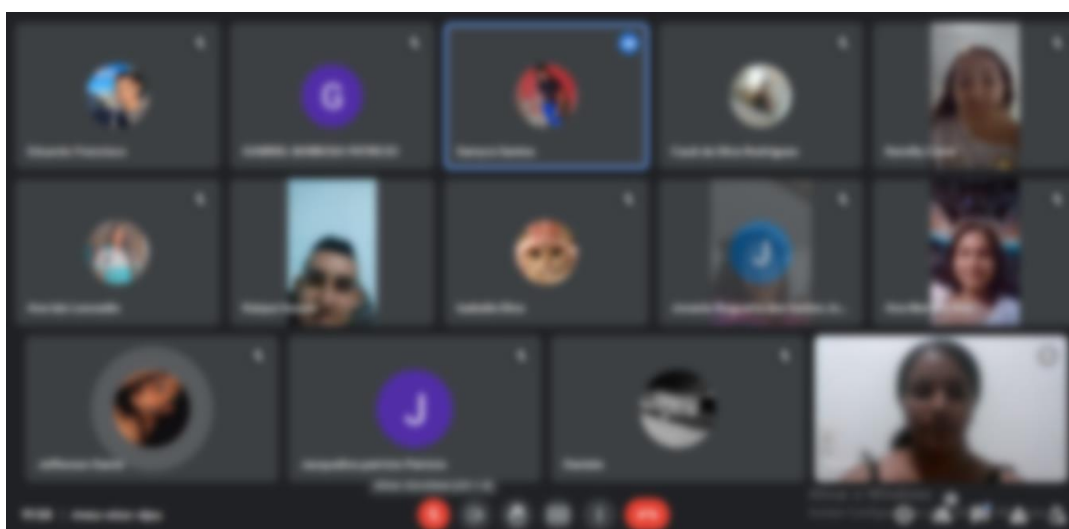
### 1º encontro: apresentação entre professora e estudantes e reconhecimento do conhecimento prévio

Este primeiro encontro teve como objetivo não somente discutir sobre as respostas obtidas no pré-teste do formulário e as concepções do vídeo assistido, mas também fazer-se um momento de acolhida, para que os estudantes pudessem se sentir à vontade, com relação aos próximos encontros da intervenção que viriam a acontecer.

Então, em um primeiro momento, houve uma conversa com os estudantes que participaram, por meio da qual me apresentei falando meu nome, idade, formação acadêmica e um pouco sobre minha vida. Posteriormente, os estudantes se apresentaram e falaram sobre o que esperam para o futuro, alguns falaram sobre estudos, outros sobre profissões.

Após esse momento de descontração, expliquei sobre o objetivo e a importância dos encontros da intervenção elaborada e a quantidade de encontros que teríamos, com o intuito de motivar os estudantes a participarem. Feito isso, iniciamos a discussão sobre as perguntas que eles responderam no questionário inicial, correspondente ao pré-teste disponível no formulário da plataforma do *Google Forms*.

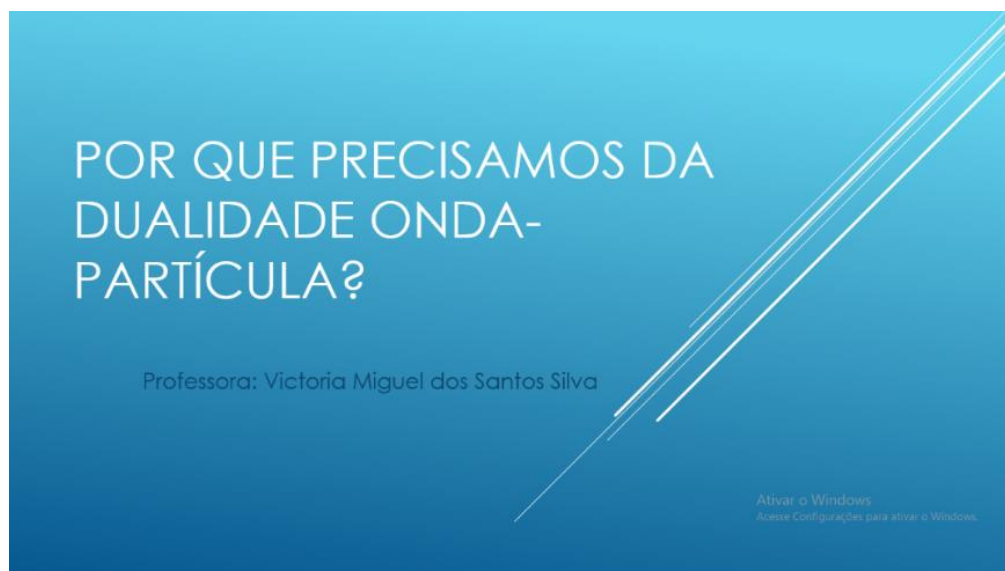
**Figura 1** – Primeiro encontro com os estudantes



**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

Para essa discussão, foi preparada uma apresentação de slides no PowerPoint, a qual tinha como imagem inicial a pergunta que corresponde ao título do vídeo contido na segunda seção do formulário: “*Por que precisamos da dualidade onda-partícula?*”.

**Figura 2** – Imagem inicial da apresentação de slides do primeiro encontro



**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

A apresentação preparada era composta pelas perguntas que faziam parte do formulário juntamente com cinco respostas obtidas para cada uma delas, sendo essas respostas escolhidas aleatoriamente. O objetivo da elaboração da apresentação de slides era o de seguir um roteiro para a discussão, de maneira que os estudantes se sentissem à vontade, ao verem diversas respostas não identificadas, de modo que não se sentissem envergonhados para discuti-las, caso considerassem que suas respostas estavam erradas.

Na figura abaixo, temos as perguntas e algumas das respostas iniciais, respondidas a partir do conhecimento já adquirido em Física.

**Figura 3** – Perguntas e algumas das respostas do pré-teste respondido no formulário do Google Forms

<p><b>O QUE É LUZ?</b></p> <p>"Luz é o que possibilita enxergar as coisas"            "é a energia"            "Luz é o que ilumina tudo ao nosso redor."            "Luz é o sol durante o dia é a lâmpada da nossa casa que clareia durante a noite, tudo que nos ajuda a enxergar porque no escuro a gente não consegue."            "A energia que ilumina as casas, as ruas, em fim, os lugares"</p>	<p><b>O QUE É ELÉTRON?</b></p> <p>"Não sei"            "Elétron é uma partícula pequena de energia."            "Acredito que alguma coisa de eletricidade"            "É o que faz parte da eletricidade"            "Uma partícula"</p>
<p><b>O QUE É PARTÍCULA?</b></p> <p>"Um pedaço pequeno"            "uma coisa pequena"            "Partícula é algo pequeno."            "Depende"            "É algo que faz parte de uma coisa maior"</p>	<p><b>O QUE É ONDA?</b></p> <p>"É quando as águas se movem com um vento forte"            "é a água"            "Onda é o movimento das águas do mar."            "Onda é quando o mar se agita que forma tipo umas paredes de água na praia"            "É o movimento forte do mar"</p>
<p><b>JÁ OUVIU FALAR EM FÓTON?</b></p> <p>"Não me lembro."            "É o que compõe a luz"            "Partícula que possui massa"            "Fóton faz parte da luz"            "Os fótons são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos "pacotes" que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas"</p>	<p><b>O QUE SIGNIFICA DIZER QUE ALGO POSSUI CARÁTER DUAL?</b></p> <p>"Que funciona de duas formas, tipo um celular que tem dois chip"            "Quando algo possui o caráter dual, significa que ele se comporta de duas maneiras."            "Que funciona de dois jeitos"            "Se comporta de duas maneiras"            "Significa que ele tem dois comportamentos"</p>

Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Apesar de a proposta elaborada apresentar que o primeiro encontro da intervenção só aconteceria após os vinte estudantes participantes responderem ao pré-teste, isso não aconteceu porque muitas desculpas surgiram e como era necessário dar início ao desenvolvimento do projeto da pesquisa, iniciamos com o que se tinha naquele momento: dezesseis respostas.

Abaixo, podemos ler as respostas obtidas por meio do formulário de pré-teste, à primeira pergunta "O que é luz?":

- R1: "Luz é o que possibilita enxergar as coisas".  
 R2: "é a energia"  
 R3: "Luz é o que ilumina tudo ao nosso redor."

- R4: “Luz é o sol durante o dia é a lâmpada da nossa casa que clarea de noite, tudo o que nos ajuda a enxergar porque no escuro a gente não consegue.”  
 R5: “A energia que ilumina a casa, as ruas, em fim, os lugares”.  
 R6: “Energia”.  
 R7: “A luz é uma energia”  
 R8: “A luz é um tipo de onda eletromagnética visível, formada pela propagação em conjunto de um campo elétrico e um magnético.”  
 R9: “O que nos permite enxergar, caso contrário não podemos ver”.  
 R10: “Depende: a luz natural é do sol e a artificial é da energia elétrica”.  
 R11: “é o que permite que possamos enxergar pq entra em nosso olho e inverte a posição dos objetos”.  
 R12: “É uma energia que nos permite enxergar.”  
 R13: “A luz é uma onda eletromagnética cuja frequência encontra-se no espectro visível para os seres humanos.”  
 R14: “Luz é uma onda eletromagnética visível ao olho humano”.  
 R15: “Luz é tudo o que ilumina a nossa volta”  
 R16: “É uma parte da física que nos ajuda a enxergar”.

Diante de diversas respostas, o que, de fato, chamou nossa atenção é que a grande maioria das respostas relacionou a luz ao ato de enxergar.

No que diz respeito à segunda pergunta: “**O que é onda?**”, observaram-se as seguintes respostas:

- R1: “É quando as águas se movem com um vento forte”  
 R2: “é a água”  
 R3: “Onda é o movimento das águas do mar.”  
 R4: “Onda é quando o mar se agita que forma tipo umas paredes de água na praia”  
 R5: “É o movimento forte do mar”  
 R6: “Perturbações”  
 R7: “Onda também é uma energia”  
 R8: “Ondas são perturbações que se deslocam no espaço transportando, exclusivamente, energia de um ponto a outro, sem realizar transporte de matéria.”  
 R9: “Perturbações que formam um movimento”  
 R10: “o balanço das águas”  
 R11: “é a reação que a água do mar tem com o vento”  
 R12: “É uma movimentação causada por um movimento.”  
 R13: “As ondas são perturbações que se propagam pelo espaço sem transporte de matéria, apenas de energia.”  
 R14: “Onda é uma movimentação que transporta energia”  
 R15: “Onda é um movimento”  
 R16: “É uma movimentação de água por exemplo”.

Podemos observar que, apesar de muitos terem associado a onda relativa à área da Física à onda do mar, vemos que os alunos compreendem ou, pelo menos, possuem a ideia de que uma onda se trata de uma movimentação que ocorre de acordo com a interferência de algo. No caso da maioria das respostas dos estudantes, o que se movimenta é a água do mar e a interferência é ocasionada pelo vento, o qual provoca a onda.

Quanto à terceira pergunta: “**O que é partícula?**”, obtivemos as respostas seguintes:

- R1: “*Depende*”
- R2: “*Parte de algo maior*”
- R3: “*Partículas são pequenas partes que compoem alguma coisa*”
- R4: “*Partícula é algo pequeno.*”
- R5: “*Partícula é um termo utilizado para classificar a menor divisão de uma matéria, considerada indivisível e parte elementar de um composto.*”
- R6: “*Partícula é uma parte pequena de um inteiro*”
- R7: “*Um pedaço pequeno*”
- R8: “*Uma parte*”
- R9: “*Uma parte de alguma coisa*”
- R10: “*Uma parte de um todo*”
- R11: “*não lembro*”
- R12: “*uma coisa pequena*”
- R13: “*É algo que faz parte de uma coisa maior*”
- R14: “*É um pedaço muito pequeno*”
- R15: “*é uma parte*”
- R16: “*Partícula é um termo utilizado para classificar a menor divisão de uma matéria, considerada indivisível e parte elementar de um composto.*”

Conforme observa-se, a maioria das respostas associa partícula à parte de algo, fato esse que nos permite interpretar que os alunos possuem uma noção de que uma partícula é um pequeno fragmento que compõe uma determinada propriedade.

Para a quarta pergunta: “**O que é elétron?**”, os alunos responderam:

- R1: “*Acredito que alguma coisa de eletricidade*”
- R2: “*Eletricidade*”
- R3: “*Elétron é uma partícula de energia*”
- R4: “*Energia é uma partícula pequena de energia*”
- R5: “*Elétron é uma partícula que constitui o átomo, ou seja, é uma partícula subatômica.*”
- R6: “*Não sei*”
- R7: “*Os elétrons são partículas fundamentais dotadas de carga elétrica negativa. Estão localizados na eletrosfera, uma região periférica ao redor do núcleo atômico.*”
- R8: “*Partícula*”
- R9: “*Uma bolinha que tem energia*”
- R10: “*algo da eletricidade*”
- R11: “*não lembro*”
- R12: “*não sei*”
- R13: “*É o que faz parte da eletricidade*”
- R14: “*É uma partícula que possui carga negativa*”
- R15: “*Não sei*”
- R16: “*É uma partícula*”

A maioria das respostas associaram o elétron à eletricidade, logo interpretamos que a compreensão de que o elétron é uma partícula que possui carga elétrica negativa será mais fácil.

- Quinta pergunta: “**Já ouviu falar em fóton?**”

- R1: "Não lembro"  
 R2: "não"  
 R3: "Não me lembro."  
 R4: "Se já não me lembro"  
 R5: "É o que compõe a luz"  
 R6: "Partícula que possui massa"  
 R7: "Fóton faz parte da luz"  
 R8: "Os fótons são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos "pacotes" que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas"  
 R9: "Faz parte da biologia"  
 R10: "sim"  
 R11: "não que eu me lembre"  
 R12: "Fóton é uma partícula que possui massa"  
 R13: "Os fótons são as partículas que compõem a luz e podem ser definidos como pequenos "pacotes" que transportam a energia contida nas radiações eletromagnéticas."  
 R14: "Foton é o que compõe a luz"  
 R15: "Não"  
 R16: "Sim"

Dentre as questões devidamente respondidas, podemos observar que alguns estudantes associam o fóton à partícula que compõe a luz ou a uma partícula que possui massa. Como bem sabemos, nenhuma das duas definições estão erradas, uma vez que fóton é uma partícula de massa e carga elétrica nula que se desloca no vácuo, na velocidade da luz, transportando a energia da radiação eletromagnética.

- Ao serem indagados, na sexta pergunta "**O que significa dizer que algo possui caráter dual?**", os alunos responderam:

- R1: "Que funciona de duas formas, tipo um celular que tem dois chip"  
 R2: "não sei"  
 R3: "Quando algo possui caráter dual, significa que ele se comporta de duas maneiras."  
 R4: "Que funciona de dois jeitos"  
 R5: "Que funciona de duas maneiras"  
 R6: "Se comporta de duas maneiras"  
 R7: "Significa que ele tem dois comportamentos"  
 R8: "Caráter dual é uma pessoa que tem um caráter de duas faces"  
 R9: "Que age de duas maneiras"  
 R10: "que possui duas coisas"  
 R11: "que se comporta de diferentes maneiras"  
 R12: "Significa que se comporta de duas maneiras diferentes."  
 R13: "A dualidade afirma que ondas podem comportar-se como partículas e vice-versa."  
 R14: "Que pode ter duas maneiras"  
 R15: "Que possui duas maneiras de ser usada"  
 R16: "Significa que possui dois caráter"

As respostas evidenciaram que a maioria compreende caráter dual como algo que é duplo e que pode se comportar de duas maneiras diferentes. Obtivemos respostas que iam, claramente, do senso comum até um vaga lembrança de ligação



com a ciência ou uma rápida pesquisa na internet. Mesmo com diversas respostas vagas ou até mesmo minimamente embasadas fisicamente, podemos observar que, apesar de uma forte presença do senso comum, alguns dos alunos possuem uma noção, ainda que pouca, de cada uma das definições, às quais foram expostos nos questionamentos do formulário.

Essas respostas vagas podem ser consequência do ensino durante a pandemia, devido ao fato de tudo ter iniciado e acontecido tão rápido, não houve tempo e nem preparo suficiente tanto para estudantes quanto para professores, diante do cenário de ensino à distância com a modalidade online, visto que éramos acostumados com o ensino presencial.

Diante desse contexto, o primeiro encontro consistiu em reformular as ideias e compreensões dos estudantes acerca dos conteúdos abordados nas perguntas do formulário. Isso se deu através das definições científicas e associações do cotidiano, com o objetivo de facilitar a compreensão científica desses estudantes, reforçando as questões abordadas no vídeo a que eles assistiram na segunda seção do formulário.

Com o objetivo de reforçar a concepção e compreensão, através do grupo de WhatsApp, os estudantes tiveram acesso ao artigo “Concepções de Dualidade Onda-Partícula: uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica”, artigo escrito por Nathan Lima, Cláudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann.

Os estudantes foram orientados sobre a importância da leitura do texto, pois a partir dele teríamos uma estrutura para o segundo encontro, no qual iríamos fazer um debate acerca do que o artigo aborda.

## **2º encontro: A Dualidade Onda-Partícula e a percepção dos estudantes**

Esse encontro teve como objetivo promover a discussão do texto disponibilizado aos estudantes, através do grupo no WhatsApp, de modo que fossem esclarecidas eventuais dúvidas que pudessem ter surgido no momento da leitura.

**Figura 4** – Primeira página da apresentação de slides

**Um pouco de história...**

Início da urbanização nos séculos XIX e XX...



- Origem do conceito de corpo negro
- Termodinâmica e Eletromagnetismo
- Max Planck em 1900
- Maxwell e a Teoria Eletromagnética



Max Planck (1858-1947)



Maxwell (1831-1879)

**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

A professora pesquisadora preparou uma apresentação do texto disponibilizado aos estudantes, que durou cerca de quinze minutos. Após a apresentação, a professora pesquisadora abriu um momento para discussão entre os estudantes para que pudessem debater sobre o que compreenderam do texto.

Poucos alunos falaram sobre suas concepções e percepções diante do texto, acredita-se que talvez por vergonha de se expressar. Então logo após isto, eles tiveram um tempo de quinze minutos para responder novamente as questões que haviam respondido no formulário de pré-teste antes do primeiro encontro, sem a necessidade de responder novamente o formulário.

Então para a primeira pergunta **“O que é luz?”**, foram obtidas respostas como:

R1: *“A luz é uma onda visível aos nossos olhos e através dela podemos ver.”*

R2: *“E essa onda ela é eletromagnética.”*

Diante dessas respostas, os alunos foram indagados pela professora pesquisadora sobre a propagação da luz e a maneira ou meio em que ela se propaga, conforme transcrito abaixo:

Pergunta da professora: *“E sobre a propagação da luz? Qual a maneira e qual o meio em que a luz se propaga?”*

R1: *“Professora, o que significa mesmo propagação?”*

Resposta da professora: *“Propagação é a maneira como algo se espalha, se desenvolve ou até mesmo a maneira como esse algo se multiplica; então, na questão da propagação da luz, é a maneira como a luz se irradia ou se espalha. Então pessoal, vamos lá! Como acontece a propagação da luz?”*

R2: *“Eu acredito que a propagação da luz acontece em qualquer lugar, porque a gente tem a luz do sol, a luz de casa, tem a luz do celular também.”*

*Então eu acho que sempre que a gente consegue ver é por causa da luz que alcança o olho da gente.”*

Sobre a segunda pergunta **“O que é onda?”**, as respostas obtidas foram:

R1: *“Onda é uma movimentação que tem energia e que pode se movimentar de um lugar pra outro.”*

R2: *“Onda é tipo uma agitação, com energia que se propaga em qualquer meio.”*

Resposta da professora: *“Onda é uma perturbação que se propaga pelo espaço transportando energia, essa onda é fruto de uma ação, pois para toda ação temos uma reação. Por exemplo, imaginem vocês jogando uma pedra em algum lugar que tenha água, o que se forma? Círculos que formam ondas, não é? Então, aquelas ondas se formaram porque você jogou a pedra na água, para toda ação, uma reação.”*

Em relação à terceira pergunta **“O que é partícula?”**, as respostas que tivemos foram: R1: *“É algo muito pequeno.”*; R2: *“É uma parte de alguma coisa.”* e R3: *“Partícula é uma parte bem pequenininha de qualquer coisa maior.”*

Os estudantes não se manifestaram com relação à quarta e à quinta pergunta **“O que é elétron?”** e **“Já ouviu falar em fóton?”**. Então, foi explicado de maneira breve:

Resposta da professora: *“Elétron minha gente, nada mais é do que partículas que possuem carga negativa. Acredito que vocês já tenham estudado sobre átomos e núcleo atômico, e os elétrons são as cargas que giram em volta do núcleo atômico.”*

Resposta da professora: *“Fóton é uma partícula que possui carga elétrica nula, e é uma partícula que compõem a luz juntamente com outras unidades de fótons, eles transportam a energia que se encontra na radiação eletromagnética.”*

Sexta pergunta: **“O que significa dizer que algo possui caráter dual?”**

R1: *“Significa que pode se comportar de duas maneiras, porque dual é abreviação de dualidade e dualidade vem de dois.”*

R2: *“É que nem o celular que tem dois chips, pode ver que vem falando que ele é dual chip. É porque tem dois, né?”*

R3: *“Pesquisando na internet eu vi que a luz tem caráter dual, uma é de onda e a outra eu esqueci agora.”*

R4: *“É que nem uma pessoa que tem duas caras.”*

Resposta da professora: *“Caráter dual está diretamente relacionado a dualidade, dois; quando vocês ouvirem falar em dual lembrem de dois. Então, algo que possui caráter dual é algo que pode se comportar na natureza de duas maneiras. Com relação a luz, sim, ela possui caráter dual pois ela é ondulatória e corpuscular.”*

Para encerrar, a professora pesquisadora informou aos alunos que o próximo encontro seria como um seminário, em que grupos seriam formados pela professora e depois divulgado no grupo do WhatsApp.

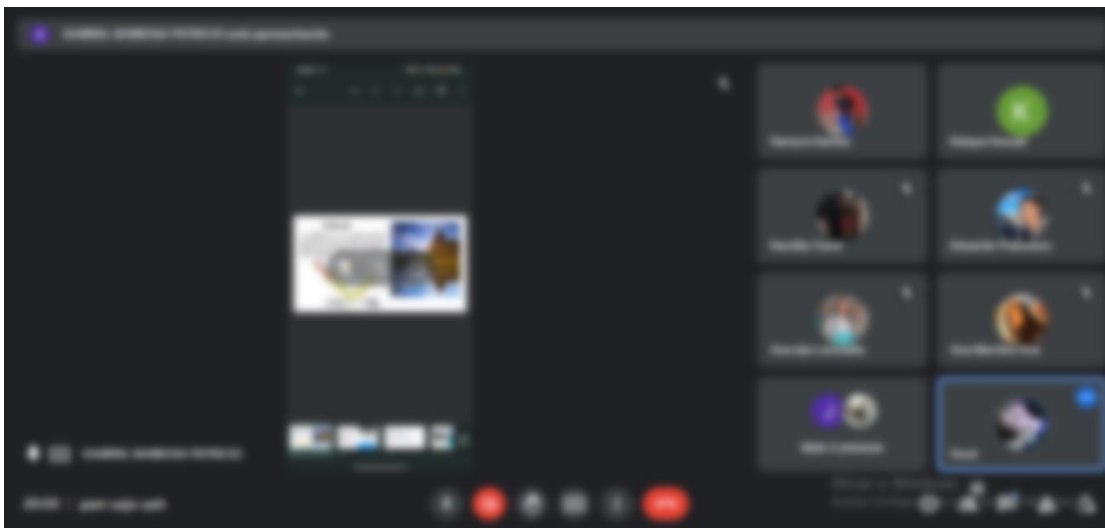
Após finalizadas as questões, chega ao fim o segundo encontro da intervenção. Depois desse encontro, foi possível observar a desenvoltura dos estudantes participantes, em relação à participação, comprometimento e compreensão, apesar de não terem todos os alunos discutido como era esperado.

### **3º encontro: Preparação e apresentação do grupo 1 sobre Reflexão e Refração da Luz**

Após a realização do segundo encontro, através do grupo de WhatsApp, os estudantes foram informados sobre a formação dos grupos e sobre os conteúdos que seriam apresentados. A ordem de escolha dos temas para cada grupo, aconteceu da seguinte maneira: quem dizia que queria tal tema primeiro, selecionava-o.

Vídeos sobre experimentação por simulação virtual e sobre o manuseio do PHet foram enviados no grupo. Além de áudios contando que podiam pesquisar vídeos no YouTube, caso surgisse alguma dúvida sobre como e o que eles iriam estudar e apresentar. A ideia e o objetivo disto era que todos os estudantes tomassem conhecimento sobre as possibilidades de apresentação que poderiam ter. Apresentação essa que poderia acontecer com demonstração de imagens, de slides, de vídeos e simulação.

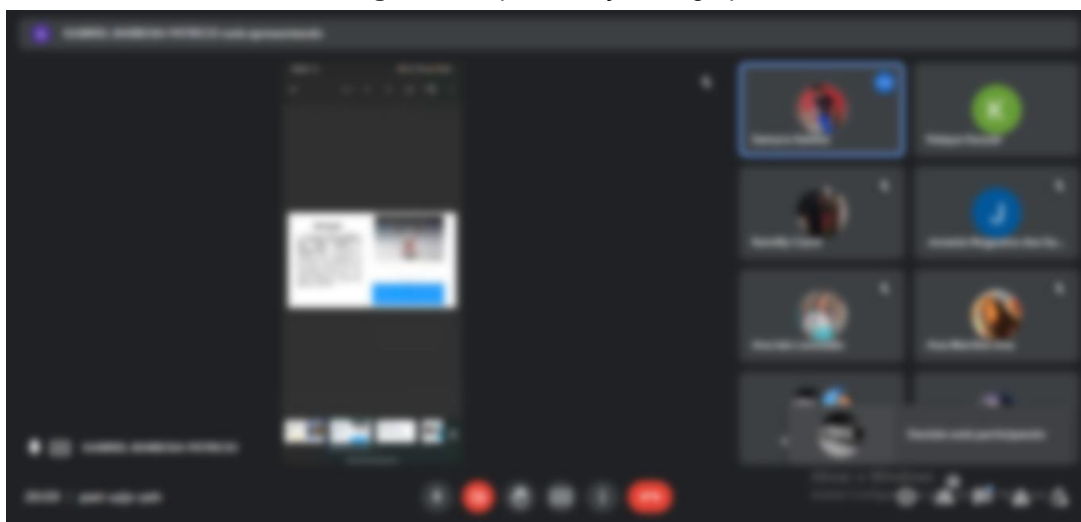
A apresentação do grupo foi feita com uma apresentação de slides no Power Point, composta por textos e imagens.

**Figura 5** – Apresentação do grupo 1

**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

Os conteúdos apresentados e discutidos foram Reflexão, Refração, Índice de refração, Refração regular, Refração difusa e Refração seletiva. Os estudantes se reversaram de modo que cada um ficou responsável por explicar cada tópico presente em sua apresentação.

A apresentação foi bastante completa em questão de conteúdo e possuiu uma linguagem de fácil compreensão. Os estudantes se preocuparam em abordar exemplos que poderiam ser compreendidos de maneira fácil, uma vez que se admitisse que faziam parte do cotidiano.

**Figura 6** – Apresentação do grupo 1

**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

Ao serem questionados sobre possíveis dúvidas ou questões mal-entendidas, os demais estudantes disseram que não haviam, então caminhamos para o fim do terceiro encontro. O grupo foi parabenizado por sua apresentação e o lembrete de que o próximo encontro seria do grupo 2 foi reforçado, aconselhando os demais estudantes a buscarem por diferentes formas de abordagem como vídeos, simulações e a utilização do PhET.

#### **4º encontro: Preparação e apresentação do grupo 2 sobre Difração e Interferência das Ondas**

Para que o grupo pudesse se preparar com o aspecto histórico do conteúdo, foi enviado através do grupo do WhatsApp três links<sup>3</sup> para que pudessem ler e estudar sobre o que deveriam apresentar.

O grupo iniciou, apresentando um vídeo intitulado “Interferência e Difração Explicadas”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=edidweXxbqU>, com duração de nove minutos e vinte e três segundos. Esse vídeo abordava o fenômeno do comportamento da luz, uma vez que essa se comporta como onda e também como partícula, explicando como a difração e a interferência funcionam.

Após a exibição do primeiro vídeo, o grupo apresentou um vídeo intitulado “Tema 13 – Fenômenos Associados a Propagação Ondulatória | Experimentos – Figura de difração”, com duração de três minutos, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=DYYGFb36lvE>; o qual diz respeito a um experimento gravado, que apresenta o comportamento da luz e seus padrões de interferência formados diante de fendas.

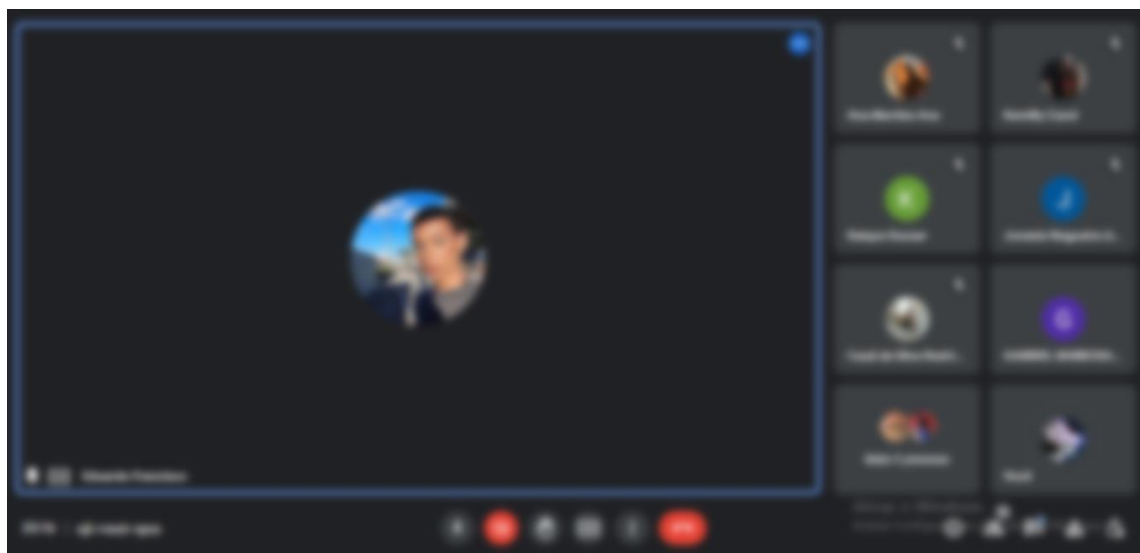
Por último, foi exibido o vídeo “Difração das Ondas Aula 9 OND09”, com duração de seis minutos e quarenta e um segundos, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=9M8JI2xNMD0>. O vídeo apresenta a explicação conceitual de difração e reforça o que foi abordado pelos vídeos anteriores. Além disso, apresenta desenhos explicativos e linguagem clara e de fácil compreensão.

---

<sup>3</sup> Link 1: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/difracao>

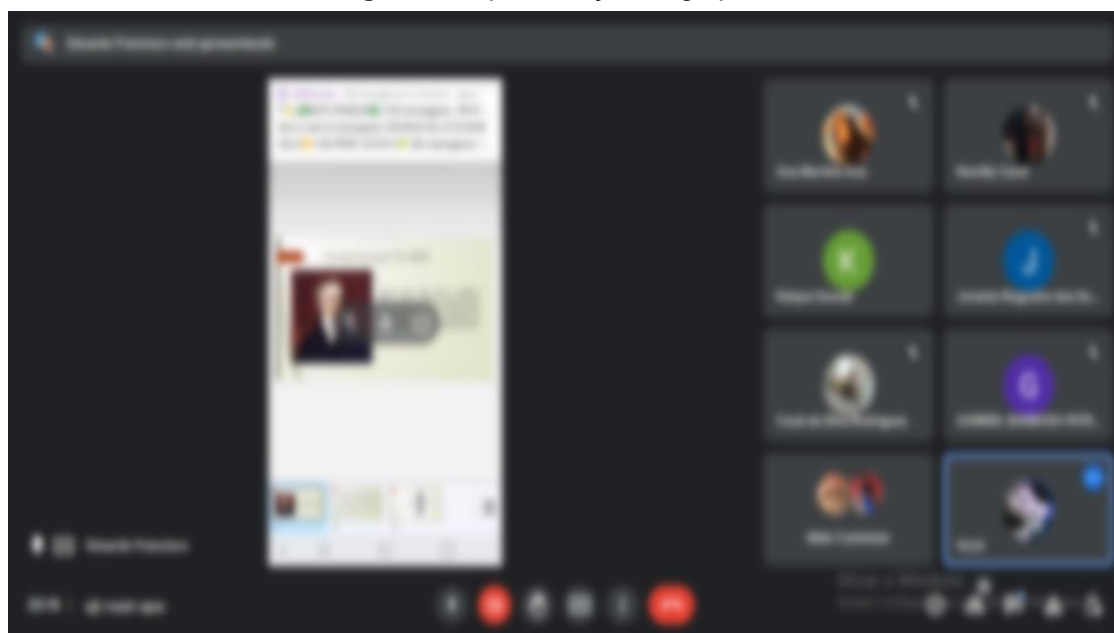
Link 2: <http://www.if.ufrgs.br/fis01038/interfdifracao.pdf>

Link 3: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/jBzKXJkqYvTqYRRwcSZ69sr/?lang=pt>

**Figura 7** – Apresentação de slides do grupo 2

**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

Ao fim dos vídeos, o grupo responsável pelo encontro apresentou slides que abordavam o contexto histórico do conteúdo abordado. Os slides eram compostos por textos e imagens e a apresentação aconteceu de maneira breve, com a leitura dos textos apresentados que faziam parte da apresentação.

**Figura 8** – Apresentação do grupo 2

**Fonte:** Elaborada pela autora (2022)

### 5º encontro: Preparação e apresentação do grupo 3 sobre o Efeito Fotoelétrico

Através do grupo no WhatsApp, foram enviados links de textos<sup>4</sup> sobre o Efeito Fotoelétrico, para que o grupo pudesse estudar e se preparar para a sua apresentação, além de orientação para que buscassem por aplicações do Efeito Fotoelétrico em nosso cotidiano.

O grupo iniciou apresentando o vídeo “O Efeito Fotoelétrico Explicado (O Nobel de Einstein)”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=USGENeYkBd4>; o vídeo teve duração de oito minutos e explica brevemente qual o conceito do Efeito Fotoelétrico e o relacionamento de Einstein com essa parte da ciência.

Seguindo, os estudantes se dividiram em uma leitura e explicação de slides, trazendo datas históricas, conceitos e exemplos de aplicações do Efeito Fotoelétrico em objetos e situações presentes em nosso dia a dia. Como exemplos de aplicação do Efeito Fotoelétrico, os estudantes citaram: painéis solares, sistemas de segurança e alarme, portas automáticas, televisão e o sistema público de iluminação.

Ao fim da apresentação do grupo, a professora pesquisadora tentou apresentar aos estudantes a simulação do experimento do Efeito Fotoelétrico através do site PhET, com o objetivo de mostrar que o site de simulação virtual não é difícil de ser utilizado, além claro, da possibilidade de poderem visualizar e, de certo modo, presenciarem a experiência do Efeito Fotoelétrico, observando a projeção da luz como partícula e seu comportamento. Todavia, não foi possível, acredita-se que, devido à conexão da internet, o site ficou somente carregando, esperou-se um tempo na esperança de abrir o experimento, mas não se obteve êxito. Então diante do fato ocorrido, buscou-se por um vídeo no YouTube que tratasse do desenvolvimento do experimento através do PhET. O vídeo escolhido foi “12 – PHET Efeito Fotoelétrico”, com duração de vinte e dois minutos e vinte e oito segundos, disponível através do link: <https://www.youtube.com/watch?v=ckbDk3A5a48>. Foram visualizadas somente as partes que mostravam como o Efeito Fotoelétrico acontece, segundo os comandos disponibilizados na simulação.

---

<sup>4</sup> Texto 1: <https://sites.ifi.unicamp.br/lfmoderna/conteudos/efeito-fotoeletrico/>

Texto 2: [https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq\\_XX\\_A/fotoElec/aFotoElecFrame.htm](https://www.if.ufrgs.br/~betz/iq_XX_A/fotoElec/aFotoElecFrame.htm)

Texto 3: <https://pt.khanacademy.org/science/physics/quantum-physics/photons/a/photoelectric-effect>



Ao final, segundo os estudantes, não haviam dúvidas referente ao conteúdo estudado e, assim, se chegou ao fim de mais um encontro de nossa intervenção.

### **6º encontro: Preparação e apresentação do grupo 4 sobre a Dualidade Onda-Partícula**

Como de costume, através do WhatsApp, nosso meio de comunicação e aprendizagem não-formal, foram disponibilizados aos estudantes diferentes links<sup>5</sup> que poderiam servir de suporte para seus estudos e preparação.

O grupo responsável pelo início de nosso último encontro da intervenção iniciou apresentando o contexto histórico da Dualidade Onda Partícula e nomes como Albert Einstein, Max Planck e Niels Bohr e suas contribuições para o que hoje sabemos sobre o fenômeno citado.

**Figura 9** – Apresentação do grupo 4



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

<sup>5</sup> Link 1: [https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m\\_s05.html](https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/fismod/mod06/m_s05.html)

Link 2:

[http://omnis.if.ufrj.br/~pef/producao\\_academica/dissertacoes/2019\\_Raphael\\_Pontes/material\\_instrucional\\_texto.pdf](http://omnis.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2019_Raphael_Pontes/material_instrucional_texto.pdf)

Link 3:

<https://sites.google.com/a/superensino.com/appondulatoriamnpef/home/materialdidatico/difracao/06>

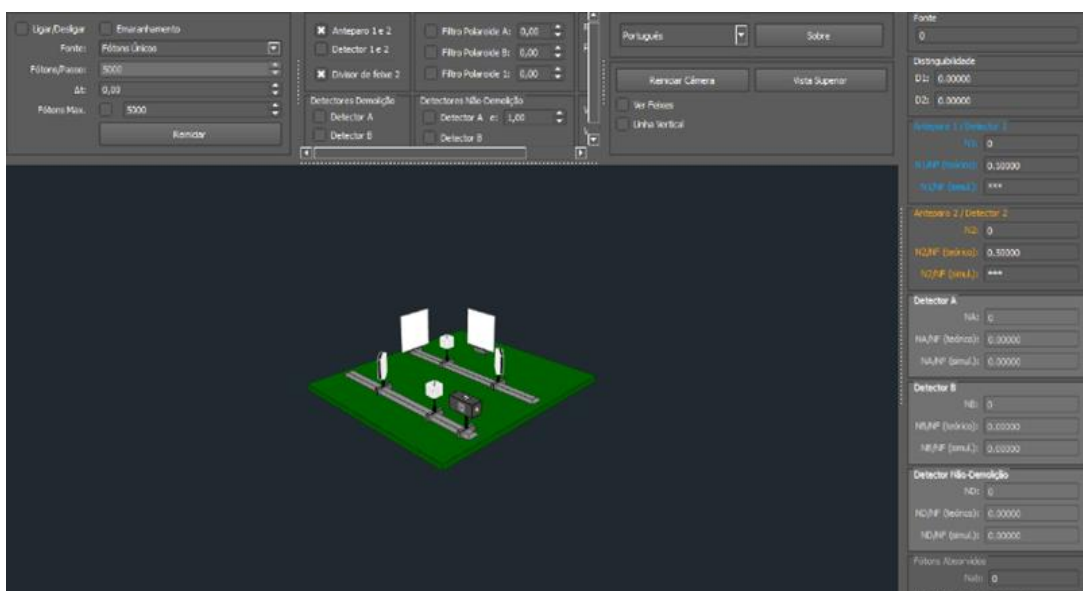
Após o contexto histórico, o vídeo intitulado “Física Quântica (Dr. Quantum) Fenda Dupla – Dublado PT”, disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UtPf0XYQzfl>, com duração de quatro minutos e cinquenta e um segundos, foi apresentado. O vídeo aborda o experimento da Fenda Dupla, apresentando e explicando como acontece os diferentes padrões de interferência formados por elétrons e ondas e explicando o experimento elaborado pelos cientistas, para que pudessem compreender esses padrões formados pelos elétrons e chegar ao conceito que hoje conhecemos.

Ao fim do vídeo, um dos integrantes do grupo agradeceu a atenção de todos e finalizou a sua apresentação.

Com a finalização da apresentação do grupo 4, foi chegado o momento de apresentar aos estudantes o experimento do Interferômetro de Mach-Zehnder, com o objetivo, foi seguido o roteiro, que se encontra disponível no anexo B do produto educacional. Abaixo, será descrito de modo geral como ocorreu a realização do experimento.

Aberto o software e alterado o idioma para Português (BR), foi explicado que o interferômetro é composto por uma fonte emissora de luz, dois espelhos, dois espelhos semitransparentes e dois detectores de incidência da luz, que no *software* são chamados de anteparo.

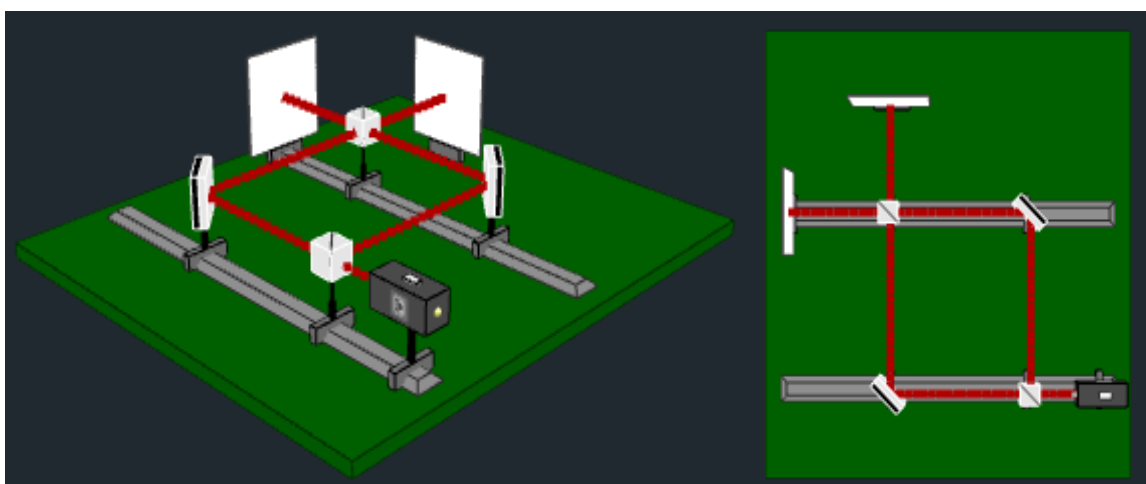
**Figura 10** – Início do software do experimento do Interferômetro de Mach-Zehnder



Fonte:Elaborada pela autora (2022)

Após isto, com a opção “ver feixes”, foi mostrado e explicado o caminho realizado pela luz. Tendo em vista que a luz sai da fonte e incide no primeiro semiespelho, se dividindo em dois feixes de luz, após essa divisão cada um desses feixes de luz se dirigem para os espelhos, seguindo para o segundo semiespelho e, ao se encontrarem nesse segundo semiespelho, o feixe de luz segue dividido até os anteparos e, a partir daí, acontece a construção da interferência construtiva e destrutiva e a intensidade luminosa desta interferência é registrada nos anteparos. Na figura seguinte, podemos ver o movimento descrito, por uma visão de frente e de cima.

**Figura 11** – Visualização do caminho percorrido pelo feixe de luz no Interferômetro de Mach-Zehnder visto de frente e de cima



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

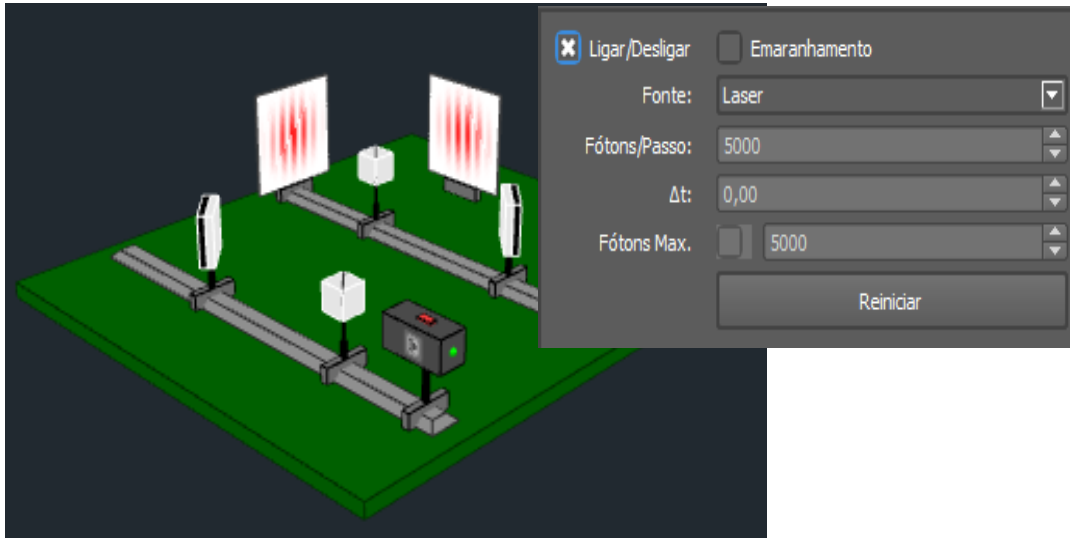
Ao marcar a opção “laser” e “ligado”, foi possível observar, nos anteparos, um determinado padrão de interferência. Neste momento, foi perguntado aos estudantes se eles conseguiriam, em um primeiro momento, dizer qual tipo de interferência seria, se construtiva ou destrutiva; porém, nenhum opinou sobre a pergunta que havia sido feita.

Então, indagou-se se poderiam identificar possíveis semelhanças nesses desenhos formados nos anteparos. Antes que eles pudessem começar a responder, lhes foi chamada a atenção para a forma geométrica que as interferências possuem, ou seja, uma forma circular e que essas interferências se completam, de maneira que uma interferência é construtiva e a outra é destrutiva.

Mas o que seria a interferência construtiva e a interferência destrutiva? A primeira diz respeito à aquela que recebe luz e a última àquela que não recebe. Então,

aqui podemos perceber que, na região escura de um anteparo, é formada uma região clara no outro anteparo e assim segue, como ilustrado a seguir:

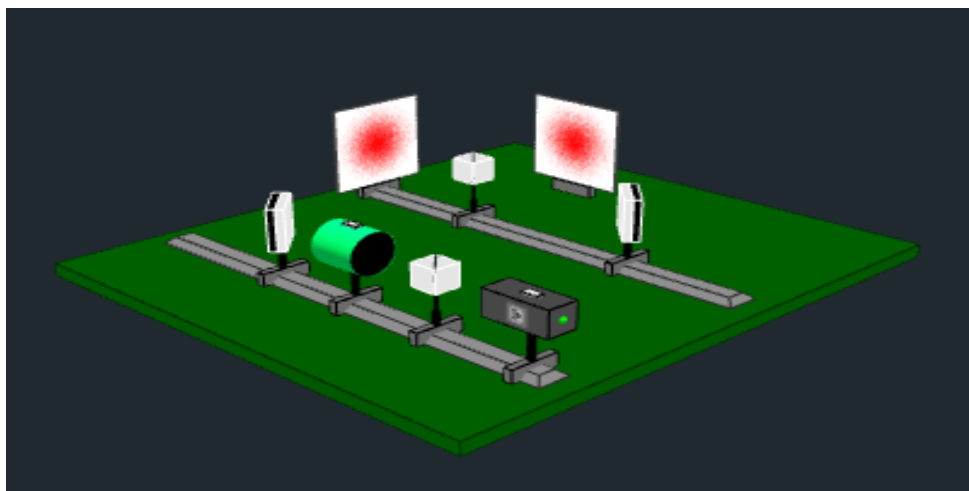
**Figura 12** – Formação de padrões de interferência ao ligar a opção laser



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Depois, retiramos o espelho semirefletor 2 e observamos qual a relação existente na intensidade de luz que se encontra nos anteparos e a intensidade de luz que é emitida pela fonte. Como foi retirado o segundo espelho semirefletor, a intensidade da luz nos anteparos é a mesma, correspondendo à metade da intensidade da luz que é emitida pela fonte, porque é considerado que os espelhos são ideais e que não existe perda de intensidade da luz.

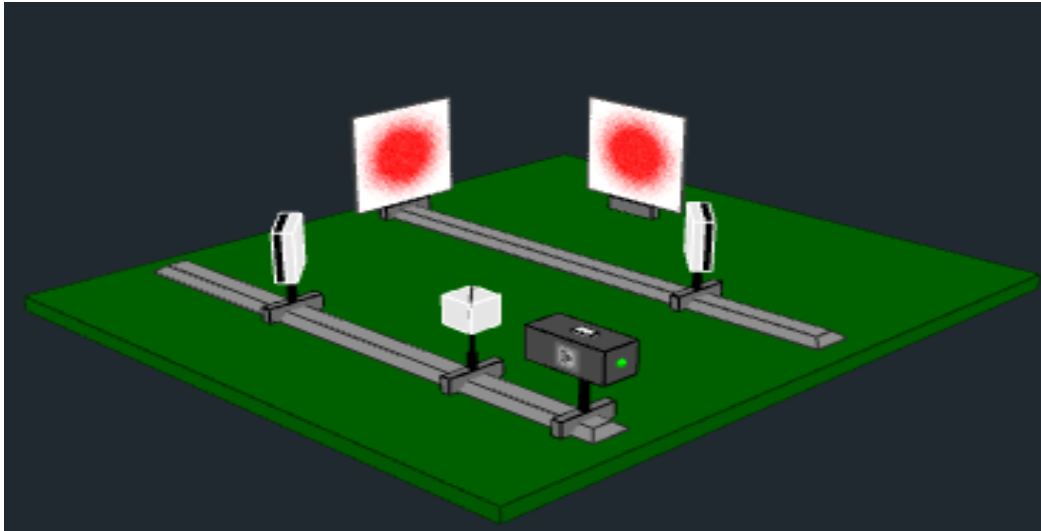
**Figura 13** – Padrões de interferência formados após a retirada de um dos espelhos semitransparentes



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

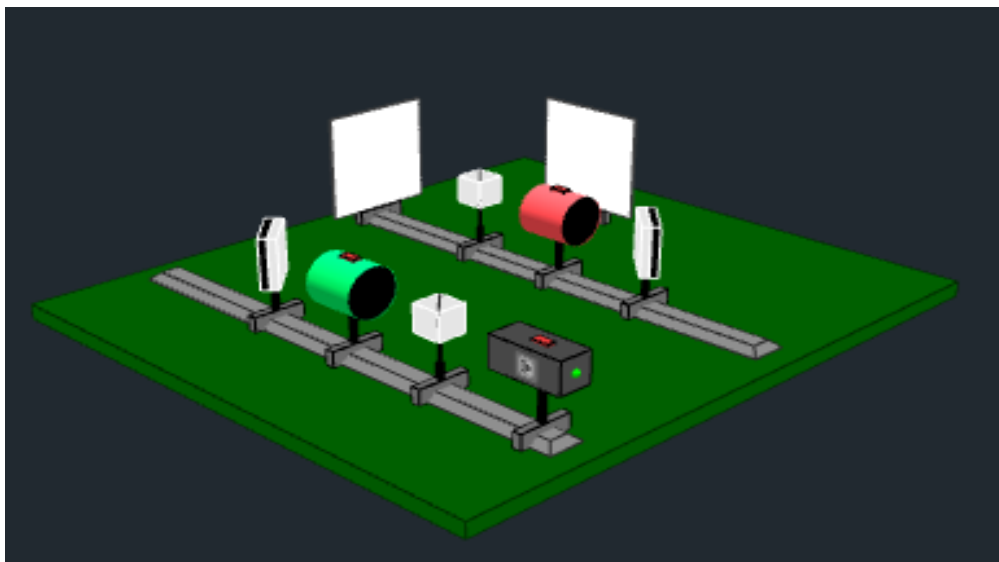
Quando colocamos o detector 1, metade dos fótons são detectados e a outra metade se divide de maneira igual entre os anteparos. Com a presença do detector, o fóton se comporta como corpúsculo, ou seja, apresenta seu comportamento corpuscular, conforme observado na figura abaixo.

**Figura 14** – Contagem de fótons nos anteparos e no detector



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

**Figura 15** – Observação com dois detectores

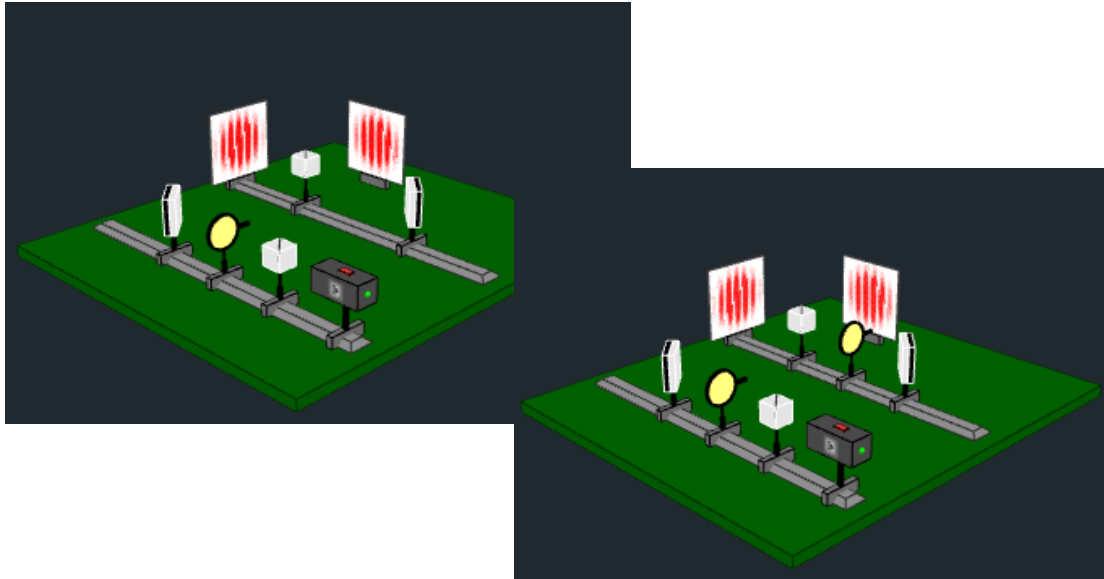


Fonte:

Elaborada pela autora (2022)

Colocando mais um detector no interferômetro, aproximadamente 50% dos fótons são absorvidos por cada detector e, como podemos observar, as luzes indicam isso. E pelo fato dessa absorção dos fótons, não temos figuras de interferência nos detectores.

**Figura 16** – Interferência formada com um e com dois filtros polaroide



Fonte: Elaborada pela autora (2022)

Independentemente da quantidade de filtros polaroides, se um ou dois, a interferência formada não é modificada. Assim, foi possível observar o mesmo padrão de interferência já obtido anteriormente, com a opção de laser ou a opção de fótons únicos.

Seguindo as orientações do roteiro exploratório, a inclinação do filtro polaroide permite que os fótons sejam absorvidos e isso faz com que o padrão de interferência formado no anteparo não fique igual ao anterior. O padrão agora formado ficou borrado.

A apresentação do experimento por simulação de Mach-Zehnder seguiu até o passo 18 do roteiro exploratório, para não se estender muito por conta do horário. Sua utilização se deu com o objetivo de permitir realizar experimentos de interferência e polarização com feixes de luz, de modo que os estudantes pudessem observar a maneira como os fótons interagem no interferômetro.

Com o fim da apresentação do interferômetro, chegaram ao fim as intervenções. Os estudantes foram informados sobre o formulário de pós-teste a ser respondido e o link desse formulário foi enviado através do grupo do WhatsApp.

Em sequência, podemos ler as respostas obtidas no formulário de pós-teste, respondido pelos estudantes que participaram da intervenção.

- Primeira pergunta: **“De acordo com seus conhecimentos sobre o Efeito Fotoelétrico, descreva o fenômeno.”**

R1: *“No fenômeno do efeito fotoelétrico existem elétrons que se soltam de uma placa metálica quando ela é iluminada.”*

R2: *“o efeito fotoelétrico consiste na emissão de partículas carregadas de um meio material qualquer que absorva radiação eletromagnética”*

R3: *“Efeito fotoelétrico é um fenômeno que acontece quando uma determinada frequência de luz incide em um material metálico, de maneira que gera corrente elétrica.”*

R4: *“O efeito fotoelétrico emite elétrons que saem do átomo de um material metálico iluminado.”*

R5: *“No efeito fotoelétrico há emissão de elétrons de um material metálico até então iluminado, e essa emissão resulta em corrente elétrica.”*

R6: *“Efeito fotoelétrico é a emissão de partículas de um material que se encontra iluminado.”*

R7: *“A energia obtida pela iluminação do material se transforma em corrente elétrica.”*

R8: *“O efeito fotoelétrico é um fenômeno físico que ocorre quando uma frequência específica de luz incide sobre a superfície de um material e consegue transferir energia suficiente para fazer os elétrons saltarem para fora do átomo, gerando uma corrente elétrica.”*

R9: *“No fenômeno do efeito fotoelétrico quando a luz alcança um material, o metal por exemplo, essa luz consegue retirar da superfície desse material elétrons, e esse elétrons que se desprende do material, geram corrente elétrica.”*

R10: *“O efeito fotoelétrico é o fenômeno físico que através da iluminação em uma placa metálica, retira partícula que produzem energia.”*

R11: *“Quando a luz que possui determinada frequência alcança o material metálico, essa luz possibilita a formação de energia através da retirada de elétrons da superfície do material metálico.”*

R12: *“O fenômeno efeito fotoelétrico é um fenômeno físico que consiste na retirada de elétrons de uma placa de metal que esta sendo iluminada por uma luz.”*

R13: *“No fenômeno do efeito fotoelétrico é gerado uma corrente elétrica através da iluminação de um material metálico.”*

Com as respostas obtidas, podemos observar e destacar que o efeito fotoelétrico ficou conceitualmente bem definido entre os estudantes e que suas respostas remetem ao que foi visto experimentalmente, visto tratar-se de um fenômeno quântico referente à emissão de elétrons da superfície de um material que se encontra iluminado por uma determinada frequência.

A seguir, podemos visualizar as respostas dadas à segunda pergunta: **“De acordo com seus conhecimentos sobre os fenômenos de refração e reflexão de ondas, responda: o que acontece na refração de ondas?”**

R1: *“Na refração de ondas a onda muda seu meio de propagação.”*

R2: *“a refração de ondas acontece quando uma onda passa a se propagar em um outro meio.”*

R3: *“A refração de onda é a mudança que acontece na velocidade da onda que está se propagando e muda de meio de propagação.”*

R4: *“A refração de onda é a mudança que acontece na velocidade de uma onda.”*

R5: *“Um exemplo de refração é quando temos um lápis dentro da água e ele parece estar quebrado.”*

R6: *“Refração de onda é a mudança do meio de propagação.”*

R7: *“A alteração do meio, altera a velocidade da onda.”*

R8: *“A refração de onda é a mudança de velocidade de uma onda devido a uma troca do meio em que a onda está viajando.”*

R9: *“A refração acontece quando algo como a luz está se propagando e nessa propagação o seu meio é alterado.”*

R10: *“Na refração quando uma onda muda seu meio a sua velocidade diminui.”*

R11: *“Na refração de ondas acontece a alteração da velocidade da onda que está se propagando em um meio e passa a se propagar em outro meio.”*

R12: *“Na refração de ondas acontece quando uma onda atravessa uma superfície que se encontra em dois meios diferentes e a sua velocidade é diminuída devido ao impacto que acontece por causa dessa separação.”*

R13: *“Na refração é como acontecesse uma quebra na velocidade da onda.”*

Diante das respostas obtidas, podemos observar que houve uma evolução da compreensão sobre conceito de refração de ondas ficou bem esclarecido para os estudantes, uma vez que estes compreenderam que a refração acontece quando há mudança na velocidade de uma onda que passa de um meio para outro, sendo esses dois meios diferentes.

- Terceira pergunta: **“O que é uma difração de ondas?”**

R1: *“Difração trata da maneira como pode acontecer a movimentação de energia entre dois meios.”*

R2: *“Difração é a maneira como as ondas conseguem passar por obstáculos. Essa ondas pode ser luz, água, som.”*

R3: *“A difração é a maneira como a onda se comporta quando encontra um obstáculo, como por exemplo a fenda mostrada no vídeo.”*

R4: *“na difração temos a onda atravessando obstáculos e formando uma nova maneira de direção.”*

R5: *“Na difração a luz se propagando de maneira diferente quando encontra obstáculos.”*

R6: *“A difração é fenômeno que explica o comportamento da luz quando ultrapassa um obstáculo que possui passagem. Ou se dividem em dois ou mais, ou mudam o sentido de direção.”*

R7: *“A difração é a capacidade que uma onda tem em contornar obstáculos em seu caminho.”*



R8: “Na difração acontece de uma onda se dividir ou não dependendo da quantidade de espaços que encontra no obstáculo em seu caminho, e seguem direções diferentes.”

R9: “A difração é como a luz se comporta quando encontra um obstáculo como na experiência de duas fendas.”

R10: “Difração é fenômeno que trata do comportamento da luz e da onda quando encontra algo em seu caminho.”

R11: “Difração é a maneira em que uma onda pode se dividir quando passa por algum tipo de brecha.”

R12: “Na difração temos algo no meio da propagação.”

R13: “Uma difração é o que acontece após a luz ou a onda contornar um obstáculo que está no meio de propagação.”

Com as respostas obtidas, podemos observar que houve a compreensão do que é uma difração conceitualmente, considerando-a enquanto a capacidade que uma onda possui para ultrapassar obstáculos.

Na quarta pergunta: “**Qual é a diferença existente entre uma onda e uma partícula?**”, foram observadas as seguintes respostas:

R1: “Não existe diferença entre uma onda e uma partícula porque as duas se comportam da mesma maneira.”

R2: “A onda ela se comporta como onda e como partícula.”

R3: “Como a onda tem momentos que se comporta com onda e tem horas que se comporta como partícula, então acredito que não existe diferença.”

R4: “Não existe diferença porque a onda pode se comportar como partícula, e a partícula pode se comportar como onda.”

R5: “Não existe diferença.”

R6: “Os dois possui caráter dual e são vice-versa, então não existe diferença.”

R7: “Não há diferença porque a onda pode ser onda e pode ser partícula, e a partícula pode ser partícula e pode ser onda.”

R8: “Não tem diferença por são iguais em seus movimentos.”

R9: “Na dualidade onda partícula, a onda pode se comportar como partícula e a partícula pode se comportar como onda. Então acredito que não tem diferença.”

R10: “Não tem diferença entre a onda e a partícula.”

R11: “A partícula e a onda são iguais porque podem ser iguais através dos experimentos que provaram.”

R12: “Como sabemos na dualidade onda partícula não existe diferença entre a onda e a partícula porque eles podem ter o mesmo comportamento.”

R13: “A diferença é porque um é onda e o outro partícula.”

Nas respostas acima, podemos destacar o entendimento do que se trata como dual aquilo que se comporta de duas maneiras. Porém, com relação à diferença existente entre o que é uma partícula e o que é uma onda, não ficou explícito e nem definido conceitualmente, porque, como sabemos, as partículas possuem forma, massa e posição; enquanto as ondas são perturbações que transportam energia e não possuem posição nem massa.

- Quinta pergunta: ***“Explique com suas palavras o que é a Dualidade Onda-Partícula.”***

R1: *“A Dualidade Onda-Partícula é a luz se comportar como onda e também como partícula.”*

R2: *“É a propriedade que a onda possui em poder ser onda e também ser partícula.”*

R3: *“Na dualidade as partículas podem se comportar como ondas, assim como as ondas podem se comportar como partículas.”*

R4: *“A dualidade onda-partícula é a luz poder ter dois modos, sendo ondas e ao mesmo tempo sendo partículas e vice-versa.”*

R5: *“Dualidade Onda-Partícula é quando ao mesmo tempo que a onda é onda é partícula e ao mesmo tempo que a partícula é partícula é onda também.”*

R6: *“Dualidade é quando a luz pode se apresentar de duas maneiras diferentes, no caso como onda e partícula.”*

R7: *“A luz ela pode ser onda e pode ser partícula.”*

R8: *“Na dualidade onda-partícula, a luz ela pode agir de maneira diferente quando é observada pelos experimentos.”*

R9: *“A dualidade onda-partícula fala sobre como uma partícula pode se comportar como onda e a onda como partícula, um exemplo disso é a luz, que nos experimentos se comportava de maneira diferente.”*

R10: *“É a maneira como a onda e a partícula pode se comportar como se fossem iguais. A onda pode se comportar como partícula e a partícula pode se comportar como onda”*

R11: *“Na dualidade ondapartícula temos o caráter dual da luz porque ela pode se apresentar de duas maneiras diferentes.”*

R12: *“É a possibilidade da luz se apresentar de duas maneiras diferentes dependendo da situação.”*

R13: *“A dualidade onda-partícula é o fenômeno físico que diz sobre a maneira como uma propriedade pode se comportar de duas maneiras diferentes, como onda e como partícula.”*

Com as respostas obtidas, podemos observar que a experiência que os estudantes tiveram com a Dualidade Onda-Partícula, conceitualmente e experimentalmente, resultou na compreensão do fenômeno físico.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho surgiu da idealização de elaborar uma sequência didática que trabalhasse de maneira leve, prazerosa e efetiva um determinado conceito de Física Moderna e Contemporânea, pelo fato de essa ser uma temática que nem sempre é abordada e trabalhada em sala de aula (talvez por questão de tempo ou por falta de estrutura e/ou recursos para elaboração), de maneira a despertar, nos estudantes, o interesse de participação e proporcionar aos professores do ensino básico um material que esses pudessem utilizar em suas aulas e/ou adaptarem a sua realidade.

Com o surgimento da pandemia do Covid-19, surgiu também uma nova realidade, para a qual não estávamos preparados no momento e concomitante a ela um novo molde de ensino: as aulas remotas. Sendo assim, a idealização renasce com a proposta de produzir uma sequência didática que aborde a Física Moderna e Contemporânea, para ser desenvolvida de maneira virtual, utilizando as tecnologias possíveis e disponíveis.

Para isso, seria necessário que buscássemos por estratégias que permitissem realizar a construção dos conceitos de Física. Daí, surge a utilização de abordagens histórica e experimental como estratégia de ensino.

O desenvolvimento da proposta que este estudo apresenta mostrou-se bastante proveitoso, no que nos diz respeito à participação dos estudantes. A utilização dos mecanismos tecnológicos, como o PowerPoint e os vídeos disponíveis no aplicativo YouTube, permitiu aos estudantes participarem efetivamente, discutindo e explicando conceitos e situações do cotidiano, de maneira que eles pudessem sentir e observar que estavam em uma realidade diferente, se comparada com a que estavam familiarizados, uma vez que, agora, eram eles que promoviam os debates.

Com as respostas obtidas pelo formulário de pós-teste, pudemos perceber que os estudantes conseguiram compreender os conceitos de maneira satisfatória, além de explicá-los à sua maneira.

A realização da proposta foi bem-sucedida, pois o planejamento da utilização de recursos que venham a ser inovadores para o modo de ensino nos permitiu perceber que é possível ensinar Física sob uma perspectiva diferente da tradicional. A participação ativa e efetiva do estudante aconteceu de maneira satisfatória, uma vez que esse utilizasse de responsabilidade para construir seu conhecimento e,

consequentemente, de seus colegas, além de constituírem parte integrante e fundamental de seu próprio processo de ensino e aprendizagem.

Quando o estudante se sente parte integrante do seu próprio processo de aprendizagem, o conhecimento acontece de maneira espontânea e o professor acaba por assumir o papel de ser ponte nesse processo, auxiliando o estudante no processo evolutivo de senso comum para a construção de ideias e conceitos estabelecidos.

Diante das respostas obtidas com o formulário de pré-teste, pudemos observar que alguns utilizaram do senso comum para responder as perguntas, enquanto outros utilizaram do conhecimento físico que já possuíam. O processo da intervenção concentrou-se na realização de encontros virtuais, com o intuito de promover, além de discussões, a construção do conhecimento; sendo esse realizado através de metodologia diferenciada, utilizando recursos tecnológicos a nosso favor. Com o formulário de pós-teste, pudemos perceber que houve a efetivação dos conceitos físicos estabelecidos por cada encontro desta proposta.

Diante do exposto, podemos destacar que a proposta desta dissertação apresenta uma estratégia de ensino, oferecendo uma maneira eficaz e positiva para o alcance da aprendizagem de conceitos científicos e diferencia-se das estratégias com as quais, socialmente, estamos intrinsicamente acostumados. Além disso, trata-se de uma proposta que pode ser adaptada a diferentes realidades para ser utilizada, sem a condição de necessidade da realização de maneira virtual.

Vale ressaltar que ponderamos como recursos a utilização de produtos tecnológicos que se encontram facilmente ao alcance dos professores e que os auxiliem a alcançarem seus objetivos, pois reconhecemos a dificuldade existente em trabalhar com propostas de ensino que utilizam equipamentos de difícil acesso.

A intervenção aconteceu durante 6 encontros, conforme estabelecido na sequência didática. Durante os encontros, tivemos a participação dos estudantes que realmente se interessaram pela nossa proposta e que buscavam por um conhecimento a mais em sua bagagem de vida e aprendizado. A participação e a atenção dos estudantes foram essenciais para o alcance do objetivo de nossa proposta, uma vez que diante das respostas obtidas no formulário de pós-teste, podemos perceber que houve, satisfatoriamente, a compreensão dos conceitos trabalhados durante nossos encontros.

Com este trabalho, buscávamos verificar a contribuição de uma sequência didática produzida para fazer a utilização da metodologia de sala de aula invertida de

maneira virtual e inserir determinados conceitos da FMC, propondo um trabalho que pudesse ser realizado de maneira fácil e adaptado a realidades existentes na sala de aula de cada professor. Assim, objetivou-se o conhecimento de propostas com diferentes estratégias de ensino.

No geral, a proposta diante de seu desenvolvimento, mostrou-se bastante produtiva, pois pudemos observar a participação e o interesse dos estudantes, por meio de suas falas e respostas elaboradas para o questionário de pós-teste. Com isso, mostramos que é possível desenvolver uma proposta de ensino diferente da qual conhecemos por ensino tradicional, sem a necessidade de utilização de materiais ou utensílios de alto custo.

Desse modo, a proposta apresentada possui uma estratégia de ensino que promove discussões e contextualizações dos conceitos de Física, possibilitando aos estudantes participarem de maneira ativa, fator esse importante para a construção de seus conhecimentos acerca do conteúdo estudado. A professora efetivou-se como mediadora das discussões e, conseqüentemente, da construção do conhecimento do estudante.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Maria Salete Bortholazzi. Educação não formal, informal e formal do conhecimento científico nos diferentes espaços de ensino e aprendizagem. OS DESAFIOS DA ESCOLA PÚBLICA PARANAENSE NA PERSPECTIVA DO PROFESSOR PDE Produções Didático-Pedagógicas, **Cadernos PDE**, v. 2, versão online, 2014. Disponível em: [http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_uel\\_bio\\_pdp\\_maria\\_salete\\_bortholazzi\\_almeida.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uel_bio_pdp_maria_salete_bortholazzi_almeida.pdf). Acesso em: 17 de set. 2022
- ALVARENGA, Luciano Lewandoski. **Introdução à Física Moderna no Ensino Médio através da Discussão do Dualismo Onda-Partícula**. 2008. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/19103/000732193.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 de jan. 2022
- BATISTA, Carlos Alexandre dos Santos; MAXWELL, Siqueira. A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 34, n. 3, p. 880-902, dez. 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/2175-7941.2017v34n3p880/35527>. Acesso em: 21 jan. 2022.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem** / Jonathan Bergmann; Aaron Sams; tradução Afonso Celso da Cunha Serra – 1. ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2018. Tradução de: Flip your classroom: reach Every student in every class every day. ISBN 978-85-216-3086-9
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília. 2018.
- BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio**. 2005. 268 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) – Instituto de Física, Instituto de Química e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/293/2016/05/mestradoqui.pdf>. Acesso em: 21 jan 2022.
- DA SILVA, Bruna R. F.; NETO, Sebastião L. da Silva; LEITE, Bruno S. SALA DE AULA INVERTIDA NO ENSINO DE QUÍMICA ORGÂNICA: UM ESTUDO DE CASO. **Revista Química Nova**, vol. 44, n. 4, p. 493-501, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170677>. Acesso em: 23 fev. 2022.
- FELCHER, Carla Deniza Ott; VIÇOSA, Cátia Silene Carrazoni Lopes; SOARES, Renata Godinho; FOLMER Vanderlei. O uso da sala de aula invertida para ensinar polígonos. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, São Paulo, v.12, n. 1, p. 1-18, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Renata->

Soares-

13/publication/348154126\_O\_uso\_da\_sala\_de\_aula\_invertida\_para\_ensinar\_poligonos/links/5ff0b0ec299bf1408868599c/O-uso-da-sala-de-aula-invertida-para-ensinar-poligonos.pdf. Acesso em: 23 fev. 2022.

FERREIRA, Marcello; COUTO, Roberto Vinícios Lessa do; FILHO, Olavo Leopoldino da Silva; PAULUCCI, Laura; MONTEIRO, Fábio Ferreira. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 43, e20210157, 2021, np. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/WnggT4dL8ycknxCZnSBvnDc/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 15 jan 2022.

LIMA, Marília Freires de; ARAÚJO, Jefferson Flora Santos de. A utilização das tecnologias de informação e comunicação como recurso didático-pedagógico no processo de ensino e aprendizagem. **Revista Educação Pública**, v. 21, n. 23, 22 de junho de 2021. Disponível em: <https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/21/23/a-utilizacao-das-tecnologias-de-informacao-e-comunicacao-como-recurso-didatico-pedagogico-no-processo-de-ensino-aprendizagem>. Acesso em: 27 de nov. 2022.

LIMA, Nathan; CAVALCANTI, Cláudio; OSTERMANN, Fernanda. Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 43, e20200270 (2021). Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/218732/001121737.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18 jan. 2022.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. A Sistemática Incompreensão da Teoria Quântica e as Dificuldades dos Professores na Introdução da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/bqMYJGjV6zGgMm7N6FpBWFQ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso: 18 jan. 2022.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. A sistemática incompreensão da teoria quântica e as dificuldades dos professores na introdução da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 3, p. 557-580, 2009.

MONTEIRO, Maria Amélia; NARDI, Roberto; BASTOS FILHO, Jenner Barreto. Física Moderna e Contemporânea no ensino médio e a formação de professores: desencontros com a ação comunicativa e a ação dialógica emancipatórias. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2013. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/135134>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS ENSINO MÉDIO. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>. Acesso em: 19 jan. 2022.

PENA, Fábio Luis Alves; RIBEIRO FILHO, Aurino. Relação entre a pesquisa em ensino de Física e a prática docente: dificuldades assinaladas pela literatura

nacional da área. **Caderno Brasileiro Ensino de Física**, v. 25, n.3: p. 424-438, dez. 2008.

RAMOS, Lucilene Correia. **Os conceitos de quantum de uma grandeza e dualidade onda-partícula no ensino do modelo atômico**. 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado – Ensino, Filosofia e História das Ciências) – Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

ROBILOTTA, M. R. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, Florianópolis, 5 (Número Especial): p. 7-22, jun. 1998.

SCHOENARDIE, Dionata Gustavo; DESCOVI, Lucieli Martins Gonçalves. A utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação no ensino da Matemática: uma revisão da metodologia e da prática docente em sala de aula. **Universo Acadêmico**, Taquara, v. 11, n.1, jan/dez. 2018. Disponível em: <https://www2.faccat.br/portal/sites/default/files/A%20utiliza%C3%A7%C3%A3o%20das%20Tecnologias.pdf>. Acesso em: 27 de nov. 2022.

SILVA, Carolina Model da; ALVES, Marcos Fernando Soares; LEBOEUF, Henri Araujo. A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Física: uma análise das publicações com propostas impletadas em sala de aula. **Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática**, v.3,n.3, p. 739-756, dez. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/339994490\\_A\\_historia\\_e\\_filosofia\\_da\\_cien\\_cia\\_no\\_ensino\\_de\\_fisica\\_uma\\_analise\\_das\\_publicacoes\\_com\\_propostas\\_implementadas\\_em\\_sala\\_de\\_aula](https://www.researchgate.net/publication/339994490_A_historia_e_filosofia_da_cien_cia_no_ensino_de_fisica_uma_analise_das_publicacoes_com_propostas_implementadas_em_sala_de_aula). Acesso em: 16 jan. 2022.

SILVA, Marcos Antonio Correia; FONSECA, Antonio Jailson dos Santos; DALTRO, Katia Figueirôa. A abordagem histórica no ensino de ciências e matemática: as contribuições para uma aprendizagem significativa. VII COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”. 2013. p. 1-8. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/9718/90/89.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2022.

SILVA, Wallyn Vieira da; DUARTE, Madileide de Oliveira. Ensino de Física e atividades e atividades experimentais em sala de aula: algumas considerações. CONGRESSO INTERNACIONAL DE EDUCAÇÃO E TECNOLOGIAS, ENCONTRO DE PESQUISADORES EM EDUCAÇÃO A DISTÂNCIA “Educação e Tecnologias inovação em cenários em transição”. 2018. p.1-10.

SILVEIRA, Sérgio; GIRARDI, Maurício. Desenvolvimento de um kit experimental com Aduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 39. N. 4, e4502, 2017, np. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/zXJL6qfgvvc9dbJTQhb3kNn/?format=pdf&lang=p>. Acesso: 15 jan, 2022

SOUZA, Rafaelle da Silva. **Desafios da história da física na sala de aula: sequência didática, caderno de campo e uma leitura das concepções docente e discente**. 2014. 160 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e



Matemática) – Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, Paraíba, 2014.

## APÊNDICE I – SEQUÊNCIA DIDÁTICA

**Tema:** A Dualidade Onda-Partícula

### **Objetivo geral**

Introduzir os conceitos fundamentais da Dualidade Onda-Partícula para os alunos do ensino médio a partir de uma abordagem histórica e experimental.

### **Objetivos específicos**

- Compreender o fenômeno de reflexão e refração luz, discutindo a maneira como a luz se propaga e situações cotidianas referentes a estes fenômenos;
- Compreender o fenômeno de difração de uma onda de luz e discutir a maneira que ocorre suas variações diante do meio, no qual se propaga e sua interação com meios opacos;
- Compreender o fenômeno de interferência de ondas de luz e discutir sobre interferência construtiva e destrutiva;
- Compreender o fenômeno do Efeito Fotoelétrico diante da discussão sobre a natureza da luz e as ideias de Einstein para explicar este fenômeno;
- Abordar a concepção da dualidade onda-partícula e discutir sobre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória;
- Discutir e analisar o padrão de interferência que ocorre diante da trajetória do feixe de elétrons e a trajetória de partículas, evidenciando a capacidade que a luz possui em se comportar como partícula e como onda.

**Público alvo:** Estudantes do 3º ano do ensino médio regular

### **Conteúdos:**

- Reflexão e refração da luz
- Difração e Interferência de Ondas de Luz
- Efeito Fotoelétrico
- Dualidade Onda-Partícula

### **Material necessário:**

- Computador
- Google Meet
- Google Forms
- Laboratório virtual
- WhatsApp

**Número de aulas:** Seis aulas de aproximadamente 45 minutos cada.

### **Desenvolvimento da atividade**

Inicialmente, o professor fará um grupo no WhatsApp e adicionará os estudantes, com o intuito de manter contato, avisar sobre os dias de encontros para a realização da intervenção e também para utilizá-lo como meio de aprendizagem informal.

Através desse grupo, o professor enviará o link de acesso à primeira atividade referente a um questionário em formato de formulário através do aplicativo *Google Forms* (apêndice II). Este formulário deve ficar disponível para respostas por cerca de dois dias e possui como objetivo verificar o conhecimento prévio dos estudantes sobre a luz e seu comportamento onda-partícula. Este questionário será composto por duas seções: a primeira seção é composta pelas perguntas que se encontram disponíveis em apêndice e a segunda seção traz um vídeo intitulado: “Por que precisamos da Dualidade Onda-Partícula?”. Este vídeo se encontra disponível no link: [https://www.youtube.com/watch?v=CgY\\_zBuK2Cw1](https://www.youtube.com/watch?v=CgY_zBuK2Cw1), com duração de 11 minutos e 31 segundos.

Após o professor verificar as respostas dos estudantes, através do grupo de WhatsApp, deverá ser definido o dia e o horário para a realização do primeiro encontro virtual. Este encontro acontecerá através da plataforma de reuniões Google Meet e será centrado em discutir juntamente com os estudantes as respostas ao questionário e suas concepções sobre o vídeo a que assistiram. Durante essa discussão, deverão ser feitas relações com o cotidiano do estudante e o que eles identificam como parte da Dualidade Onda-Partícula.

Após o primeiro encontro, através do grupo no WhatsApp, o professor encaminhará aos estudantes, um artigo intitulado “Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da

Teoria Quântica”, dos autores Nathan Lima, Cláudio Cavalcanti e Fernanda Ostermann, disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270> (ver anexo A). Esse texto servirá como material de suporte e base para os estudantes durante seus estudos sobre o estudo da História da Dualidade Onda-Partícula, em relação a como se deu e como se chegou ao conceito.

No segundo encontro online, no primeiro momento, o professor será mediador de um debate entre os estudantes sobre as suas perspectivas diante da leitura que fizeram do artigo. Ainda neste encontro, em um segundo momento, o professor apresentará previamente sobre o conteúdo estudado, de maneira que possa esclarecer eventuais dúvidas e novamente abrirá espaço para discussão, com duração aproximadamente de dez minutos. Feito isso, serão disponibilizadas novamente as questões que foram respondidas (apêndice I), para que seja observado o novo ponto de vista de cada um após o contato com o conteúdo, ou seja, a sua evolução de conhecimentos.

Diante do segundo encontro, o professor terá observado o comportamento de cada estudante, conforme os níveis apresentados de conhecimento, desenvoltura e oratória. Com isso, organizará a divisão de quatro grupos compostos por cinco estudantes cada, de modo que esses sejam compostos por diferentes níveis. A formação e composição de cada grupo serão informadas aos estudantes através do grupo no WhatsApp.

Cientes de seus grupos, será definido sobre o tema que cada grupo deve estudar. O grupo 1 ficará responsável por Reflexão e Refração da Luz diante seu comportamento Ondulatório. O grupo 2 será Difração e Interferência das Ondas de Luz. O grupo 3 será Efeito Fotoelétrico. O grupo 4 será Dualidade Onda-Partícula.

O professor apresentará aos estudantes os experimentos por simulação, os chamados laboratórios virtuais. Através do grupo no WhatsApp explicará seu funcionamento através de textos, áudios ou vídeos, fazendo uso de experimentos virtuais relacionados a conteúdos que já foram estudados em anos anteriores. O objetivo dessa interação é que os estudantes tomem conhecimento sobre a simulação virtual e que possam buscar e estudar experimentos para explicar cada conteúdo que apresentarão ao restante da turma.

No dia em que acontecer essa interação no grupo do WhatsApp, deverá ser definido o dia de cada apresentação, para que os estudantes comecem a se preparar. Feito isso, será enviado o link de um vídeo no YouTube, intitulado “Introdução como

usar o Phet” com duração de seis minutos e trinta e dois segundos. O vídeo se encontra disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VaNKqA3lab4&t=30s> .

A partir de então, os próximos encontros são de responsabilidade dos grupos, os quais terão, cada um, um encontro para fazer a sua apresentação. O professor ficará responsável por ajudá-los com a pesquisa, orientá-los como devem se preparar e sempre estar disponível para retirar dúvidas que surgirem. Deve sugerir-se que utilizem apresentação de slides, a simulação virtual e vídeos, caso julguem necessário, e o mais importante, que contextualizem o conteúdo, de modo que busquem o contexto histórico e a relação que cada tema possui em nossos dias, apresentando, desse modo, não somente a parte conceitual.

Em cada encontro, os demais estudantes serão orientados a fazerem anotações e tirem dúvidas existentes, pois isso servirá como material de estudo e apoio para a atividade final. Ao fim de cada um desses encontros, o professor debaterá brevemente sobre o conteúdo apresentado por cada grupo, promovendo debates e retirando dúvidas e a participação de cada estudante valerá como meio de avaliação. cuja apresentação/aula será sobre o conteúdo de Reflexão e Refração da Luz diante seu comportamento ondulatório. O intuito é que, utilizando o simulador, verifiquem que a luz se comporta, conforme é projetada em diferentes cores e/ou superfícies.

O quarto encontro será do grupo 2 e o conteúdo a ser abordado é o de Difração e Interferência de Ondas. O intuito é que, utilizando o simulador, verifiquem o comportamento das ondas na luz, no som e na água, e que, através da simulação apresentada, observem os espaçamentos existentes de acordo com a fonte utilizada para a construção do padrão de interferência.

O quinto encontro será do grupo 3 e o conteúdo a ser apresentado é o de Efeito Fotoelétrico. O objetivo é que, com a utilização do simulador virtual, compreendam como acontece o movimento dos elétrons na superfície metálica.

O sexto e último encontro será do grupo 4, cujo conteúdo é o de Dualidade Onda-Partícula. Se objetiva que o experimento utilizado seja o de Duas Fendas.

Ao fim da apresentação do grupo 4, o professor apresentará aos estudantes o experimento do Interferômetro de Mach-Zehnder. Esse experimento pode ser encontrado na internet e o seu roteiro também se encontra disponível na internet (anexo B). O objetivo é de apresentar aos estudantes o comportamento da luz diante a produção das interferências construtivas e destrutivas produzidas pelos detectores do interferômetro.

Por fim, será enviado link de atividade em formulário para os estudantes, a fim de coletar dados referente aos conhecimentos adquiridos durante a intervenção (apêndice III).

## APÊNDICE II – QUESTÕES DO PRIMEIRO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS

Olá, querido aluno!

Seja bem-vindo ao início de nosso curso sobre a Dualidade Onda-Partícula. As questões a seguir devem ser respondidas de acordo com o seu conhecimento adquirido em Física e, com suas próprias palavras.

Conto com a sua participação. Até já!

1. O que é luz?
2. O que é onda?
3. O que é partícula?
4. O que é elétron?
5. Já ouviu falar em fóton?
6. O que significa dizer que algo possui caráter dual?

Aluno (a): \_\_\_\_\_

### **APÊNDICE III – QUESTÕES DO SEGUNDO FORMULÁRIO COM ENFOQUE NA DUALIDADE ONDA-PARTÍCULA DISPONIBILIZADO NO GOOGLE FORMS**

Olá, querido aluno!

Chegamos ao fim de nossos proveitosos encontros do curso de Dualidade Onda-Partícula. As questões a seguir, são referentes ao que abordamos em nossos encontros, responda conforme seu conhecimento, e com suas palavras.

Fico feliz por sua participação. Obrigada!

1. De acordo com seus conhecimentos sobre o Efeito Fotoelétrico, descreva o fenômeno.
2. De acordo com seus conhecimentos sobre os fenômenos de refração e reflexão de ondas, responda: o que acontece na refração de ondas na água?
3. O que é uma difração e uma interferência de ondas?
4. Qual é a diferença existente entre uma onda e uma partícula?
5. Explique com suas palavras o que é a Dualidade Onda-Partícula.

Aluno (a): \_\_\_\_\_



## ANEXO A – TRECHO DE ARTIGO ENVIADO AOS ALUNOS ATRAVÉS DO WHATSAPP

Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 43, e20200270 (2021)  
[www.scielo.br/rbef](http://www.scielo.br/rbef)  
 DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0270>

Produtos e Materiais Didáticos  
  
 Licença Creative Commons

### Concepções de Dualidade Onda-Partícula: Uma proposta didática construída a partir de trechos de fontes primárias da Teoria Quântica

Different Conceptions of Wave-Particle Duality: A didactic proposal built from excerpts from primary sources of Quantum Theory

Nathan Lima<sup>\*✉</sup>, Cláudio Cavalcanti<sup>✉</sup>, Fernanda Ostermann<sup>✉</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul Instituto de Física, 91501-970, Porto Alegre, RS, Brasil.

Recebido em 01 de julho de 2020. Revisado em 30 de outubro de 2020. Aceito em 31 de outubro de 2020.

Muitos pesquisadores defendem que não é possível ensinar física quântica sem ensinar pelo menos um pouco de história da física quântica. A literatura, entretanto, aponta que as narrativas dos livros didáticos destoam em diferentes sentidos das fontes primárias, reduzindo a complexidade da natureza da ciência a uma visão mitológica da prática científica. Por outro lado, a leitura dos textos originais sem nenhum direcionamento, ou mesmo a leitura dos livros historiográficos, pode ser muito arenosa. Defendemos que uma possibilidade para enriquecer o ensino de física quântica é proporcionar ao aluno contato com os trabalhos originais, desde que não se perca de vista a finalidade didática de tal encontro. Buscando contribuir para essa proposta, apresentamos um texto didático, direcionado a alunos de graduação, sobre a dualidade onda-partícula, composto por uma seleção de trechos de fontes primárias de física quântica e por um conjunto de perguntas para guiar a leitura. Ao longo do artigo, apresentamos os marcos teóricos que guiaram a construção do material didático e, no corpo do texto, comentamos as perguntas propostas.

**Palavras-chave:** Ensino de Física Quântica, Mecânica Quântica, História e Epistemologia, Física Moderna e Contemporânea, Fontes Primárias.

Many researchers argue that it is not possible to teach Quantum Physics without teaching at least a little of history of Quantum Physics. The literature, however, points out that the textbook narratives differ in different directions from the primary sources, and they reduce the complexity of the nature of science to a mythological view of scientific practice. On the other hand, reading the original texts without any direction, or even reading the historiographical books, can be very difficult. We argue that a possibility to enrich the teaching of Quantum Physics is to provide the student with contact with the original works, as long as we do not lose sight of the didactic purpose of such a meeting. Seeking to contribute to this proposal, we present a didactic text, aimed to be presented to undergraduate students, on the wave-particle duality, composed of a selection of excerpts from primary sources of Quantum Physics and a set of questions to guide the reading. Throughout the article, we present the theoretical frameworks that guided the construction of the didactic material and, in the body of the text, we comment on the proposed questions.

**Keywords:** Quantum Physics Teaching, Quantum Mechanics, History and Epistemology, Modern and Contemporary Physics, Primary Sources.

#### 1. Introdução

De uma forma geral, pode-se encontrar, na área de ensino de física, a classificação das diferentes abordagens para o ensino da teoria quântica em três grandes grupos: histórica, postulacional e fenomenológica [1]. As três diferentes abordagens, e todas as possíveis combinações e variações delas, têm aspectos positivos e desafios a serem superados. A abordagem fenomenológica, por exemplo, pode levar os estudantes rapidamente àquilo que Feynman denominou o “único mistério da física quântica”, isto é, a dualidade onda-partícula. Tal abordagem, entretanto, pode parecer assistemática e fragmentada,

não permitindo que os alunos ganhem, em um primeiro momento, a visão do arcabouço teórico completo da teoria. A abordagem postulacional, por outro lado, imediatamente, fornece aos estudantes o aparato matemático necessário para resolver os diferentes problemas exemplares da mecânica quântica e apresenta “um quadro completo” do formalismo da teoria. Tal abordagem, entretanto, pode ser demasiado abstrata, muito próxima ao famoso “*shut up and calculate*” [2] que por muito tempo dominou o *mainstream* da física teórica, criando nos estudantes uma sensação de “falta de sentido”, ou de falta de justificação “do porquê a Teoria é do jeito que é”.

A abordagem histórica, por sua vez, permite justamente oferecer esse “sentido” ao desenvolvimento da teoria, mostrando quais problemas motivaram as

\* Endereço de correspondência: [lima.nathan@gmail.com](mailto:lima.nathan@gmail.com).

## ANEXO B – ROTEIRO DO EXPERIMENTO DO INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER

### ROTEIRO EXPLORATÓRIO INTERFERÔMETRO DE MACH-ZEHNDER

1. Com o software aberto, localize o menu LANGUAGE e selecione o idioma.
2. Selecione a opção VER FEIXES e observe o caminho que é seguido da luz no interferômetro. Em seguida selecione novamente esta opção para desativar este comando.
3. Vamos agora identificar as estruturas que compõem o interferômetro. Para isso basta você passar o mouse sobre cada uma delas. Localize a fonte, os espelhos, espelhos semi-refletores e anteparos.
4. Selecione a opção LASER e em seguida LIGADO. Observe o que aparece na tela do interferômetro. Descreva o que você observa nos anteparos.
5. Procure explicar a formação dos padrões de interferência observados. (**Dica:** uma reflexão em um espelho semi-refletor introduz um deslocamento de fase na luz correspondente a um quarto de comprimento de onda da mesma. Faça a soma dos deslocamentos de fase dos feixes que chegam a cada anteparo.)
6. Retire do interferômetro o espelho semi-refletor 2 (opção ESPELHO SEMI-REFL. 2). Qual a relação entre as intensidades da luz nos anteparos e a intensidade da luz emitida pela fonte?
7. Recoloque o espelho semi-refletor 2 no interferômetro.
8. A partir de meados da década de 1980, os avanços tecnológicos possibilitaram a utilização de fontes luminosas operam em regime monofotônico, ou seja, a intensidade luminosa é tão baixa que apenas um fóton é emitido pela fonte de cada vez. Selecione a opção FÓTONS ÚNICOS e observe os anteparos. (**Dica:** no *menu* FÓTONS/SEGUNDO, a simulação poderá ser acelerada se for colocado o valor 10, para que a emissão de fótons a cada segundo seja maior.)
9. Compare os padrões que vão se formando nos anteparos com os que foram observados quando o interferômetro foi utilizado com a opção LASER. Como é feita a detecção dos fótons nos anteparos? Após a detecção de um grande número de fótons, como podemos descrever a distribuição dessas detecções nos anteparos? (**Dica:** para responder a esta última pergunta, observe no canto superior direito da tela a contagem de fótons.)
10. Coloque um detector num dos braços do interferômetro (opção DETECTOR 1). Observe novamente a contagem de fótons, nos anteparos e no detector. O que você observa? (**Dica:** clique no botão ACELERAR.)

11. Observe agora os anteparos. O padrão de impactos revela interferência? Explique.
12. Coloque mais um detector no interferômetro (opção DETECTOR 2). O que se observa na contagem de fótons nos detectores e nas luzinhas dos detectores e da fonte? E na tela? Clique uma vez no botão ACELERAR. O que se observa nas contagens dos detectores?
13. Considerando apenas um fóton sendo emitido na fonte, descreva como se comporta um espelho semi-refletor. Obs.: um espelho semi-refletor (separador de feixe) divide um feixe luminoso em dois feixes de igual intensidade.
14. Se um fóton atravessa o aparelho de cada vez, como você descreve a formação do padrão de interferência observado na tela? (**Dica:** o padrão não foi formado pela interferência entre diferentes fótons, pois, a cada instante apenas um fóton atravessa o interferômetro e chega aos anteparos).
15. Vamos agora testar a atuação dos filtros polaróides. Clique na janela FILTRO POLARÓIDE 1 e selecione a opção FÓTONS ÚNICOS. Que padrão é observado nos anteparos?
16. Coloque, agora, o filtro polaróide 2 no interferômetro. Houve alguma alteração em relação ao que você observou antes?
17. Mude a inclinação de um dos filtros polaróides, digitando um valor para o ângulo ou girando-o diretamente. Descreva os padrões de interferência observados. Houve alguma alteração em relação ao que foi observado nas questões 2 e 3? Tente explicar o que você observou.
18. A detecção de cada fóton nos anteparos ocorre de forma localizada, numa posição definida. É natural, então, perguntar: no interferômetro, o fóton também possui a propriedade posição bem definida? Proponha uma maneira de descobrir isto usando uma combinação de filtros polaróides.
19. Vamos tentar descobrir por qual caminho passa o fóton usando dois filtros polaróides, um em cada braço do interferômetro, com uma inclinação relativa de 90° entre eles. Assim, se o fóton passar por apenas um dos braços, terá que sair do interferômetro, necessariamente, com sua polarização dada pelo eixo de polarização do filtro polaróide que se encontra naquele braço. Como você poderá descobrir qual o estado de polarização do fóton emergente?
20. Selecione a orientação do filtro polaróide 1 para 00° ou 360° e posicione o filtro polaróide 3 de modo que fique com orientação paralela ao primeiro. O que se observa nos anteparos?
21. O fóton tem ou não o atributo posição definido?

22. E então, por onde passou o fóton? (**Dica:** cruze os eixos dos polaróides.)
23. **a)** O que o resultado obtido no experimento até agora significa para o nosso modelo mental do fóton como um objeto que possui o atributo posição dentro do interferômetro?
- b)** Quando observamos um padrão de interferência na tela, os fótons possuíam este atributo dentro do interferômetro?
- c)** E quando não se observa um padrão de interferência? Por quê? (Dica: se os fótons possuísem o atributo posição quando dentro do aparelho, então cada fóton só poderia interagir com um dos polaróides nos braços do aparelho, certo?).
24. Coloque os detectores 1 e 2 no interferômetro. Verifique se os dois detectores registram simultaneamente a entrada de cada fóton individual no interferômetro. O que você observa?
25. Com os dois detectores de fótons colocados no interferômetro, qual a probabilidade de detecção do fóton no detector 1? E no detector 2?
26. Considerando o item acima tente dar uma explicação em torno da dualidade onda-partícula para o que ocorre com o estado do fóton quando tentamos descobrir por qual dos braços ele passa.