

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO INTERUNIDADES EM ENSINO DE CIÊNCIAS**

Matheus de Oliveira Louzada

**As Enigmáticas Teorias da Luz:** Uma Possibilidade da Inserção de Tópicos da Física Moderna no Ensino Médio

São Paulo

2023

Matheus de Oliveira Louzada

**As Enigmáticas Teorias da Luz: Uma Possibilidade da Inserção de Tópicos da Física Moderna no Ensino Médio**

Dissertação apresentada à Universidade de São Paulo e ao Programa de Pós-graduação Interunidades em Ensino de Ciências como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Ciências.

**Área de Concentração:** Ensino de Física.

**Orientadora:** Jesuína Lopes de Almeida Pacca.

São Paulo

2023

**FICHA CATALOGRÁFICA**  
**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação**  
**do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

Louzada, Matheus de Oliveira

As Enigmáticas Teorias da Luz: Uma Possibilidade da Inserção de Tópicos da Física Moderna no Ensino Médio. São Paulo, 2023.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Jesuína Lopes de Almeida Pacca.

Área de Concentração: Ensino de Física.

Unitermos: 1. Física – Estudo e ensino; 2. Ensino; 3. Educação; 4. Ensino de Ciências; 5. Ensino de Física.

USP/IF/SBI-085/2023

Dedico este trabalho à minha Mãe, por creditar, que um dia, tudo isso seria possível e à minha vó por todos os incentivos de vida e vontade de viver.

# AGRADECIMENTOS

A elaboração de um trabalho é uma tarefa árdua, e atravessamos a pandemia com sucesso. Gostaria de expressar minha gratidão a todos que contribuíram para que minha jornada culminasse na criação desta dissertação.

Primeiramente, desejo agradecer à minha orientadora, Jesuína Lopes de Almeida Pacca, que sempre acolheu minhas ideias de pesquisa de braços abertos. Lembrome da nossa primeira reunião, na qual conversamos por quase três horas e estabelecemos uma conexão acadêmica que nos permitiu trabalhar em harmonia na pesquisa. Obrigado por acreditar em minhas ideias e no meu trabalho, pelas reuniões semanais e pela contribuição fundamental para o meu crescimento acadêmico.

Aos professores Nelson Barrelo Junior e Nilson Marcos Dias Garcia, que fizeram parte da banca e contribuíram significativamente para a pesquisa em Ensino de Física e para o desenvolvimento deste trabalho. Sei o quanto a questão da sala de aula e a formação de professores da Educação Básica são importantes para vocês.

À Maria Eduarda e Valentina, que, apesar de pequenas, conseguiram transformar minha maneira de pensar e viver, me fizeram considerar questões futuras e ansiar por um futuro cada vez melhor. Agradeço por existirem e por termos uma relação tão amorosa, além de compartilharmos o judô como nosso alicerce, essa arte marcial que é capaz de melhorar meu humor e me impulsionar a viver mais para vê-las brilharem nos tatames a cada dia.

À minha mãe, que sempre acreditou na importância da educação e esteve ao meu lado desde o início. Construímos uma relação de amizade, confiança e confidência, e você sempre foi meu porto seguro quando eu precisei. Obrigado por tudo, desde o começo. Cada passo que demos foi crucial para nossa jornada, e hoje colhemos os frutos do que plantamos ao longo dos anos. Obrigado por priorizar minha educação e por me fazer priorizar também.

À minha família, que sempre esteve ao meu lado e apoiou todos os meus projetos. Compartilhamos momentos de felicidade e tristeza, e vocês são fundamentais para a minha formação como pesquisador. Tia Sandra, Jossany, Raquel, tio Pereira e tia Ricarda, obrigado pelo apoio constante.

Ao Tiago, meu namorado, que foi um grande incentivo em um dos momentos mais difíceis da minha vida. Você me deu forças quando eu já não as tinha e me ajudou a concluir este trabalho. Sem a sua presença, este trabalho provavelmente não teria o mesmo resultado.

À minha grande amiga e irmã, da vida e da pesquisa, Gabriella, um simples parágrafo não é suficiente para expressar minha gratidão por tê-la em minha vida. Obrigado por estar sempre presente. Continuaremos a nos apoiar em nossa jornada, seja na vida, na academia ou na realização de nossos sonhos. Obrigado por tudo, especialmente por me levantar quando eu estava sem forças.

Ao Matheus Borges, grande artista, amigo e confidente, meu primeiro colega de trabalho acadêmico. Obrigado por existir e por fazer parte da construção deste trabalho. Sua presença ao meu lado nos momentos em que mais precisei foi inestimável.

Ao meu grupo de pesquisa, agradeço pelas discussões e contribuições. À Fernanda, que é uma inspiração para todos nós com sua organização e determinação, obrigado por suas contribuições para a elaboração deste trabalho.

A Rafaela, minha colega de pesquisa e trabalho que se tornou uma amiga e parceira de jornada. Obrigado por me ajudar na vida, e juntos alcançaremos grandes conquistas em nossa área.

A toda a equipe gestora da Escola Estadual Martim Francisco, que abraçou meu projeto e facilitou as aplicações, proporcionando-me a liberdade para desenvolver o curso. Obrigado pelo apoio contínuo e aos meus alunos por terem abraçado essa causa.

A Maria Fernanda, minha colega de trabalho, confidente e amiga, obrigado por todos os momentos compartilhados. Sempre sonhamos juntos, enfrentamos desafios na escola e na vida, e estamos certos de um futuro brilhante. Você sempre me faz acreditar mais e tenho certeza de que chegaremos lá juntos. Conte sempre comigo para saborear sobremesas de menus Michelin.

A Leonardo, meu colega de trabalho, conterrâneo e cidadão do mundo, que me faz acreditar em um mundo sem fronteiras. Obrigado por todas as contribuições em minha vida e como pesquisador.

A Júlia, que sempre vem me visitar e torna as noites mais divertidas. Nossas longas conversas até altas horas da madrugada são inesquecíveis, e estarei em paz quando defender sua dissertação também.

Minha gratidão à minha orientadora de graduação, Andréia, por me introduzir ao mundo da pesquisa em Ensino de Física. Ela me incentivou, instigou meu desejo de aprender mais e minha companheira de vida, Judith. Lembro-me claramente quando você, Judith, me disse que eu tinha o potencial para chegar até aqui, e agora posso afirmar que sua previsão se concretizou.

Um agradecimento muito especial vai para todos aqueles que estiveram ao meu lado, quer de perto ou de longe, durante um momento extremamente desafiador. Faltando apenas 60 dias para a entrega do meu relatório de qualificação, fui diagnosticado com Rabdomiólise, uma doença devastadora que resultou na perda de peso significativa e abalou minha vontade de viver. Naquele momento, desconfiei do meu próprio futuro, especialmente enquanto passava pelo pesado processo de hemodiálise. Aqueles que já enfrentaram essa situação sabem que é difícil enxergar um horizonte, pois muitas pessoas ao seu redor desistiram de lutar, e você começa a temer o mesmo destino.

No entanto, mesmo com 16 quilos a menos, sem força para andar, sentar, estudar ou simplesmente viver, tomei a decisão de persistir e gradualmente reconstruir minha vida. Esse foi, sem dúvida, o momento mais desafiador que já vivenciei, e muitas pessoas me apoiaram, algumas mais próximas e outras à distância, através de mensagens carinhosas. Optei por continuar, e não pretendo parar, pois sou grato por cada uma dessas pessoas existirem.

Por fim, mas igualmente importante, gostaria de estender meu agradecimento à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por financiar esta pesquisa e por me conceder o privilégio de ser bolsista de pós-graduação em um momento tão desafiador para todos nós.

“Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil – e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.” — Albert Einstein



# RESUMO

## **As Enigmáticas Teorias da Luz:** Uma Possibilidade da Inserção de Tópicos da Física Moderna no Ensino Médio

A Pesquisa de Mestrado em questão teve como objetivo possibilitar aos alunos de uma Escola Pública do Estado de São Paulo a aprendizagem de conceitos da Física Moderna. Para isso, foram desenvolvidos materiais de Ensino modelados em uma sequência pedagógica intitulada "As Enigmáticas Teorias da Luz" elaborada em etapas e definida como um curso.

O foco principal da pesquisa foi explorar as Teorias que abordam a Natureza da Luz na Física e, com o auxílio da Transposição Didática, identificar e entender como levaríamos tais conhecimentos para uma sala de aula. Por conseguinte, definimos materiais de baixo custo que possibilitaria uma demonstração dos fenômenos estudados e, para além, facilitaria a reprodução por outros professores.

O curso foi ministrado para alguns estudantes do Ensino Médio da Escola escolhida e, para análise, optou-se pela aplicação feita para uma turma que continham alunos de todos os Terceiros anos da Escola e que eram interessados no assunto. Logo, no decorrer das aulas, compreendeu-se o quanto alguns alunos estão dispostos a Novas Práticas no Ensino de Física e, para além, demonstram interesse em ciências quando aplicadas em seu cotidiano.

As aulas demonstraram a viabilidade na Introdução de Práticas Inovadoras na Instituição Escolas, todavia sempre ressaltando a dificuldade que isso tem e que só quem está no ambiente escolar entende que temos que lidar com situações atípicas e não planejadas que exigem de nós uma capacidade de adaptação e replanejamento.

Por fim, com auxílio da ferramenta de análise da Transposição didática, constatamos que foi possível, através das Teorias que aborda a Natureza da Luz na Física, oportunizar os alunos de uma Escola Pública da Cidade de São Paulo a compreenderem as veracidades da Física Moderna.

**Palavras-Chaves:** Ensino de Física Moderna, Natureza da Luz, Transposição Didática.

# ABSTRACT

## **The Enigmatic Theories of Light: A Possibility for the Integration of Topics from Modern Physics into High School Education**

The Master's research in question aimed to enable students from a Public School in the State of São Paulo to learn concepts of Modern Physics. To achieve this, teaching materials were developed, structured in a pedagogical sequence entitled "The Enigmatic Theories of Light," elaborated in stages and defined as a course.

The main focus of the research was to explore theories that address the nature of light in physics and, with the help of Didactic Transposition, identify and understand how to bring this knowledge into a classroom. Consequently, we defined low-cost materials that would allow for a demonstration of the studied phenomena and, furthermore, facilitate their reproduction by other teachers.

The course was taught to some high school students at the chosen school, and for analysis, it was decided to apply it to a class that included students from all third years of the school who were interested in the subject. As a result, during the course of the classes, it was understood how willing some students are to embrace new practices in the teaching of physics and, furthermore, they demonstrate an interest in science when applied to their daily lives.

The classes demonstrated the feasibility of introducing innovative practices in the school institution, always emphasizing the difficulty that this entails and that only those in the school environment understand that we have to deal with atypical and unplanned situations that require us to have the capacity for adaptation and re-planning.

Finally, with the assistance of the Didactic Transposition analysis tool, we found that it was possible, through theories that address the nature of light in physics, to provide students from a public school in the city of São Paulo with an understanding of the truths of Modern Physics.

**Keywords:** Teaching Modern Physics, Nature of Light, Didactic Transposition.

# Sumário

## CAPÍTULO 1

### O ENSINO DE FÍSICA E A NECESSIDADE DE PRÁTICAS CONTEMPORÂNEAS

1.1 Introdução.....	12
1.2 A Relevância da Integração de Tópicos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio.....	15
1.3 A motivação do uso das Teorias que abordam a Natureza da Luz na Física.....	19

## CAPÍTULO 2

### DESVENDANDO OS “SEGREDOS” DA LUZ: UMA JORNADA ATRAVÉS DAS TEORIAS QUE ABORDAM A NATUREZA DA LUZ NA FÍSICA

2.1 Introdução.....	22
2.2 Ótica Geométrica.....	24
2.2.1 Reflexão, Refração e Reflexão Total.....	27
2.3 Interferência.....	28
2.4 Difração.....	30
2.5 O Efeito Fotoelétrico.....	31

## CAPÍTULO 3

### CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM NATUREZA DA LUZ: UM RECORTE NA EDUCAÇÃO PÚBLICA PAULISTA

3.1 Introdução.....	34
3.2 Levantamento Bibliográfico: Concepções Alternativas dos Estudantes sobre a Luz.....	36
3.3 Concepções Alternativas identificadas nas pesquisas.....	38
3.4 Considerações sobre as concepções prévias nas pesquisas: Elaboração do questionário.....	39
3.5 Aplicação do questionário, resultados e análise.....	40

## CAPÍTULO 4

### TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

4.1 Introdução.....	43
---------------------	----

4.2 Processo de Transposição Didática.....	44
4.3 Etapas da Transposição Didática.....	46
4.3.1 Saber Sábido.....	46
4.3.2 Saber a Ensinar.....	46
4.3.3 Saber Ensinado.....	48
4.4 A conservação do saber.....	50
4.5 O Professor de Física, a Transposição Didática e a Abordagem da Natureza da Luz no Ensino Médio.....	52

## **CAPÍTULO 5**

### **ELABORAÇÃO DO CURSO: AS ENIGMÁTICAS TEORIAS DA LUZ**

5.1 Introdução.....	55
5.2 Atividades, conteúdos, professor e sala de aula.....	57
5.3 O Curso.....	58

## **CAPÍTULO 6**

### **ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS**

6.1 Introdução.....	71
6.2 Metodologia da Pesquisa: Abordagem Qualitativa.....	72
6.3 Contexto da Pesquisa.....	74
6.4 Instrumento de Tomada de Dados.....	76
6.5 Instrumento de Análise de Dados.....	80

## **CAPÍTULO 7**

### **TOMADA DOS DADOS**

7.1 Descrição do Ambiente e Sala de Aplicação.....	82
7.2 Tentativas e Lições aprendidas: a real “validação” do material.....	82
7.3 Descrição das aulas do curso.....	84
7.3.1 Descrição das atividades.....	84

## **CAPÍTULO 8**

### **ANÁLISE DOS DADOS**

8.1 A Transposição Didática, os Marcadores de Brockington e as atividades.....93

**CONSIDERAÇÕES FINAIS.....97**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....100**

### **APÊNDICE**

# CAPÍTULO 1

## O ENSINO DE FÍSICA E A NECESSIDADE DE PRÁTICAS CONTEMPORÂNEAS

“Por isso, a influência crescente dos conteúdos de física moderna e contemporânea para o entendimento do mundo criado pelo homem atual, bem como a inserção consciente, participativa e modificadora do cidadão neste mundo, definem por si só a necessidade de se debater e estabelecer as formas de abordar tais conteúdos na escola média.”

(TERRAZZAN, 1994, p.43)

### 1.1 Introdução

Atualmente, a sociedade se encontra imersa em um mundo repleto de tecnologias em constante evolução, impulsionadas por extensas pesquisas nas diversas áreas científicas. Esses avanços são direcionados ao objetivo de proporcionar cada vez mais conforto à sociedade como um todo, gerando uma verdadeira corrida na indústria tecnológica.

Por conseguinte, as inovações tecnológicas despertam um grande interesse por parte da população, seja no uso de aplicativos, no conforto do lar, no automóvel ou mesmo na utilização da inteligência artificial para solucionar questões do dia a dia. Assim sendo, os atuais alunos da Educação Básica nasceram e estão rodeados de tecnologias dependendo-as para realizar grande parte das tarefas cotidianas.

Considerando isso, é fundamental reavaliar e dar novos significados às práticas pedagógicas no Ensino Básico, pois aulas baseadas apenas em conteúdos clássicos e métodos tradicionais já não fazem mais sentido em uma sociedade contemporânea tão avançada e tecnológica, onde o que está sendo aprendido em sala de aula, muitas vezes, não condiz com a realidade, por conseguinte faz-se necessário um ensino mais alinhado às demandas e desafios do mundo atual.

O incentivo de habilidades relevantes promove uma educação mais contextualizada e significativa. Para além, com avanços tecnológicos tão rápidos e a facilidade de acesso, tem-se um mercado muito mais competitivo que exige pessoas

cada vez mais bem qualificadas e informadas, portanto, há uma necessidade de se repensar a Educação Básica como um todo, aprimorando os conhecimentos que chegam até os alunos e os aproximá-los cada vez mais das demandas contemporâneas.

Desde a década de 1980, tem-se discutido a reforma do currículo de Ciências, apontando para novas direções no Ensino dessas disciplinas, em propostas que incluem uma abordagem cognitivista, a inclusão de aspectos históricos e filosóficos da Ciência, a interdisciplinaridade e uma maior conexão com a realidade cotidiana dos alunos e, no recorte do Ensino de Física, a abordagem de tópicos relacionados à Física Moderna e Contemporânea,

Essas mudanças visam proporcionar uma Educação em Ciências mais atualizada e significativa, promovendo uma compreensão mais ampla e contextualizada dos conceitos científicos.

Em 2017, a Lei 13.415 alterou a LDB 9394/96 e regulamentou a Lei 11.494/2007, alterando e regulamentando o Ensino Médio, alterando a estrutura curricular e introduzindo uma maior flexibilidade. A lei estabeleceu a implementação de uma Base Nacional Comum Curricular (BNCC), que permite ao estudante escolher itinerários formativos focados em áreas específicas do conhecimento.

A BNCC é um documento que define um conjunto de aprendizagens de forma progressiva e integrada, buscando desenvolver conhecimentos essenciais ao longo das etapas e modalidades da educação básica. Essa base curricular está alinhada com as diretrizes estabelecidas no Plano Nacional de Educação Básica, visando promover uma educação mais abrangente e adequada às necessidades dos alunos.

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), 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). (BRASIL, 2018, p.7)

O currículo do Ensino Médio será composto por Itinerários Formativos organizados em ofertas em diferentes arranjos conforme a necessidade local proporcionando aos jovens um ensino ao qual o torne preparado e atuante na sociedade contemporânea que vive em constante mudança, envolvendo-os nas tecnologias digitais.

Para um Educador de Ciência da Natureza e suas Tecnologias exige-se uma inserção de conhecimentos na Educação Básica que influa no modo como vivemos, pensamos e agimos, relacionando os conhecimentos de sala de aula com o que é visto no cotidiano, introduzindo-os em tudo, desde o mundo submicroscópico ao cosmológico.

Nesse contexto, a Ciência e a Tecnologia tendem a ser encaradas não somente como ferramentas capazes de solucionar problemas, tanto os dos indivíduos como os da sociedade, mas também como uma abertura para novas visões de mundo. (BRASIL, 2018, P.7)

No recorte do Ensino de física para dar conta das novas demandas educacionais e alinhar o ensino as demandas da sociedade atual é necessário a abordagem de tópicos contemporâneos, por conseguinte um caminho seria a inserção de práticas pedagógicas que tratam da física Moderna e contemporânea nas escolas.

O Ensino da física moderna e contemporânea no Ensino Médio permite aos alunos adquirirem conhecimentos sobre as novas descobertas da Ciência Moderna, ou seja, eles podem compreender o funcionamento de aparelhos modernos, a evolução contínua da ciência e a percepção de que a ciência retratada na mídia é a mesma aprendida na escola.

Portanto, é fundamental que a ciência ensinada na escola contribua para o crescimento dos alunos, permitindo-lhes compreender aspectos importantes desse campo, pois eles devem entender por que são realizados tantos investimentos em aceleradores de partículas, telescópios e outros grandes projetos, que resultaram, por exemplo, na detecção do Bóson de Higgs ou no maior conhecimento da Natureza da Luz.

No entanto, mesmo com diretrizes e documentações que orientam a inclusão de tópicos contemporâneos, é necessário questionar a efetivação dessas práticas e



podemos nos perguntar:

**Os professores do Ensino Básico estão preparados para abordar esses assuntos?**

**O que é fornecido a eles em termos de formação e suporte para o ensino desses tópicos?**

Essas são questões importantes que devem ser consideradas para garantir uma educação de qualidade na abordagem da ciência contemporânea.

## **1.2 A Relevância da Integração de Tópicos da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**

O Ensino de Física nas salas de aula tem apresentado poucas mudanças, apesar do constante desenvolvimento de abordagens inovadoras sobre tópicos contemporâneos da Física, por algum motivo, nem sempre essas abordagens chegam efetivamente às salas de aula. Grande parte das aulas de Física no Ensino Médio ainda se baseiam em tópicos desenvolvidos há séculos, seguindo a sequência clássica que começa com a Física de Newton e termina em Eletromagnetismo.

Os alunos do Ensino Médio têm acesso a diversas informações científicas por meio das redes sociais, dos *Podcasts*, séries e filmes disponíveis em *Streams* e os diversos meios de notícias. No entanto, as aulas de Física muitas vezes não acompanham a evolução da científica e deixam os estudantes distantes das novas descobertas e discussões relevantes e atuais.

Carvalho e Vannuchi em 1996 (p.8) já citava esses problemas nas Ensino Básico:

Vivemos hoje num mundo altamente tecnológico - fibra ótica, códigos de barra, microcomputadores etc, etc, etc. - e o nosso ensino ainda está em Galileu, Newton, Ohm, não chegou ainda no século vinte. Estamos no último quinquênio do século XX, mas em termos de ensino estamos muito longe do seu início. Em 1905 Einstein propunha o Princípio de Relatividade Geral, em 1995 não temos nenhuma condição de ensinar a relatividade para os alunos do curso médio.

Portanto, é evidente a necessidade de repensar e ressignificar a Física que chega na educação básica, buscando reformular as práticas pedagógicas para melhor

contribuir com a formação dos alunos. É crucial levar em consideração as demandas contemporâneas da sociedade e promover uma compreensão mais profunda do mundo ao redor dos estudantes.

Dessa forma, os alunos teriam a oportunidade de se envolver com a "nova Física", abrindo um novo mundo por meio da ciência. Isso permitiria que o Ensino de Física estivesse mais alinhado com a realidade dos alunos e, conseqüentemente, com seu cotidiano, despertando um maior interesse por parte deles. A partir dessa abordagem renovada, busca-se uma maior conexão entre os conteúdos de Física e a vida dos estudantes, proporcionando uma experiência educacional mais significativa.

Ademais, esses assuntos estimulam o pensamento crítico, pois desafiam muitos conceitos intuitivos do senso comum da Física Clássica, ou seja, pode-se trabalhar o pensamento crítico e o questionamento, já que os alunos precisam abandonar algumas intuições que têm sobre o mundo físico e adotar novas formas de pensar.

Certamente, ao despertar curiosidade e interesse nos estudantes, o ensino de qualidade se torna mais efetivo e significativo. Ao criar um ambiente de aprendizagem motivador, os estudantes se sentem mais engajados e entusiasmados em participar das atividades educacionais, o que é fundamental para o seu desenvolvimento acadêmico e pessoal.

A curiosidade é uma poderosa ferramenta para impulsionar a aprendizagem, pois leva os alunos a buscarem conhecimento além do que é simplesmente apresentado em sala de aula. Quando os estudantes estão curiosos, eles tendem a fazer perguntas, investigar, pesquisar e explorar tópicos em maior profundidade. Isso pode levar a uma compreensão mais abrangente do assunto em questão e, possivelmente, a descobertas pessoais, que são elementos-chave para o crescimento intelectual.

Além disso, quando os alunos se sentem motivados e engajados em seus estudos, eles têm mais chances de encontrarem propósito e significado em sua educação. Eles se tornam mais conscientes de como o conhecimento adquirido está relacionado aos seus projetos de vida, sonhos e aspirações. Isso é fundamental para a construção de um projeto de vida bem-sucedido e para a definição de metas alcançáveis para o futuro.

A BNCC estabelece os direitos de aprendizagem e desenvolvimento que todos os estudantes brasileiros têm ao longo da Educação Básica. O Ensino Médio tem como um dos objetivos a formação integral dos estudantes, preparando-os para a vida adulta, o exercício da cidadania e para a continuidade dos estudos.

Ao proporcionar um ensino que desperte curiosidade e interesse, o educador contribuirá para o cumprimento das exigências da BNCC, pois proporcionará uma formação integral dos estudantes. Além disso, ao trabalhar com uma abordagem mais motivadora, o professor pode ajudar os alunos a desenvolverem habilidades socioemocionais, como a autonomia, a perseverança e a resiliência, que são fundamentais para enfrentar os desafios da contemporaneidade.

Em suma, um ensino que desperta curiosidade e interesse nos estudantes não apenas fortalece o processo de aprendizagem, mas também contribui para a formação integral dos alunos, auxiliando-os na construção de seus projetos de vida e no atendimento às exigências da Base Nacional Comum Curricular.

A dinâmica social contemporânea nacional e internacional, marcada especialmente pelas rápidas transformações decorrentes do desenvolvimento tecnológico, impõe desafios ao Ensino Médio. Para atender às necessidades de formação geral, indispensáveis ao exercício da cidadania e à inserção no mundo do trabalho, e responder à diversidade de expectativas dos jovens quanto à sua formação, a escola que acolhe as juventudes tem de estar comprometida com a educação integral dos estudantes e com a construção de seu projeto de vida (BRASIL, 2018, p.464).

A abordagem de temas modernos e contemporâneos na Física torna essa disciplina mais atraente para os estudantes, uma vez que eles conseguem se identificar com os conteúdos apresentados. Além disso, essa abordagem permite uma maior aproximação entre os conteúdos científicos e as inovações tecnológicas do mundo atual (BARRELO JUNIOR, 2010).

A contemporaneidade é fortemente marcada pelo desenvolvimento tecnológico. Tanto a computação quanto às tecnologias digitais de informação e comunicação (TDIC) estão cada vez mais presentes na vida de todos, não somente nos escritórios ou nas escolas, mas nos nossos bolsos, nas cozinhas, nos automóveis, nas roupas etc. Além disso, grande parte das informações produzidas

pela humanidade está armazenada digitalmente. Isso denota o quanto o mundo produtivo e o cotidiano estão sendo movidos por tecnologias digitais, situação que tende a se acentuar fortemente no futuro (BRASIL, 2018, p. 473)

A Física Moderna e Contemporânea explora fenômenos e teorias que vão além dos princípios clássicos estabelecidos por Isaac Newton e outros físicos dos séculos XVII e XVIII. Enquanto a Física Clássica é amplamente aplicável em situações cotidianas e descreve com precisão o comportamento de objetos macroscópicos, a Física Moderna e Contemporânea trata de fenômenos em escalas subatômicas, relativísticas e quânticas que mostram como a tecnologia avança.

Quando esses tópicos são introduzidos na Educação Básica, permitem aos alunos uma nova leitura da natureza, pois apresentam conceitos e teorias que muitas vezes desafiam nossa intuição e senso comum. Além disso, as descobertas da Física Moderna e Contemporânea têm levado a avanços tecnológicos significativos que moldaram a sociedade atual.

Essa abordagem também pode estimular o interesse dos alunos pela ciência, mostrando que a física é uma disciplina em constante evolução, cheia de mistérios fascinantes a serem desvendados. Ao relacionar esses conceitos com filmes e séries populares que frequentemente abordam temas de ficção científica, os estudantes podem ver como a ciência pode inspirar a imaginação e influenciar a cultura.

No entanto, é essencial não excluir os conteúdos da Física Clássica ao ensinar a Física Moderna e Contemporânea. Os princípios clássicos são a base da física e ainda são fundamentais para entender muitos aspectos do mundo ao nosso redor. Portanto, o ideal é que a educação em física seja abrangente, abordando tanto os fundamentos clássicos quanto os avanços modernos. (SIQUEIRA, 2006)

Por conseguinte, a inclusão dos assuntos de Física Moderna e Contemporânea no currículo da educação básica oferece aos alunos a oportunidade de explorar uma nova dimensão da natureza, complementando os ensinamentos da Física Clássica e incentivando um olhar mais amplo e curioso sobre o mundo. (SIQUEIRA, 2006)

### 1.3 A motivação do uso das Teorias que abordam a Natureza da Luz na Física.

Os assuntos de Física Moderna e Contemporânea, quando abordados na Educação Básica, podem gerar diversos tipos de interesse e motivar alguns jovens pela carreira científica, pois consegue-se aproximar os conteúdos que estão sendo ensinados em sala de aula pelo professor com o cotidiano que o aluno está inserido, sendo assim faz sentido a questão de fazer ciência e seguir na área acadêmica.

A pesquisa em Ensino de Física vem evidenciando esses pontos e a partir de pesquisas mostram em questionários, abordagens entre outros os temas que os estudantes acham mais relevantes a serem abordados para que gere o interesse nos mesmos os trazendo cada vez mais para “dentro” da sala de aula e relacionado tudo aquilo que está em sua volta com cada fala do professor.

Segundo Terrazan (1992), as abordagens desenvolvidas na Educação Básica necessitam propiciar aos alunos um pensamento e interpretação do cotidiano ao qual eles estão inseridos. Ou seja, deve-se considerar o cotidiano e o ambiente ao qual os estudantes fazem parte como o ponto de partida para definição dos conteúdos que serão trabalhados, sugerindo a abordagem que conteúdos da Física Moderna e Contemporânea sem deixar de lado os conteúdos clássicos.

*A priori*, a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (Lei 9.394/1996) estabelece que as disciplinas necessitam promover o conhecimento de elementos científico-tecnológicos dos processos, associando a teoria e aplicação de cada prática de ensino. Em relação ao Ensino de Física espera-se a compreensão dos dispositivos gerais que compõem essa componente curricular. (MENEZES, 2000)

Ostermann & Moreira (2000), realizaram uma revisão abrangente da literatura centrada na área de "Física Moderna e Contemporânea no contexto do ensino médio". Os autores analisaram uma variedade de fontes, incluindo artigos acadêmicos, livros didáticos, dissertações, teses, projetos e recursos online, todos voltados para a exploração dessa temática. A pesquisa se concentrou em investigar materiais voltados especificamente para o ensino da Física.

É possível que isto demonstre uma necessidade de amadurecimento da linha de pesquisa “FMC no ensino médio”. Parece que há muitas justificativas em favor da atualização curricular e até uma bibliografia

que apresenta (não tão rapidamente como a literatura especializada) temas modernos. Entretanto, colocar todas estas reflexões na prática da sala de aula é ainda um desafio. Outra questão desafiadora é a escolha de quais tópicos de FMC deveriam ser ensinados nas escolas ou, o que dá no mesmo, de quais temas de FMC deveriam ser objeto de especial atenção na formação de professores de Física com vistas a uma adequada transposição didática para o ensino médio. (OSTERMANN & MOREIRA, 2000, P.43)

Brockington (2005) levou à sala de aula da Escola Pública Paulista, uma proposta de inserção de tópicos de Física Moderna e Contemporânea a partir de um curso direcionado a apresentação de elementos da Física Quântica, mostrando aos alunos como a Física aprende a partir de seus modelos. Constatando em sua pesquisa a possibilidade de atrelar o currículo a abordagens inovadoras e propondo a geração de maiores discussões como os alunos.

Siqueira (2006) possibilitou o conhecimento de Estrutura da Matéria para alunos do Ensino Médio, adaptando textos a uma linguagem mais acessível à sala de aula - Transposição Didática - mostrando a possibilidade de sucesso em aplicações de cursos didáticos que partem de temas atuais que geram interesse dos alunos, com metodologias inovadoras e que estão de acordo com o currículo e com a formação integral do aluno.

Barrelo (2010) conduziu uma pesquisa que visava compreender a evolução dos processos argumentativos dos alunos em relação ao conceito de fóton, bem como investigar se os estudantes assimilaram as interpretações da mecânica quântica relacionadas à natureza e ao comportamento da luz. Os resultados obtidos ao término do estudo demonstraram que o curso ministrado teve um impacto positivo na incorporação de tópicos relacionados à Física Moderna e Contemporânea no currículo do Ensino Médio. Ficou evidente que temas como esses exercem um forte atrativo sobre os jovens, estabelecendo uma conexão direta com as inovações científicas em curso.

Usar as Teorias que abordam a Natureza da luz como base para inserção de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio oferece várias vantagens significativas. A luz, sendo familiar e tangível, permite que os alunos estabeleçam conexões mais diretas com conceitos abstratos da Física Moderna. Ao

explorar as Teorias da Luz, os alunos podem relacionar os conceitos com experiências cotidianas.

Além disso, o estudo das Teorias da Luz pode servir como um ponto de partida para a compreensão de tópicos mais profundos de Física Quântica. Por conseguinte, conceitos como a Dualidade Onda-Partícula e o Efeito Fotoelétrico, auxiliam os alunos a interpretarem o mundo através de uma “nova” Física.

A evolução das Teorias que abordam a Natureza da Luz ao longo da história da Física também reflete o próprio progresso da Ciência. Desde as Teorias Eletromagnéticas Clássicas de Maxwell até as descobertas revolucionárias de Einstein, os estudos da luz proporcionam uma visão histórica da Física e suas transformações ao longo do tempo.

As aplicações interdisciplinares desses conceitos também são notáveis. Os princípios da óptica têm influências significativas em campos da Engenharia, Tecnologia, Medicina, entre outros. Permitindo que os alunos entendam que a Física está para além dos muros da sala.

Ao explorar tópicos mais avançados da Ciência Física, os alunos são desafiados a desenvolver habilidades analíticas e de pensamento crítico. Além disso, à medida que a tecnologia continua a avançar, um entendimento sólido da Física Contemporânea torna-se cada vez mais crucial. Os conceitos relacionados à luz desempenham um papel central nas áreas da óptica, comunicação e no desenvolvimento de dispositivos tecnológicos.

A natureza muitas vezes intrigante e contraintuitiva da luz também tem o potencial de estimular a curiosidade natural dos alunos. Essa curiosidade pode motivá-los a explorar ainda mais os princípios fundamentais da física e a buscar respostas para perguntas mais profundas.

Em síntese, abordagens que partem das Teorias da Luz para proporcionar a inserção de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea na Escola podem oferecer abordagens pedagógicas altamente inovadoras, possibilitando aos alunos estabelecerem conexões concretas com conceitos abstratos, desenvolvendo habilidades analíticas, conceito crítico e os auxiliem para enfrentar desafios e oportunidades da vida.

## CAPÍTULO 2

# DESVENDANDO OS “SEGREDOS” DA LUZ: UMA JORNADA ATRAVÉS DAS TEORIAS QUE ABORDAM A NATUREZA DA LUZ NA FÍSICA

“A luz pode se comportar como onda ou como partícula. Como partícula não poderia penetrar nas gotículas de água. Como onda, atravessa a superfície por tunelamento.”

**Herch Moysés Nussenzveig**

### 2.1 Introdução

Os princípios da ótica geométrica são consistentes com a teoria corpuscular da luz, na qual frequentemente se faz referência equivocada a Newton como seu defensor primário. A teoria concorrente, conhecida como teoria ondulatória da luz, teve seu primeiro marco significativo no "Tratado sobre a Luz" de Christian Huygens, publicado em 1690.

Neste trabalho, está formulado o Princípio de Huygens, que desempenha um papel crucial no estudo da propagação das ondas luminosas. A obra - *OPTIKS* - de Newton, publicada em 1704 e revisada em 1717, é uma realização notável. Nela, Newton relata seus achados sobre a decomposição espectral da luz branca e observações de fenômenos ondulatórios, como os anéis de Newton, incluindo medições precisas de comprimentos de onda.

As concepções de Newton acerca da luz integraram elementos da teoria corpuscular, de maneira que lembram em certa medida a atual teoria quântica. A supremacia da teoria ondulatória emergiu no início do século XIX, através dos estudos de Thomas Young e Augustin Fresnel sobre interferência e difração, e em 1850, com o experimento crucial de Foucault e Fizeau, que demonstrou a diminuição da velocidade da luz na água em relação ao ar.

No trabalho de Huygens, já se encontrava uma análise dos efeitos da dupla refração, associados à polarização da luz. Esses tópicos foram igualmente discutidos por Newton e posteriormente por Fresnel, contribuindo para a conclusão de que as ondas luminosas são transversais, em contraste com as longitudinais, como as de som.



Maxwell, em 1861, formulou as equações fundamentais do campo eletromagnético e, a partir delas, deduziu a existência das ondas eletromagnéticas que se propagam à velocidade da luz. Isso o levou a inferir que a luz é, de fato, uma forma de onda eletromagnética.

A confirmação experimental da teoria eletromagnética da luz veio por meio das experiências conduzidas por Hertz em 1888. Por meio dessas experiências, ondas eletromagnéticas (como as de rádio) foram produzidas e suas propriedades análogas às da luz foram demonstradas. A antena dipolar usada por Hertz se tornou o modelo clássico mais simples para a geração de ondas eletromagnéticas.

Tentativas de identificar um meio material para a propagação das ondas luminosas (chamado de "éter") culminaram no experimento de Michelson e Morley, em 1887. O resultado negativo deste experimento, somado a outras evidências, foi uma das bases para o desenvolvimento da teoria da relatividade restrita por Einstein em 1905.

De forma intrigante, nas pesquisas realizadas por Hertz para comprovar a teoria eletromagnética da luz, ele identificou as primeiras pistas do efeito fotoelétrico, que viria a contribuir para o ressurgimento de uma abordagem corpuscular da luz. A luz solar, cujo espectro contínuo foi desvendado por Newton, exemplifica a radiação térmica emitida por um corpo aquecido.

As dificuldades em conciliar as leis da radiação térmica com a física clássica motivaram Max Planck, em 1900, a propor sua inovadora teoria quântica, baseada no conceito de "quanta". Einstein, em 1905, demonstrou que os resultados observados no efeito fotoelétrico, que também desafiavam explicação pela física clássica, poderiam ser entendidos ao se estender a hipótese de Planck para a luz, descrevendo-a em termos de partículas chamadas "quantas", que possuem natureza corpuscular.

Ao estudar o efeito fotoelétrico Einstein, inicialmente, não considerou a luz como onda, pois o efeito viola os quatro fenômenos ondulatórios previstos, por conseguinte ele nunca designou o termo fóton. O espectro da luz emitida por vapores atômicos, como o de uma lâmpada de sódio, difere do espectro contínuo da luz solar: ele se manifesta como um espectro de linhas discretas. Mais uma vez, a física clássica não consegue elucidar esse fenômeno, assim como não consegue explicar a existência dos átomos.

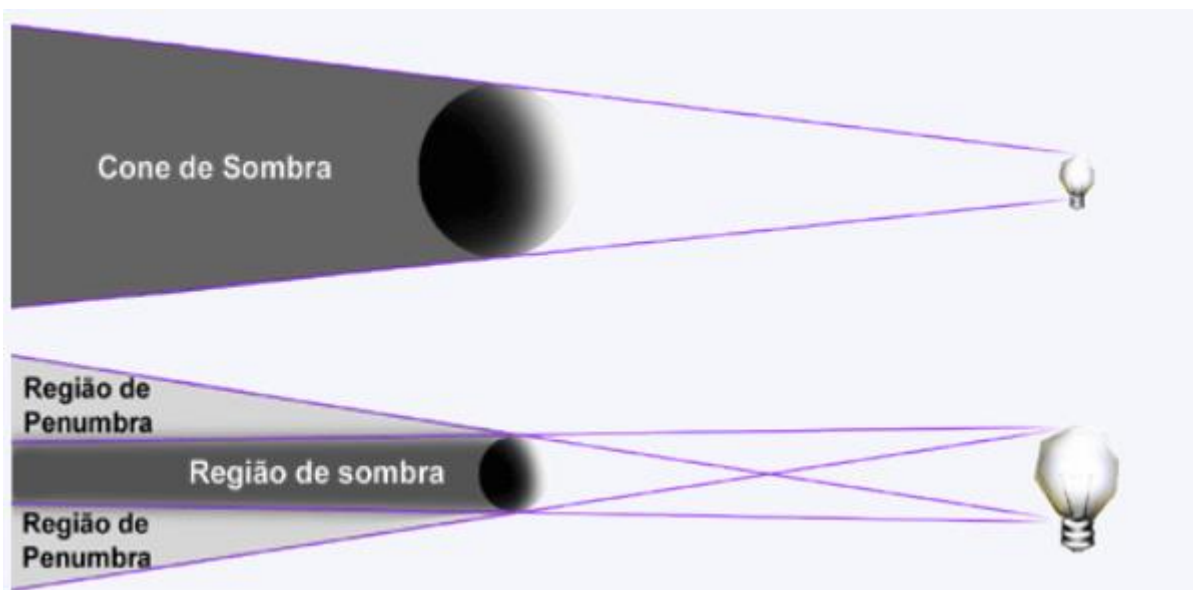
A estrutura atômica e o processo fundamental de emissão de luz por um átomo somente encontram explicação na teoria quântica. Esta mesma teoria permitiu a reconciliação da dualidade onda-partícula.

Atualmente, a ótica figura como uma das áreas mais dinâmicas da física, em grande parte impulsionada pela invenção de uma nova fonte de luz, o laser, que remonta aos anos 1960 e encontra-se aplicações significativas em praticamente todos os campos da ciência e da tecnologia.

## 2.2 Ótica Geométrica

A propagação da luz em um meio homogêneo, como o ar, é em linha reta. Isso se torna mais perceptível quando temos uma fonte de luz - que se aproxima do pontual, como por exemplo, um buraquinho de alfinete iluminado, num anteparo opaco. Percebe-se mais claramente essa propagação quando, diante de uma fonte pontual de luz há um objeto que causará a formação de uma sombra.

Figura 1: A Formação da Sombra



Fonte: MARQUES, Gil da Costa & UETA, Nobuko. Óptica – Óptica Geométrica. Disponível em: < [Óptica – Óptica Geométrica \(usp.br\)](#) >. Acesso em: 26 de março de 2023

Na perspectiva da Teoria Corpuscular, um raio de luz representa a trajetória de um corpúsculo, se pensarmos em um feixe cônico de luz com uma abertura muito pequena, conhecido como um conjunto de raios luminosos concentrados, e quando

essa abertura tende ao valor mínimo, obtém-se um raio de luz, que se apresenta como uma linha reta em um meio uniforme.

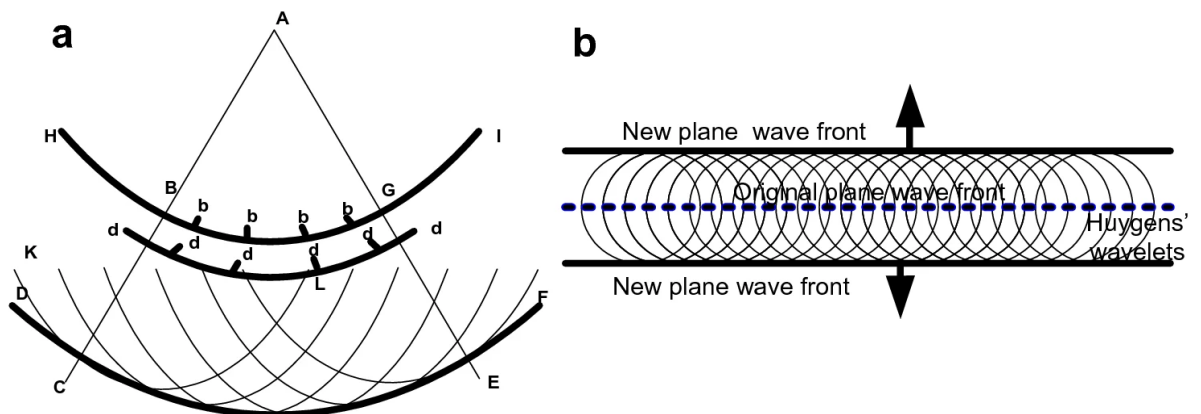
Todavia, para a Teoria Ondulatória é mais desafiador a explicação da propagação retilínea da luz e isso foi observado por Newton.

As ondas sonoras não têm propagação retilínea. Assim, por exemplo, ouvimos a voz de uma pessoa que fala do lado de fora de uma sala, com a porta entreaberta, mesmo quando a pessoa está fora da linha de visão. (NUSSENZVEIG, 2014)

A Teoria Ondulatória elucidou a propagação em trajetória linear através do trabalho de Huygens, notório pelo Princípio de Huygens. Em uma onda, é imperativo analisar a disseminação da fase, responsável pela configuração das cristas e vales. A frente de onda corresponde a um agrupamento de pontos geométricos que compartilham a fase equivalente, todos eles pertencentes à crista única da onda.

Segundo Huygens, em sua abordagem, cada ponto que compõe uma frente de onda atua como uma fonte pontual, desencadeando a emissão de ondas secundárias. A partir de uma frente de onda inicial, Huygens propôs um método geométrico para derivar a configuração da frente de onda em um momento subsequente: consideram-se todas as ondas secundárias que se originam de pontos na frente de onda inicial, desde que não sejam bloqueadas por obstáculos. A frente de onda resultante, no instante subsequente em análise, é então determinada pela interseção dessas ondas secundárias.

Figura 2: O Princípio de Huygens como construção Geométrica

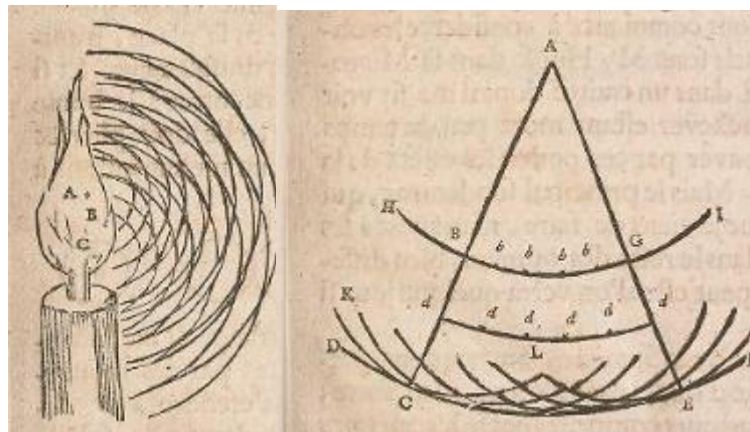


(a) Uma réplica da Figura 1 original de Huygens (uma onda esférica). (b) Construção geométrica de Huygens apresentada como uma onda plana.

**Fonte:** ANDERSON, Forrest L. **Huygens' Principle geometric derivation and elimination of the wake and backward wave.** Scientific Reports, v. 11, n. 1, p. 20257, 2021.

A explicação de Huygens para a propagação retilínea da luz e a formação de sombras demonstra que quando uma frente de onda emitida por uma fonte incide sobre uma abertura em um objeto opaco, do lado oposto é gerado um envelope composto apenas pelos raios que conseguem passar pela abertura. Embora haja alguma penetração secundária na região das sombras, esses efeitos são tão fracos que dificilmente podem ser percebidos.

Figura 3: Ilustrações do *Traité de la lumière* de Huygens.



Do lado esquerdo, as oscilações causadas pelo fogo geram distúrbios no ambiente ao redor. À direita, ondas que se originam de um ponto se encontram em círculos concêntricos.

**Fonte:** HUYGENS, Christiaan. **Traité de la lumière.** Gressner & Schramm, 1885.

A luz penetra de forma limitada na região das sombras, e esse fenômeno é conhecido como difração, que foi descrito por Grimaldi em 1665 em sua obra "*Physico-mathesis de lumine, coloribus et iride, aliisque adnexis libri duo (etc.) Opus posthumum*". A intensidade dos efeitos de difração depende de um parâmetro que não foi considerado por Huygens: o comprimento de onda ( $\lambda$ ).

As ondas que ele descreveu não necessariamente correspondiam a oscilações periódicas, pois ele as concebe como uma série de pulsos. Isaac Newton não apenas descobriu a decomposição espectral da luz branca em suas componentes monocromáticas, mas também percebeu que cada cor está associada a um comprimento de onda bem definido.

Ele mediu o comprimento de onda ( $\lambda$ ) com grande precisão, e os valores que ele obteve para a luz alaranjada ainda são compatíveis com os resultados atuais. Do ponto de vista das ondas, a óptica geométrica é uma aproximação válida para comprimentos de onda muito pequenos em comparação com as dimensões típicas envolvidas.

### **2.2.1 Reflexão, Refração e Reflexão Total**

Quando um raio de luz transita de um meio homogêneo para outro, na interface entre esses dois meios, ocorre uma alteração nas propriedades materiais. Por exemplo, ao considerarmos a passagem de um raio de luz de um meio 1 para um meio 2, como ar para água, existe um plano chamado de plano de incidência que abriga o ângulo de incidência.

O raio que incide origina dois raios distintos: um raio refletido, que retorna ao meio 1, e um raio refratado, que penetra no meio 2. A lei da reflexão estipula que o raio refletido permanece no plano de incidência e que seu ângulo de reflexão é igual ao ângulo de incidência. Já a lei da refração, inicialmente proposta por Ibn Sahl em 984 e posteriormente reformulada por Willebrord Snell em 1621 e por Descartes em 1637, determina que o raio refratado também permanece no plano de incidência e está relacionado ao índice de refração relativo entre o meio mais refringente e o menos refringente.

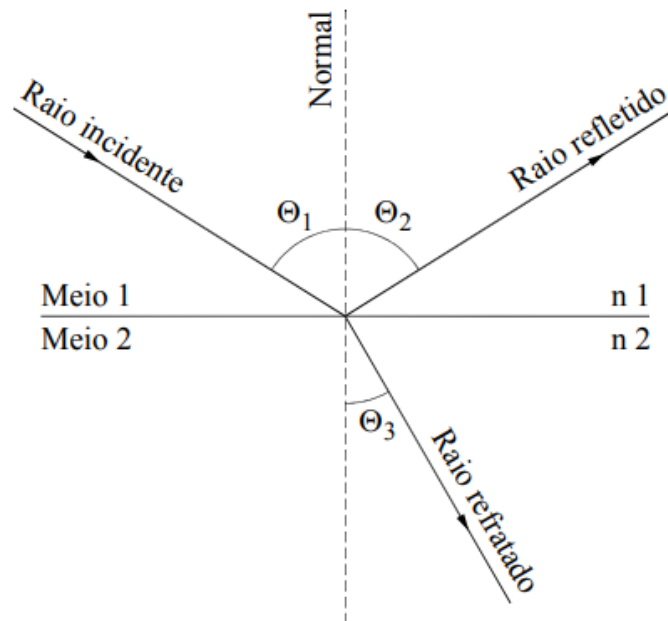
Ao encontrar a interface, o raio sofre uma divisão, sendo parcialmente refletido e parcialmente refratado. A proporção entre essas partes depende do ângulo de incidência. Ao observarmos uma superfície aquática, por exemplo, como a de um lago, se conseguirmos visualizar o fundo, a maior parte da luz foi refratada. Por outro lado, se enxergarmos um reflexo na superfície da água, a maior parte da luz foi refletida.

A reflexão total é um fenômeno óptico que ocorre quando a luz incide sobre uma superfície que separa dois meios, indo do meio com maior índice de refração para o meio com menor índice de refração. Nesse caso, a luz é totalmente refletida de volta para o meio de origem, em vez de ser refratada, desde que o ângulo de incidência seja maior do que um ângulo crítico específico. Na fibra óptica, esse fenômeno desempenha um papel fundamental.

Quando a luz viaja através do núcleo de alta refração da fibra para o revestimento de menor refração, ela atinge o limite sob um ângulo crítico e é totalmente refletida internamente. Isso permite a transmissão eficiente da luz ao longo

da fibra, tornando as fibras ópticas essenciais para as modernas infraestruturas de comunicação.

Figura 4: Incidência de uma onda em uma interface plana, com ângulo de incidência  $\theta^1$ , gerando uma onda refletida (com ângulo de reflexão  $\theta^2$ ) e uma onda refratada (com ângulo de refração  $\theta^3$ )



**Fonte:** Laboratório de Óptica: Ângulo de Brewster e Equações de Fresnel. Disponível em: < [\(Microsoft Word - 05 Relat347\365es de Fresnel\\_mfc\\_ErdA\) \(usp.br\)](#) >. Acesso em 30 de março de 2023.

### 2.3 Interferência

Em 1801, Thomas Young conduziu um experimento crucial para evidenciar a natureza ondulatória da luz. Apesar de sua formação em medicina, Young fez contribuições notáveis em diversos campos, incluindo a teoria da elasticidade (introduzindo o conceito de módulo de Young), a teoria da percepção de cores (sendo o pioneiro ao sugerir a existência de três tipos de receptores de cores primárias na retina) e a egiptologia (contribuindo significativamente na decifração dos hieróglifos da Pedra de Roseta), além de suas importantes contribuições na ótica.

Um dos atributos característicos da natureza ondulatória, especialmente evidenciado na interferência de ondas, foi demonstrado experimentalmente por Young. Para ilustrar esse fenômeno, Young utilizou uma fonte de luz puntiforme para iluminar um anteparo opaco no qual foram inseridos dois pequenos orifícios de alfinete

posicionados próximos um do outro. Ele então observou o padrão resultante no anteparo. Em vez de simplesmente somar as intensidades luminosas dos dois orifícios, o que se manifestou foram franjas alternadas de luz intensa e escuridão, conhecidas como franjas de interferência (que resultam da interferência construtiva e destrutiva das ondas).

De acordo com Young, o fenômeno dos anéis de Newton é caracterizado pela formação de franjas brilhantes que se estendem a partir de um ponto central, enquanto as franjas escuras estão dispostas de maneira intercalada. Essas franjas brilhantes e escuras surgem devido à interferência de ondas luminosas.

Quando a luz proveniente de uma das aberturas percorre uma distância maior até alcançar uma franja brilhante, isso ocorre ao longo de um número inteiro de oscilações luminosas, resultando em interferência construtiva. Já as franjas escuras correspondem a uma diferença de meia oscilação, levando a interferência destrutiva.

Young utilizou esses resultados para estimar com precisão os comprimentos de onda associados às cores violeta e vermelha do espectro. Além disso, as franjas de interferência podem ser observadas quando se utiliza luz branca, como a luz solar.

A franja central permanece branca, enquanto as franjas adjacentes exibem cores diversas devido às diferentes separações entre as franjas, resultando da superposição de figuras de interferência. No entanto, em direção às bordas, múltiplas figuras com espaçamentos irregulares e cores distintas se sobrepõem, limitando a quantidade de franjas visíveis.

A condição essencial para a ocorrência da interferência, conforme enfatizado por Young, é que ambas as partes de luz em interferência se originem da mesma fonte, ou seja, devem provir da mesma frente de onda incidente. A interferência desempenha um papel crucial na formação dos anéis de Newton, que surgem quando a luz incide na interface entre uma lente convexa e uma placa de vidro plana.

Nesse cenário, parte da luz é refletida na superfície da lente e outra parte na superfície da placa de vidro. As ondas refletidas interagem entre si quando retornam após a reflexão, resultando em regiões de interferência construtiva, onde as cristas das ondas se alinham, intensificando a luz, e em regiões de interferência destrutiva, onde as cristas coincidem com os vales, reduzindo a intensidade luminosa.

A combinação desses efeitos de interferência ao longo do espaço de ar variável entre a lente e a placa de vidro dá origem ao característico padrão de anéis de Newton. Esses anéis, exibindo uma gama de cores, representam uma fascinante manifestação

visual da interferência da luz e possuem importantes aplicações na análise de propriedades ópticas e em experimentos de óptica.

## 2.4 Difração

Ao analisarmos um pequeno orifício circular em um anteparo opaco, iluminado por um feixe de luz monocromática incidindo perpendicularmente. De acordo com a lei da propagação retilínea da Ótica Geométrica, o feixe de luz transmitido pelo orifício deveria formar um cilindro circular e criar uma imagem brilhante, idêntica ao orifício, em um anteparo de observação, por conseguinte fora dessa região, a escuridão seria total, formando uma sombra geométrica.

Em 1665, Francesco Maria Grimaldi observou que quando o orifício é extremamente pequeno, como um buraco de alfinete, e a distância  $R$  até o anteparo de observação é suficientemente grande, a luz penetra na região da sombra geométrica, resultando no surgimento de franjas claras e escuras na proximidade da borda da sombra.

Grimaldi chamou essas divergências da propagação retilínea da luz de "difração", um termo associado à "deflexão" dos raios luminosos. Essa descrição genérica pode se aplicar tanto à passagem por uma abertura quanto à "dispersão" por um obstáculo. Os fenômenos de difração, assim como os de interferência, estão intimamente ligados e são características de uma teoria ondulatória.

A intensidade dos efeitos de difração depende da relação entre o comprimento de onda da luz e as dimensões da abertura ou obstáculo. Em situações onde os comprimentos de onda da luz são comparáveis ao tamanho dos objetos envolvidos na propagação, como na acústica, os efeitos de difração são bastante notáveis.

A difração pode ser classificada em duas categorias, dependendo da distância  $R$  entre o objeto e o anteparo de observação. Para distâncias relativamente curtas, a imagem observada pode manter semelhança com a forma geométrica do objeto, embora seja acompanhada por franjas claras e escuras.

O cientista Augustin Fresnel desempenhou um papel crucial na explicação qualitativa da difração, combinando o Princípio de Huygens com o conceito de interferência e aplicando-os à propagação de ondas monocromáticas. Suas modificações fundamentais ao Princípio de Huygens incluíram o reconhecimento da coerência das ondas secundárias oriundas de diferentes pontos de uma frente de



onda monocromática e a consideração das diferenças de fase associadas a trajetórias distintas das ondas secundárias.

A teoria de Fresnel sobre a difração foi apresentada pela primeira vez em 1818 e teve um impacto significativo na aceitação da teoria ondulatória da luz. Um dos membros da comissão de avaliação do trabalho de Fresnel era o matemático Siméon Denis Poisson, defensor da teoria corpuscular da luz. Poisson levantou uma objeção ao trabalho, argumentando que uma consequência da teoria de Fresnel era a existência de uma mancha brilhante no centro da sombra de um disco circular, o que parecia absurdo. Fresnel e François Arago realizaram um experimento que comprovou a existência dessa mancha brilhante, conhecida posteriormente como a Mancha de Poisson, e isso fortaleceu os argumentos a favor da teoria ondulatória da luz.

## **2.5 O Efeito Fotoelétrico**

Heinrich Hertz, no ano 1887, demonstrou a validade da teoria de Maxwell através de seus experimentos que produziam e detectaram ondas eletromagnéticas. Para detectar as ondas, Hertz usava uma antena ressonante, na qual a detecção também envolvia o surgimento de uma faísca entre eletrodos.

Curiosamente, ele notou que a faísca de detecção se tornava mais difícil de ocorrer quando os eletrodos da antena receptora não estavam expostos à luz, especialmente à luz violeta e ultravioleta, proveniente da faísca primária na antena emissora. Isso acontecia quando um anteparo era inserido entre as duas antenas para bloquear a luz.

Surpreendentemente, ao confirmar a teoria de Maxwell, que era um pilar da física clássica, Hertz estava inadvertidamente descobrindo o efeito fotoelétrico, que se tornaria uma das primeiras evidências experimentais da quantização da luz. Logo se descobriu que a razão pela qual a luz ultravioleta facilitava a descarga era porque essa luz tinha a capacidade de ejetar elétrons da superfície metálica dos eletrodos.

Os elétrons ejetados eram, então, acelerados pela diferença de potencial entre os eletrodos, contribuindo para ionizar o ar e tornar a descarga mais fácil. Atualmente, as fotocélulas, que têm diversas aplicações práticas, como em fotômetros e no controle de portas de elevadores, utilizam o efeito fotoelétrico para converter sinais luminosos em correntes elétricas.

Subsequentemente, pesquisas adicionais sobre o efeito fotoelétrico, principalmente conduzidas por P. Lenard em 1899, revelaram uma série de características intrigantes que contradiziam as expectativas da física clássica. Essas experiências exigiam que o material do catodo, de onde os fotoelétrons eram ejetados, fosse limpo e polido para evitar contaminações.

Em um experimento típico, os eletrodos estavam contidos em uma ampola de quartzo transparente à luz ultravioleta, com uma diferença de potencial  $V$  estabelecida entre eles. O catodo era então iluminado com luz de frequência  $\nu$  e intensidade, e a corrente elétrica resultante, medida com um amperímetro.

Os resultados experimentais mostraram que o aumento da intensidade da luz resultava em um aumento na intensidade da corrente elétrica (número de fotoelétrons ejetados), mas não aumentava a diferença de potencial de freamento. Além disso, ao variar a frequência  $\nu$  da luz incidente, observou-se que o potencial de freamento aumentava com a frequência, o que não era explicável pela física clássica.

Einstein, em 1905, propôs uma teoria do efeito fotoelétrico que se baseava na quantização da luz, postulando a existência do "quanta de luz" ou fótons. Sua teoria explicava que a luz fornece energia suficiente para arrancar elétrons da superfície do material do catodo. Quando um elétron é removido, a carga positiva remanescente tenta atraí-lo de volta, e é necessário fornecer energia para superar essa atração. Einstein mostrou que a energia fornecida pela luz é diretamente proporcional à frequência  $\nu$  e independente da intensidade. Essa energia é transferida aos elétrons do catodo, que são postos em oscilação pelo campo elétrico da onda.

No entanto, a equação do efeito fotoelétrico proposta por Einstein não demonstrava a existência dos fótons, apenas podia ser interpretada dessa forma. Após o desenvolvimento da mecânica quântica, ficou claro que a relação de Einstein resultava da quantização da matéria (átomos) e não exigia a quantização da radiação (fótons). Mesmo assim, a teoria de Einstein foi recebida com ceticismo por alguns, incluindo R. A. Millikan, que posteriormente confirmou experimentalmente a validade da teoria de Einstein.

O prêmio Nobel de Física de Einstein em 1921 foi concedido por sua contribuição à teoria do efeito fotoelétrico, um trabalho que desafiou as ideias estabelecidas e ajudou a estabelecer os fundamentos da física quântica. Suas contribuições revolucionaram a compreensão da natureza da luz, da interação entre

luz e matéria e da compreensão do comportamento dual da luz (dualidade onda-partícula).

A questão que se coloca é: como reconciliar esses conceitos tão distintos, o de onda e o de partícula? Durante um período de investigação, os físicos se esforçaram para encontrar uma solução para essa aparente dicotomia. O cientista William Bragg ilustrou essa situação com uma metáfora intrigante, descrevendo-a como se os elétrons se comportassem como partículas em alguns momentos (segundas, quartas e sextas-feiras) e como ondas em outros momentos (terças, quintas e sábados). Nos "domingos", por assim dizer, os físicos provavelmente descansavam de suas tentativas de conciliar esses dois comportamentos aparentemente contraditórios.

## CAPÍTULO 3

# CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS EM NATUREZA DA LUZ: UM RECORTE NA EDUCAÇÃO PÚBLICA PAULISTA

“Em resumo, estamos reafirmando que as ideias espontâneas, consubstanciadas nos erros dos estudantes, não devem de modo algum serem extirpadas sumariamente do repertório dos estudantes (mesmo porque se consideramos válidas as ideias piagetianas sobre aquisição de conhecimento, tal processo nunca ocorrerá), mas deve ser discutida dentro de contextos em que são válidas e em que não o são, fazendo assim com que o ensino seja um processo crítico de construção de conhecimento e deixando portas abertas para o aprendizado das teorias mais modernas.”

**Alberto Villani, Jesuína Pacca & Yassuko Hosoume.**

### 3.1 Introdução

O Ensino das Ciências, em todos os níveis de instrução, pode ser influenciado pelas concepções errôneas que os alunos trazem para a sala de aula. Esses equívocos prévios em relação aos conceitos científicos são chamados de concepções alternativas. Em outras palavras, as concepções alternativas são interpretações errôneas contextualmente, que não são compartilhadas pela comunidade científica.

É possível que essas concepções erradas sejam reforçadas em sala de aula, por exemplo, quando se utilizam metáforas inadequadas na tentativa de relacionar os conceitos científicos com situações do dia a dia. Isso destaca a importância de sensibilizar os professores de Ciências, especialmente os de Física, para que direcionem o ensino no sentido de promover a mudança conceitual em vez de inadvertidamente reforçar essas concepções prévias.

As pesquisas realizadas sobre o ensino de Ciências permitem identificar essas concepções alternativas, revelando o que os alunos pensam em relação aos conceitos científicos, tanto antes como depois da instrução formal. Muitas vezes, essa instrução

não consegue promover nem a mudança conceitual nem a aprendizagem significativa dos conceitos científicos.

As concepções prévias, alternativas ou espontâneas, como são conhecidas, têm sido objeto de interesse para os pesquisadores no campo do ensino de Ciências, especialmente no Ensino de Física. Vários trabalhos de pesquisa se baseiam na coleta e análise dessas informações. Os resultados dessas análises são aplicados a diversos conteúdos de Física e contribuem para aprimorar o ensino na área.

As formas de raciocínio dos alunos revelam uma variedade de concepções espontâneas que fornecem dados valiosos sobre as ideias que podem causar dificuldades na aprendizagem e compreensão dos conceitos científicos. Esses dados podem ser posteriormente utilizados para desenvolver materiais e estratégias de ensino que tornem a aprendizagem mais eficaz e significativa.

Para embasar a construção do presente projeto, foram selecionados artigos que abordam as concepções espontâneas sobre luz em alunos de diferentes idades e culturas, mostrando que os estudantes desenvolvem formas de raciocínio e modelos com representações alternativas para explicar os conceitos físicos.

Essas construções são individuais e resultam de experiências e da construção de significados que fazem parte de suas maneiras de pensar. Muitas vezes, essas ideias estão profundamente enraizadas e são resistentes a mudanças, representando assim obstáculos à aprendizagem.

Além disso, é importante destacar que um desempenho satisfatório em avaliações tradicionais não garante mudanças significativas nas concepções dos alunos. Em muitos casos, os materiais didáticos distribuídos nas escolas e os currículos educacionais não incluem devidamente a óptica, e quando o fazem, geralmente são abordados de maneira inadequada, não correspondendo ao processo de construção do conhecimento científico. Isso ocorre porque ignoram aspectos que os alunos consideram óbvios, mas que são fundamentais para a compreensão dos conceitos científicos.

Ao abordar a Natureza e as Propriedades da Luz em relação ao processo de visão, muitas vezes se fala em imagens, raios e feixes de luz como se esses tópicos não estivessem relacionados ao processo de visão. Isso reforça uma das concepções mais persistentes nesta área: a ideia de raios visuais que partem dos olhos para ver os objetos. A maioria das pesquisas que investigam as concepções prévias sobre luz é conduzida com alunos do Ensino Médio e Superior, e os dados são coletados por

meio de pesquisas clínicas, experimentos práticos, textos e questões abertas, sendo posteriormente analisados qualitativamente por meio da análise de discurso.

Com base nessas considerações, o objetivo deste texto é apresentar as principais concepções alternativas relacionadas aos conceitos de Óptica Geométrica e Óptica Física, conforme identificadas em pesquisas no campo do ensino de Ciências, que envolveram alunos dos níveis fundamental, médio e superior. Isso visa auxiliar no ensino desses conteúdos de Física. Além disso, serão apresentadas de forma resumida as concepções cientificamente aceitas para cada tópico abordado.

### **3.2 Levantamento Bibliográfico: Concepções Alternativas dos Estudantes Sobre a Luz**

O estudo de La Rosa et al (1984) examinou as concepções sobre luz, sombras, espelhos e cores em uma escola de ensino médio, onde foram realizados testes escritos e entrevistas com alunos de 16 e 17 anos para investigar seus conhecimentos. As ideias apresentadas incluíam o conceito de raio visual, a crença de que as cores são propriedades dos objetos e a ideia de reflexão como uma propriedade de certos objetos, como espelhos.

Goldberg & McDermott (1986) analisaram como os estudantes percebiam espelhos planos e fenômenos cotidianos, sugerindo estratégias de ensino com base em suas descobertas. Eles entrevistaram universitários que descreveram a ideia de que a imagem fica sobre a superfície do espelho e que sua posição muda de acordo com o observador.

Sexena (1991) examinou as concepções dos estudantes de uma escola média em relação à formação de sombras, visão, reflexão e cores da luz e dos objetos. Rice e Feher (1987) investigaram como os estudantes compreendiam a propagação da luz e a formação de sombras, inclusive utilizando fontes de luz não convencionais em 1988 para expandir sua pesquisa.

Osborne e Black (1993) analisaram as ideias apresentadas por alunos de 7 a 11 anos sobre a luz e fenômenos relacionados. Gircoreano e Pacca (2001) desenvolveram um curso com base nas concepções espontâneas dos alunos sobre luz e visão, com o objetivo de tornar o ensino da óptica geométrica mais coerente e significativo.

Druzian et al (2007) categorizam um perfil conceitual de luz e visão construído a partir de uma matriz epistemológica para entender melhor como essas concepções alternativas coexistem no perfil conceitual relacionado à luz e visão, desde o ensino fundamental até o superior.

As pesquisas indicam que os estudantes muitas vezes não têm conceitos bem sistematizados em relação à luz. Por exemplo, a ideia de que a luz do farol de um carro durante o dia alcança uma distância maior do que à noite. Além disso, eles não utilizam muitos dos conceitos aceitos pela comunidade científica, independentemente de seu nível de instrução.

Alguns estudantes que já tinham participado de cursos sobre óptica mostraram facilidade em resolver problemas relacionados ao que aprenderam, mas encontraram dificuldades em situações não convencionais. As concepções dos estudantes variam, alguns relacionam luz e olhos, enquanto outros não conseguem fazer essa conexão. Há até mesmo aqueles que acreditam que podem ver sem qualquer fonte de luz, misturando ideias básicas.

La Rosa et al (1984) apresentaram uma questão em seu questionário de concepções prévias em que um feixe de luz entra pela janela e atinge um espelho em uma sala escura, questionando se uma pessoa em frente ao espelho pode se ver. Alguns alunos responderam que era possível ver o espelho, sugerindo uma separação entre visão e luz, possivelmente devido à concepção dos raios visuais, uma ideia defendida por pensadores como Pitágoras e Euclides na Grécia Antiga.

A ciência moderna separou luz e visão, o que representa um desafio para o ensino de física. As pesquisas mostram que existem diferentes concepções sobre a luz, incluindo a ideia de que a luz é uma emanção de uma fonte, uma entidade que ocupa o espaço ou um "banho de luz" em que estamos imersos no dia a dia. Essas concepções são frequentemente baseadas em experiências cotidianas, como a alternância entre luz e escuridão, e a ideia de que a intensidade da luz está relacionada à sua fonte, como o sol e uma vela.

Os conceitos de refração e reflexão muitas vezes são confundidos, e há equívocos sobre lentes e projeção de luz. As cores são frequentemente associadas à qualidade dos objetos e à intensidade da luz, afetando nossa percepção. No entanto, a relação entre luz e temperatura também é mencionada, com a ideia de que dias quentes têm mais luz, e a luz incandescente produz calor. A literatura desempenhou um papel importante na construção do questionário de concepções espontâneas

usado no estudo, destacando a dificuldade em alterar essas concepções alternativas. Em resumo, as pesquisas sugerem que o ensino tradicional de óptica geométrica baseado em raios de luz pode não ser eficaz para explicar fenômenos luminosos e propriedades da luz, e que muitos estudantes mantêm concepções alternativas sobre luz e visão que se baseiam em suas experiências cotidianas.

### **3.3 Concepções alternativas identificadas nas pesquisas**

As pesquisas em Ensino de Física têm identificado as principais concepções alternativas relacionadas à natureza e propagação da luz. O que se destaca é que, independentemente da região, público, cultura e outros fatores, os trabalhos realizados em contextos diversos demonstram interpretações empíricas semelhantes para esses fenômenos. Isso reforça a compreensão de que, apesar das diferenças contextuais, a ciência é capaz de transcender barreiras culturais e geográficas, estabelecendo uma base comum de conhecimento que transcende fronteiras.

Nas pesquisas em Ensino de Física, foram identificadas várias concepções alternativas relacionadas à natureza e propagação da luz. Dentre as principais, destacam-se as seguintes:

- **Visibilidade da Luz:**

Um equívoco comum é a ideia de que a luz pode ser vista independentemente do meio em que está não considerando que ela é refletida em várias direções por partículas suspensas no ar.

- **Reflexão e Refração:**

Muitos alunos têm dificuldade em entender como a imagem reside na superfície do espelho, confundindo esse fenômeno com outros da reflexão.

- **Raios de Lanterna:**

Alguns estudantes erroneamente acreditam que apenas um raio é emitido a partir de cada ponto da fonte luminosa, em vez de compreender que cada ponto emite luz em todas as direções.



- **Natureza da Luz:**

Há uma interpretação errônea de que a luz solar e a luz artificial têm naturezas diferentes, quando, na verdade, ambas são formas de luz natural.

- **Alcance da Luz:**

Alguns alunos pensam que a luz se propaga a uma distância maior no escuro do que em um ambiente claro, o que entra em conflito com o princípio fundamental da conservação de energia na Física.

- **Banho de Luz:**

Existe a concepção de que a luz é como um fluido estático que envolve os objetos e permite que sejam vistos, sem uma relação direta com o observador.

### **3.4 Considerações sobre as Concepções prévias nas pesquisas: elaboração do questionário**

A teoria contemporânea de ensino em Física Moderna e Contemporânea sustenta que o objetivo educacional deve ser a transformação conceitual dos alunos. Isso implica em considerar o conhecimento prévio dos estudantes como ponto de partida e promover atividades que gerem insatisfação, reflexão e dissonância cognitiva. Portanto, um projeto pedagógico eficaz deve seguir os seguintes passos:

1. Iniciar por compreender as concepções espontâneas dos alunos e, posteriormente, identificar as discrepâncias em relação à teoria científica estabelecida.
2. Adotar metodologias ativas, com o protagonismo do aluno e sua participação ativa na ação-reflexão como princípios fundamentais.
3. Criar situações de aprendizado que envolvam conflitos cognitivos, levando em consideração as explicações dos alunos.

4. Promover uma aprendizagem ativa e colaborativa, estimulando a participação conjunta dos estudantes.
5. Distinguir claramente os conceitos dos alunos daqueles aceitos pela comunidade científica.
6. Avaliar a transformação conceitual dos alunos e ajustar o ensino conforme necessário.

O propósito deste projeto é criar materiais educacionais baseados em um plano que permita aos alunos da Educação Básica compreender algumas teorias relacionadas à natureza da luz na Física. Nosso objetivo principal é proporcionar aos estudantes uma compreensão dos conceitos da Física moderna e uma introdução à ciência contemporânea. Para alcançar esse objetivo, desenvolvemos um questionário sobre concepções alternativas, o qual será aplicado na escola onde o projeto de ensino será implementado. Isso nos permitirá identificar e abordar as concepções errôneas dos alunos, contribuindo para uma aprendizagem mais sólida e precisa.

### **3.5 Aplicação do Questionário, Resultados e Análise**

*A priori*, ao criar um questionário - apêndice 1 - destinado a alunos, cujo objetivo era identificar suas concepções espontâneas sobre a natureza da luz e fornecer subsídios para a elaboração de materiais de ensino e estratégias de ensino, algumas das questões deste questionário foram adaptadas de trabalhos anteriores sobre concepções prévias da luz, com destaque para o trabalho de GIRCOREANO e PACCA (2001) e LA ROSA ET AL (1984).

A construção do questionário tinha como finalidade compreender e investigar as concepções dos alunos que participaram de nossa pesquisa, fornecendo entendimentos sobre a luz e a visão, que seriam cruciais para o desenvolvimento posterior dos materiais didáticos. Questionários dessa natureza não são comuns no ensino tradicional, possivelmente devido ao tempo e à complexidade necessários para sua criação e análise, além da dificuldade de integração no processo de ensino-aprendizagem. No entanto, não há dúvida de seu grande potencial para identificar

concepções prévias e permitir que os alunos expressem e tomem consciência dessas concepções.

O questionário que utilizamos consistiu em sete perguntas destinadas a fazer os alunos refletirem sobre questões relacionadas à natureza da luz em situações cotidianas. As questões foram elaboradas por nós e visavam investigar aspectos como a relação entre a fonte de luz, sua intensidade e a distância que ela pode percorrer.

Além disso, buscavam compreender as concepções dos alunos sobre o funcionamento da visão humana e animal, a relação entre a luz, a luz solar e a claridade, o que acontece quando a luz atinge uma superfície, noções sobre cores e a composição da luz branca, bem como a relação entre visão, objetos e refração, entre outros aspectos. O questionário foi conduzido utilizando o Google Formulários, e o link foi enviado aos alunos do terceiro ano da escola onde a pesquisa será realizada. No total, noventa estudantes completaram as respostas.

As concepções encontradas confirmam amplamente o que está documentado em estudos anteriores, essencialmente resumindo-se nas ideias do "banho de luz" e dos "raios visuais", como pode ser observado em pesquisas realizadas por autores como La Rosa et al. (1984), Osborn et al. (1993), Kaminsk (1989) e GIRCOREANO & Pacca (2001).

O conceito de "banho de luz" sugere a percepção de que a luz preenche todo o espaço, iluminando os objetos e tornando-os visíveis ao olho. Nessa perspectiva, não há uma conexão direta entre o olho do observador e a luz que alcança o olho. A luz é concebida como uma entidade estática, imóvel, ao contrário da ideia dos "raios visuais". Por exemplo, a luz do sol auxilia Luísa e João a enxergarem a casinha do cachorro, mas, mesmo sem o sol, ela consegue ver a casinha, desde que esta esteja próxima e o ambiente esteja iluminado.

A concepção dos "raios visuais" implica que o olho desempenha um papel ativo na percepção visual, sugerindo que algo, saindo dos olhos, possibilita a visualização dos objetos. Essa ideia pode variar em detalhes, mas, em sua essência, indica que algo emitido dos olhos possibilitaria a visão dos objetos.

Outro conceito comum é a crença de que as imagens se formam diretamente nas superfícies dos espelhos. Por exemplo, quando olhamos para um espelho, a pergunta que surge é: vemos o reflexo de uma fonte de luz no espelho e também nossa própria imagem? Na perspectiva do aluno, a imagem parece estar presente

diretamente no espelho, e ele acredita que nada precisa atingir seus olhos para que a imagem seja percebida.

Essa explicação faz sentido quando consideramos que, na visão do estudante, a luz não está intrinsecamente ligada à visão. Nesse entendimento, o olhar simplesmente encontra a imagem refletida no espelho. As cores são percebidas como propriedades intrínsecas dos objetos (La Rosa, 1984). Isso ocorre apenas quando há luz presente.

Em um ambiente escuro, por exemplo, a visão é comprometida, e apenas objetos brancos são visíveis. Às vezes, a cor de um objeto pode parecer diferente dependendo da quantidade de luz, mas, nesse caso, a luz não é vista como um fator que afeta a percepção, uma vez que o aluno se acostuma com o ambiente. Além disso, alguns alunos acreditam que objetos de cores claras podem ser vistos independentemente da presença de luz.

Essas são apenas algumas das ideias apresentadas que constituem os modelos de pensamento espontâneo. Esses modelos são profundamente enraizados, resistentes a mudanças e alinhados com o conhecimento cotidiano, muitas vezes reforçados pelo processo de ensino tradicional.

Para desafiar esses modelos de pensamento espontâneo, desenvolvemos uma sequência de atividades que formam a base de um plano educacional destinado a ensinar as leis da reflexão e refração, a formação de imagens com espelhos e lentes, bem como os princípios da óptica geométrica.

Durante o curso, abordamos os seguintes aspectos: o modelo de propagação da luz e o processo de visão, incluindo o funcionamento e a função do olho do observador, bem como os objetos que afetam a propagação da luz, com ênfase nos desvios na trajetória da luz, em vez de estudar objetos ópticos específicos.

## CAPÍTULO 4

# TRANSPosição DIDÁTICA

### 4.1 Introdução

O conceito de "Transposição Didática", conforme delineado por Chevallard (1991), encontra suas raízes nas pesquisas do sociólogo francês Michel Verret, no âmbito de sua tese de doutorado intitulada "*Le temps des études*" de 1975. A posteriori, o didata francês Yves Chevallard expandiu e aprofundou esse conceito em sua obra "*La Transposition Didactique*", que representa uma versão ampliada da primeira edição francesa lançada em 1985.

Na segunda edição de 1991, Chevallard não somente atualizou o conteúdo original, mas também incorporou um estudo de caso colaborativo com Marie-Alberte Joshua, intitulado "Um exemplo de análise de transposição didática". Esse estudo investiga a transformação de um corpo de conhecimento inicialmente concebido como adequado para o ensino, passando por uma série de adaptações e metamorfoses necessárias para integrá-lo ao currículo escolar. Esse processo de tradução do conhecimento científico em conhecimento acessível aos professores e compreensível pelos alunos é o cerne da "transposição didática" (CHEVALLARD, 1991).

Essa abordagem representa uma ferramenta fundamental para tornar o conhecimento científico relevante e ajustado às capacidades cognitivas dos estudantes, englobando uma análise criteriosa, seleção meticulosa e conexão coerente do conhecimento científico, ao mesmo tempo que lhe confere pertinência e valor, visando sua adaptação eficaz às habilidades de aprendizado dos alunos.

Levando nosso recorte para os conhecimentos abordados nas aulas de Física de uma escola pública e compará-los com as pesquisas desenvolvidas por cientistas, é perceptível que existem certas semelhanças entre ambas. Todavia, é notório que muitos dos conceitos encontrados em artigos científicos não são incorporados à Educação Básica, nem mesmo são abordados nos livros didáticos utilizados em cursos de graduação nas universidades. Da mesma forma, ensinados nas aulas de Física não têm equivalente na pesquisa científica, como, por exemplo, a associação

de resistores. Portanto, fica evidente que o conhecimento passa por um processo de transformação e adaptação desde sua origem até sua implementação na sala de aula.

## 4.2 Processo da Transposição Didática

Todo conhecimento tem suas raízes em uma comunidade específica, ou seja, surge de uma fonte de produção nos grandes centros de pesquisa. Cada área de pesquisa tem suas particularidades determinadas pela história de trabalho da comunidade que se especializa na produção de conhecimento sobre os aspectos do mundo físico.

Quando examinamos a Física ministrada nas salas de aula, percebemos que ela difere substancialmente daquela originalmente desenvolvida pelos cientistas. Portanto, podemos observar que a Física ensinada aos jovens não é a mesma produzida pelos cientistas, mas sim uma versão "transformada" para se adequar ao ambiente escolar.

Diferentemente de outras áreas, os jovens não leem diretamente obras como "*Opticks*" de Newton ou o "*Traité de la lumière*" de Huygens para estudar a Óptica. Seria impraticável e pouco eficaz utilizar esses livros, uma vez que foram elaborados para um público específico, ou seja, outros cientistas com formação especializada. Essas obras fazem parte do debate na comunidade científica de sua época e servem como referência para um determinado campo de conhecimento. No contexto educacional, Newton e Huygens podem ser citados nas aulas de Física, todavia não se espera que os detalhes de suas contribuições originais sejam parte do conteúdo didático.

O mesmo se aplica aos artigos de Física teórica e experimental publicados atualmente, certamente, essas publicações não podem ser usadas como referência para na educação básica, uma vez que envolvem linguagem específica, cálculos diferenciais e gráficos que são utilizados pela comunidade científica para comunicar suas pesquisas, tornando-os obstáculos quase intransponíveis para adolescentes.

Por conseguinte, o conhecimento sofre uma adaptação para ser apresentado aos alunos do Ensino Médio, tornando-se acessível a pessoas que não fazem parte da comunidade científica específica. Essa adaptação envolve uma mudança na linguagem, tornando-a mais apropriada ao ambiente escolar. Essa adaptação é necessária porque, em média, ensinamos a Física do século XVI ao XIX em apenas

duas aulas por semana nas escolas. Portanto, é essencial ajustar o conhecimento à realidade da sala de aula.

A adaptação do conhecimento leva em consideração vários fatores que influenciam a aprendizagem, buscando tornar o conhecimento mais acessível. Nesta, são considerados os interesses da comunidade escolar e a necessidade de tornar o conhecimento mais relevante para os alunos, para além das competências, habilidades e o currículo exigido que orientam a escola dos nossos conteúdos.

Dessa forma, o conhecimento é transformado em sua sequência, em sua linguagem, e é usado para criar exercícios, problemas e atividades que visam facilitar o ensino. Conscientizar o professor sobre essa transformação do conhecimento pode ajudá-lo a compreender melhor as sequências didáticas e a dinâmica entre professor, aluno e conhecimento. Isso pode melhorar o ensino e a aprendizagem dos conteúdos de Física. O professor deve entender que a sequência didática utilizada nos livros e em suas aulas não é única, pois depende de várias variáveis do ambiente em que o conhecimento foi adaptado.

A escola desempenha um papel fundamental na sociedade, pois é responsável por transmitir o conhecimento produzido pela humanidade. Para cumprir esse papel, a escola precisa adaptar o conhecimento aos jovens, fazendo a transição do conhecimento. Nela ocorrem as transformações do conhecimento, desde sua fonte original, que é o conhecimento produzido pelos cientistas, até o conhecimento que é aprendido nas aulas, tornando-o mais acessível a uma parte da população. A escola orienta o que será ensinado e como será feito.

No ambiente escolar, o conhecimento científico, conhecido como "saber sábio" (ou seja, o conhecimento produzido pelos cientistas), é apresentado na forma de conteúdo escolar ou conhecimento científico escolar. Esse conteúdo escolar não é o conhecimento sábio original, ou seja, não é apresentado da mesma forma que é publicado pelos cientistas. Também não é simplesmente uma simplificação desse conhecimento. O conteúdo escolar é um objeto didático que passa por uma série de transformações.

As transformações que ocorrem no conhecimento, desde sua origem nas comunidades científicas até chegar aos alunos nas salas de aula, podem ser analisadas por meio da Transposição Didática. A Transposição Didática é uma ferramenta de análise que permite compreender os processos complexos envolvidos na construção dos conteúdos escolares. (ALVES FILHO, 2001)

A Transposição Didática pressupõe a existência de três níveis de conhecimento: o Saber Sábio (produzido pelos cientistas), o Saber a Ensinar (incluído nos documentos e currículo que orientam a educação) e o Saber Ensinado (efetivamente ensinado aos alunos). Cada um desses níveis possui sua própria comunidade com representantes ou grupos. A Noosfera conecta esses níveis e representa a esfera de ação em que os protagonistas atuam na transformação do conhecimento. Nessa esfera, ocorrem negociações, debates e conflitos entre os vários atores das diferentes esferas sociais que influenciam as transformações do conhecimento.

A Noosfera abrange o sistema educacional, tornando-se a dimensão onde são discutidos os problemas e as soluções pelos principais representantes do sistema. Ela envolve todos os agentes do sistema de ensino, como autores de livros, políticos educacionais, pesquisadores em educação, professores, pais de alunos, especialistas em disciplinas e outros interessados no processo educacional.

Portanto, a Noosfera é o centro operacional do processo de Transposição Didática, onde se busca definir currículos, adaptar o conhecimento e resolver conflitos para atender às necessidades da sociedade. Ela é responsável por guiar o processo de transformação do conhecimento, tornando-o adequado ao contexto escolar e ao projeto educacional.

### **4.3 Etapas da Transposição Didática**

#### **4.3.1 Saber Sábio**

O Saber Sábio representa o conhecimento original, sendo a referência primordial no processo de Transposição Didática. Este nível de conhecimento é gerado dentro da comunidade científica e passa por uma série de transformações antes de se tornar público por meio de publicações em revistas específicas das comunidades científicas, como os artigos das revistas científicas, sendo objeto de debates, revisões e controvérsias. Antes da publicação, é possível acompanhar o processo de construção específico da área científica em questão. Uma vez publicado, o conhecimento é depurado e apresentado em uma linguagem impessoal, que não reflete as nuances da sua criação.



Este patamar de conhecimento é composto pelos indivíduos responsáveis por sua construção e desenvolvimento dentro das comunidades de pesquisa, ou seja, pelos cientistas e pesquisadores em geral. É considerado o conhecimento primordial a partir do qual todo o processo de Transposição Didática se inicia.

A construção de novo conhecimento por um cientista geralmente começa com a busca por uma resposta ou solução para um problema específico. Durante essa busca, o cientista percorre caminhos em seus pensamentos que não são documentados em seus artigos, devido à informalidade e subjetividade inerentes ao processo de pensamento humano.

O contexto da descoberta, no qual o cientista procura respostas pessoais para um problema, mas para formalizar sua solução, ele precisa abandonar a informalidade e a emoção, realizando análises e julgamentos objetivos da solução encontrada. Isso ocorre para que seu trabalho seja aceito pela comunidade científica. Dessa forma, o trabalho é moldado de acordo com as normas e a linguagem específica da comunidade científica, em um processo chamado de contexto da justificação.

Ao final, o trabalho assume uma forma impessoal, sistemática, com uma estrutura lógica clara, deixando de expor os conflitos ocorridos no contexto da descoberta. Desde a fase da descoberta até a publicação do trabalho, observamos dois momentos distintos no processo total. Entre esses dois momentos, ocorre um processo de revisão racional que remove elementos emocionais e processuais, enfatizando a coerência lógica e a neutralidade de sentimentos. Nesse ponto, podemos falar de uma transposição, não didática, mas científica, caracterizada pela despersonalização e reformulação do conhecimento. (Alves Filho, 2001)

O tempo também desempenha um papel importante nesse processo de construção do Saber Sábio, embora seja frequentemente subestimado. Em muitos casos, leva-se muito tempo para encontrar uma solução para um problema e ainda mais tempo para que essa solução seja aceita pela comunidade científica. Nos estudos da natureza da luz, por exemplo, há vários exemplos em que foi necessário esperar tanto pelo desenvolvimento de uma solução teórica quanto pela confirmação experimental das previsões teóricas.

### 4.3.2 Saber a Ensinar

Este é o segundo estágio do conhecimento, que ocorre durante sua primeira transposição. O processo de transformação do Saber Sábido em Saber a Ensinar é conhecido como "Transposição Didática Externa". Esse estágio se materializa principalmente na produção de livros didáticos, manuais de ensino e programas escolares destinados a estudantes universitários e professores da Educação Básica. (CHEVALLARD, 1991)

Embora os livros didáticos se destinem aos alunos do Ensino Básico, na realidade, o professor é o principal responsável por apresentar o conhecimento contido neles. Nesta fase, o conhecimento é reestruturado para uma linguagem mais acessível, sendo reestruturado e reorganizado de maneira lógica e atemporal, ou seja, organizado de maneira linear, sem seguir a ordem cronológica das descobertas científicas, e às vezes incorporando conceitos modernos ao conhecimento mais antigo.

A priori, pode parecer que a transformação do conhecimento neste estágio é apenas uma simplificação, deixando de lado os interesses sociais, políticos e econômicos da comunidade, que estão incorporados no projeto educacional dela.

Os autores de livros didáticos, os especialistas em disciplinas, os professores e a opinião pública em geral, influenciados pelo poder político que afeta de alguma forma a transformação do conhecimento, são exemplos dos atores envolvidos nesta etapa do conhecimento. Este grupo determina quais transformações devem ocorrer e o que deve ser transformado do Saber Sábido em Saber a Ensinar, criando um novo conhecimento que está mais alinhado com o contexto escolar.

Durante o processo de transformação em Saber a Ensinar, o conhecimento sofre uma espécie de degradação ou descontextualização, resultando na perda de seu contexto original, em um processo que Chevallard chama de despersonalização. O conhecimento passa por uma espécie de desconstrução para depois ser reconstruído, permitindo uma nova estruturação e organização.

Assim, o conhecimento adquire uma configuração dogmática, ordenada, cumulativa e, de certa forma, linearizada, tornando-se um conhecimento com uma sequência lógica. Nesse processo, ele perde o contexto de sua origem e adquire um novo contexto. Outra função do Saber a Ensinar é fazer com que o conhecimento perca qualquer ligação com o ambiente epistemológico em que foi criado, por meio de

um processo chamado de dessincronização, sendo reconstruído em um novo contexto epistemológico.

Os processos de despersonalização, dessincronização e descontextualização aos quais o conhecimento é submetido fazem com que ele seja desprovido de seu contexto epistemológico, histórico e de linguagem própria. Como Saber a Ensinar, o conhecimento adota uma nova forma, uma organização atemporal, um novo nicho epistemológico e uma validade dogmatizada.

No Saber a Ensinar, é comum encontrar situações ou termos que não estão presentes no Saber Sábido devido à necessidade de racionalizar as sequências didáticas criadas a partir do conhecimento de referência.

Ao contrário do Saber Sábido, que após ser legitimado pela comunidade científica se torna parte da cultura humana, o Saber a Ensinar e seus objetos podem não sobreviver até o final do processo de Transposição Didática, tornando-se obsoletos no contexto educacional ou perdendo sua relevância no contexto sociocultural. Isso ocorre devido à pressão de grupos da noosfera e é parte de um esforço contínuo para melhorar o ensino e aumentar a aprendizagem.

#### **4.3.3 Saber Ensinado**

Esta etapa representa a segunda transposição do conhecimento, na qual ocorre uma adaptação do saber para a realidade do ensino, ou seja, é neste estágio que o conhecimento é transformado visando a sequência das aulas. Durante essa transformação do conhecimento para a sala de aula, o professor desempenha um papel central, sendo o principal responsável por tornar o conhecimento presente nos livros didáticos (Saber a Ensinar) acessível aos alunos.

No entanto, ele não atua sozinho, uma vez que os alunos, a gestão escolar e os documentos orientadores do governo também desempenham papéis importantes nesse estágio na esfera da Noosfera. Este processo de transformação do Saber a Ensinar em Saber Ensinado é referido como Transposição Didática Interna pois ocorre dentro do contexto escolar. (CHEVALLARD, 1991)

O Saber Ensinado é, de fato, o conhecimento que chega aos alunos após passar por dois estágios de adaptação: primeiro, através da Transposição Externa, que transforma o conhecimento original produzido pelo cientista em um conhecimento com uma linguagem mais apropriada - o Saber a Ensinar; segundo a Transposição Interna,

realizada pelo professor ao planejar suas aulas, que modifica esse conhecimento para torná-lo mais compreensível aos alunos - o Saber Ensinar.

Durante essa transformação, o professor pode ser influenciado por outros membros da Noosfera devido à interação que ocorre entre eles. Isso resulta em consideração de interesses além dos próprios interesses do professor, criando um ambiente epistemológico, embora seja mais instável em comparação com o Saber Sábio e o Saber a Ensinar.

No início de cada ano letivo, os professores são solicitados a planejar o que pretendem ensinar em uma turma específica, levando em consideração o número de aulas disponíveis, é responsabilidade do professor gerenciar esse tempo de forma a cumprir o que foi estabelecido no início do ano letivo. Portanto, o professor deve alinhar o tempo real com o tempo didático. Nesse ponto, o processo de ensino-aprendizagem desempenha um papel crucial, pois é aqui que ocorre a conexão entre o tempo real e o tempo didático.

O tempo real representa o tempo utilizado por diversos membros da Noosfera para produzir um conhecimento. Já o tempo didático é estritamente definido no ambiente escolar, destinado ao planejamento e organização do programa escolar. É nesse ponto que a Transposição Didática se torna necessária, justificando seu papel na adaptação dos conhecimentos para se adequar da melhor maneira possível ao contexto escolar.

Portanto, o Saber Ensinar, quando aprendido pelos alunos, cria um novo período de tempo, o "tempo de aprendizagem". Chevallard afirma que não há uma correspondência direta entre o tempo de aprendizagem e o tempo didático, já que os alunos podem ter tempos de aprendizagem diferentes do tempo didático. Sendo assim, a Transposição Interna desempenha um papel importante ao garantir que a diferença entre esses dois tempos seja minimizada.

#### **4.4 A conservação do saber**

Como ferramenta de análise, a Transposição Didática desempenha o papel de rastrear a jornada do conhecimento, desde sua origem (Saber Sábio) até seu destino na sala de aula (Saber Ensinado), com a Noosfera encarregada de selecionar quais conhecimentos do Saber Sábio serão transformados para se adequar à linguagem escolar.

No entanto, para que um conhecimento alcance o professor, ele primeira precisa passar pelo estágio de Saber a Ensinar. Nesse contexto, Chevallard identifica alguns indícios de características relevantes que o conhecimento deve possuir para permanecer nesse estágio. (BROCKINGTON, 2005)

Essas características incluem:

**Consensualidade:** O conhecimento que chega à sala de aula deve ser amplamente aceito como "verdadeiro", mesmo que essa verdade seja temporária. Isso garante que o professor não tenha receio de ensinar algo que a própria ciência ainda não tenha consolidado como verdade, e que os alunos não fiquem em dúvida quanto à correção do que estão aprendendo. Em outras palavras, o sistema educacional deve ser capaz de distinguir o que os alunos devem aprender daquilo que a ciência ainda não compreende totalmente.

**Atualização:** O conhecimento transposto para a escola deve refletir o estado atual da pesquisa na área. Isso envolve a atualidade moral, relacionada ao currículo, para garantir que o conhecimento seja considerado relevante pela sociedade e pelos pais, evitando que se torne obsoleto e possa ser ensinado em outros contextos. Também envolve atualidade biológica, ligada diretamente à área de conhecimento, garantindo que o conhecimento esteja alinhado com a ciência contemporânea, sem se prender a conceitos ultrapassados.

**Operacionalidade:** O conhecimento destinado à sala de aula deve ser capaz de gerar atividades práticas, como exercícios, tarefas ou trabalhos, que contribuam para a compreensão do conhecimento e permitam a criação de sequências didáticas. Essa característica está intimamente relacionada à avaliação, pois conhecimentos que não podem ser aplicados em atividades práticas têm pouca utilidade na escola.

**Criatividade Didática:** O conhecimento deve permitir a criação de atividades exclusivas para a escola, ou seja, atividades que não possuem equivalentes no Saber Sábido. Essas atividades são criações específicas da sala de aula e não encontram paralelo direto no conhecimento original, incentivando abordagens criativas e exclusivas para o ensino.

**Terapêutica:** O conhecimento deve ser adaptável ao sistema educacional, ou seja, deve demonstrar sua eficácia dentro das características destacadas. Conhecimentos que não se encaixam no sistema educacional são excluídos, enquanto aqueles que se ajustam são mantidos.

(BROCKINGTON, 2005)

Em resumo, a análise da Transposição Didática envolve identificar essas características para determinar quais conhecimentos são adequados para serem ensinados na sala de aula e como devem ser adaptados para se tornarem parte eficaz do processo educacional, porém devemos sempre estar atentos em respeitar as regras:

**I - Modernizar o saber escolar;**

**II - Atualizar o saber escolar;**

**III - Articular o saber novo com o antigo;**

**IV - Transformar um saber em exercícios e problemas;**

**V - Tornar um conceito mais compreensivo.**

(SIQUEIRA, 2006)

#### **4.5 O Professor de Física, a Transposição Didática e a abordagem da Natureza da Luz no Ensino Médio**

O papel do professor é fundamental quando se trata da introdução de um tema específico, o que não é diferente ao abordarmos os tópicos da Física Moderna e Contemporânea. Portanto, para proporcionar aos alunos a compreensão das verdades da física moderna e contemporânea por meio de fenômenos naturais da luz, seguimos algumas etapas:

- **Compreensão das Teorias e Fenômenos que abordam a Natureza da luz na Física:**

Para ensinar eficazmente no Ensino Básico, é fundamental possuir um conhecimento sólido dos fenômenos e teorias que se pretende abordar. Isso requer uma base de conhecimento robusta e uma compreensão profunda dos

princípios subjacentes a fim de transmitir o conteúdo de forma clara e acessível aos alunos.

- **Adaptação Curricular:**

A inclusão de conhecimentos específicos no currículo escolar requer uma adaptação cuidadosa do plano de estudos. Devemos nos preocupar em selecionar os conceitos mais pertinentes e acessíveis aos alunos de acordo com a faixa etária e nível de conhecimento. Isso pode envolver a escolha de tópicos relevantes, a definição de objetivos de aprendizado claros e a organização do conteúdo de maneira eficaz.

- **Transposição Didática:**

A transposição didática é crucial. O professor precisa traduzir conceitos complexos das teorias em linguagem acessível e exemplos práticos para facilitar a compreensão dos alunos. Isso pode incluir o uso de demonstrações, experimentos e simulações para tornar os conceitos mais tangíveis.

- **Relevância e Contextualização:**

É importante destacar a relevância das teorias para os alunos, mostrando como esses conceitos têm aplicações práticas no mundo real. Isso pode envolver a demonstração de como as teorias são fundamentais para avanços tecnológicos, aplicações industriais ou compreensão da natureza.

- **Desenvolvimento de Habilidades Críticas:**

A introdução de teorias complexas pode ajudar os alunos a desenvolver habilidades críticas, como pensamento crítico, resolução de problemas e raciocínio lógico. Isso ocorre porque essas teorias frequentemente desafiam as intuições comuns e incentivam os alunos a questionar e explorar os princípios fundamentais da física.

- **Avaliação:**

O professor deve criar métodos de avaliação adequados para medir a compreensão dos alunos em relação a essas teorias. A avaliação contínua permite ajustar a abordagem de ensino e garantir que os alunos alcancem os objetivos de aprendizado.

Por fim, pensamos que ensinar alguns fenômenos da óptica através das teorias que abordam a natureza da luz na Física moderna na Educação Básica é um incentivo a preparação dos alunos para um mundo cada vez mais tecnológico e cientificamente avançado. O professor tem um papel crucial para tornar esses conceitos acessíveis e inspirar os alunos a explorar as fascinantes descobertas relacionadas à Física, seja ela Clássica, Moderna ou Contemporânea. Para além, este tipo de abordagem pode contribuir para a formação de alunos que estejam interessados em Ciências



## CAPÍTULO 5

# ELABORAÇÃO DO CURSO: AS ENIGMÁTICAS TEORIAS DA LUZ

“A luz das estrelas fixas é da mesma natureza que a luz do Sol.”

**Isaac Newton**

### 5.1 Introdução

Durante décadas, as pesquisas no campo do Ensino de Física têm debatido e enfatizado a necessidade de incorporar os conteúdos da Física Moderna e Contemporânea ao currículo do Ensino Médio. Isso visa estreitar a conexão entre a ciência praticada nos centros de pesquisa de ponta e o que é ensinado nas salas de aula, proporcionando aos alunos uma compreensão mais ampla e aplicada dos conceitos que estudam em seu cotidiano. No entanto, para alcançar esse objetivo, é fundamental que haja professores dispostos a desenvolver, implementar e compreender profundamente os fundamentos da Física Avançada.

Assim, o Ensino de Física na Educação Básica deixará de se limitar exclusivamente à Física Clássica, embora seja reconhecido que essa base clássica seja fundamental para o entendimento e desenvolvimento de toda a física. Hoje, compreendemos que a ciência está em constante evolução, impulsionada pelo avanço tecnológico. Nesse contexto, foi elaborada uma sequência de ensino estruturada em um projeto que incorpora teorias fundamentais da física que abordam fenômenos naturais relacionados à luz. Esse enfoque tem como objetivo aproximar os alunos de uma compreensão mais atualizada da Física e sua aplicação prática.

O conhecimento relacionado às teorias que exploram a natureza da luz passa por uma série de transformações e adaptações antes de ser introduzido na sala de aula. É necessário realizar uma reestruturação do conhecimento científico para torná-lo adequado para o ambiente escolar. No entanto, essa reestruturação não deve distanciar muito o conhecimento original. Caso contrário, ele não será reconhecido pela comunidade que desenvolveu as teorias de referência, que é o ponto de partida do processo de adaptação. Por outro lado, também não pode estar muito próximo

desse conhecimento de referência, pois se tornaria excessivamente avançado e pouco compreensível para os alunos.

Portanto, não se pode esperar que os conceitos relacionados à natureza da luz, que serão abordados nesta proposta, sejam exatamente idênticos aos tratados na comunidade científica. Eles conservarão certas características, mas passarão por adaptações para torná-los mais acessíveis aos jovens, ao mesmo tempo em que são reconhecíveis pelos cientistas que contribuíram para o desenvolvimento dessas teorias e que são validadas pela comunidade científica.

Assim, foi necessário determinar o que poderia ser ensinado na sala de aula sobre as teorias que exploram a natureza da luz, uma área com muitos conceitos complexos, frequentemente acompanhados por tratamentos avançados de matemática, que estão interconectados e formam uma estrutura sólida no campo da óptica e da física da luz.

Nesse contexto, o foco foi direcionado para os principais objetivos do curso: apresentar aos alunos de uma escola pública uma compreensão mais aprofundada de fenômenos da luz e das implicações dessa compreensão, não apenas para o conhecimento físico, mas também para uma visão de mundo mais ampla. Portanto, o material elaborado procurou abordar os aspectos da Física Moderna, incluindo a dualidade onda-partícula e algumas aplicações da óptica.

Além disso, foi tomado o cuidado de traduzir um conhecimento altamente estruturado em linguagem matemática sofisticada para uma linguagem puramente conceitual, sem perder seu valor como conhecimento físico, e sem se tornar simplesmente informativo.

Considerando todos esses aspectos, juntamente com as pesquisas em ensino de Física, materiais de divulgação, livros e propostas didáticas disponíveis sobre o assunto, foi possível criar uma primeira versão do curso. Durante o processo, buscamos abordar conceitos essenciais relacionados à natureza da luz e relacioná-los a experimentos que seriam possíveis em sala de aula, além disso demos ênfase à não limitação das discussões apenas aos conteúdos formais da Ciência na elaboração dessa sequência.

## 5.2 Atividades, Conteúdo, Professor e Sala de Aula

No contexto das teorias que exploram a natureza da luz, é fundamental reconhecer o papel central desempenhado pelas atividades didáticas. Nesse cenário, elas conferem dinamismo ao processo de ensino, ao mesmo tempo que estimulam a reflexão e a compreensão dos conceitos. Essas atividades assumem a importante função de motivar a participação ativa dos alunos e fomentar discussões em sala de aula.

A criação das atividades se mostrou um desafio significativo no desenvolvimento do curso, dada a complexidade e o caráter pouco explorado das teorias relacionadas à natureza da luz no contexto educacional. Muitas vezes, a realização de experimentos práticos envolvendo a luz requer recursos financeiros substanciais e equipamentos sofisticados, dificultando sua implementação em ambiente escolar. No entanto, por meio de pesquisa teórica e colaboração com outros educadores, foi possível adaptar e conceber atividades que tornaram o curso mais envolvente e acessível aos estudantes.

Além de seu papel em dinamizar o curso, as atividades serviram como referências cruciais para a análise e a estruturação do programa. Elas funcionaram como marcadores estruturais, permitindo avaliar a coerência, a lógica e a compreensibilidade da sequência didática para os alunos, bem como a eficácia na transmissão do conteúdo. Essas atividades estimularam discussões mais profundas e reflexões acerca dos conceitos abordados, desempenhando um papel essencial na promoção do pensamento crítico.

As atividades elaboradas foram projetadas com a finalidade de instigar discussões significativas e/ou apresentar novos conceitos aos alunos. Seu propósito era desafiar o conteúdo, incentivando os estudantes a explorar conceitos relacionados à luz, formular hipóteses e buscar soluções para os problemas apresentados.

Portanto, as atividades relacionadas às teorias da luz desempenharam um papel crucial no desenvolvimento do curso, contribuindo para a compreensão mais profunda dos conceitos e promovendo a participação ativa dos alunos. Elas também serviram como base estrutural para a sequência didática, demonstrando a importância de abordar as teorias da luz de maneira prática e envolvente no contexto educacional.

### 5.3 O Curso

Para a elaboração do curso, a priori, a partir do estudo teórico dos fenômenos ópticos e das teorias que abordam a natureza da luz na física, foram estabelecidas sete etapas com base em investigações realizadas por cientistas e amplamente documentadas na literatura de física. Cada um desses fenômenos luminosos representa um aspecto singular do comportamento da luz, seja esta compreendida como partícula e ou como onda. Nesse contexto, espera-se que os alunos se envolvam em reflexões profundas sobre esses conceitos ao longo da execução do curso.

O objetivo fundamental deste curso é conduzir os alunos a debaterem esses fenômenos e, conseqüentemente, desenvolverem uma compreensão mais sólida da luz, seja como partícula, seja como onda, e, além disso, compreender a complexa dualidade onda-partícula. Além disso, busca-se inculcar nos alunos a apreciação pelo processo de desenvolvimento científico, enfatizando que os cientistas não estão isentos de erros e que a capacidade de refutar e revisar o conhecimento é inerente à ciência. Portanto, a rejeição de uma ideia não a torna necessariamente incorreta, mas sim parte do método científico.

Assim, este projeto tem o propósito de demonstrar de forma clara que a ciência é uma construção contínua, sempre em evolução, e que não existe verdade absoluta. Ao longo do curso, os alunos serão guiados na exploração dos fenômenos luminosos, conduzindo discussões profundas sobre a natureza da luz, que pode se manifestar tanto como partícula quanto como onda, ou mesmo como uma interação complexa entre ambas as características. Para além disso, os alunos terão a oportunidade de observar experimentos contemporâneos, permitindo-lhes concluir que, até o presente momento, a natureza exata da luz permanece envolta em mistério e sujeita a descobertas e revisões constantes.

Por conseguinte, os alunos terão a oportunidade de explorar e entender conceitos da Física Moderna e Contemporânea e isso os capacitará não apenas a compreender os fundamentos dos fenômenos luminosos, mas também a situar esses conhecimentos no contexto mais amplo da física atual, destacando a constante evolução do campo e a importância de uma abordagem crítica e questionadora no processo de aprendizado científico.

Dessa forma, esperamos que os alunos saiam deste curso não apenas com um entendimento aprofundado da luz, mas também com uma apreciação mais ampla da Física, preparando-os para um futuro de aprendizado contínuo e descobertas científicas.

O curso foi intitulado "As Enigmáticas Teorias da Luz", e as etapas do curso foram planejadas, a priori, com base nos fenômenos que a serem abordados:

- 1. Reflexão e Refração.**
- 2. Reflexão.**
- 3. Interferência.**
- 4. Interferência e Difração.**
- 5. Difração.**
- 6. Dualidade Onda-Partícula.**
- 7. Interação entre Luz e Matéria.**

*A posteriori*, foram definidos quais experimentos serviriam de alicerce para cada uma dessas discussões. Em outras palavras, cada etapa do curso foi estruturada de forma que emergisse a partir da análise de um experimento específico, cuidadosamente selecionado para ilustrar os princípios fundamentais dos fenômenos de reflexão e refração. Nesse contexto, os alunos, juntamente com o professor, conduzirão a realização dos experimentos ou assistirão às suas demonstrações. O professor, por sua vez, atuará como mediador, facilitando as discussões envolvendo todos os participantes do curso.

Esses experimentos desempenharão um papel crucial no processo de aprendizado, permitindo que os alunos observem diretamente os fenômenos ópticos em ação e relacionem suas observações aos conceitos teóricos discutidos. À medida que os alunos exploram e analisam os resultados desses experimentos, eles estarão mais aptos a compreender a relação entre o fenômeno observado e a teoria que o fundamenta. E assim definimos as etapas e os experimentos a serem abordados

## Etapa 1: Apresentação do projeto e primeiros passos

Ao iniciar o curso, o professor enfatizará aos alunos a importância das aulas que estão prestes a cursar. Ele explicará que essas aulas contribuirão significativamente para o seu projeto de pesquisa, que é essencial para a conclusão de seu mestrado. Portanto, é crucial que os alunos participem ativamente, discutindo cada etapa e se expressando livremente.

O professor enfatizará que todas as perguntas são válidas, e não há dúvidas tolas. Na verdade, quanto mais os alunos participarem e questionarem, melhor será para o professor, pois essas interações serão fundamentais na coleta de dados e análise dos discursos, que posteriormente serão apresentados na forma de uma dissertação. Em seguida, será explicado aos alunos que eles estão prestes a embarcar em um curso que abordará diversos fenômenos relacionados à luz. Isso será feito por meio da visualização de experimentos e discussões teóricas.

Logo após cada aluno receberá uma folha impressa com o esquema a seguir sendo orientado para:

Os alunos colarão um pedaço de papel a cada semana no espaço reservado e irá expor à luz solar. Semanalmente, antes do início das aulas, o professor trará o papel para o grupo de alunos adicionar um novo pedaço de papel de seda ao lado do anterior. Ao final do projeto, a análise dos resultados desse experimento será realizada. A posteriori será realizado o experimento.

Projeto	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5
<p>As Enigmáticas Teorias da Luz</p> <p>Instruções:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Seu papel deve ficar exposto ao Sol durante toda aplicação do curso;</li> <li>• A cada aula, pegue o seu pedacinho e papel e cole no seu Experimento;</li> <li>• É importante identificá-lo, ao final ele será usado.</li> </ul> <p>Grupo de Pesquisa:</p> <hr/> <hr/> <hr/> <hr/>					

## **Experimento 1: Reflexão da luz do laser no aquário.**

### **Materiais Necessários:**

- Um aquário transparente e preenchido com água.
- Uma fonte de luz, como uma lanterna ou uma fonte de luz direcional.
- Um objeto ou figura tridimensional que será colocado dentro do aquário.
- Um papel branco ou uma tela posicionada atrás do aquário para melhorar a visualização.

### **Procedimento:**

Coloque o aquário em uma superfície plana e posicione-o de modo que a fonte de luz possa ser direcionada para ele.

Escolha um objeto ou figura tridimensional para ser colocado dentro do aquário, de preferência algo com superfícies reflexivas.

Acenda a fonte de luz e direcione o feixe de luz para dentro do aquário de modo que ele incida em um ângulo em relação à superfície da água.

Observe a reflexão da luz na superfície da água e nas superfícies do objeto ou figura tridimensional.

Você pode ajustar o ângulo da fonte de luz para observar como a reflexão varia.

### **Fenômenos possíveis a serem abordados:**

**Reflexão da Luz:** O fenômeno principal estudado é a reflexão da luz na superfície da água do aquário e nas superfícies do objeto ou figura tridimensional. Isso demonstra como a luz pode ser refletida quando encontra uma superfície.

**Ângulo de Incidência e Ângulo de Reflexão:** Os alunos podem explorar como o ângulo de incidência da luz em relação à superfície da água afeta o ângulo de reflexão. Isso ilustra as leis da reflexão da luz.

**Reflexões Múltiplas:** Dependendo da posição do objeto no aquário e do ângulo da fonte de luz, os alunos podem observar reflexões múltiplas, o que é um exemplo interessante de como a luz se comporta em meios diferentes.

**Reflexões Internas Totais:** Se o ângulo de incidência da luz for suficientemente grande, os alunos podem até observar reflexões internas totais na superfície da água, um conceito fundamental na óptica que ocorre quando a luz não é refratada para fora do meio, mas sim refletida internamente.

**Lei de Snell-Descartes:** Este experimento também pode ser usado para introduzir a Lei de Snell-Descartes, que descreve a relação entre os ângulos de incidência e refração da luz quando ela passa de um meio para outro.

O experimento oferece uma oportunidade prática para os alunos explorarem conceitos de óptica e refletirem sobre como a luz se comporta quando encontra diferentes meios e superfícies.

### **Etapa 2: A luz que faz curva.**

A segunda etapa consiste na discussão do experimento da "Luz que Faz Curva" realizado com uma garrafa PET.

#### **Materiais Necessários:**

- Uma garrafa PET vazia e limpa.
- Água.
- Uma fonte de luz, como uma lanterna ou uma fonte de luz direcional.

#### **Procedimento:**

1. Faça um pequeno furo na parte inferior da garrafa PET.
2. Encha a garrafa com água até que ela esteja quase cheia.
3. Posicione a garrafa de modo que o furo esteja na parte superior e o laser possa ser inserido no furo, permitindo que o feixe de luz entre na água.
4. Ligue a fonte de luz a laser e direcione o feixe de luz para o interior da garrafa PET através do furo.

Observe o comportamento da luz dentro da garrafa com água.



**Fenômenos possíveis a serem abordados:**

**Reflexão Total da Luz:** O fenômeno principal estudado neste experimento é a reflexão total da luz. Quando o feixe de luz entra na água a partir do ar sob um ângulo específico (ângulo crítico), ele não sai da água, mas é refletido internamente nas superfícies da água e da garrafa. Isso cria um efeito de reflexão total, em que a luz permanece dentro da garrafa PET.

**Aplicação Prática:** O experimento ilustra um conceito importante na óptica e tem aplicação prática em fibras ópticas e em dispositivos como endoscópios, onde a luz é refletida internamente para transmitir imagens.

**Condições para Reflexão Total:** Os alunos podem explorar as condições necessárias para que ocorra a reflexão total da luz, incluindo o ângulo de incidência e a diferença de índice de refração entre os meios.

Este experimento permite que os alunos visualizem diretamente a reflexão total da luz e compreendam os princípios ópticos que a governam. É uma maneira envolvente de ensinar sobre reflexão total e as aplicações dessa propriedade da luz.

**Etapa 3: A dupla fenda de Young**

O experimento da dupla fenda de Young é um experimento clássico que demonstra o fenômeno de interferência de ondas luminosas. Ele será realizado com um pente fino, um laser pontual e um papel branco para projetar os padrões de interferência. Aqui está uma descrição dessa etapa do experimento:

**Materiais Necessários:**

- Um laser pontual.
- Um pente fino.
- Um papel branco.

**Procedimento:**

1. Coloque o pente fino na frente do laser, de modo que as duas fendas estejam alinhadas com o feixe de luz. Certifique-se de que as fendas estejam muito próximas uma da outra.
2. Posicione o papel branco a uma certa distância das fendas, de modo que o feixe de luz que passa pelo pente fino atinja o papel.
3. Observe o padrão de interferência formado no papel branco.

**Fenômenos possíveis a serem abordados:**

**Interferência de Ondas Luminosas:** O experimento demonstra claramente o fenômeno de interferência de ondas luminosas. Quando a luz passa pelas duas fendas do pente fino, ela se comporta como uma onda e forma padrões de interferência no papel branco.

**Padrão de Interferência:** O padrão resultante é uma série de faixas alternadas de luz e escuridão, conhecido como padrão de interferência de Young. Isso ocorre devido à superposição de ondas luminosas que saem das duas fendas.

**Diferença de Percursos:** Os alunos podem explorar como a diferença de percursos percorridos pela luz a partir das duas fendas afeta o padrão de interferência. Isso ajuda a compreender a formação das franjas de interferência.

**Comprovação da Natureza Ondulatória da Luz:** O experimento é uma evidência sólida da natureza ondulatória da luz, uma vez que a interferência luminosa só pode ser explicada considerando as propriedades das ondas.

O experimento da dupla fenda de Young é um clássico na óptica e fornece uma maneira prática e visualmente impactante de ensinar sobre o comportamento ondulatório da luz e fenômenos de interferência. Os alunos podem ver diretamente como as ondas de luz se superpõem e criam padrões de luz e escuridão.

#### **Etapa 4: Anéis de Newton.**

A criação de anéis de Newton com um laser pontual e duas lentes.

#### **Materiais Necessários:**

- Uma fonte de luz laser pontual.
- Duas lentes convergentes de diferentes distâncias focais.
- Uma placa de vidro limpa e transparente.

#### **Procedimento:**

1. Coloque a placa de vidro em uma superfície plana e limpa.
2. Posicione a primeira lente convergente sobre a placa de vidro, de modo que fique firmemente fixada.
3. Direcione o feixe de luz laser pontual para passar pela primeira lente e atingir a placa de vidro.
4. Coloque a segunda lente convergente acima da placa de vidro, de forma que ela também fique firmemente fixada.
5. Observe a formação dos anéis de Newton na região onde a segunda lente toca a placa de vidro.

#### **Fenômenos possíveis a serem abordados:**

**Interferência Luminosa:** O principal fenômeno observado neste experimento é a interferência luminosa. A luz que passa pela primeira lente e atinge a placa de vidro forma um padrão de interferência luminosa. Quando essa luz incide na segunda lente, ocorre uma interferência construtiva e destrutiva, criando anéis alternados de luz e escuridão.

**Padrão de Anéis de Newton:** Os anéis de Newton são uma série de anéis concêntricos alternados de luz e escuridão. Esses anéis são um exemplo clássico de interferência luminosa e podem ser usados para calcular as diferenças de espessura entre a placa de vidro e a lente.

**Comprimento de Onda da Luz:** A distância entre os anéis de Newton está relacionada ao comprimento de onda da luz utilizada no experimento. Isso permite aos alunos explorar a relação entre os anéis e as propriedades da luz.

### **Etapa 5: Experimento do Efeito Fotoelétrico com Lâmpada Incandescente e de Vapor de Mercúrio.**

Esse experimento é uma demonstração clássica do efeito fotoelétrico e como a radiação ultravioleta pode liberar elétrons de uma superfície. Aqui está uma descrição mais detalhada desse experimento:

#### **Materiais Necessários:**

- Um eletroscópio (um dispositivo que pode detectar a presença de cargas elétricas).
- Um canudo.
- Papel toalha.
- Uma lâmpada incandescente.
- Uma lâmpada de vapor de mercúrio (que emite radiação ultravioleta).

#### **Procedimento:**

1. Corte um pequeno pedaço de papel toalha e fixe-o em uma extremidade do canudo.
2. Eletrize o canudo com o papel toalha, esfregando-o em um pano ou pele.
3. Posicione o canudo eletrizado próximo ao eletroscópio, sem tocá-lo, de modo que o canudo eletrizado induza uma carga oposta no eletroscópio, fazendo com que suas folhas se afastem.

#### **Procedimento Experimental:**

1. Ligue a lâmpada incandescente próxima ao eletroscópio. Observe que nada acontece, pois a lâmpada incandescente emite luz visível, mas não produz radiação ultravioleta em quantidade significativa.

2. Em seguida, ligue a lâmpada de vapor de mercúrio próxima ao eletroscópio. A lâmpada de vapor de mercúrio emite radiação ultravioleta em quantidade significativa.

**Fenômeno possível a serem observado:**

**Comportamento de Partícula:** Quando a lâmpada de vapor de mercúrio emite radiação ultravioleta sobre o eletroscópio, ela dispara elétrons da superfície do eletroscópio. Esses elétrons são partículas carregadas que se comportam como partículas individuais, já que são liberados em quantidades discretas, um elétron de cada vez.

**Comportamento de Onda:** Agora, considere a radiação ultravioleta emitida pela lâmpada de vapor de mercúrio. A luz, incluindo a radiação ultravioleta, também possui propriedades de onda. Isso significa que a luz viaja na forma de ondas e tem características de comprimento de onda e frequência.

**Efeito Fotoelétrico;**

**Frequência e Energia;**

**Relação com a Dualidade.**

**Etapa 6: Discussão do resultado experimental do padrão dos papéis de seda, interação da luz com a matéria.**

Por fim, os alunos terão o papel que receberam na primeira semana completo, ou seja, com cinco pedaços de papel de seda e cada um foi exposto ao sol durante determinado tempo. O primeiro ficou 5 semanas exposto, o segundo 4 e assim por diante, logo cada um estará com uma nova cor.

Possíveis interpretações e abordagens:

**Absorção de Luz:** Quando a luz solar incide sobre o papel de seda, ocorre a interação entre a luz e a matéria. Parte da luz é absorvida pelo papel de seda, enquanto outra parte é refletida ou transmitida através dele.

**Absorção Seletiva:** O papel de seda é geralmente branco ou possui uma cor clara. A cor do papel é determinada pelos pigmentos presentes na tinta. Cada pigmento tem a capacidade de absorver luz de comprimentos de onda específicos. Por exemplo, pigmentos vermelhos absorvem principalmente luz nas regiões do espectro visível correspondentes à cor verde e azul.

**Fotodegradação dos Pigmentos:** À medida que o papel de seda é exposto à luz solar, ocorre a fotodegradação dos pigmentos na tinta. A luz solar fornece energia suficiente para quebrar as ligações químicas nas moléculas dos pigmentos. Conforme essas ligações são quebradas, a capacidade dos pigmentos de absorver luz em suas frequências características diminui.

**Perda de Cor:** À medida que os pigmentos perdem a capacidade de absorver luz em comprimentos de onda específicos, a cor do papel de seda começa a desaparecer. Isso é visível como uma mudança na cor do papel de seda. Os pigmentos que originalmente conferiam cor ao papel se tornam menos eficazes, resultando em uma aparência mais clara.

**Variação na Intensidade da Cor:** A variação na intensidade da cor entre os diferentes pedaços de papel de seda expostos durante diferentes períodos de tempo demonstra a relação direta entre a intensidade da luz solar e a fotodegradação dos pigmentos. O papel exposto por mais tempo sofre uma degradação mais significativa de seus pigmentos, resultando em uma aparência mais clara.

Portanto, esse experimento ilustra como a interação da luz com a matéria pode causar a fotodegradação de pigmentos, levando à mudança na cor do papel de seda. Isso demonstra como a luz pode afetar a composição química dos materiais e, conseqüentemente, sua aparência e propriedades. Além disso, destaca a importância da absorção seletiva de luz pelos pigmentos na determinação da cor dos objetos.

## **Etapa 7: Aula de Fechamento: Compreendendo a Natureza da Luz**

### **Objetivos:**

- Recapitular os principais conceitos discutidos durante o curso.
- Explorar a dualidade onda-partícula da luz.
- Demonstrar como a ciência é desenvolvida e que nenhum conhecimento é absoluto.
- Destacar a complexidade da natureza da luz.
- Apresentar aplicações atuais relacionadas à pesquisa da luz.

### **Discussões planejadas:**

#### **1. Revisão dos Conceitos-Chave:**

Começar a aula lembrando os conceitos-chave discutidos durante o curso, como reflexão, refração, interferência, difração e a dualidade onda-partícula, pedindo aos alunos para compartilhem o que aprenderam e esclarecerem eventuais dúvidas no processo.

#### **2. Dualidade Onda-Partícula:**

Discutir o conceito de dualidade onda-partícula da luz. Explicar como a luz pode se comportar tanto como onda quanto como partícula, dependendo das circunstâncias experimentais, usando exemplos do curso, como o experimento do efeito fotoelétrico, para ilustrar esse fenômeno.

#### **3. O Desenvolvimento da Ciência:**

Explorar o processo de desenvolvimento da ciência, destacando que a ciência está em desenvolvimento contínuo e que as teorias estão sempre sujeitas a revisão. Apresentando exemplos históricos de teorias que foram revisadas ou substituídas ao longo do tempo.

#### **4. A Natureza Incompletamente Compreendida da Luz:**

Falar sobre como a natureza da luz ainda não foi completamente elucidada, mencionando que as pesquisas em Física relacionadas à Natureza da Luz estão em andamento, destacando grandes grupos de pesquisa pelo mundo.

### **5. Aplicações Atuais:**

Apresentar exemplos de aplicações modernas da pesquisa sobre a luz. Isso pode incluir tecnologias como a fibra óptica, lasers, comunicações quânticas e pesquisas sobre energias renováveis.

Discuta como a compreensão da luz como partícula e onda contribui para essas aplicações.

### **6. Discussão e Reflexão:**

Abrir o espaço para perguntas e discussões dos alunos sobre os tópicos abordados. Incentivando-os a refletir sobre como essa compreensão da luz afeta nosso mundo e a pesquisa científica.

### **7. Encerramento:**

Resumo dos pontos-chave da aula, destacando a importância de continuar explorando e questionando o mundo ao nosso redor e incentivar os alunos a manterem seu interesse pela ciência e pela natureza da luz.



## CAPÍTULO 6

# ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

### 6.1 Introdução

A atualização dos currículos de Física para o Ensino Médio e a necessidade de inovar as práticas de ensino para incorporar novos conteúdos são temas cruciais nas pesquisas em Educação, especialmente no campo da Pesquisa em Ensino de Física. Muitos estudos têm se concentrado na viabilidade de modernizar os currículos do Ensino Médio, incluindo a introdução de conteúdos relacionados à Física Moderna e Contemporânea.

No entanto, essas pesquisas frequentemente se limitam a explorar questões como "por que essa modernização é necessária" e "se é viável implementá-la", negligenciando a questão essencial de "como efetivamente concretizá-la". O objetivo deste estudo é contribuir para a área de pesquisa que se dedica precisamente ao "como fazer".

Nesse contexto, desenvolvemos um conjunto de materiais de ensino estruturados em etapas, como parte de um projeto que aborda diversos tópicos relacionados aos fenômenos e teorias que envolvem a natureza da luz na física. Todos esses tópicos serão explorados por meio de experimentos práticos, cuidadosamente selecionados para serem acessíveis em um ambiente de escola pública estadual.

Acreditamos que, ao concluir este estudo, seremos capazes de responder à seguinte pergunta:

**Como podemos oportunizar aos alunos de uma Escola Pública Estadual uma compreensão eficaz dos tópicos que fazem parte da Física Moderna e Contemporânea?**

Para assegurar uma análise abrangente dos dados que serão coletados neste estudo, optamos por adotar uma metodologia amplamente reconhecida na literatura acadêmica, a Transposição Didática. Essa abordagem fornece uma estrutura sólida

para a coleta e interpretação dos dados, permitindo-nos explorar várias perspectivas e promover a qualidade do processo de pesquisa, especialmente no contexto qualitativo com participantes.

## **6.2 Método da Pesquisa: Abordagem Qualitativa**

A pesquisa é construída a partir do confronto de dados, das informações e evidências tomadas sobre um assunto específico ao qual o pesquisador tem um certo conhecimento teórico a respeito. É importante destacar que a pesquisa, como uma atividade humana e social, incorpora diversos valores, preferências, interesses e princípios que orientam o pesquisador de acordo com a sua época. (CHIZZOTTI, 2018)

Durante muito tempo, acreditou-se que a pesquisa em Educação poderia seguir os modelos das Ciências Exatas, onde era possível isolar uma variável e analisar sua influência em um fenômeno específico. Todavia, na área da educação e nas ciências humanas em geral, essa abordagem não é aplicável. Os objetos de análise são complexos e, entre outros desafios, não podem ser tratados de forma generalizada.

Na maioria dos casos, as variáveis estão interconectadas, impossibilitando a análise isolada de uma parte do fenômeno, pois essa parte perde suas características fora do contexto completo; em outras palavras, a parte, sem o todo, não é parte.

Assim, a sua visão do mundo, os pontos de partida, os fundamentos para a compreensão e explicação desse mundo influenciarão a maneira como ele propõe suas pesquisas ou, em outras palavras, os pressupostos que orientam seu pensamento vão também nortear sua abordagem de pesquisa. (Lüdke & Andre, 1986, p.3)

Na pesquisa em educação, é mais comum a multiplicidade de variáveis agindo e interagindo simultaneamente do que a ação de uma única variável dependente. Tentar isolar uma dessas variáveis resulta na redução do foco do estudo a apenas uma parte do fenômeno, por conseguinte a realização de estudos analíticos podem levar a simplificação demasiada visto a complexidade do fenômeno educacional. (LÜDKE & ANDRE, 1986)

Todavia, ao longo do desenvolvimento da pesquisa nessa área, o paradigma positivista foi gradualmente abandonado. Assim, a pesquisa em educação passou por

uma reformulação, criando uma abordagem alternativa para coletar e analisar dados que levasse em consideração a natureza dinâmica e complexa da educação. Essa abordagem é conhecida como pesquisa qualitativa.

Assim sendo, optou-se no presente projeto a abordagem de uma pesquisa qualitativa, a fim de que ela possa conceder uma compreensão mais profunda do fenômeno educacional. Acreditamos também que esse tipo de pesquisa pode levar a resultados mais significativos do que uma pesquisa quantitativa, uma vez que estamos lidando com um ambiente complexo.

O sistema educacional (aluno, professor e conhecimento), juntamente com as interações entre seres humanos e conhecimento, é altamente complexo e não pode ser analisado de forma quantitativa. Na pesquisa qualitativa, o papel do pesquisador não é considerado neutro. Enquanto está ativo, ele não pode ser imparcial, pois suas ideias, valores e princípios influenciam os processos de coleta e análise de dados.

O pesquisador age como um mediador ativo entre seu conhecimento acumulado na área e as novas evidências que surgem de sua pesquisa. É por meio desse trabalho que o pesquisador contribui com novos conhecimentos sobre o objeto de estudo. No entanto, essa contribuição pode refletir a perspectiva pessoal do pesquisador, uma vez que ele não consegue ser totalmente neutro em relação ao assunto, o que contrasta com a pesquisa quantitativa.

Logo o pesquisador qualitativo se distingue do pesquisador quantitativo, neste trabalho, utilizaremos elementos da pesquisa qualitativa para obter dados que analisem o processo pelo qual o conhecimento é estabelecido em sala de aula, com foco na estrutura dos conteúdos escolares. Desenvolvemos materiais de ensino modelados em etapas de projeto e a implementamos em uma sala de aula de uma escola pública estadual em São Paulo, com o objetivo de obter dados significativos do ambiente real da sala de aula.

Construímos nossa abordagem de análise com base na Teoria da Transposição Didática, que já demonstrou ser eficaz na compreensão da transferência do conhecimento escolar em sala de aula. Vamos avaliar se esse novo conteúdo se mantém no sistema educacional, seguindo as diretrizes sugeridas pela Teoria da Transposição Didática, sendo assim ocorre a possibilidade de influência em futuras práticas pedagógicas de professores que estão na mesma “posição”.

Devido às características da pesquisa, que envolve a introdução de conhecimentos contemporâneos em sala de aula, optamos por utilizar a Teoria da

Transposição Didática como ferramenta de análise. A metodologia adotada é qualitativa e se baseia nas concepções da Transposição Didática.

Acreditamos que essa abordagem nos permitirá realizar uma análise mais aprofundada e abrangente do processo de transformação do conhecimento, fornecendo uma visão mais ampla da sequência didática e das atividades envolvidas.

É importante ressaltar que a Teoria da Transposição Didática, como referencial de análise, não busca fazer julgamentos de valor sobre o conteúdo em si, classificando-o como bom ou ruim. Seu objetivo é avaliar se o novo conhecimento pode ser eficazmente incorporado ao ambiente escolar.

A abordagem de conteúdos “não comuns” em sala de aula deve ter a Teoria da Transposição Didática como indispensável, pois ela torna possível que um saber seja compreendido por um aluno do Ensino Médio, ou seja, torna um saber ensinável, por conseguinte, conseguimos ver uma solução no ensino de conteúdos do saber especializado, transformando os objetos de conhecimento em objetos de ensino objetivando e facilitando a ocorrência do processo de ensino-aprendizagem.

É importante ressaltar que nossa análise se concentra exclusivamente na sequência didática. Portanto, aspectos como aprendizado e o papel do professor na entrega desse conteúdo foram excluídos da análise. No entanto, esses fatores foram considerados durante a implementação e adaptação do conhecimento e das atividades, pois o aprendizado do aluno pode influenciar modificações nas abordagens e discussões do curso.

Em resumo, nossa pesquisa representa uma exploração de um território conhecido, o sistema educacional, mas com uma perspectiva única e uma apropriação de conhecimento próprio. Através de nossas investigações, apresentaremos novas informações sobre esse ambiente, contribuindo para uma compreensão mais detalhada do objeto de estudo. Somente por meio desse processo podemos aprimorar nosso conhecimento sobre o ambiente educacional investigado.

### **6.3 Contexto da Pesquisa**

A pesquisa foi conduzida em uma Escola Pública Estadual Paulista chamada Escola Estadual Martim Francisco, situada na Vila Nova Conceição. Esta instituição oferece ensino para o Fundamental II (do 6º ao 9º ano) e Ensino Médio. O corpo discente da escola é composto por uma diversidade de alunos, incluindo aqueles de

classe média baixa/alta que não têm recursos para frequentar escolas particulares do bairro, devido aos custos elevados, bem como filhos de funcionários locais, como zeladores e secretárias do lar, entre outros.

Além disso, a escola também acolhe alguns estudantes provenientes de bairros periféricos, como Paraisópolis e Real Parque. A pesquisa foi realizada no âmbito de um programa governamental denominado Inova Educação, cujo objetivo principal é introduzir atividades inovadoras na escola, alinhadas com as aptidões dos alunos e contribuir para o desenvolvimento social, cultural, intelectual e emocional dos estudantes.

O programa Inova Educação busca auxiliar os alunos a alcançar seu pleno potencial e promover uma escola mais conectada com os estudantes, incentivando o desenvolvimento de habilidades cognitivas, como memória e pensamento crítico e lógico, além de habilidades socioemocionais, como responsabilidade, determinação, persistência, curiosidade e confiança.

Para alcançar esses objetivos, foram definidas algumas premissas, como o aumento da carga horária e do tempo na escola, o ajuste na duração das aulas, a capacitação dos professores, a disponibilização de materiais de apoio e a inclusão de novas disciplinas no currículo, que incluem:

**Projeto de Vida:** Esta disciplina oferece atividades e oficinas que ajudam os alunos a planejar seu futuro na escola e na vida. Isso envolve o desenvolvimento da gestão do tempo pessoal, organização pessoal, comprometimento com a comunidade e perspectivas para o futuro.

**Tecnologia:** Nessa disciplina, os alunos aprendem na prática como usar e criar tecnologias para desenvolver seus próprios projetos.

**Disciplinas Eletivas:** Os estudantes têm a oportunidade de escolher, a cada semestre, quais disciplinas eletivas desejam cursar, com base nas opções oferecidas pela escola.

O Projeto de Pesquisa será implementado na disciplina Eletiva, a qual é ministrada de acordo com a especialidade do professor responsável, sem orientações específicas sobre o conteúdo a ser abordado. Portanto, cabe ao professor propor o

projeto que deseja desenvolver, e os alunos escolhem qual disciplina eletiva cursar no semestre. Vale ressaltar que, com a pandemia, houve uma mudança na dinâmica, e os alunos agora precisam cursar a disciplina eletiva oferecida pelo professor de sua turma, ao invés de terem disciplinas eletivas comuns a diversas turmas, como era o caso anteriormente.

#### **6.4 Instrumento de Tomada de Dados**

A priori, o curso "As Enigmáticas Teorias da Luz" desempenha um papel central como instrumento de tomada de dados da nossa pesquisa qualitativa, por conseguinte espera-se que através da aplicação do curso consiga-se desenvolver o ensino de fenômenos ligados a natureza da luz e as teorias que os regem possibilidade a compreensão das veracidades da Física Moderna e Contemporânea.

O curso, elaborado em seis etapas, inicia-se com experimentos específicos que dão conta do fenômeno luminoso a ser abordado. Durante o curso, os alunos são guiados a explorar a luz sob a perspectiva de partícula e onda, bem como a dualidade onda-partícula. Além disso, são introduzidos ao dinâmico processo de desenvolvimento científico e à importância da falseabilidade das teorias científicas.

A coleta de dados qualitativos será conduzida por meio de diversas abordagens. As observações em sala de aula registrarão as interações dos alunos, suas perguntas e discussões. Gravações de áudio e vídeo serão usadas para capturar detalhes das aulas, assim como as reações dos alunos, juntamente com a análise de documentos, como anotações e relatórios de experimentos produzidos pelos alunos, será utilizada para examinar a evolução de seu pensamento.

A análise dos dados seguirá os princípios da pesquisa qualitativa, identificando padrões emergentes, temas recorrentes e diferenças individuais nas respostas dos alunos. Avaliamos como o curso influenciou sua compreensão das Teorias da Luz, bem como seu pensamento crítico e percepção sobre a Natureza da Ciência.

A utilização do curso "As Enigmáticas Teorias da Luz" como instrumento de coleta de dados possibilita uma avaliação na promoção da compreensão da Física Moderna em sala de aula.

## **Concepções alternativas: Primeiro Questionário**

O questionário de concepções prévias, desenvolvido como parte da pesquisa, foi administrado a noventa estudantes, com o propósito de fornecer um ponto de referência para nossa investigação. Além disso, esse questionário foi aplicado aos alunos que participaram do curso, a fim de avaliar suas concepções prévias sobre a natureza da luz. Isso nos permitiu não apenas entender melhor o conhecimento prévio dos alunos sobre os tópicos a serem abordados, mas também identificar as áreas em que tinham conhecimento correto ou incorreto. Essa informação foi crucial para o planejamento dos experimentos, uma vez que as abordagens e as etapas do curso poderiam variar significativamente com base nas concepções prévias dos alunos. Portanto, a primeira etapa do curso consistiu na administração desse questionário.

## **Primeiras observações: gravações**

A posteriori, as gravações das aulas se tornaram a principal fonte de dados para nossa pesquisa, pois a partir delas originam-se os discursos que serão analisados. Além disso, durante a realização do curso, o professor tinha acesso a duas câmeras que registravam as interações dos alunos na sala de aula, proporcionando a capacidade de capturar suas reações.

Adicionalmente, o professor mantinha um caderno para registrar todas as reações dos alunos, com o objetivo de posteriormente cruzar essas informações com os dados de áudio e vídeo. Essa abordagem tinha como finalidade registrar as impressões dos alunos em relação ao material do curso, às atividades propostas e ao conteúdo ministrado durante as aulas. Dessa forma, buscamos documentar suas participações nas discussões, suas conjecturas durante as atividades e qualquer confusão que pudesse surgir em relação a certos conceitos em sala de aula.

Durante o processo do curso, foi fundamental manter um registro detalhado das observações e interações. Isso ajudou a capturar uma imagem completa e precisa do cenário estudado. Primeiramente, foi importante descrever os sujeitos envolvidos, isso inclui não apenas sua aparência física, mas também seus maneirismos, estilo de vestir, forma de falar e comportamento geral, destacando os aspectos e particularidades da turma.

Além disso, é crucial reconstruir diálogos. Registre todas as interações verbais e não verbais entre os sujeitos e entre eles e o pesquisador. Utilize as próprias palavras das pessoas sempre que possível, pois citações diretas são extremamente úteis para a análise e interpretação dos dados.

A descrição do ambiente onde as observações ocorreram desempenhou um papel crucial, abrangendo detalhes como a disposição dos móveis, o layout do espaço e a apresentação visual de elementos como quadros, cartazes e materiais de sala de aula.

A análise das atividades gerais e do comportamento dos alunos desempenhou um papel fundamental na identificação de padrões. Isso foi viabilizado por meio das anotações, juntamente com os registros em áudio e vídeo. Além disso, foi de igual importância observar as atitudes, ações e conversas entre os alunos, o que permitiu a realização de reflexões críticas sobre o processo, destacando os momentos de aprendizagem de cada conteúdo nos estudos, temas emergentes e novas ideias que surgiram.

Posteriormente, é imperativo registrar quaisquer dilemas éticos e conflitos, especialmente quando surgem questões relacionadas ao relacionamento com os informantes, onde podem ocorrer conflitos entre a responsabilidade profissional do pesquisador e seu compromisso com os sujeitos.

É fundamental fazer anotações que acompanhem as mudanças na perspectiva do observador ao longo do estudo, incluindo expectativas, opiniões, preconceitos e conjecturas iniciais, bem como a evolução dessas percepções. Por fim, as anotações devem incluir pontos que necessitam de esclarecimento, aspectos que parecem gerar confusão, reações que requerem explicitação e elementos que demandam uma exploração mais aprofundada.

### **O papel do Professor-Pesquisador na Educação Básica**

O professor da Educação Básica é fundamental na transformação do ensino, já que ele coloca em prática o conhecimento resultante das pesquisas acadêmicas. No entanto, muitas vezes, os professores de ensino básico são excluídos do processo de pesquisa em educação, o que impede a implementação de melhorias e práticas inovadoras na sala de aula.



A pesquisa em ensino de ciências visa identificar desafios, criar novas abordagens e estratégias de ensino, e avaliar sua eficácia. No entanto, seu impacto real só ocorre quando essas descobertas são aplicadas na sala de aula, destacando o papel fundamental do professor nesse processo.

O projeto foi desenvolvido em colaboração entre a orientadora, pesquisadora em Ensino de Ciências, e o orientando, que é professor em uma escola onde a sequência didática foi implementada. Essa experiência permitiu identificar os caminhos que o conhecimento poderia seguir e criar etapas de um projeto adaptado à realidade de uma escola pública.

A transposição didática e a criação das etapas levaram em consideração a adaptação ao currículo exigido, os custos dos experimentos e a facilidade de replicação em uma sala de aula de escola pública. Embora o projeto tenha sido realizado em um laboratório, ele pode ser facilmente implementado em uma sala de aula.

A constante interação com a escola proporcionou percepções diárias, permitindo a análise e correlação entre a teoria das pesquisas e a realidade da escola. Cada escola enfrenta desafios únicos, e o professor pôde identificar as necessidades específicas dos alunos que participaram do curso.

O professor, ao conhecer profundamente a escola e os alunos, conduziu uma avaliação contínua e refinou sua prática docente com base nas informações da escola, dos alunos e das reuniões do grupo de pesquisa. O objetivo é compartilhar essas experiências e contribuir para a formação de outros professores.

Esperamos que outros professores que vivenciam o cotidiano da sala de aula se sintam inspirados a contribuir para sua própria formação e para a pesquisa em ensino de ciências, beneficiando tanto os alunos quanto as escolas. Em resumo, seu papel como professor e pesquisador em uma escola pública é vital para ligar a pesquisa em ensino de ciências à prática, melhorando a educação de seus alunos e promovendo avanços no campo do ensino de ciências.

## 6.5 Instrumento de Análise dos Dados

O instrumento de análise de dados foi concebido a partir da abordagem da Transposição Didática, com ênfase na aplicação de marcadores em cada etapa do curso. Isso visava compreender a aplicabilidade do projeto em relação ao tema central, que é a Natureza da Luz, e explorar os efeitos desse tema no contexto do curso.

A ideia de "marcador" foi inicialmente introduzida por Brockington (2005) ao analisar uma sequência didática relacionada ao comportamento dual da luz. Essa metodologia de análise foi desenvolvida por ele como parte de sua pesquisa sobre como abordar temas da Física Moderna e Contemporânea em uma escola básica.

Nossa análise será conduzida à luz da Transposição Didática, tomando como base a concepção de marcadores proposta por Brockington (2005). Isso fornecerá uma base sólida para a análise do curso e nos ajudará a identificar características do conhecimento transmitido. Seguindo a abordagem de Brockington, também verificaremos se os marcadores criados atendem às cinco regras da transposição didática.

A abordagem que adotamos parece ser apropriada para analisar as sequências didáticas que estruturam propostas de cursos. Assim como Brockington, consideramos que os marcadores são essenciais para definir trajetórias no campo da exploração e destacar o papel de algumas atividades no curso. Por conseguinte, os marcadores serão essenciais para descrevermos as etapas de execução do curso e sua importância.

Para além, utilizaremos a ideia de Maxwell (2006) que apoiado na ideia dos marcadores construiu os Marcadores-Estruturantes, no qual conseguimos definir quais seriam os conceitos ligados a cada etapa do curso, conceito este que é fomentado pela discussão de um experimento inalterado, ou seja, definido a priori e não pode mudar, no entanto as atividades a posteriori pode ser mutáveis, pois funciona como uma parte flexível e adaptável do curso.

Portanto, nosso curso é composto por atividades-estruturantes, consideradas essenciais para sua estrutura, bem como por outras atividades que abordam diversas dimensões da sala de aula, como operacionalização e avaliação. A combinação dessas atividades estruturantes e das demais confere solidez, confiabilidade e integridade ao curso.

Em resumo, buscamos identificar os principais marcadores-estruturantes como os conhecimentos fundamentais necessários para estabelecer conexões entre os elementos do nosso curso, servindo como pontos de convergência para a construção do conhecimento.

# CAPÍTULO 7

## TOMADA DOS DADOS

### 7.1 Descrição do ambiente e da sala de aplicação

Como previamente mencionado, a implementação do projeto ocorreu na Escola Estadual Martim Francisco. Após a escolha da escola, foi selecionado o local para ministrar o curso aos alunos. Optamos pelo laboratório de Ciências da escola, que anteriormente era utilizado como depósito. A diretora conseguiu fundos para reformá-lo e transformá-lo em um laboratório funcional.

O ambiente em questão é equipado com uma grande mesa central feita de cimento, revestida com azulejos. Ao redor da mesa, há bancadas de cimento com armários. O laboratório também está equipado com um projetor para uso do professor durante as aulas, um quadro de giz e materiais experimentais. Os alunos se acomodam em banquetas ao redor da mesa central, o que facilita o processo de ensino, especialmente em cursos que envolvem experimentos demonstrativos.

O espaço é espaçoso e possui dois ventiladores, porém faz um pouco de calor. Durante a realização dos experimentos, não era possível escurecer a sala completamente, pois as persianas das janelas não eram adequadas. No entanto, conseguimos realizar as atividades experimentais com sucesso e observar os fenômenos de acordo com o experimento proposto.

### 7.2 Tentativas e Lições Aprendidas: a real “validação” do material de ensino

Desde o início do projeto, realizamos reuniões semanais com o objetivo de discutir o curso em relação à sala de aula e, principalmente, à Transposição Didática dos temas que desejávamos abordar no Ensino Básico, com o propósito de introduzir a Física Moderna em uma sala de aula de uma escola pública paulista.

Após definirmos a sequência de tópicos e a abordagem de cada um por meio de experimentos específicos, discutimos com o grupo de pesquisa e a orientadora que o curso seria integrado à disciplina eletiva da escola. É importante destacar que o

pesquisador estava em constante contato com a escola e também era professor dessa disciplina.

Inicialmente, durante a pandemia, decidimos iniciar a aplicação do curso como parte da coleta de dados para nossa pesquisa. No entanto, essa abordagem enfrentou desafios. Na época, os alunos frequentavam a escola em dias alternados, o que exigia duas aplicações para cobrir toda a turma, e havia um número limitado de alunos presentes.

Conseqüentemente, a aplicação não estava sendo bem-sucedida. Decidimos interrompê-la temporariamente para revisar os experimentos e seu funcionamento. Por exemplo, mudamos o local de um experimento de reflexão para um aquário, onde os alunos poderiam visualizá-lo com mais clareza, já que era uma experiência demonstrativa, ao contrário da proveta em que inicialmente realizamos.

Decidimos também evitar experimentos simulados, e usarmos recursos, como o laboratório didático de Física, para o empréstimo de experimentos. Com o tempo, obtivemos acesso a esses recursos e decidimos emprestar experimentos como os anéis de Newton e o Efeito Fotoelétrico.

No ano de 2022, o governo alterou o formato das aulas eletivas para online, e percebemos que a aplicação online do nosso curso seria desafiadora, pois exigiria adaptações significativas. Além disso, não havia obrigação para os alunos participarem das aulas online, o que tornava difícil garantir a participação.

Aguardamos até o ano atual, 2023, quando as aulas eletivas voltaram a ser presenciais. No entanto, já não éramos os professores responsáveis pelas aulas eletivas, mas um colega de trabalho desenvolveu um projeto de eletiva para o primeiro ano do ensino médio, que incluía nossas aulas.

Começamos a aplicar a sequência com uma turma de primeiro ano, porém enfrentamos problemas, como a falta de água na escola e a realização da prova paulista, o que nos impediu de "concluir" o curso. Tivemos duas opções: continuar com aquela turma, mesmo que de forma não produtiva, ou buscar um ambiente mais adequado para nossa aplicação.

Decidimos abordar a diretora da escola e formamos uma turma com alunos interessados nos temas, principalmente alunos do terceiro ano que estavam se preparando para o vestibular, reunindo alunos de diferentes salas. Realizamos a aplicação com mais eficiência, mas compreendemos que todo esse processo fazia parte do amadurecimento tanto do pesquisador quanto do curso.

Cada aluno desempenhou um papel importante no processo de pesquisa. Cada dia em que o professor enfrenta desafios durante a pandemia ao apresentar seus experimentos a apenas um pequeno grupo de alunos, a preocupação de que não desse certo e a busca contínua pela melhoria nos temas que queríamos abordar, além da interação com os alunos e os experimentos.

Portanto, temos plena consciência de que uma aplicação em uma escola nunca será perfeita, e a prática docente nos faz evoluir. Além de nosso objetivo de introduzir a Física Moderna em uma escola pública, estamos evoluindo constantemente em nossa prática como professores e pesquisadores.

### **7.3 Descrição das aulas do curso**

Mesmo que o curso tenha ocorrido em três ocasiões, optamos por direcionar nossa pesquisa para o conteúdo apresentado durante a terceira execução. Essa escolha é justificada pelo fato de que, nas duas primeiras aplicações, adquirimos experiências que nos capacitaram a lidar de forma mais eficaz com os desafios cotidianos. Conseqüentemente, a cada aplicação, notamos uma melhoria no desenvolvimento do curso em comparação ao evento anterior.

Além disso, a turma da terceira aplicação foi selecionada a partir das cinco turmas de terceiro ano existentes na escola. Essa seleção pode ter contribuído para um ambiente mais colaborativo, no qual cada grupo de alunos buscava se respeitar entre si. Nossa pesquisa se concentra na análise das atividades e aulas realizadas durante essa terceira aplicação, que contou com a participação de alunos de todas as turmas de terceiro ano da escola interessados no tema física, para análise, decidimos usar as etapas: um, dois, três e cinco.

#### **7.3.1 Descrição das atividades**

##### **Etapas 1: Apresentação do projeto e primeiros passos**

**Duração: 90 minutos.**

Na primeira etapa do curso, realizamos uma introdução para os alunos, destacando a relevância do curso tanto para mim, como o professor e autor desta dissertação, quanto para a ciência em si. Explicamos que o curso foi desenvolvido a

partir de reuniões semanais de um grupo de pesquisadores dedicados ao Ensino de Física, com o objetivo de levar tópicos da Física Moderna para o ambiente escolar.

Informamos aos alunos que eles participaram de experimentos para explorar fenômenos relacionados à luz e que utilizaríamos lasers em diversos experimentos para compreender a natureza da luz, e ao final da etapa, eles seriam capazes de explicar coisas sobre a natureza da luz.

Além disso, enfatizamos que eles descobriram aplicações práticas para conceitos que, à primeira vista, podem parecer desconexos com o cotidiano, mas que, na realidade, têm diversas aplicações. Também destacamos que usamos as aulas para abordar questões relacionadas ao ENEM sobre o tema.

Em seguida, distribuí papéis aos alunos, nos quais eles colocaram pedaços de papel de seda para serem exibidos semanalmente sob a luz solar. Isso foi feito em grupos, e depois analisaremos os resultados. Em seguida, pedi aos alunos que escrevessem em seus papéis se acreditavam que a luz era uma partícula ou uma onda.

Essa pergunta gerou uma discussão animada. Preparei uma aula que abordou os conceitos de onda e partícula. Alguns alunos defenderam a ideia de que a luz era uma partícula, enquanto outros argumentaram que era uma onda. Houve também um grupo que reconheceu que a luz tinha um comportamento dual, embora não tivessem uma compreensão completa do que isso significava, apenas expressaram que era uma combinação de onda e partícula.

Um aluno mencionou a importância do fóton e, junto com outros oito que participaram do Masterclass de Física no início do ano, tinham uma compreensão sólida de que se tratava de uma partícula fundamental. Portanto, tinham em mente a relação entre o fóton, partícula fundamental e a luz como fóton, concluindo que era uma partícula.

Por fim, iniciamos o experimento com o laser em um aquário, revisitando conceitos como o meio em que estávamos, a mudança de meio pelo laser e nosso objetivo de observar o trajeto do laser. Solicitei que os alunos não pesquisassem na internet e que fossem para casa refletir sobre o que viram, especialmente sobre os temas de difração e reflexão, incentivando-os a pensar em termos de ondas e partículas. Encerramos assim nossa primeira aula do curso.

### **Discursos Destacados na Transcrição:**

**4'12"** "Se a velocidade da luz é maior que a do som, como é que ela se propaga como onda?"

**8'02"** "A luz eu acho que pode ser os dois..."

**9'10** "Quando não olhamos, não vemos a luz, vemos os reflexos, por exemplo, as cores a gente não enxerga"

**11' 45"** "Talvez, se a luz fosse uma onda, nós não a veríamos"

**15' 31"** "A luz é feita de partículas, mas se propaga como onda"

**20' 32"** "A gente não vê uma onda, a gente vê partículas, então coloca ai o que a gente vê"

**29'46"** "A partícula de luz tem uma certa onda"

**80'22"** "A luz tem uma propriedade única que faça com que ela possa se adaptar em condições específicas, então se você analisar, por exemplo, a luz dentro de uma sala em algum lugar que ela não possa refletir, ela será onda, se ela refletir, ela será partícula"

## **Etapas 2: A Luz que faz curva**

**Duração: 45 minutos**

A aula teve início com uma exposição sobre partículas e ondas, abordando as definições e características distintas de cada uma. No decorrer da discussão, foi destacado o contexto histórico em que a ciência, até o século XX, categorizava fenômenos de maneira dicotômica, classificando-os como ondas ou partículas. O propósito central era atingir uma conclusão acerca das observações feitas nos fenômenos estudados, avaliando se as características da luz em um experimento específico se alinhavam mais com o comportamento de partículas ou ondas.



Os alunos começaram a perceber que havia alguma confusão em relação à luz, levando-os a considerar que diferentes tipos de luz, como a luz do laser e a luz da lâmpada da sala, eram distintos entre si. Não se tratava necessariamente de comportamentos diferentes, mas sim de coisas diferentes sendo observadas.

Além disso, a aula explorou em maior detalhe os fenômenos de refração e reflexão. Foi feita uma revisão do experimento anterior com um raio dentro do aquário, e os conceitos relacionados aos ângulos, à lei de Snell, aos índices de refração e à reflexão total foram discutidos.

As leis que explicam esses fenômenos foram descritas e, após a compreensão dos conceitos, os alunos foram conduzidos ao segundo experimento. Para isso, um aquário foi utilizado novamente, mas desta vez uma garrafa PET de dois litros foi perfurada no fundo, preenchida com água e um laser foi inserido no furo. Isso permitiu observar que a luz seguia a trajetória da água, sugerindo que a luz curvava.

Por fim, a aula explorou a explicação desse fenômeno, esclarecendo que a curvatura da luz dentro da água era resultado de reflexão. As aplicações práticas desse conceito, como a fibra óptica, foram discutidas para mostrar sua relevância no cotidiano. A aula encerrou-se com a introdução de uma questão do ENEM que abordava a difração, estimulando os alunos a repensar a luz de uma forma diferente. O objetivo era discutir essa questão após a realização do próximo experimento, que seria o experimento da fenda dupla de Young.

### **Discursos destacados na transcrição**

**08'45''** "Talvez, se a luz fosse uma onda, ela se espalharia por todo ambiente"

**15'33''** "Eu Penso que se for um laser, que é fechado, é mais para partícula, agora, uma lâmpada incandescente é uma onda"

**26'33''** "Então, não necessariamente a luz será uma onda ou uma partícula, depende do meio que ela está"

### **Etapa 3: A dupla fenda de Young**

**Duração: 45 minutos**

No início da aula do experimento da dupla fenda de Young, todos os alunos estavam convencidos de que a luz era uma partícula. Além disso, acreditavam que havia uma teoria que sustentava essa ideia e que Newton estava de alguma forma envolvido. Newton é, sem dúvida, um dos nomes mais conhecidos quando se trata de Ensino de Física no Ensino Médio. Todos já ouviram falar de suas leis, que foram fundamentais para o desenvolvimento da Mecânica Clássica.

É interessante notar o quanto os alunos estavam determinados a acertar e seguir um modelo preestabelecido. Aqueles que escreveram que a luz era uma partícula sentiram que estavam no caminho certo, enquanto os que mencionaram "onda" sentiram que estavam errados. No entanto, os alunos que tinham alguma noção de que a luz poderia ser tanto partícula quanto onda estavam confusos e não conseguiram explicar essa dualidade.

No início da aula, começamos lembrando o que havíamos estudado até aquele ponto. Discutimos brevemente os experimentos realizados e os fenômenos observados. Com base nos caminhos que a luz parecia seguir nas situações que observamos em sala de aula, parecia que a luz era composta por diversas partículas.

Na aula anterior, apresentei uma questão do Enem sobre o fenômeno da difração, mas não forneci as opções de resposta. Apenas mostrei uma imagem de alguém que havia colocado garrafas cheias de água no teto de sua casa para economizar energia elétrica e iluminar o ambiente. Então, pedi aos alunos que tentassem explicar como a pessoa usou os conceitos e fenômenos que havíamos estudado até aquele momento para conseguir iluminar o ambiente com esse experimento.

Os alunos tiveram dificuldades para explicar e, na verdade, não conseguiram fazê-lo. Um aluno mencionou que já tinha visto algo semelhante em um filme, o que foi interessante. Acredito que a dificuldade surgiu porque eles perceberam que o fenômeno da luz entrando na garrafa de água e iluminando o ambiente não se encaixava na ideia de luz como uma partícula.

Eles mencionaram a refração, mas não conseguiram explicar o que acontecia após a luz sair da garrafa. Como tínhamos realizado experimentos que envolviam sequencialmente refração e reflexão, alguns alunos pensaram que isso poderia ser uma espécie de "super reflexão" na sala para iluminar todos os pontos possíveis e economizar energia elétrica durante o dia.

Em seguida, lemos um texto sobre o experimento da dupla fenda de Young, e os alunos perceberam que a luz estava se dispersando. No entanto, eles não conseguiram relacionar isso com os fenômenos que havíamos estudado até então. Eles não entendiam o que estava acontecendo, talvez porque não tinham uma base teórica sólida sobre os conceitos de fenômenos ondulatórios.

Os alunos não conseguiam descrever adequadamente o fenômeno, mas pareciam entender que algo era diferente. Perguntei a eles de onde eles tiravam a palavra "disperso", já que a usavam com frequência, e eles pareciam acreditar que a luz se espalhava. Então, perguntei como seria se a luz passasse pela dupla fenda de Young como corpúsculos, e chegamos à conclusão de que veríamos apenas duas marcas na parede.

Em seguida, mostrei um "aparato" que eu havia trazido, que consistia em um pente fino comprado em uma loja de cabeleireiro, com apenas um dente visível, e as faixas de luz seriam projetadas na parede da sala. Os alunos começaram a observar e descrever a faixa de luz que viam. Um aluno mencionou que havia uma parte mais intensa no centro e que ela ficava mais fraca à medida que se afastava.

Isso levou outro aluno a falar pela primeira vez sobre a possibilidade de estarmos lidando com fenômenos relacionados a ondas, questionando se a parte central eram partículas e as partes externas eram ondas. A partir desse ponto, começamos a discutir o que aconteceria se a luz, nesse experimento, seguisse a teoria corpuscular que havíamos estudado até então.

Fomos aos poucos compreendendo que, caso a luz obedecesse a essa teoria, veríamos algo diferente na parede. Comecei a questioná-los sobre como tudo isso aconteceria, e eles começaram a perceber que a luz contornava o obstáculo, o que não se encaixava na teoria corpuscular. Expliquei então que os fenômenos que havíamos estudado até aquele momento não podiam ser totalmente explicados pelo que havíamos visto.

Finalmente, concluímos que esses experimentos estavam relacionados a um comportamento ondulatório da luz e que os fenômenos observados eram a difração e a interferência. Planejamos abordar a parte teórica desses conceitos na próxima aula. No final, encerramos a aula refletindo sobre o que havíamos aprendido com o experimento.

### **Discursos destacados na transcrição**

**04'03''** “Professor, eu já vi isso em um filmes, mas não sei explicar”

**06'10''** “Tem refração, pois a luz passa do ar para a água. Mas depois, reflete?”

**15'10''** “Parece que a luz está dispersa”

**22'13''** “Era para ser duas marcas, mas elas dispersaram”

**26'50''** “Tem o meio que é mais forte, depois ela começa a ficar fraca para os lados e tem umas partes de sombra”

**27'01''** “Professor, e tipo, isso está envolvido, pois a parte forte vai ser a partícula e a parte mais fraca vai ser as ondas”

**30'36''** “A luz, quando passa pelo obstáculo, vai se dividir”

**33'20''** “Então, não acontece igual nos outros experimentos, que a luz fica para cima e para baixo”

**38'45''** “Com esse experimento, tem uma distorção? não sei dizer, da luz ou da imagem, pois o laser quando você aponta ele vai sair só uma bolinha e com esse experimento, ele saiu a bolinha e teve aquela distorção”

## **Etapa 5: O Efeito Fotoelétrico**

**Duração: 45 minutos**

Estávamos quase no término do curso e tínhamos uma quantidade significativa de informações para discutir. Portanto, comecei a aula realizando uma breve exposição dos experimentos que havíamos realizado e os fenômenos que estudamos individualmente em casa. Além disso, destaquei as diferenças encontradas em cada experimento e mencionei a existência de teorias distintas para explicar o comportamento da luz.

Inicialmente, apresentei experimentos que apoiavam a teoria corpuscular da luz, seguidos por experimentos que evidenciaram a natureza ondulatória da luz. Entretanto, até aquele momento, parecia que uma teoria contradiz a outra, e todos estávamos focados em determinar se a luz era uma partícula ou uma onda.

Então, fiz uma pergunta: quem estava certo desde o primeiro dia, aqueles que afirmaram que a luz era uma partícula ou aqueles que disseram que era uma onda? Desta forma, chegamos à conclusão de que ninguém estava errado, pois havia uma explicação correta para cada perspectiva.

Em seguida, comecei a mostrar os experimentos aos alunos, apresentando as fontes de luz que utilizaríamos: uma lâmpada de vapor de mercúrio e uma lâmpada incandescente comum. Também mostrei um eletroscópio de folhas, que consiste em uma placa de alumínio, um pote de vidro e duas folhas de papel alumínio, além de um canudo.

Para prosseguir, eletrizei o canudo, lembrando o conceito de eletrização por atrito. Posteriormente, eletrizamos o eletroscópio, e os alunos ficaram fascinados ao ver as folhas de papel alumínio se afastando, provavelmente, pois nunca tinham testemunhado esse experimento pessoalmente.

Em seguida, discutimos a questão das cargas elétricas, enfatizando que era essencial que o eletroscópio estivesse carregado negativamente para prosseguirmos. Mostrei novamente as lâmpadas que utilizaríamos: a lâmpada de vapor de mercúrio e a lâmpada incandescente, destacando que possuíam comprimentos de onda diferentes.

Liguei a lâmpada incandescente ao alumínio, mas nada aconteceu. No entanto, quando liguei a lâmpada com um comprimento de onda entre 200 e 280 nm, as folhas de alumínio se fecharam, indicando que o eletroscópio estava descarregado. Nossa primeira hipótese foi que a luz de vapor de mercúrio era mais intensa do que a luz incandescente. Começamos a discutir esse ponto e tentamos compreender o fenômeno do efeito fotoelétrico, pelo qual Einstein recebeu um Prêmio Nobel.

Os alunos começaram a considerar a possibilidade de usar esse experimento para comprovar a teoria ondulatória da luz. Perguntei como isso poderia ser feito e um dos alunos mencionou que estávamos, naquele momento, presenciando um experimento que demonstrava o comportamento dual da luz.

Para aprofundar a compreensão, projetei uma simulação do experimento PHET que havíamos realizado em sala. Essa simulação permitiu que os alunos

visualizassem com maior clareza a variação da intensidade de luz e sua relação com os materiais. Eles puderam observar que a intensidade da luz não estava relacionada ao número de elétrons liberados da placa, mas sim ao comprimento de onda da luz.

Finalmente, discutimos a relevância dessa experiência no contexto da dualidade onda-partícula e como o experimento do efeito fotoelétrico teve um impacto significativo na física. Também mencionei algumas aplicações práticas, como as placas fotovoltaicas.

### **Discursos destacados nas transcrições**

**15'33''** “No caso, a outra luz é mais forte?”

**21'32''** “Comprova a Teoria Ondulatória da luz?”

**30'01''** “Relaciona, Onda e Partícula?”

**32'37''** “Mostra que a luz não é só onda, ela também tem partículas”

**35'10''** “Então ocorre uma interação entre a luz e os elétrons?”

## CAPÍTULO 8

### ANÁLISE DOS DADOS

#### 8.1 A Transposição Didática, os Marcadores de Brockington e as Atividades.

A Transposição Didática serviu como base para a criação do nosso curso, isto é, para transformarmos o **Saber Sábio** em um curso prático a ser aplicado em uma sala de aula de uma escola pública em São Paulo, levando em consideração o contexto e os recursos limitados disponíveis para nós.

Para facilitar o nosso processo, definimos os marcadores, termo elaborado por Brockington (2005) e salientado por Siqueira (2006), pensando sempre no objetivo final do nosso curso que seria a compreensão da **Natureza Dual da Luz**, logo definimos que esse percurso seria marcado pelos seguintes temas: **Reflexão e Refração** (Marcador I), **Reflexão total** (Marcador II), **Difração e Interferência** (Marcador III), **Natureza Dual da Luz** (Marcador IV) e **Interação Luz - Matéria** (Marcador V).

O caminho da transposição didática tem três níveis: **o Saber Sábio, o Saber a Ensinar e o Saber Ensinado**. Por conseguinte, nosso processo de elaboração curso teve inícios na compreensão dos textos bases e originais que falam sobre a natureza da luz, por exemplo: *Opticks: or, A treatise of the reflections, refractions, inflexions and colours of light* (Isaac Newton, 1704), *Traité de la lumière* (Christiaan Huygens, 1690) e *Einstein's Proposal of the Photon Concept—a Translation of the Annalen der Physik Paper of 1905* (Arnold Arons e M. B. Peppard, 1965), todos disponíveis de forma gratuita na internet e que mostram como o saber foi pensado a priori.

A posteriori, fomos para os livros que são frutos de uma Transposição Didática, todavia que leva este saber para os cursos de Física Básica nos cursos de graduação, que tem uma compreensão mais aproximada do saber, porém exige um ferramental matemático evoluído e que está muito além do que se tem em uma Escola de Ensino Básico.

Para além, entender que, até os dias atuais, não elucidamos a Natureza da Luz, ou seja, que este conhecimento está em construção e que a ciência ainda não

entende totalmente o seu funcionamento, por conseguinte o professor obteve um conhecimento teórico sobre o tema, o que o tornou capaz de exercer a **consensualidade** em sala de aula, pois o conhecimento do saber é crucial para que mostremos em sala de aula o conhecimento, para além que os alunos tenham consciência de que aquele conhecimento não foi totalmente compreendido.

Por fim, fomos em busca da **atualização** deste conhecimento e relacionamos o saber com as Habilidades Essenciais do Currículo Paulista que exigem o ensino da Natureza da Luz:

**Reconhecer o papel da luz, suas propriedades e fenômenos que envolvem a sua propagação, como formação de sombras, reflexão, refração, etc.**

**Associar a cor de um objeto a formas de interação da luz com a matéria (reflexão, refração, absorção).**

**Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz / Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.**

**Reconhecer o atual modelo científico utilizado para explicar a natureza da luz / Identificar a luz no espectro de ondas eletromagnéticas, diferenciando as cores de acordo com as frequências.**

**Explicar a absorção e a emissão de radiação pela matéria, recorrendo ao modelo de quantização da energia A quantização da energia para explicar a emissão e absorção de radiação pela matéria; A dualidade onda– partícula.**

**Explicar o funcionamento básico de equipamentos e sistemas de comunicação, como rádio, televisão, telefone celular e fibras ópticas, com base nas características das ondas eletromagnéticas.**

\*Habilidades retiradas do Currículo Paulista.

Ou seja, entender a importância desse saber na **atualidade moral** e ligá-lo à **atualidade biológica** mostrando as etapas da construção do conhecimento e as



perspectivas históricas dessa construção e a evolução desse conhecimento, além de deixar claro que existem pesquisas atuais, nos grandes centros de pesquisa sobre este tema.

Relacionamos tudo para desenvolver nosso material que foi modelado em uma sequência de ensino para serem abordados em nosso curso, se preocupando sempre na transformação de tudo em atividades de avaliação, como a de colar os papéis semana a semana para analisar no fim, a seleção de algumas questões importantes e elaboração dessas avaliações para iniciarmos a **operacionalidade** de saber.

Em sequência, levantamos equipamentos de baixo custo que seriam capazes de gerar a compreensão desses saberes em sala de aula e foi com a **criatividade pedagógica** que definimos como que iríamos realizar os experimentos que são marcos sócio-históricos no desenvolvimento da ciência usando apenas um laser, um aquário, um pente e através dessa criatividade fomos capazes de demonstrar um experimento que deu o Prêmio Nobel para Einstein: O efeito fotoelétrico.

Por fim, adaptamos tudo aquilo que tínhamos a realidade da nossa escola, aplicamos uma sequência piloto, a fim de excluir alguns saberes que não se ajustavam ao sistema didático.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O curso “**As Enigmáticas Teoria da Luz**” nos colocou diante da realidade da problemática que foi estudado por anos em pesquisas no Ensino de Física, a necessidade da inovação de práticas pedagógicas educacionais, por conseguinte, a priori, objetivamos conseguir chegar a ponta dessa produção científica, a sala de aula e priorizamos uma Escola Pública, a fim de termos a real perspectiva da possibilidade de aplicação desse tipo de prática em lugares, onde o professor não detém muitos recursos.

Percebemos com a Transposição Didática que a inovação das práticas educacionais no ensino de física não é uma tarefa tão simples, demanda tempo que muitas vezes, um professor que tem uma grande jornada semanal não tem tempo para pensar nestes passos, ele apenas reproduz o que os materiais que os são fornecidos, logo a necessidade de estarmos sempre próximos da sala de aula.

O curso nos deu uma boa perspectiva do que era a transformação do Saber Sábio a um saber a ser ensinado, todavia entendemos também os reais problemas que uma escola pode ter e que, não basta ter bons planejamentos, experimentais interessante ou bons slides, iremos passar por problemas diários que irão nos abrigar a mudar o nosso planejamento.

Elaboramos o curso, em meio da pandemia, uma etapa que desafio muito os professores e não conseguimos realizar a aplicação total do curso, pois os alunos frequentavam a escola de maneira aleatória, sem constância, muitos não tinham os recursos necessários para as aulas remota e nossa aplicação piloto foi um fiasco.

A posteriori, com a presença obrigatória dos alunos, nosso curso fez parte do projeto de uma disciplina eletiva de um professor da primeira série do médio e entendi o quão difícil seria aquela aplicação para uma turma que eu não era o professor, ponto que precisa ser pensado em relação a nossa sequência didática.

Por fim, criamos uma turma com alunos que estavam no último ano do Ensino Médio para participarem desse curso e, logo de começo percebi o quão gratificante seria aquela aplicação, porém entendemos os problemas que são constantes e diários na escola pública e que nos obrigam a sempre repensar as práticas e reelaborar o planejamento.

Sentir essa realidade como professor nos faz mudar academicamente, parece ser muito fácil, ler livros, artigos e publicar em uma revista de grande impacto que o currículo atual do ensino de física na escola básica é desatualizado e que as práticas são pautadas apenas na Física Clássica.

Porém, estando lá, tendo que passar por problemas cotidianos, como a falta de água, ter que parar a aplicação, pois terá aplicação de uma Prova Paulista (Prova aplicada bimestralmente nas escolas pública do governo de São Paulo) e até passar pelo episódio de ter uma escola da sua região ter sofrido um ataque de um aluno e fazer com que aqueles alunos falem aula por medo, nos faz evoluir e ressignificar o que é realmente a Instituição Escolar.

Através da Transposição Didática, conseguimos selecionar um corpo de conhecimento e adaptá-lo de forma apropriada para ser ensinado em uma sala de aula. Após a implementação, ficou claro que conseguimos transmitir informações sobre a natureza da luz, um tópico que ainda está em constante pesquisa, em um curso que incluiu experimentos destinados ao Ensino Médio.

Em outras palavras, seguimos as diretrizes da transposição e obtivemos resultados positivos ao modernizar e atualizar o conteúdo, incorporando exercícios e experimentos que auxiliaram os alunos na compreensão do que estávamos tentando transmitir.

Percebemos que abordar temas da Física Moderna e conectá-los à Física contemporânea, relacionando-os com o ambiente dos alunos, os motivou a aprender. Ficou evidente o quanto eles estavam entusiasmados em participar do curso e compreender as demonstrações práticas.

Durante o curso, observamos que conseguimos proporcionar aos alunos do Ensino Médio de uma escola pública paulista um entendimento dos princípios da Física Moderna. Além disso, embora não fossem nossos objetivos principais, conseguimos mostrar que a ciência é sujeita a revisão e que as teorias não são indiscutíveis. A ciência evolui por meio de questionamentos e estudos contínuos.

Também enfatizamos que os conceitos estudados em sala de aula têm uma base teórica que é essencial para várias aplicações tecnológicas. Destacamos que a ciência faz parte do nosso cotidiano e que a ciência que eles veem em séries de televisão é a mesma que estão estudando na escola.

No futuro, com a aplicação deste curso em outras escolas, sejam elas públicas ou privadas, esperamos obter mais conclusões e adaptações específicas para cada

público. Por fim, estou satisfeito com o trabalho realizado e espero que ele continue alcançando mais escolas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARRELO JUNIOR, Nelson. **Argumentação no discurso oral e escrito de alunos do ensino médio em uma sequência didática de física moderna.** 2010. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: MEC, 2018

BROCKINGTON, Guilherme. **A Realidade escondida: a dualidade onda-partícula para estudantes do Ensino Médio.** São Paulo: Dissertação de Mestrado IFUSP, 2005.

CARVALHO, A. M. P; VANNUCCHI, Andréa. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. *Investigações em ensino de ciências*, v. 1, n. 1, p. 3-19, 1996.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica: del saber sabio al saber enseñado**, v. 3, 1991.

CHIZZOTTI, Antonio. **Pesquisa em ciências humanas e sociais.** Cortez editora, 2018.

DRUZIAN, Aline; RADÉ, Tane; SANTOS, RP dos. **Uma proposta de perfil conceitual para os conceitos de luz e visão.** Anais VI ENPEC-Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências-SC, Florianópolis, 2007.

GIRCOREANO, José Paulo; PACCA, Jesuína LA. **O ensino da óptica na perspectiva de compreender a luz e a visão.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 18, n. 1, p. 26-40, 2001.

LA ROSA, Cs et al. **Commonsense knowledge in optics: Preliminary results of an investigation into the properties of light.** *European Journal of Science Education*, v. 6, n. 4, p. 387-397, 1984.

LUDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas.** *Em Aberto*, v. 5, n. 31, 1986.

GOLDBERG, Fred M.; MCDERMOTT, Lillian C. **Student difficulties in understanding image formation by a plane mirror.** *The Physics Teacher*, v.24, n. 8, p. 472-481, 1986.

MENEZES, LC de. Uma física para o novo ensino médio. **Física na escola**, v. 1, n. 1, p. 7, 2000.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)**. Editora Blucher, 2014.

OSBORNE, Jonathan F. et al. **Young children's (7-11) ideas about light and their development**. International Journal of Science Education, v. 15, n. 1, p. 83-93, 1993.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

SAXENA, A. B. **The understanding of the properties of light by students in India**. International Journal of Science Education, v. 13, n. 3, p. 283-289, 1991.

SIQUEIRA, Maxwell Roger da Purificação. **Do visível ao indivisível: uma proposta de Física de Partículas Elementares para o Ensino Médio**. 2006. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. A inserção da física moderna e contemporânea no ensino de física na escola de 2º grau. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, p. 209-214, 1992.

TERRAZZAN, Eduardo Adolfo. **Perspectivas para a inserção da física moderna na escola média**. 1994. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1994.

VILLANI, Alberto; PACCA, Jesuina Lopes de Almeida; HOSOUME, Yassuko. **Concepção espontânea sobre movimento**. 1984.

## APÊNDICE 1

### Questionário: Concepções prévias: Natureza da Luz e Resultados.

#### Questão 1

Luísa e João, ao chegarem em casa pós expediente, sempre ficam na sala dando atenção aos seus animais de estimação. Certo dia, ao chegarem em casa, às 20:25, ocorreu uma falta de energia na cidade onde o casal mora deixando-os na sala, na qual estavam com os Pets, completamente escura, sem nenhuma luz. Você acredita que Luísa, durante o apagão:



- a) Não é capaz de ver a casinha do cachorro.
  - b) Consegue ver a casinha do cachorro com facilidade.
  - c) Consegue, apenas, perceber a casinha do cachorro.
- Justifique ou explique a escolha da alternativa anterior.

**Questão 2**

Ainda sobre a imagem anterior e a sala completamente escura (não há luz). Você acredita que o gatinho, no apagão:

- a) Não é capaz de ver a casinha do cachorro.
- b) Consegue ver a casinha do cachorro com facilidade.
- c) Consegue, apenas, perceber a casinha do cachorro.

Justifique ou explique a escolha da alternativa anterior.

**Questão 3**

Observe a imagem abaixo e imagine nas seguintes situações:

- I. O quarto está totalmente escuro, sem a presença de luz;
  - II. As paredes são perfeitamente pretas;
  - III. Não há pó, nem fumaça no quarto;
  - IV. Um feixe de luz entra pela janela na direção ilustrada e encontra o espelho.
- Na sua opinião, o menino pode ver-se no espelho? Justifique sua resposta.





**Questão 4**

O Pôr do Sol no Arpoador é uma maravilha da natureza, acompanhado diariamente por vários turistas e moradores na Pedra do Arpoador, localizada na extremidade direita da Praia de Ipanema, no Rio de Janeiro. Para observarem a paisagem, os turistas:



- a. Dependem da luz do Sol.
- b. Não dependem da luz do Sol.
- c. Dependem parcialmente da luz do Sol.

Justifique sua resposta:

**Questão 5**

Explique o que acontece com a luz quando ela atinge:

- a) uma folha de papel;
- b) um espelho;
- c) um vidro transparente;
- d) um vidro fosco.

**Questão 6**

Como você observaria o lápis, caso não houvesse água no copo?

Tente explicar o por que de enxergarmos o lápis dentro do copo como na imagem.



### Questão 7

A imagem a seguir ilustra a orla de uma cidade, podemos ver alguns edifícios altos, a lua, o mar, o farol, entre outros elementos. Caso todas as luzes dos prédios fossem apagadas, de quais prédios seria possível ver a luz do farol? Explique sua resposta.



### APÊNDICE 2

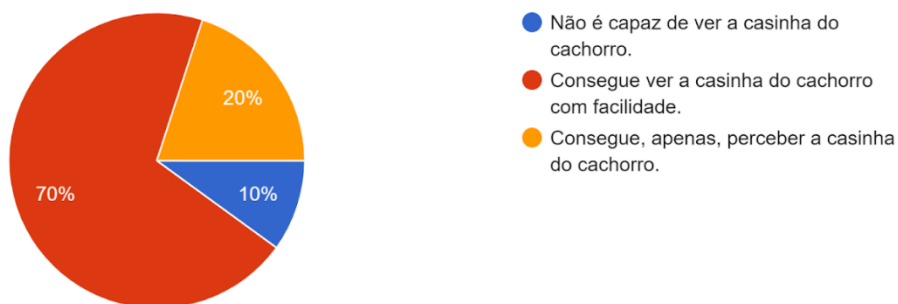
Luísa e João, ao chegarem em casa pós expediente, sempre ficam na sala dando atenção aos seus animais de estimação. Certo dia, ao chegarem em casa, a sala estava completamente escura (não há luz). Você acredita que Luísa, durante o apagão:

90 respostas



Ainda sobre a imagem anterior e a sala completamente escura (não há luz). Você acredita que o gatinho, no apagão:

90 respostas



O Pôr do Sol no Arpoador é uma maravilha da natureza, acompanhado diariamente por vários turistas e moradores na Pedra do Arpoador, localizada em São João del-Rei, Minas Gerais. Para observarem a paisagem, os turistas:

90 respostas

