



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE BLUMENAU
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

William Silva Pereira

**Ensino de Física, Currículo e Tecnologias: Uma Proposta de sequência
didática para o ensino da Óptica Geométrica à luz da Pedagogia
Histórico-Crítica**

Blumenau/SC

2023



ENSINO DE FÍSICA, CURRÍCULO E TECNOLOGIAS: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO DA ÓPTICA GEOMÉTRICA À LUZ DA PEDAGOGIA
HISTÓRICO-CRÍTICA

William Silva Pereira

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Alaim Souza Neto

Blumenau/SC

2023

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Pereira, William S.

Ensino de Física, Currículo e Tecnologias: Uma Proposta de sequência didática para o ensino da Óptica Geométrica à luz da Pedagogia Histórico-Crítica / William S. Pereira ; orientador, Alaim Souza Neto, 2023.

184 p.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Ensino de Física. 2. TDIC. 3. Óptica Geométrica. 4. Pedagogia Histórico-Crítica. 5. Currículo. I. Neto, Alaim Souza. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. III. Título.

William Silva Pereira

Ensino de Física, Currículo e Tecnologias: Uma Proposta de sequência didática para o ensino da Óptica Geométrica à luz da Pedagogia Histórico-Crítica

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.(a) Alaim Souza Neto, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Esley Scatena Gonçales, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof.(a) Keysy Solange Costa Nogueira, Dr.(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Ensino de Física

Coordenação do Programa de Pós-Graduação

Prof.(a) Alaim Souza Neto, Dr.(a)
Orientador

Blumenau, 2023.

Dedico essa dissertação a todos aqueles que foram fundamentais em minha jornada acadêmica e pessoal. Agradeço, em especial, à minha amada família, cujo amor, apoio incondicional e compreensão me fortaleceram a cada passo. Suas palavras de encorajamento foram como uma bússola, guiando-me em direção aos meus objetivos. Obrigado por fazerem parte da minha vida e por tornarem esta conquista possível.

Agradecimentos

Agradeço aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, campus Blumenau, em especial ao meu orientador Prof^o. Dr. Alaim Souza Neto, que analisou minuciosamente cada particularidade desta dissertação, me concedeu fundamentação e saber científico, demandou o máximo de minha capacidade e com calma e discernimento me conduziu a alcançar este instante.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por oportunizar a possibilidade de me aperfeiçoar através deste programa de mestrado, a Sociedade Brasileira de Física por investir na educação e conseqüentemente proporcionar este mestrado como forma de capacitação profissional, bem como a CAPES pelo incentivo através dessa proposta.

Agradeço a Escola de Educação Básica Almirante Britez seus alunos que participaram e apoiaram toda pesquisa.

Agradecimento especial a minha família, meus pais Edmilson e Zoima e minha irmã Paula, por todo o apoio recebido. Se hoje estou defendendo essa dissertação, é fruto do amor, do carinho e da dedicação de vocês com a minha educação, o que me tornou capaz de ir atrás dos meus sonhos, enfrentar os desafios da vida e nunca desistir diante das dificuldades. Aos meus amigos, agradeço a amizade de vocês, o companheirismo, o apoio e a insistência para que eu permanecesse no mestrado.

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

Eu, universo de átomos, um átomo no Universo.
Em cada um de nós existe um universo. Um Mi-
crocosmo. Cada ser humano é um ser complexo.
Cada ser humano é seu próprio universo.

Richard Feynman

Resumo

Estamos vivenciando o desafio de reconhecer identidades e constituições docentes e discentes cada vez mais imersas na cultura digital, permeadas histórica e socialmente pelas tecnologias. Na contemporaneidade, os desafios, sobretudo, aos docentes está na integração pedagógica das TDIC ao currículo escolar. Neste contexto, pesquisas voltadas ao ensino, currículo e tecnologias evidenciam a necessidade de repensarmos estratégias didático-pedagógicas para promover um currículo que tenha como perspectiva a integração de tecnologias para a aprendizagem dos estudantes. Estas questões deram forma ao nosso objeto de pesquisa: *A integração pedagógica de TDIC ao currículo de Física. A partir da definição do nosso objeto, estruturamos a nossa problemática de pesquisa: Qual a possibilidade de um currículo escolar para o ensino de física a partir da integração pedagógica das TDIC?* Para investigarmos essas problemáticas, utilizaremos as pesquisas de autores (NETO, 2020; NETO, 2016) que discutem os desafios da integração pedagógica do currículo e das tecnologias, explorando suas potencialidades, além de problematizar a apropriação tecnológica por parte dos professores e suas lógicas de usos pedagógicos. Para a investigação, demarcamos o seguinte objetivo geral: *Propor uma sequência didática para o ensino da óptica geométrica, problematizando a integração pedagógica das TDIC ao currículo escolar de Física.* Na construção de nossa metodologia, utilizamos a visão de mundo do materialismo histórico dialético, o método da pesquisa ação e a Pedagogia Histórico-Crítica na construção do nosso produto educacional, que consiste em uma sequência didática integrada pedagogicamente as TDIC, através do uso de *applets*, jogos educacionais digitais e programas de simulação. Ao longo da aplicação da sequência didática, observamos que os desafios em uma integração de TDIC ao currículo escolar incluem a dificuldade dos estudantes em manipular as tecnologias para fins pedagógicos e a diferença entre a lógica de uso das TDIC na vida pessoal e escolar. O produto educacional elaborado à luz da Pedagogia Histórico-Crítica contribui para o ensino de Física mais amplo, no contexto histórico e social, proporcionando um aprendizado numa visão de totalidade, isto é, preocupado com a humanização e a busca pela verdade. Ressaltamos que a elaboração e aplicação da sequência didática foi implementado em tempos de pandemia do COVID-19, de modo que foi necessário uma estruturação que se adaptasse a realidade escolar do local de aplicação. A pandemia da COVID-19 trouxe novos desafios para a educação básica, os quais foram enfrentados de diversas maneiras, um exemplo é o presente trabalho, desenvolvido durante esse período. Mesmo diante das dificuldades impostas pela pandemia, foi possível a utilização a prorrogação estendida concedida pelo MNPEF em acordo com a CAPES. Além disso, o MNPEF flexibilizou as formas de aplicação dos produtos educacionais, sendo possível a aplicação do mesmo durante a época da pandemia, o que viabilizou a realização dos estudos em tempos tão desafiadores.

Palavras-chave: Ensino de física. Tecnologias Digitais. Currículo.

Abstract

We are facing the challenge of recognizing increasingly digital culture-immersed teacher and student identities and constitutions, historically and socially permeated by technology. In contemporary times, the challenges, particularly for teachers, lie in the pedagogical integration of ICTs into the school curriculum. In this context, research focused on teaching, curriculum, and technology highlights the need to rethink didactic-pedagogical strategies to promote a curriculum that aims at integrating technologies for student learning. These issues have shaped our research objective: The pedagogical integration of ICTs into the Physics curriculum. Based on the definition of our research object, we structured our research problem: What is the possibility of a school curriculum for physics education through the pedagogical integration of ICTs? To investigate these issues, we will draw on the research of authors (NETO, 2020; NETO, 2016) who discuss the challenges of pedagogical curriculum integration and technology, exploring their potentialities, as well as problematizing teachers' technological appropriation and their pedagogical usage logics. For the investigation, we set the following general objective: To propose a didactic sequence for the teaching of geometric optics, addressing the pedagogical integration of ICTs into the Physics school curriculum. In constructing our methodology, we used the perspective of dialectical historical materialism, the action research method, and Critical Historical Pedagogy in creating our educational product, which consists of a didactic sequence pedagogically integrated with ICTs, using applets, educational digital games, and simulation programs. Throughout the application of the didactic sequence, we observed that the challenges in integrating ICTs into the school curriculum include students' difficulty in manipulating technology for pedagogical purposes and the difference between the use logic of ICTs in personal and school life. The educational product developed in light of Critical Historical Pedagogy contributes to a broader perspective on Physics education, within the historical and social context, providing learning from a holistic view, concerned with humanization and the pursuit of truth. We emphasize that the development and application of the didactic sequence were implemented during the COVID-19 pandemic, requiring adaptation to the local school's reality. The COVID-19 pandemic brought new challenges to basic education, which were addressed in various ways, including this work, developed during this period. Despite the difficulties posed by the pandemic, the extended extension granted by MNPEF in agreement with CAPES was possible. Furthermore, MNPEF flexibilized the ways of applying educational products, making it possible to implement them during the pandemic, facilitating the conduct of studies in such challenging times.

Keywords: Physics Education. Digital Technologies. Curriculum.

Lista de ilustrações

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Esquema de concepção do currículo. | 15 |
| Figura 2 – Tipos de telescópios refrativos | 25 |
| Figura 3 – Medida da velocidade da luz realizada por Römer. As linhas pontilhadas definem o ângulo de visão de Júpiter por um observador na Terra. . . . | 27 |
| Figura 4 – Diagrama simplificado do experimento de Michelson-Morley:(a)interferômetro e (b)caminhos ópticos | 29 |
| Figura 5 – Reflexão e refração de um raio luminoso numa interface dielétrica . . . | 32 |
| Figura 6 – Ilustração do princípio do mínimo tempo | 32 |
| Figura 7 – Propagação de um raio por uma série de meios homogêneos com índices de refração diferentes. | 33 |
| Figura 8 – Geometria utilizada na dedução da lei de Snell pelo princípio de Fermat. | 34 |
| Figura 9 – o olho humano | 35 |
| Figura 10 – A estrutura da retina (a luz entra pela parte de baixo). | 36 |
| Figura 11 – A sensibilidade espectral do olho. A curva tracejada representa os bastonetes; a curva contínua, os cones. | 37 |
| Figura 12 – Esquema da teoria de conexões neurais | 39 |
| Figura 13 – O espectro eletromagnético e os comprimentos de onda relativos à luz visível. | 45 |
| Figura 14 – A curva de radiação solar com os matizes agrupados em sete cores e a mesma dividida em três regiões - vermelha, verde e azul. | 46 |
| Figura 15 – Simulador <i>PhET - Radiação de Corpo Negro</i> | 47 |
| Figura 16 – Simulador <i>PhET - Visão de Cor</i> | 47 |
| Figura 17 – Jogo Educacional <i>LEO3D - Lab102 - Propagação Retilínea da Luz</i> . . . | 48 |
| Figura 18 – Jogo Educacional <i>LEO3D - Lab104 - Objetos e Sombras</i> | 49 |
| Figura 19 – Representação do Eclipse Lunar e Solar a cerca do Princípio de propagação retilínea da luz | 50 |
| Figura 20 – Jogo Educacional <i>LEO3D - Lab104 - Objetos e Sombras</i> | 50 |
| Figura 21 – Princípio da reversibilidade dos raios de luz: A trajetória da luz é a mesma, seja pelo caminho <i>AB</i> , seja pelo caminho <i>BA</i> | 51 |
| Figura 22 – Representação da reflexão da luz | 52 |
| Figura 23 – <i>Software Inkodo</i> e uma possibilidade de utilização com uma lousa digital e um projetor | 52 |
| Figura 24 – Simulador <i>PhET - Desvio da Luz</i> | 53 |
| Figura 25 – Discussão sobre as dimensões do conteúdo | 71 |
| Figura 26 – Estrutura do olho humano - Slide 6 e 7 | 77 |
| Figura 27 – O que é cor e como vemos as cores - Slide 8 | 78 |

| | |
|---|----|
| Figura 28 – Todas as pessoas veem as mesmas cores? - Slide 9 | 79 |
| Figura 29 – Simulador PhET: Visão de Cor | 80 |
| Figura 30 – <i>App Chromatic Vision Simulator</i> - Imagem feita pelos estudantes | 81 |
| Figura 31 – <i>O que é sombra?</i> - Slide 4 | 82 |
| Figura 32 – Representação do Princípio de Fermat | 83 |
| Figura 33 – Ilustração do modelo de molas para a luz e representação de absorção e reemissão de luz em meios transparentes. | 85 |
| Figura 34 – Meios de propagação - Slide 7 | 86 |
| Figura 35 – Propagação da Luz - Slide 8 | 86 |
| Figura 36 – Por que a Lua brilha como se emitisse luz? - Slide 9 | 87 |
| Figura 37 – Explicação sobre Eclipse solar e lunar | 88 |
| Figura 38 – <i>Shadowmatic</i> | 88 |
| Figura 39 – Ilustrando o fenômeno da reflexão | 90 |
| Figura 40 – Ilustrando o fenômeno da reflexão juntamente ao princípio de Fermat | 90 |
| Figura 41 – Ilustrando um espelho plano e a formação da imagem virtual | 91 |
| Figura 42 – Explicação para o desvio da luz ao incidir outros meios | 93 |
| Figura 43 – Roteiro de atividade prática que não foi realizado - Simulador <i>PhET</i> - <i>Desvio da Luz</i> | 94 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Publicações com o termo <i>tecnologias</i> , divididas por assunto pelo Repositório Institucional da UFSC - Coleção do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. | 11 |
| Tabela 2 – Publicações com o termo <i>tecnologias</i> , encontradas nos assuntos <i>Tecnologia educacional</i> e <i>Tecnologias da informação e comunicação</i> pelo Repositório Institucional da UFSC - Coleção do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. | 12 |
| Tabela 3 – Total de publicações, que contem o termo <i>tecnologias</i> e <i>ensino</i> no título ou resumo, encontradas na Revista Brasileira de Ensino de Física entre os anos 2010 e 2021. | 13 |
| Tabela 4 – Tecnologias digitais e suas oportunidades no Ensino de Ciências | 20 |
| Tabela 5 – Unidade Luz - Estrutura da Prática Social Inicial | 56 |
| Tabela 6 – Unidade Luz - Estrutura da Problematização | 58 |
| Tabela 7 – Unidade Luz - Estrutura da Instrumentalização | 60 |
| Tabela 8 – Unidade Luz - Estrutura da Catarse | 62 |
| Tabela 9 – Unidade Luz - Estrutura de possibilidades de nova atitude prática e proposta de ação | 64 |
| Tabela 10 – Cronograma de aplicação | 66 |
| Tabela 11 – Temática 1 | 68 |
| Tabela 12 – Temática 2 | 68 |
| Tabela 13 – Temática 3 | 69 |
| Tabela 14 – Temática 4 | 70 |
| Tabela 15 – Adição das questão levantada pelos alunos na prática social inicial . . . | 72 |
| Tabela 16 – Aula 1 - O que é luz? | 73 |

Lista de abreviaturas e siglas

SBF: Sociedade Brasileira de Física

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

TDIC: Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação

SBF: Sociedade Brasileira de Física

RBEF: Revista Brasileira de Ensino de Física

LEO3D: Laboratório de Ensino de Óptica 3D

Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 5 |
| 1.1 | SOBRE ENSINAR FÍSICA: QUESTÕES DA TRADIÇÃO À POSSÍVEL INTEGRAÇÃO COM TDIC | 5 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 11 |
| 2.1 | REVISÃO DE LITERATURA | 11 |
| 2.2 | CONCEPÇÃO DE CURRÍCULO | 14 |
| 2.3 | TECNOLOGIAS DIGITAIS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO | 17 |
| 2.4 | INTEGRAÇÃO DE TDIC AO CURRÍCULO | 19 |
| 3 | ÓPTICA: DO PRINCÍPIO DO MÍNIMO TEMPO À VISÃO HUMANA | 22 |
| 3.1 | O DESENVOLVIMENTO DA ÓPTICA: PRIMEIRAS DISCUSSÕES | 22 |
| 3.2 | A NATUREZA DA LUZ | 26 |
| 3.3 | ÓPTICA GEOMÉTRICA E LUZ | 30 |
| 3.3.1 | O princípio de Fermat, os fenômenos de reflexão e refração | 31 |
| 3.4 | VISÃO HUMANA E AS CORES | 35 |
| 3.4.1 | O mecanismo da visão em cores | 38 |
| 4 | METODOLOGIA | 40 |
| 4.1 | MATERIALISMO HISTÓRICO DIALÉTICO | 40 |
| 4.2 | PESQUISA AÇÃO | 41 |
| 4.2.1 | Locais e participantes | 43 |
| 4.2.2 | Rabiscos de uma sequência didática para o ensino de Física | 43 |
| 4.3 | PEDAGOGIA HISTÓRICO CRÍTICA | 54 |
| 4.3.1 | Prática Social Inicial | 55 |
| 4.3.2 | Problematização | 56 |
| 4.3.3 | Instrumentalização | 59 |
| 4.3.4 | Catarse | 60 |
| 4.3.5 | Prática Social Final | 62 |
| 5 | DESENVOLVIMENTO E RELATO DE APLICAÇÃO | 66 |
| 5.1 | CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO | 66 |
| 5.2 | DEMARCANDO AS LINHAS DE COMPREENSÃO: A PRÁTICA SOCIAL INICIAL E A PROBLEMATIZAÇÃO | 67 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.3 | DA VISÃO SINCRÉTICA PARA SINTÉTICA: A INSTRUMENTALIZAÇÃO | 72 |
| 5.3.1 | O que é luz? | 73 |
| 5.3.2 | Luz, cores e visão | 76 |
| 5.3.3 | Óptica Geométrica | 81 |
| 5.3.4 | Fenômenos Ópticos: Reflexão e Refração da luz | 88 |
| 5.4 | A FÍSICA COMO SEGUNDA NATUREZA DO ESTUDANTE: A CATARSE E A PRÁTICA SOCIAL FINAL | 95 |
| 6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 100 |
| | REFERÊNCIAS | 103 |
| A | APÊNDICE - PRODUTO EDUCACIONAL | 108 |

PREÂMBULO: DOS NOSSOS CAMINHOS ATÉ O ENCONTRO COM O OBJETO

A escolha por ser professor é uma construção e não pode ser encarada apenas como uma vocação individual numa progressão linear e sucessiva. (LENGERT, 2011, p. 19)

Este preâmbulo apresenta um pouco da nossa trajetória acadêmico-profissional até o encontro com o objeto de pesquisa e intervenção que desenvolvemos no mestrado profissional em Ensino de Física. Segundo Lengert (2011), vemos uma grande coincidência no que se refere à nossa identidade. Escolher ser professor não vem por meio de uma vocação individual numa progressão linear e sucessiva. Pelo contrário, pode-se caracterizar como um progresso alternante, com seus altos e baixos, cercadas de dúvidas e questionamentos. É nesse contexto, que nosso caminho não foi linear e constante, mas, inconsciente ou consciente, foi construído em meio à construção de nossa identidade docente a partir da reflexão sobre o desafio de *ser professor*. Uma trajetória que se iniciou quando ingressamos no quadro de Oficiais da Reservas do Exército¹ e vem sendo construída como professor de Física da Rede Estadual e Privada de Santa Catarina. Antes de concluir a graduação², já atuávamos como docente em escolas estaduais do Rio Grande do Sul por meio de contratos temporários. Entretanto, pensávamos que havíamos construído nossa escolha acadêmico-profissional em meio às crenças religiosas, ou seja, de ter sido contemplado com um ato divino em que pese a vocação para a docência.

Segundo Lengert (2011), se o magistério fosse vocação em sentido restrito, viria atrelado ao sentido de vida do sujeito, algo como destino. Em suas pesquisas, o autor encontra fatores de ordem material e de ordem estritamente profissional que concorrem para a escolha do ensino como profissão, os quais dependem de condições materiais, portanto "(...) a *“vocação da profissão”* não é subjetiva, mas depende da construção de um imaginário pessoal e principalmente social sobre a profissão docente".(LENGERT, 2011, p. 19).

Com relação ao imaginário pessoal e social, sempre estivemos permeando a docência, seja pela representatividade dentro de casa ou desenvolvendo atividades fora dela. A motivação para seguir na docência se potencializou quando começamos a analisar as

¹ Somos Aspirante Oficial da Reserva do Exército. Incorporei o CPOR-PA (Centro de Preparação de Oficiais da Reserva de Porto Alegre). Participei do curso de preparação de oficiais para atuar como oficial, que entre algumas funções, é responsável de instruir o corpo de soldados que incorpora o Serviço Militar obrigatório as atividades e tarefas dentro da Organização Militar.

² Cursamos Licenciatura em Física pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA), em que nos graduamos em 2004.

práticas pedagógicas que desenvolvíamos em sala de aula e fora dela³. Essa análise e reflexão sobre *o que se faz* nas práticas pedagógicas é relatada por Pimenta (2000):

A especificidade da formação pedagógica, tanto a inicial como a contínua, não é refletir sobre o que se vai fazer, nem sobre o que se deve fazer, mas sobre o que se faz. Os profissionais da educação, em contato com os saberes sobre educação e sobre a pedagogia, podem encontrar instrumentos para se interrogarem e alimentarem suas práticas, confrontando-os. (PIMENTA, 2000, p. 26)

O professor deve ser um profissional de atitude inquietante, questionando permanentemente as condições em que exerce sua profissão, refletindo sobre seu processo reflexivo de formação e o que propõe a seus alunos.(FILHO; QUAGLIO, 2008).

No que tange à reflexão das práticas pedagógicas voltadas ao ensino de Física, é preciso pensar em como ensinar os conteúdos dessa ciências. Assim, pensamos que é preciso dar atenção à didática específica, à transferência didática, a como abordar a Física de modo a despertar o interesse, a intencionalidade, a predisposição dos alunos, sem os quais a aprendizagem não será significativa, apenas mecânica para a aprovação. (MOREIRA, 2018).

A Física precisa ser reconhecida como uma cultura, em que os conhecimentos físicos nos forneçam possibilidades de compreender e transformar o mundo, deixando de ser a mera apresentação de conceitos e fórmulas, para se tornar um processo em que os estudantes se engajam na apropriação de conhecimentos, compreendendo as mais diferentes teorias, investigando situações, coletando dados, levantando hipóteses, debatendo em busca de padrões que possam gerar uma explicação e, conseqüentemente, uma previsão, e propondo modelos explicativos.(SAN et al., 2018).

Em síntese, são as concepções de Lengert (2011), Pimenta (2000), Filho e Quaglio (2008), Moreira (2018), San et al. (2018) que nos auxiliam na compreensão do *ser professor* de Física e da importância de uma formação pedagógica com preocupação para os aspectos didáticos. Ancorados nessas concepções, nosso caminho de encontro com nosso objeto de pesquisa começou a ser desenhado, pois quando seguimos atuando como profissional de educação, precisamos refletir sobre nossas práticas (como fazemos), questionar nossas metodologias de ensino aplicadas e problematizar a forma como estamos nos apropriando do conhecimento durante os processos de ensino-aprendizagem. A partir disso, começamos a buscar alternativas e novas possibilidades para a construção dessa apropriação.

É nesse ínterim, que incorporamos a reflexão sobre a constituição da nossa trajetória pelos caminhos da docência do conhecimento físico. A respeito dessa trajetória, desde

³ Iniciei em 2005 uma segunda graduação em Engenharia Civil. Em meio a graduação, participei de projetos de ensino, pesquisa e extensão, onde as atividades sempre foram voltadas para as práticas pedagógicas, como monitorias de Física, projetos de extensão de feiras de Ciências em escolas estaduais e atividades de acolhimento de menores infratores para uma nova inserção na sociedade.

pequeno tivemos um grande apreço pelas tecnologias⁴. Nosso envolvimento com elas fez com que nos últimos anos, como professor, buscássemos inserir nas práticas pedagógicas o uso de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação⁵, para motivar a aprendizagem dos estudantes durante o Ensino de Física.

A partir de leituras que temos feito (NETO, 2015; NETO, 2016; NETO, 2020), já queremos de início, marcar uma posição epistemológica para o uso de TDIC no ensino de física. Compreendemos que para a integração das TDIC ao currículo escolar, faz-se necessário a fluência digital do professor. Segundo Neto (2015), a fluência digital é:

(...) mais do que a aquisição de um tipo de conhecimento, mas como algo adquirido num processo constante de uso ou prática das Tecnologias Digitais a partir da instrumentação do professor e não simplesmente equipar as instituições de ensino com infraestrutura tecnológica adequada, de forma a se integrar com a cultura escolar local. (NETO, 2015, p. 123)

Complementando, Neto (2015) afirma que a fluência digital é mais do um conjunto de conhecimentos tecnológicos isolados de determinados instrumentos tecnológicos a partir dos artefatos em si, mas de todas as relações pedagógicas que se estabelecem em torno desses conhecimentos. Em meio à fluência digital do professor, interessamo-nos em problematizar a integração das TDIC ao currículo escolar de física, mas à luz de teorias pedagógicas do campo didático. Nossas inquietações, que dizem respeito ao integrarmos pedagogicamente as TDIC ao currículo, somam-se à necessidade que encontramos de investigar o ensino de Física. Em revisão sistematizada, que detalharemos adiante no capítulo 2, também observamos a falta de discussões que envolvem a problemática do Ensino de Física e a integração pedagógica de TDIC ao currículo desse campo, enfatizando a relevância do nosso objeto de pesquisa.

Como modo de finalizar este preâmbulo, destacamos que discorreremos no texto, de forma inicial e breve, uma parte do processo de encontro acadêmico-profissional com o nosso objeto de estudo a partir de nosso ingresso ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da UFSC. Para nós, assumirmos que ser professor é muito mais que admitir a possibilidade de uma vocação divina ou natureza biológica, mas sim compreender a necessidade da constituição identitária e histórica docente a partir de sólida formação teórica e sua posterior correlação à prática (práxis) é fundamental a partir da nossa concepção e visão de mundo que se subsidia em pressupostos teórico-metodológicos e epistemológicos do materialismo histórico-dialético.

⁴ Esse conceito de tecnologia será detalhado mais adiante. No momento utilizamos o termo para me referir ao domínio sobre equipamentos eletrônicos que surgiram nos anos 90, na qual tivemos contato com computador ainda criança e crescemos junto com o acesso a internet.

⁵ Ao longo dessa dissertação será feito um detalhamento a respeito dessa terminologia, que também aparecerá por meio da abreviação TDIC

Nesse sentido, a orientação e direção pedagógica para constituição de práticas de ensino e aprendizagem nas escolas é produto de consciência da própria formação e identidade profissional. Como profissional de Física, precisamos problematizar o ensino e repensar as práticas pedagógicas, criando estratégias de ensino que problematizem a teoria e a prática, relacionando os conhecimentos não apenas do conteúdo específico, mas também os conhecimentos didático-pedagógicos, inclusive, os técnico-tecnológicos. Frente as inquietações sobre ensino de Física e as possibilidades de integração pedagógica das TDIC, que discutiremos ao longo dos próximos capítulos, o nosso objeto de pesquisa: *A integração pedagógica das TDIC ao currículo escolar de Física*. É por aí que se orientarão os nossos primeiros rabiscos investigativos da pesquisa. A problemática, os objetivos e as delimitações que envolvem o nosso objeto serão discutidas ao longo do próximo capítulo. Convido-os à sua leitura, como forma de contribuir na sua construção.

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, fizemos uma divisão sobre o ensino de Física a partir de dois momentos. No primeiro, trazemos ao leitor uma discussão inicial sobre a problemática do ensino de física, numa perspectiva tradicional, a partir dos autores Moreira (2018), Scarinci, Dias e Cano (2018), San et al. (2018) e Moreira (2021). Em um segundo momento, apresentamos algumas discussões que relacionem o ensino de Física à possibilidade de integração pedagógica das TDIC, a partir de autores como Neto (2020), Silva et al. (2015), Neto e Mendes (2020) e Baratto, Alberti e Meyer (2020). Ao final do capítulo, explicitamos a nossa problemática de pesquisa e os objetivos desenhados para este estudo.

1.1 SOBRE ENSINAR FÍSICA: QUESTÕES DA TRADIÇÃO À POSSÍVEL INTEGRAÇÃO COM TDIC

A Física permeia a vida dos seres humanos. Está na base das Tecnologias de Informação e Comunicação, da engenharia, das técnicas de diagnósticos e tratamento usadas na medicina. A Física tem modelos e teorias que explicam grande parte do mundo físico em que vivemos.[...]então, aprender Física é um direito do ser humano. (MOREIRA, 2018, p. 76)

Na epígrafe que inicia este item, já tratamos das discussões que problematizam o ensino de física. Para alguns autores (MOREIRA, 2018; NOGUEIRA et al., 2018; SCARINCI; DIAS; CANO, 2018), a Física permeia a vida dos seres humanos e aprendê-la é um direito nosso. Todavia, os autores evidenciam a necessidade de repensar como concebemos o conhecimento científico. Nas pesquisas de Nogueira et al. (2018), tem-se que a falta de motivação dos estudantes do Ensino Médio durante o processo de aprendizagem na área de Ciências da Natureza (Física, Biologia e Química) ocorre devido à falta de significância do conteúdo.

(...) o fator que mais está associado ao desinteresse, que já existe, ou poderá vir a se desenvolver sobre os conteúdos de Ciências da Natureza é a falta de significado sobre os conhecimentos e estimulação. Os jovens que não veem sentido no conteúdo, (...) aqueles que veem sentido no ato de aprender, são reféns de metodologias que pouco os instigam a querer mais, fato que possivelmente acarretará em uma perda pelo interesse por ciências. (NOGUEIRA et al., 2018, p. 4)

Para Moreira (2021), a Física como um aglomerado de fórmulas e cálculos sem significado é uma das principais problemáticas que norteiam o ensino. Já para Capecchi e Carvalho (2006), o excesso de formalismo e a falta de contextualização dos temas

trabalhados nas aulas tornam a disciplina muito distante da realidade dos alunos e dificultam seu entendimento.

(...) esse ensino é o mesmo de sempre: aulas expositivas e listas de problemas, quadro-de-giz (slides em PowerPoint é a mesma coisa), livro de texto único (ou apostila única), conteúdos desatualizados, aprendizagem mecânica (“decoreba”) de fórmulas e respostas corretas. (MOREIRA, 2018, p. 76)

Para que possamos pensar em alternativas para melhorar o ensino de Física, precisamos conhecer quais são as problemáticas em que ele está envolvido. Além disso, precisamos conhecer como a formação do professor impacta nessas problemáticas. Pesquisas realizadas por Moreira (2018), Scarinci, Dias e Cano (2018) e San et al. (2018) problematizam sobre a importância da história da Ciência para ensinarmos ciência.

Uma das razões é que o estudante passa a acreditar que, para seguir uma carreira científica ou compreender a ciência, é preciso ser genial e, quase sempre, chega à conclusão de que não é uma carreira possível para ele. (SCARINCI; DIAS; CANO, 2018, p.110)

O trecho citado por Scarinci, Dias e Cano (2018) aparece no Capítulo 6: *"O que a história da ciência nos ensina sobre a natureza da ciência que queremos ensinar?"*. Esse capítulo traz uma crítica sobre a forma como a história da ciência é apresentada em sala de aula. Nele, os autores apresentam como uma tradição idealizada seguindo um caminho seguro para encontrar a verdade e como ideal de objetividade e racionalidade, onde o professor aborda apenas os capítulos finais das histórias, trazendo esse conhecimento como pronto, bem definido e acabado.

Nesses episódios, como no caso de Maxwell e Galileu, temos um único personagem sintetizando vários conhecimentos, (...) E é apenas esse personagem e essa solução que aparece na sala de aula, levando os estudantes a associar a produção de conhecimento científico ao trabalho de gênios, que dão respostas certas e finais para os grandes problemas da ciência. (SCARINCI; DIAS; CANO, 2018, p.112)

Para Moreira (2021), precisamos ensinar a Ciência como em permanente construção e não como algo exato com teorias definitivas e acabadas. Essa distorção da maneira de ensino da ciência, para Neto e Fracalanza (2003), está presente nos materiais didáticos, uma vez que erroneamente, o conhecimento científico é apresentado neles como um produto acabado, elaborado por mentes privilegiadas e visto como verdade absoluta, desvinculado do contexto histórico e sociocultural. Além disso, San et al. (2018) consideram que para introduzir os alunos ao universo das ciências, deve-se focar em quatro pontos:

A Ciência é uma construção histórica, humana, viva, e, portanto, caracteriza-se como proposições feitas pelo homem ao interpretar o mundo a partir

do seu olhar imerso em seu contexto sócio-histórico-cultural; [...] produz conhecimentos abertos, sujeitos a mudanças e reformulações; A construção destes conhecimentos é guiada por paradigmas que influenciam a observação e a interpretação de certo fenômeno; O conhecimento científico não é construído pontualmente, sendo um dos objetivos da Ciência criar interações e relações entre teorias. (SAN et al., 2018, p. 110)

Tratar o conhecimento científico como algo pronto é uma das discussões que apresentamos acima. Outra discussão relevante aparece nas pesquisas de San et al. (2018), que revelam que os livros didáticos de física vem regulando o planejamento de currículo escolar do professor. Para Gramowski, Delizoicov e Maestrelli (2017), o livro deveria ser considerado um complemento para a prática pedagógica do professor, cabendo ao mesmo "(...)avaliar de que maneira irá planejar e estruturar os conhecimentos, tendo por referências seus alunos e a realidade em que vivem."(GRAMOWSKI; DELIZOICOV; MAESTRELLI, 2017, p. 15).

Perfazendo, Vasconcellos (2011) afirma que o planejamento do currículo escolar por meio do livro didático apenas revela a fragilidade da formação didática dos professores, por muitas vezes desconhecida por eles:

Muitos professores nem desconfiam da sua frágil formação, uma vez que até tiveram acesso à teoria na formação acadêmica, mas não se dão conta de que foi na base instrucionista, tanto o contato com o conteúdo (mera exposição do professor ou de algum grupo encarregado do "seminário"), quanto a sua avaliação (reprodução do discurso da aula, do livro ou da apostila). Como viram aquela matéria, foram avaliados e aprovados, acreditam que de fato sabem. (VASCONCELLOS, 2011, p. 39)

Para Sacristán (2013), a relevância da formação didática do professor se dá ao fato de ele ser o agente mais próximo do currículo, sendo o currículo seu instrumento de trabalho e o professor é quem tem a melhor compreensão do que é necessário para aperfeiçoá-lo. Sem propostas que desenvolvam melhor a escola, o ensino cairá na reprodução, transmissão e rotina. Nesse contexto, o ensino de física para Moreira (2018) é o retrato de um simples treinamento para testes, em que "(...) os professores são treinadores e as escolas são centros de treinamento. As melhores escolas são aquelas que aprovam mais alunos nos testes."(MOREIRA, 2018, p. 75). Para San et al. (2018), em uma metodologia que o papel do professor em sala de aula é de informar conhecimentos aos seus alunos, que são "(...) apenas avaliados pela quantidade de informações que são capazes de registrar, não existe preocupação com a sua formação geral."(SAN et al., 2018, p. 5). Nas palavras de Libâneo (2001):

Não há ensino verdadeiro se os alunos não desenvolvem suas capacidades e habilidades mentais, se não assimilam pessoal e ativamente os conhecimentos ou se não dão conta de aplicá-los, seja nos exercícios e verificações feitos em classe, seja na prática da vida. (LIBÂNEO, 2001, p. 3)

Em suma, as concepções de San et al. (2018), Gramowski, Delizoicov e Maestrelli (2017), Vasconcellos (2011) e Moreira (2018) revelam a existência de um currículo escolar de Física regulado por livros didáticos e, por vezes, desconexo da realidade vivida pelo aluno. O professor não atua como agente mais próximo do currículo, sem propostas que buscam desenvolver melhor a escola e o ensino, tornando-se um ensino pouco preocupado com questões didático-pedagógicas, enfim, um ensino mais reprodutivo e repetitivo. Esse retrato é visto nas escolas que buscam apenas resultados em testes, onde o papel do professor é apenas avaliar a quantidade de informações que os alunos são capazes de registrar. Também discutimos as concepções de Moreira (2018), Nogueira et al. (2018) e Capecchi e Carvalho (2006), os quais revelam um ensino de física pouco pedagógico, que desmotiva os estudantes, por estar sempre associado às aulas conteudistas, expositivas, listas de problemas e com pouca significância do conteúdo, uma vez que trata a Ciência como algo definitivo, acabado e não como algo em permanente construção. Já autores como San et al. (2018) e Castro e Carvalho (2001) sugerem um planejamento de atividades em que o foco é a Ciência como uma construção histórica e social, passível de mudanças e reformulações em que o conhecimento não é construído pontualmente. Será que a educação, e mais precisamente o ensino de Física, ainda apresentam outros desafios?

A educação do século XXI tem, entre outros desafios, o reconhecimento do perfil de estudante pertencente a uma sociedade midiática, perpassada pela cultura digital. (FERREIRA et al., 2020, p. 1)

Segundo Ferreira et al. (2020), o perfil dos estudantes vem mudando drasticamente em que é necessário repensar estratégias para promover um aprendizagem significativa, sendo possível uma articulação com as TDIC. O autor também reconhece que o perfil do estudante e a cultura digital estão criando um fenômeno de pesquisa em ensino de física, focada no desenvolvimento e a popularização das TDIC nos processos de ensino e aprendizagem, e alerta para a necessidade de uma formação inicial e continuada dos professores.

Essa demanda, para nós, é de cunho não apenas metodológico, mas, sobretudo, teórico, visto que a inobservância e a malversação do uso de TDIC parecem ter origem na incompreensão de sua potência na construção de determinado processo pedagógico ou, no limite, na tentativa de reduzi-la a um procedimental didático perfunctório. (FERREIRA et al., 2020, p. 1)

Muito além de reconhecer o perfil de um estudante conectado e vivido digitalmente, é preciso superar as dificuldades frente a utilização de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação para o Ensino. Recentemente, Neto e Mendes (2020) revelam que entre os discursos dos professores, é recorrente encontrar a ideia de que os poucos usos das TDIC na escola são ainda limitados, porque não sabem o que fazer e como fazer com

essas tecnologias. Eles também complementam que essas tecnologias são usadas de forma instrumental, porque priorizam os aspectos técnicos em detrimento dos pedagógicos e periféricos, porque apenas tangenciam as práticas educativas com estratégias de motivação dos alunos, de forma desconectada do ensino dos conteúdos escolares. Ainda reforçam que é preciso desmistificar a ideia de que esse uso representa muito mais que o simples acesso, bem como de que os conhecimentos sobre as TDIC para ensinar os conteúdos escolares têm mais sentido que os conhecimentos apenas para simplesmente usá-las. Para isso, é preciso pensar na integração de TDIC na construção do currículo escolar de forma integrada e pedagógica.

A construção de currículos a partir das tecnologias digitais pode representar a ressignificação do cenário escolar, sobretudo, do modo de ser, agir e pensar das gerações que hoje frequentam nossas escolas, particularmente, no que tange à valorização do exercício da autoria, acompanhado da leitura crítica do mundo. (NETO, 2020, p. 9)

Além disso, devemos considerar o avanço tecnológico, uma vez que a internet passou a exercer um papel fundamental na movimentação das relações sociais, culturais e dos conhecimentos da sociedade, sendo possível observar algumas mudanças nos modos de comunicação e interação nos diferentes âmbitos sociais – inclusive no ambiente escolar. Essas mudanças apontam para o surgimento de uma nova cultura da aprendizagem e busca por novas formas de aprender, construir e reconstruir conhecimento. (BARATTO; ALBERTI; MEYER, 2020).

No que tange ao ensino de física, propriamente, Moreira (2021), ao apresentar os principais desafios no ensino de física, trata da importância da experimentação para a aprendizagem do estudante. Para o autor, o ensino "[...] conduzido sem atividades experimentais, segue o modelo expositivo no qual o professor *dá a matéria* para os alunos anotarem em seus cadernos ou fotografarem com seus celulares. Um grande erro é um ensino de Física sem atividades experimentais." (MOREIRA, 2021, p. 3). Alertando para a situação da falta de laboratórios nas escolas e, corroborando com as discussões de Neto (2020) sobre as possibilidades de integração pedagógica das TDIC, Moreira (2021) considera a utilização de laboratórios virtuais em que:

(...) os alunos podem fazer simulações, construir modelos computacionais, alterar variáveis em modelos preexistentes para ver o que acontece, fazer experimentos remotos, (...) podem aprender Física e estimular o desenvolvimento de competências científicas como modelagem científica, argumentação baseada em evidências, comunicação de resultados, perguntar e questionar cientificamente. (MOREIRA, 2021, p. 8)

Apresentamos a concepção de Ferreira et al. (2020) e Baratto, Alberti e Meyer (2020) frente aos novos perfis de digitalização da docência e dos estudantes, em que surge a necessidade de se discutir uma formação de professores frente aos avanços tecnológicos.

Nesse contexto, Neto (2020) discute a possibilidade de integração pedagógica das TDIC ao Currículo Escolar. Corroborando, Moreira (2021) discute sobre a importância das atividades experimentais, para o ensino de Física, em que a utilização de simuladores virtuais pode representar um caminho da integração. As discussões a respeito da falta de significância do conteúdo, o conhecimento científico tratado como pronto, o formalismo matemático, a falta de contextualização e a pouca preocupação com questões didático-pedagógicas, aliado as possibilidades de integração pedagógica das TDIC ao currículo, começam a dar forma ao nosso objeto de pesquisa: *A integração pedagógica de TDIC ao currículo de Física*. A partir da definição do nosso objeto e os desafios apresentados para o Ensino de Física, estruturamos a nossa problemática de pesquisa: *Qual a possibilidade de um currículo escolar para o ensino de física a partir da integração pedagógica das TDIC?* Dessa problemática, também emergiram outras questões secundárias: *Quais são as dificuldades e limitações na hora de propor uma sequência didática pra o ensino de física com TDIC? É possível elaborar uma sequência didática para o ensino de Física de forma integrada e pedagógica com as TDIC?* Para que possamos discutir essas questões, utilizaremos os estudos de Neto (2020) e Neto (2016), uma vez que os autores discutem os desafios da integração pedagógica do currículo e das TDIC, explorando suas potencialidades e a própria apropriação tecnológica por parte dos professores, além de suas lógicas de usos pedagógicos. Para a investigação, vamos demarcá-la buscando atingir o seguinte objetivo geral: *Propor uma sequência didática para o ensino da óptica física e geométrica, problematizando a integração pedagógica das TDIC ao currículo escolar de Física*. Como objetivos específicos, buscamos: *Problematizar o ensino de Física, compreender as concepções de currículo, TDIC e integração e propor uma metodologia de sequência didática*.

Após cumprirmos a etapa que introduz a escolha do nosso objeto e problemáticas de pesquisa, bem como, objetivo geral e específico, estruturamos o nosso trabalho da seguinte forma: no capítulo 2 será apresentada uma revisão de literatura, em que buscamos por trabalhos de produção da Área de Ensino de Física com foco em ensino de Física, tecnologia e currículo. Em seguida será feita uma descrição a cerca dos termos TDIC, currículo e a integração ao currículo. No capítulo 3 apresentaremos uma revisão teórica sobre Óptica Geométrica, assunto de Física em que iremos elaborar uma sequência didática. No capítulo 4, apresentamos a metodologia em que por meio de uma pesquisa-ação, materialismo histórico-dialético e a pedagogia histórico-crítica iremos propor uma sequência didática integrada pedagogicamente com TDIC, para abordar os conceitos que envolvem os fenômenos ópticos, destacando a Óptica Geométrica. Já no capítulo 5, descrevemos e relatamos a aplicação da nossa sequência didática. Por fim, o capítulo 6 será para apontarmos nossas considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O percurso do nosso referencial teórico começa a partir de uma busca por trabalhos de produção da área de Ensino de Física, com o foco em tecnologias digitais e ensino de física. Em seguida, faremos um detalhamento a cerca das concepções de Currículo e qual aquela que mais se aproxima do nosso objeto de pesquisa. Após, iremos fazer um detalhamento sobre a terminologia TDIC, que adotamos para essa dissertação e por fim, discutiremos a respeito da integração das TDIC ao currículo.

2.1 REVISÃO DE LITERATURA

Nossa revisão de literatura inicia-se com a busca da palavra tecnologias no repositório institucional da UFSC, na aba de Teses e Dissertações, nas coleções do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Nesse repositório, temos a disposição 68 publicações para busca. Ao atribuir a palavra tecnologias, o repositório selecionou 15 trabalhos presentes na coleção, no qual continha a palavra tecnologias presente no título ou no resumo. Dentre esses resultados, ao redefini-los por assuntos, obtemos o quadro 1 abaixo:

Tabela 1 – Publicações com o termo *tecnologias*, divididas por assunto pelo Repositório Institucional da UFSC - Coleção do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

| Assunto | Quantidade de trabalhos |
|--|-------------------------|
| Física | 14 |
| Tecnologia educacional | 6 |
| Astronomia | 2 |
| Laboratórios experimentais | 2 |
| Tecnologias da informação e comunicação | 2 |
| Abordagem interdisciplinar do conhecimento | 1 |
| Abordagem interdisciplinar do conhecimento na educação | 1 |
| Ambiente virtual de aprendizagem | 1 |
| Ambientes virtuais compartilhados | 1 |
| Aprendizagem | 1 |
| Arduino (Controlador programável) | 1 |
| Automóveis | 1 |
| Autonomia (Psicologia) | 1 |
| Coletores solares | 1 |
| Educação de jovens e adultos | 1 |
| Energia solar | 1 |
| Espectrofotometria | 1 |
| Estudo e ensino | 1 |
| Fotoeletricidade | 1 |
| Física (Ensino médio) | 1 |

Analisando os assuntos mostrados pelo Repositório, examinamos as coleções dos assuntos que tem relação com a palavra que buscamos inicialmente. Sendo assim, analisamos as dissertações do assunto *Tecnologia educacional* e *Tecnologias da informação e comunicação*. Os títulos, autores e anos dos trabalhos encontrados são apresentados no quadro 2.

Tabela 2 – Publicações com o termo *tecnologias*, encontradas nos assuntos *Tecnologia educacional* e *Tecnologias da informação e comunicação* pelo Repositório Institucional da UFSC - Coleção do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.

| Título da publicação | Autor | Ano |
|---|---------------------------------|------|
| Desenvolvimento de página web utilizando a evolução do automóvel como tema motivacional para o ensino de física | ROMANCINI, José Afonso | 2017 |
| Curta física | COSTA JÚNIOR, Horácio Vieira da | 2017 |
| Ferramentas tecnológicas educacionais: elaboração de um guia e a utilização no planejamento das aulas de física | OLIVEIRA, Marília Nascimento | 2019 |
| Unidade de ensino potencialmente significativo para o ensino da relatividade especial no ensino médio: uma abordagem com auxílio de recursos digitais | REINERT, José Edson | 2020 |
| A utilização de TICs como instrumentos pedagógicos no ensino de astronomia na educação de jovens e adultos | MONCHESKI, Clezio | 2020 |
| Jogos, modelos, encenação e softwares: recursos para o ensino inovador de astronomia | GARCIA, Caroline da Silva | 2019 |
| Desenvolvimento de um ambiente virtual de ensino e aprendizagem para o ensino da relatividade | CHITOLINA, Diogo | 2017 |

Fonte: Repositório Institucional da UFSC, 2021

Em seguida, analisamos o resumos de cada trabalho, buscando identificar se eles estudam a integração entre TDIC e o currículo. Os trabalhos de Romancini et al. (2017), Júnior et al. (2017), Oliveira et al. (2019), Chitolina et al. (2017), Reinert (2020) e Moncheski et al. (2020) mencionam em seus resumos a utilização de tecnologias digitais de informação e comunicação como instrumento na produção de seus respectivos produtos.¹

Também realizamos uma busca nos trabalhos publicados na Revista Brasileira de Ensino de Física² entre os anos de 2010 e 2021 através da SciELO³. Para a realização

¹ O trabalho de Garcia et al. (2019) apresenta, como um anexo ao produto, a utilização de um software como complemento didático, mas não esclarece a integração dessa tecnologia e nem a insere no produto educacional final.

² A Revista Brasileira de Ensino de Física - RBEF - é uma publicação de acesso livre da Sociedade Brasileira de Física (SBF) voltada à melhoria do ensino de Física em todos os níveis de escolarização. Através da publicação de artigos de alta qualidade, revisados por pares, a revista busca promover e divulgar a Física e ciências correlatas, contribuindo para a educação científica da sociedade como um todo. Ela publica artigos sobre aspectos teóricos e experimentais de Física, materiais e métodos instrucionais, desenvolvimento de currículo, pesquisa em ensino, história e filosofia da Física, política educacional e outros temas pertinentes e de interesse da comunidade engajada no ensino e pesquisa em Física.

³ A SciELO é uma biblioteca digital de livre acesso e modelo cooperativo de publicação digital de

da busca, utilizamos na pesquisa a palavra *Tecnologias* e a palavra *Ensino*, buscando encontrar aqueles trabalhos que possuem as duas palavras, não necessariamente juntas, no resumo. A busca encontrou 11 trabalhos, no qual dividimos as suas quantidades de acordo com o ano de publicação, conforme o quadro 3.

Tabela 3 – Total de publicações, que contem o termo *tecnologias* e *ensino* no título ou resumo, encontradas na Revista Brasileira de Ensino de Física entre os anos 2010 e 2021.

| Anos | 2010 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2020 | 2021 |
|-------------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Quantidade de trabalhos | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 1 |

Fonte: SciELO, 2021

Intrigados com o crescimento de publicações no ano de 2020, em relação aos anos anteriores, decidimos por analisar os resumos dos artigos desse ano e também do artigo que foi publicado no ano seguinte. Os trabalhos de Ferreira et al. (2020) e Souza e Cardoso (2020) apresenta em seus resumos a utilização de TDIC como instrumento para o desenvolvimento de experimentos didáticos que podem ser aplicados em turmas do Ensino Médio na disciplina de Física. O artigo de Ferreira et al. (2020) destaca a importância de se "(...) articular elementos e procedimentos tanto das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação quanto das estratégias ativas que fomentem aprendizagem (...)". (FERREIRA et al., 2020, p.1). Nesse artigo, o autor também sugere uma sequência didática apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para *smartphones*. Em Souza e Cardoso (2020), encontramos a análise comparativa de quatro experimentos didáticos, em que alguns foram realizados com o auxílio de TDIC, por meio de softwares e smartphones, e outros não. A partir daí o autor apresenta os resultados obtidos e a eficácia de cada experimento realizado tendo como base os resultados teóricos discutidos em aula.

Em síntese, nossas buscas revelam uma baixa quantidade de trabalhos associados ao uso de tecnologias integradas ao ensino de Física. O repositório institucional da UFSC, mais precisamente as coleções do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, apresentam um total de 68 publicações, sendo que apenas 22% delas têm a palavra *tecnologias* contida no título ou resumo. Quando separados por assunto, filtrando-os em *Tecnologia Educacional*, *Tecnologias da informação e comunicação* e analisado o conteúdo dessas publicações, o número cai para 8,8% de relevância com o nosso objeto de estudo. Complementando nossas pesquisas, nos últimos onze anos a Revista Brasileira de Ensino de Física publicou cerca de 1268 artigos. Quando filtrados pelas palavras *tecnologias* e *ensino* contidas nos resumos, esse número cai para 11 trabalhos publicados, ou seja, menos de 1% das publicações. Vale ressaltar que não realizamos uma análise crítica sobre a

integração pedagógica de TDIC, mas apenas verificamos se as publicações apresentavam o uso de tecnologias para o ensino de física e se isso constava em seu resumo ou título.

Os resultados encontrados corroboram com a necessidade de investigarmos a integração pedagógica das Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação ao currículo escolar. Essas discussões são essenciais para que possamos investigar as limitações e dificuldades na elaboração de uma proposta de sequência didática a partir da integração das TDIC para o ensino de física. A seguir iremos discutir a respeito da concepção de Currículo que adotamos em nosso objeto de pesquisa.

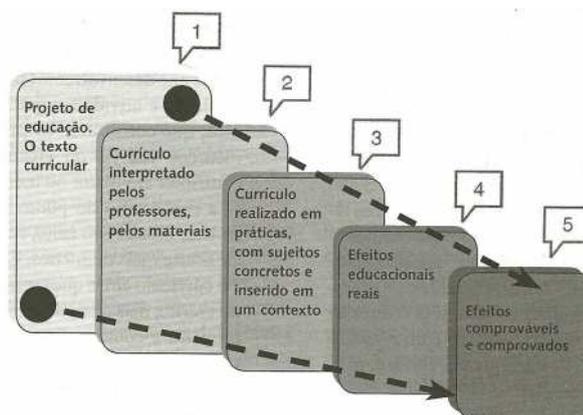
2.2 CONCEPÇÃO DE CURRÍCULO

Para iniciar esse capítulo, utilizamos a definição mais simples de que o currículo "(...) é algo evidente e que está aí, não importa como o denominamos. É aquilo que um aluno estuda." (SACRISTÁN, 2013, p. 16). Nesta definição, vemos que o sujeito principal é o aluno e o currículo, aquilo que ele deve estudar. Mas afinal, o que o aluno deve estudar? De acordo com Almeida e Silva (2011), o currículo vai além do estudo.

(...) o currículo envolve tanto propiciar ao aluno a compreensão de seu ambiente cotidiano como comprometer-se com sua transformação; criar condições para que o aluno possa desenvolver conhecimentos e habilidades para se inserir no mundo como atuar em sua transformação; ter acesso aos conhecimentos sistematizados e organizados pela sociedade como desenvolver a capacidade de conviver com a diversidade cultural, questionar as relações de poder, formar sua identidade e ir além de seu universo cultural. (ALMEIDA; SILVA, 2011, p. 8)

O currículo não pode ser visto como algo estático, em que as preocupações se limitam somente em colocar ou retirar disciplinas do plano curricular, aumentar ou reduzir a carga horária, o currículo precisa ser percebido como processo. (ALMEIDA, 2019). O currículo deve estar nas mãos dos professores para ser moldado. É como uma massa de barro que precisa adotar uma forma ou outra segundo o contexto (SACRISTÁN, 2013). De acordo com Sacristán (2013), a concepção de currículo pode ser dividida em cinco planos, conforme a figura 1:

Figura 1 – Esquema de concepção do currículo.



Fonte: (SACRISTÁN, 2013)

Para o autor, podemos chamar o primeiro plano de currículo oficial, uma espécie de texto curricular ou projeto de educação almejado. A partir do momento em que o professor interpreta esse texto curricular, ele deixa de ser um plano de currículo oficial, atingindo um segundo plano. Quando esse currículo interpretado é utilizado na prática, com sujeito concretos e dentro de um contexto determinado, é chamado de terceiro plano. Aquele currículo interpretado pelos sujeitos concretos e que provocar efeitos educacionais reais é visto como o quarto plano do currículo. Por fim, quando se tem um resultado expressado a cerca dos efeitos do currículo com sucesso ou não comprovado, temos o chamado Currículo avaliado.

Em síntese, apresentamos uma das definições mais superficiais para o concepção de currículo. Entretanto, o currículo é mais do que uma divisão em cinco planos. Para Sacristán (2013), o currículo não deve ser visto apenas como um conceito teórico, mas também como uma ferramenta de regulação das práticas pedagógicas. Além disso, o currículo e sua implementação tem condicionado nossas práticas de educação, sendo ele, um componente formador da realidade do sistema de educação no qual vivemos.

A discussão a respeito de uma concepção de currículo que representa uma realidade do sistema de educação é discutida por Neto (2019). O autor apresenta a existência de questões de natureza econômica e mercadológica como determinantes na escolha de projetos de Educação, Formação e Currículo. A existência de discussões teóricas que buscam definir uma concepção de currículo pautadas nos conflitos de interesses e poderes entre dominantes e dominados estão trazendo a tona um processo de centralização e unificação curricular, também chamado de Currículo mínimo, oficial e prescrito que estabelece "(...) perversamente as orientações estruturadoras de conteúdos, conhecimentos ou competências para as escolas." (NETO, 2019, p. 19). Para Neto (2019), essa proposta enxerga o currículo:

(...) apenas dentro dos sistemas restritos da prescrição, discutindo apenas problemas de operacionalização curricular, de programação sistemática e assim por diante. Instrumentos úteis, mas pequenas algemas de controle quando empregados sem a crítica do lugar e do sentido de sua aplicação e uso. (NETO, 2019, p. 20)

Complementando, essa proposta de reducionismo curricular tem sido alvo de inúmeras práticas presentes nas traduções dos currículos escolares, tornando-se uma limitação "(...) que fragiliza não apenas o conhecimento a ser problematizado nas escolas, mas, sobretudo, a criação/invenção de práticas contextualizadas e significativas de ensino."(NETO, 2020, p. 113).

Como estamos interessados em discutir currículo e perspectivas de integração com TDIC, apresentaremos uma concepção contemporânea de currículo, discutida por Neto (2020). Para o autor, a concepção contemporânea de currículo caracteriza-se:

(...) pela reconstrução dos conteúdos prescritos nos processos de representação de significados e negociação de sentidos que ocorrem, de início, na hora em que os educadores executam e operacionalizam seus planejamentos de ensino de suas áreas de conhecimento (disciplinas), bem como levam em consideração a complexidade do contexto da sala de aula, as necessidades dos estudantes, para além das suas preferências pessoais e profissionais. (NETO, 2020, p. 121)

Complementando, o currículo contemporâneo é aquele que vai além da centralização e unificação conteudista e é reconstruído no momento em que o professor constrói o seu planejamento, levando em consideração o currículo previsto, o conhecimento específico da área de conhecimento, a realidade escolar, as necessidades dos alunos, sendo possível rever a concepção de disciplina e sua função na educação escolar, de modo a transformá-la em conhecimento que problematiza o senso comum que o educando traz de sua realidade. (ALMEIDA, 2019; NETO, 2020)

Em suma, discutimos o conceito de currículo a partir dos estudos de alguns autores (NETO, 2020; NETO, 2019; ALMEIDA, 2019), buscando definir uma concepção de currículo que se aproxime do nosso objeto de estudo. Buscamos nos aproximar de um currículo que permita a "(...) compreensão da organização e da construção do conhecimento na ação de aprender"(NETO, 2020, p. 123), deixando de lado a ideia de currículo como um "(...) instrumento de desigualdade, alienação e reprodução social para o capital"(NETO, 2019, p. 20), em que seja visto como um currículo "(...) que leva em conta as mais variadas linguagens"(ALMEIDA, 2019, p. 9), levando em consideração "(...) a complexidade do contexto da sala de aula, as necessidades dos estudantes, para além das suas preferências pessoais e profissionais."(NETO, 2020, p. 121). Nossa próxima etapa esta pautada na definição de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação, que estamos interessados em integrar ao currículo escolar.

2.3 TECNOLOGIAS DIGITAIS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO

Já vivemos em uma era de escolas, universidades, bibliotecas e museus inundados de artefatos, plataformas e aplicativos digitais, o que torna impossível imaginar o futuro da educação sem as tecnologias computadorizadas em posição de centralidade. Assim, precisamos criar narrativas sobre a educação e “o digital” que sejam mais bem desenvolvidas e realistas possível. (SELWYN, 2017, pg-87)

Partindo dessa afirmação, é preciso entender qual a posição das tecnologias frente a educação e o seu papel junto com o do professor. Mas afinal, qual tecnologia estamos falando? Segundo Neto (2020), as tecnologias se reduzem as mais contemporâneas, ou seja, aquelas mais recentes (menos tempo) e “modernas”, caracterizadas como sinônimas de inovações, avanços, resultantes de evoluções técnicas/tecnológicas. No campo da comunidade escolar, a concepção citada anteriormente não é muito diferente. O autor também cita que o caderno, quadro-negro, materiais didáticos são, também, exemplos de tecnologias, todavia, por já estarem incorporadas à cultura escolar há bastante tempo, na maioria das vezes, ficam excluídas do rol das tecnologias. Outra definição das tecnologias que pode complementar a definição é citada por Kenski (2007):

Estamos acostumados a nos referir a tecnologias como equipamentos e aparelhos. Na verdade, a expressão ‘tecnologia’ diz respeito a muitas outras coisas além de máquinas. O conceito de tecnologias engloba a totalidade de coisas que a engenhosidade do cérebro humano conseguiu criar em todas as épocas, suas formas de uso, suas aplicações. (KENSKI, 2007, p. 22)

Sendo assim, o termo tecnologias compreende desde os objetos, práticas e ações mais pré-históricos, a exemplo do fogo, do arco e flecha, até aqueles mais avançados e contemporâneos, como as mídias móveis e multimidiáticas, como por exemplo *tablet*, *notebook*, *softwares* e celulares. (NETO, 2020). É importante entender a que se aplica o termo *digitais* presente, ou seja, seu entendimento frente as Tecnologias. Temos como alguns exemplos: lousas digitais, computadores, sites educacionais, jogos pedagógicos e simuladores computacionais. Complementando, como TDIC estamos denominando um grupo de tecnologias que emergem frente ao processo de digitalização social, ou seja, a convergência entre diferentes áreas, informática, telecomunicação, robótica, etc., destacando-se na contemporaneidade não pelo caráter de novidade, inovação, mas em relação às suas potencialidades, ou seja, capacidade de fazer algo diferente daquilo que estamos habituados. (NETO, 2020).

Entretanto, encontramos em Neto (2020) diversos termos e expressões como: novas tecnologias de informação e comunicação – NTIC, tecnologias de informação e comunicação

– TIC, tecnologias digitais de informação e comunicação – TDIC e tecnologias digitais – TD. Para o autor, as diversas expressões trazem a tona um "(...) conceito que se presta, aliás, a muitas confusões imaginárias, dada a sua amplitude e diversidade de discussão."(NETO, 2020, p. 32).

Além disso, vamos tratar as TDIC como instrumentos tecnológicos, inevitavelmente, mas, sobretudo, como instrumentos culturais e mediadores de aprendizagem. Assim, elas não serão investigadas como ferramentas, recursos ou artefatos, mas como instrumentos. (NETO, 2020). Para esse trabalho, adotou-se a expressão TDIC, tendo como referência Neto (2020), que segue diferentes abordagens teóricas, complementado-as entre si. Para ele, a concepção de TDIC:

(...) está imbuída na mistura das diferentes abordagens: a concepção de Cuban (2001), compreendendo as TDIC como um conjunto que associa hardware e software e que associa diferentes termos para se referir às tecnologias, a saber: recurso, ferramenta, equipamento, dispositivo, artefato, instrumento, etc.; a concepção de Valente (2005) com a ideia de tecnologia a partir do digital, conectados ou não à internet; e, por último, a concepção de Almeida (2007) assumindo que existe uma polissemia no conceito envolta ao contexto cultural e perspectiva teórica de cada um autores. (NETO, 2020, p. 35)

Corroborando as diferentes abordagens citadas por Neto (2020), compreendemos as TDIC incluindo a concepção de Kenski (2007), como sendo "um instrumentos capaz de romper com as formas narrativas circulares e repetidas da oralidade e com o encaminhamento contínuo e sequencial da escrita, se apresentando como um fenômeno descontínuo, fragmentado e, ao mesmo tempo, dinâmico, aberto e veloz."(KENSKI, 2007, p.24). Deixa de lado a estrutura serial e hierárquica na articulação dos conhecimentos e se abre para o estabelecimento de novas relações entre conteúdos, espaços, tempos e pessoas diferentes. Sendo assim, a partir da definição de TDIC e da apresentação de nossa concepção de currículo, vamos encaminhar nossas discussões para a integração de TDIC ao currículo.

2.4 INTEGRAÇÃO DE TDIC AO CURRÍCULO

Para entendermos o que é a concepção de integração pedagógica das TDIC, devemos compreender a existência de um distanciamento de duas ideias recorrentes no trabalho e estudo com as tecnologias: a primeira, caracterizada pelo determinismo e instrumentalismo tecnológicos, de que somente a sua presença no contexto escolar já garantiria a integração; a segunda, caracterizada pela emergência da atividade isolada, em que somente a sua presença sem uma sequência didática intencional, sistematizada, transformadora e crítica, permita compreender e refletir sobre o potencial da integração, a exemplo da simples atividade de busca de informações na internet sem qualquer planejamento didático-pedagógico. (NETO, 2020, p. 48).

O uso de TDIC na Educação vem se popularizando nos últimos anos. Trabalhos desenvolvidos no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, por exemplo, fornecem resultados que ajudam a mostrar a inserção de TDIC nos processos de ensino e aprendizagem nas escolas. Pockszevnicki (2021), utilizou uma simulação virtual para abordar os assuntos relacionado a propagação do som. Reinert (2020) abordou o ensino de relatividade especial com o auxílio de recurso digitais. Moncheski et al. (2020) utilizou as TICs como instrumento pedagógico no ensino de Astronomia na Educação de Jovens e Adultos.

Entretanto, para Neto (2020) devemos tomar cuidado, pois a integração de TDIC, sem ser pedagógica, caracterizada pela simples adoção, utilização ou uso instrumental, estaria relacionada à compreensão de que elas são apenas meros equipamentos, ferramentas, recursos de apoio ou suporte à aprendizagem e não como instrumentos culturais de aprendizagem que emergem em meio à cultura digital.

Além de inserir TDIC ao currículo escolar, devemos atribuir ao aluno um papel mais ativo, assim é possível criar uma educação mais dinâmica, compartilhada, desafiadora e condizente com as necessidades de uma sociedade e de seus sistemas escolares, que precisam gerar mais ofertas de educação de qualidade, para mais pessoas e ao longo da vida. (SILVA et al., 2015).

Atribuir ao aluno um papel ativo implicará planejar e organizar as atividades cuja função das tecnologia digitais vai além da transmissão de informação, proporcionando assim diferentes oportunidades de questionamento, reflexão, decisão, enfim, produção de conhecimento. (COSTA et al., 2012 apud SILVA et al., 2015, p. 26)

A integração das TDIC com o currículo também foi alvo de discussões de Almeida e Silva (2011), de modo que a resignificação do currículo e as tecnologias acontece a partir do momento em que o emprego delas na educação deixam de ser coadjuvantes nos processos de ensino e aprendizagem, não sendo apenas um apoio às atividades ou como motivação dos alunos, e sim um movimento de integração com o currículo.

Integrar as TDIC com o currículo significa que essas tecnologias passam a compor o currículo, que as engloba aos seus demais componentes e assim não se trata de ter as tecnologias como um apêndice ou algo tangencial ao currículo e sim de buscar a integração transversal das competências no domínio das TDIC com o currículo, pois este é o orientador das ações de uso das tecnologias. (ALMEIDA; SILVA, 2011, p. 8)

Complementando, em Costa et al. (2012) é apresentado um quadro-síntese com algumas oportunidades de aprendizagem por meio das tecnologias digitais no Ensino de Ciências. Na tabela 4 é apresentado alguns exemplos citados pelo autor.

Tabela 4 – Tecnologias digitais e suas oportunidades no Ensino de Ciências

| Oportunidades de aprendizagem com tecnologias digitais nas Ciências | | | |
|--|---|--|--|
| Usar <i>applets</i> , <i>software</i> para modelagem e programas de simulação para observação e descrição de sistemas e fenômenos físicos reais, para apoiar a formulação de hipóteses e a apreensão de traços importantes do comportamento ou da evolução dos sistemas observados | Usar plataformas e serviços disponibilizados online de apoio à partilha e divulgação de informações, recursos e conhecimentos que possam servir também como um meio para interagir com outras pessoas | Usar tecnologias de apoio à comunicação para o planejamento e a realização de investigações, para promover o debate sobre descobertas científicas ou para confrontar diferentes perspectivas de interpretação científica | Usar aplicações genéricas para apoiar os processos de produção científica, incluindo a organização de registos e notas decorrentes de trabalho experimental ou de microscópio, a elaboração de bases de dados ou mesmo a produção de cartazes de divulgação científica |

Fonte: (COSTA et al., 2012)

Dando sequência as discussões a respeito da integração das TDIC com o currículo escolar, Neto (2020) problematiza, com maior complexidade, o termo "*integração pedagógica das TDIC*". Para o autor, a integração pedagógica das TDIC se dá por meio de estágios, onde em cada um deles localizamos diferentes modos de integração com as TDIC, sendo uns mais intensos e outros nem tanto. Além disso, integrar pedagogicamente é estar preocupado com todo o processo, se questionando não somente qual uso é feito das tecnologias, mas, fundamentalmente, o quê, o como e o por que usar. Pensando numa perspectiva de aprender com tecnologias, integrar pedagogicamente as TDIC ao currículo escolar está centrada na ideia de usar as tecnologias como ferramenta que apoia no processo de representação, reflexão e construção do conhecimento. (NETO, 2020). A integração das TDIC ao currículo pode representar uma aplicação do esquema de concepção de currículo, incorporando conteúdos, métodos, procedimentos, experiências prévias e atividades desenvolvidas entre professor e alunos (SACRISTÁN, 2013), usando as TDIC como instrumento de mediatização.

No próximo capítulo, apresentaremos uma revisão teórica sobre Óptica Geométrica, assunto de Física em que iremos elaborar uma sequência didática. Ao longo da descrição do assunto e conceitualização, iremos apresentar as possibilidades de integração pedagógica com TDIC em nossa proposta de sequência didática. Nisso, devemos nos ater a alguns conceitos. Para Neto (2016), o uso pedagógico de TDIC deve ser integrado, preocupando-se com os "(...) saberes que se põem em jogo, sejam eles pedagógicos, conceituais, tecnológicos ou contextuais"(NETO, 2016, p. 66). A integração pedagógica a sequência didática não pode acontecer de forma isolada, mas sim como uma sequência, que busca promover processos reflexivos e apropriações nos sujeitos que delas participam. Além disso, o uso pedagógico de TDIC no contexto escolar sem alteração das práticas docentes é enraizado em um modelo educativo, que se baseia no professor, livro didático, conteúdo, exposição de *slides* e reprodução, se caracteriza em um "(...)determinismo tecnológico, de que somente a presença das TDIC no contexto escolar já garantiria o uso pedagógico (...)"(NETO, 2016, p. 64). Esse determinismo tecnológico é um concepção que se distancia do uso pedagógico das TDIC que queremos propor. Convido-os a analisar os primeiros rabiscos que estruturam a elaboração da nossa sequência didática.

3 ÓPTICA: DO PRINCÍPIO DO MÍNIMO TEMPO À VISÃO HUMANA

O estudo da óptica tem como um de seus propósitos compreender o comportamento da luz, bem como discutir as teorias relacionadas a natureza dela. Contudo, seu escopo é mais amplo, buscando também encontrar aplicações práticas para essas discussões. A exemplo disso, temos a aplicação desse conhecimento na produção de imagens. As primeiras imagens fotográficas, produzidas em 1824, eram meras curiosidades, mas o mundo moderno não pode passar sem imagens. Se tratando da relação interação da luz e visão, este é um dos sentidos mais cruciais para os seres humanos, pois é por meio dele que interagimos com o ambiente ao nosso redor. Cada material presente nesse ambiente interage de maneira única com a luz, resultando em parte da luz incidente sendo absorvida e outra parte sendo refletida de forma difusa. Essa luz difusamente refletida alcança nossos olhos e é posteriormente processada e interpretada pelo cérebro. Esse processo possibilita que vejamos os objetos em suas distintas formas e cores. Partindo dessa introdução, discutiremo sobre o Princípio de Fermat do mínimo tempo, as leis de reflexão e refração, bem como os estudos fundamentais sobre a visão humana. Convido o leitor a explorar o contexto histórico do desenvolvimento da óptica e a evolução das ideias sobre a natureza da luz, suas propriedades, propagação, visão e cores.

3.1 O DESENVOLVIMENTO DA ÓPTICA: PRIMEIRAS DISCUSSÕES

É comum atribuímos ao século XVII o surgimento da óptica geométrica tal como a conhecemos nos dias de hoje. No entanto, de um ponto de vista histórico, a óptica geométrica tem suas raízes em especulações muito mais remotas, feitas pelos principais pensadores da Antigüidade, e remonta a vinte longos séculos de discussões. (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 85)

A epígrafe que inicia essa seção abre a discussão de que a luz sempre foi objeto de fascinação e indagação para a humanidade ao longo dos séculos. Comumente, associamos o desenvolvimento da óptica geométrica ao século XVII, mas, ao mergulharmos no contexto histórico, descobrimos que suas origens se estendem muito além, até a Antigüidade, onde os grandes pensadores especularam sobre suas propriedades. Os antigos pensadores se depararam com desafios significativos ao tentar compreender a visão. Notavelmente, eles não puderam recorrer nem a um contato direto entre o objeto e o olho, nem a qualquer exalação ou vibração transmitida pelo meio, uma vez que esses modos de comunicação

resultariam em efeitos percebidos ao longo de um intervalo de tempo específico. O que também chamava atenção era o fato de que as formas e cores dos objetos podiam ser percebidas mesmo à distância. Se algo fosse emitido do objeto observado em direção ao olho do observador, não poderia ser uma simples exalação sem forma. Ao contrário, deveria ser algo capaz de transportar a forma e a cor do próprio objeto em questão. Os filósofos da Antiguidade não admitiam a possibilidade de ação a distância, logo algum tipo de ligação entre a fonte e o objeto deveria ser admitida a fim de explicar como o olho adquiria conhecimento sobre as propriedades dos corpos. De acordo com Barros e Carvalho (1998):

Uma teoria aceita na Antiguidade atribuía a toda sensação o resultado de algum tipo de contato ou toque. Desse modo, todas as nossas percepções seriam tácteis, todos os nossos sentidos seriam uma forma de toque e, desde que a alma não poderia ir até os objetos, logo estes objetos deveriam tocar a alma, passando através dos órgãos dos sentidos, (...) então algum tipo de imagem ou pele que se desprendia do corpo deveria atingir os olhos do observador, transportando para a alma as formas, as cores e todas as outras qualidades do corpo. (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 86)

O raciocínio descrito por Barros e Carvalho (1998), conduziu à concepção da *eidola*, ou peles, ou imagens ou, como elas eram chamadas na Idade Média, *species*. Além disso, na antiguidade, outra teoria amplamente difundida era a dos raios visuais. Segundo essa teoria, acredita-se que o olho emitia segmentos retilíneos capazes de explorar o mundo externo e transmitir à mente as informações necessárias para o conhecimento e representação das formas e cores dos objetos.

A teoria dos raios visuais foi defendida por Pitágoras (~580-500 a.C.), que acreditava que os raios saíam do olho, colidiam com o objeto observado e a visão era resultado desse choque. Essa ideia foi aceita pela maioria dos filósofos da época e perdurou até a Idade Média. Já Platão(428-347 a.C.) propôs que a visão envolvia três jatos de partículas: um dos olhos, outro do objeto e um terceiro das fontes luminosas. Esses raios luminosos combinavam-se no objeto e retornavam aos olhos, permitindo a sensação de visão. Entretanto, foi Euclides (~323-285 a.C.), matemático grego, que desenvolveu o modelo pitagórico do vínculo entre objeto e olho em seu tratado chamado *Óptica*. Nele, estudou a visão de objetos com formas diversas, defendendo a ideia de raios emitidos pelos olhos em forma de cone, propagando-se em linha reta com velocidade constante. Introduziu o conceito de raio, permitindo tratar geometricamente a propagação da luz e exerceu uma influência significativa na construção das teorias sobre luz e visão.(BARROS; CARVALHO, 1998).

Segundo Barros e Carvalho (1998), foi no século XI que a escola arábica detalha e apresenta novas contribuições ao estudo da óptica, provocando um declínio das antigas teorias da visão. A publicação *Tesouro da Óptica* por Al Hazen (965-1039) em 1038 refutou

a teoria dos raios visuais. Ele mostrou que, após olhar para o Sol e fechar os olhos, ainda se via o disco solar por algum tempo, além de sentir efeitos fisiológicos como ofuscamento ou dor. Esses fatos entraram em conflito com a teoria dos raios visuais, pois, se a emissão desses raios envolvesse sofrimento, eles naturalmente não poderiam ser emitidos e, tão logo os olhos se fechassem, a visão deveria cessar.

Segundo Al Hazen, o fenômeno real exigia um agente externo que deveria impressionar o olho do observador, além do que, se o agente fosse muito forte, ele afetaria o órgão do sentido de tal modo, que aquela impressão ainda permaneceria por algum tempo, mesmo após o observador ter fechado os olhos. (BARROS; CARVALHO, 1998, p. 87)

Al Hazen também questionou a teoria das imagens, procurando fornecer um mecanismo que afastasse das imagens a propriedade de contraírem-se ao longo do caminho antes de alcançarem o olho do observador. Ele propôs que, se o objeto fosse menor que a pupila, sua imagem poderia se propagar em linha reta e entrar na pupila sem reduzir-se no caminho. No entanto, para objetos maiores, Al Hazen sugeriu que eles eram formados por infinitos pontos, cada um emitindo sua própria imagem em todas as direções, e essa imagem poderia entrar na pupila sem sofrer alterações ao longo do caminho. De acordo com Barros e Carvalho (1998):

A idéia de que os raios de luz eram as trajetórias de minúsculos corpúsculos materiais já estava expressa na obra de Al Hazen, tendo sido, inclusive, a primeira vez em que ocorrera uma discussão da entidade que os físicos hoje chamam luz e a primeira vez que a teoria corpuscular fora apresentada. (RONCHI; ROSEN, 1991 apud BARROS; CARVALHO, 1998, p.88)

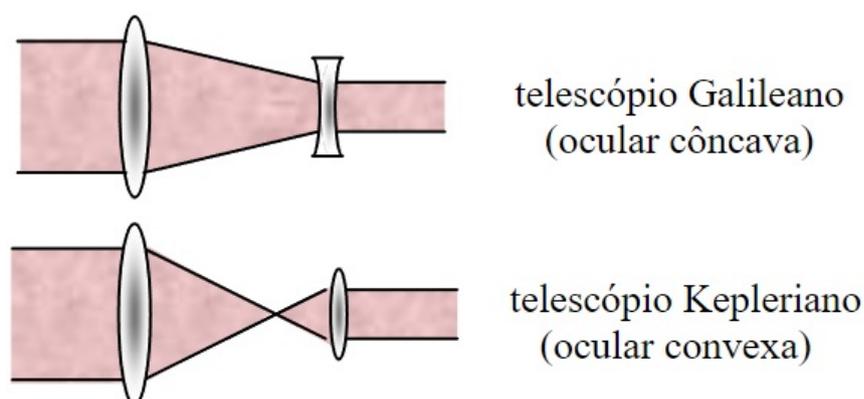
As ideias de Al Hazen sobre o mecanismo da visão tiveram grande influência no pensamento dos filósofos ocidentais da Idade Média. Uma das contribuições foi a formulação de uma teoria sobre a formação de figuras dentro do olho, envolvendo pontos imagens e a existência de um agente externo atuando sobre o olho. Apesar do fértil desenvolvimento das ideias em óptica geométrica nesse período, ainda faltava a descoberta fundamental para a compreensão do mecanismo da visão, que somente aconteceria com o surgimento da nova óptica no século XVII.

A primeira grande evolução da óptica ocorreu durante o século XVII, quando houve um desenvolvimento significativo da sua formulação matemática, possibilitando a explicação dos fenômenos observados até então. Nas duas primeiras décadas foram introduzidos os sistemas ópticos que combinam duas lentes. (ZÍLIO, 2009, p.2)

Segundo Zílio (2009), antes do século XVII existia pouco embasamento teórico para os fenômenos ópticos observados. Eram conhecidos alguns elementos tais como

lentes e espelhos, mas a teoria descrevendo seu princípio de funcionamento não estava sedimentada. O primeiro sistema óptico, que combina duas lentes foi patenteado em 1608 por Hans Lippershey (1587-1619), um holandês fabricante de óculos. Seu dispositivo, o telescópio refrativo, utilizava uma ocular côncava. Galileo Galilei (1564-1642) ouviu falar da invenção do telescópio e, em 1610, construiu o seu próprio, o que resultou em importantes descobertas, incluindo as luas de Júpiter, os anéis de Saturno e a rotação do Sol. Essas descobertas tornaram o telescópio popular e a configuração com ocular côncava passou a ser chamada de telescópio Galileiano. Por sua vez, Johannes Kepler (1571-1630) introduziu o telescópio com ocular convexa, que permitiu importantes observações astronômicas conhecidas como as leis de Kepler. O telescópio Kepleriano se tornou mais difundido devido à sua maior tolerância na acomodação visual. A figura 2, apresenta de forma esquematizada os sistemas ópticos com duas lentes mencionados.

Figura 2 – Tipos de telescópios refrativos



Fonte: (ZÍLIO, 2009)

O microscópio é o segundo tipo de sistema óptico que combina duas lentes. Ele foi inventado por Zacharias Janssen (1588-1632), provavelmente por volta de 1609, com a versão inicial possuindo ocular côncava. É notável que a invenção do microscópio ocorreu praticamente ao mesmo tempo que a do telescópio. Logo em seguida, Francisco Fontana (1580-1656) introduziu o microscópio com ocular convexa. Além do avanço tecnológico desses instrumentos refrativos com duas lentes, também se iniciou, nesse período, a elaboração da formulação matemática que possibilita o cálculo da propagação dos raios.(ZÍLIO, 2009).

Em seu livro *Dioptrice*, de 1611, Kepler apresenta a lei de refração para pequenos ângulos, estabelecendo que os ângulos de incidência e refração são proporcionais. O desenvolvimento da óptica nesta primeira metade do século XVII deveu-se a Willebrord Snell (1591-1626), que em 1621 introduziu a lei da refração (lei dos senos). Posteriormente, em 1637, René Descartes (1596-1650) deduziu a lei de Snell através de uma formulação matemática baseada em ondas de pressão em um meio elástico. Outra dedução interessante da lei de Snell foi realizada por

Pierre de Fermat (1601-1665) em 1657, utilizando o princípio do tempo mínimo. (ZÍLIO, 2009, p.3)

A aproximação de Kepler, conhecida como paraxial, viabilizou o tratamento matemático de sistemas ópticos simples, compostos por lentes finas. Em sua obra, ele também introduziu pioneiramente o conceito de reflexão total interna. Já a contribuição de Snell foi fundamental para a óptica aplicada moderna, permitindo o cálculo de sistemas ópticos mais complexos que não poderiam ser tratados pela aproximação paraxial de Kepler. Por sua vez, René Descartes foi o primeiro a abordar a luz como uma onda. A dedução de Fermat possibilitou a compreensão de que o raio pode seguir uma trajetória curva caso o meio não seja homogêneo.(ZÍLIO, 2009).

3.2 A NATUREZA DA LUZ

Segundo Zílio (2009), na segunda metade do século XVII, descobertas interessantes foram realizadas e novos conceitos foram introduzidos. O fenômeno de difração foi descoberto por Francesco Maria Grimaldi (1618-1663) por meio da observação de bandas de luz na sombra de um bastão iluminado por uma pequena fonte. Em seguida, Robert Hooke (1635-1703) repetiu os experimentos de Grimaldi sobre difração e observou padrões coloridos de interferência em filmes finos. Ele concluiu que o fenômeno observado se devia à interação entre a luz refletida nas duas superfícies do filme e propôs que a luz originava-se de um movimento ondulatório rápido no meio, propagando-se a uma velocidade muito grande. Surgiram, assim, as primeiras ideias da teoria ondulatória, relacionadas às observações de difração e interferência conhecidas no caso das ondas sobre uma superfície de águas calmas.

Em 1665, Isaac Newton (1642-1727) conduziu experimentos de dispersão utilizando um prisma, o que o levou a perceber a composição espectral da luz branca. Além disso, ele desenvolveu a teoria corpuscular, afirmando que a luz é composta de corpos muito pequenos, emitidos por substâncias brilhantes. Essa teoria foi possivelmente inspirada na observação de que os raios de luz se propagam em linhas retas em meios homogêneos, semelhante ao movimento retilíneo de partículas não sujeitas a forças externas. A abordagem corpuscular de Newton explicou diversos fenômenos ópticos, como a formação de sombras e a geração de imagens por meio de lentes. Christiaan Huygens (1629-1695), contemporâneo de Newton, defendia a interpretação ondulatória da natureza da luz. Essa concepção explicava certos fenômenos, como a interferência e a difração dos raios de luz. Huygens estendeu a teoria ondulatória ao introduzir o conceito das ondas secundárias (princípio de Huygens), através das quais deduziu as leis da reflexão e refração. Ele também fez várias outras contribuições importantes, como estabelecer que a velocidade de propagação da luz variava inversamente com uma propriedade do material, denominada índice de refração.(ZÍLIO, 2009).

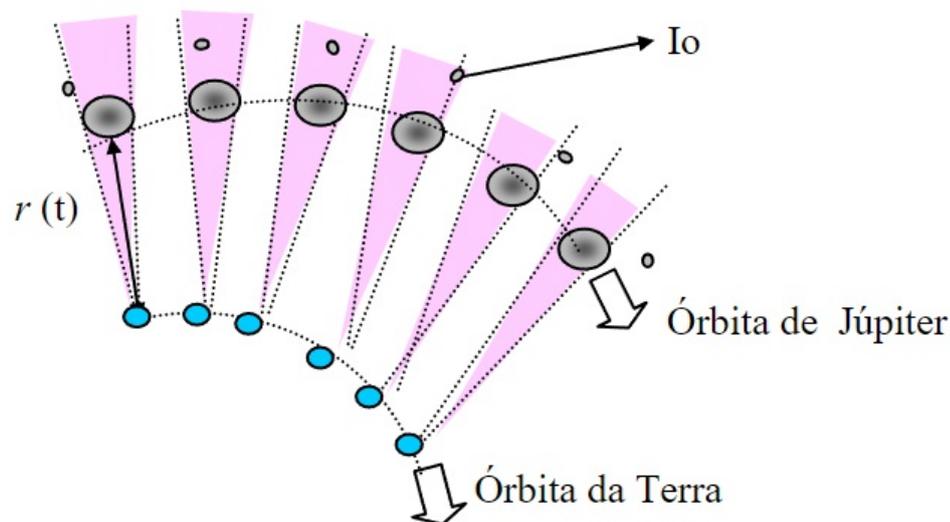
Além das primeiras discussões sobre a natureza da luz, foi no século XVII que um dado importante começou a ser discutido: a velocidade da luz. De acordo com Zílio (2009):

Muitos acreditavam que ela se propagava instantaneamente, com velocidade infinita. Porém, em 1676, Dane Ole Christensen Römer (1644-1710) sugeriu a medida da velocidade da luz pela verificação do intervalo entre eclipses da lua Io, de Júpiter, que se move praticamente no mesmo plano que este planeta se move em torno do Sol. (ZÍLIO, 2009, p.5)

Ao observar o diâmetro aparente de Júpiter, era possível determinar como a distância entre a Terra e Júpiter, representada por $r(t)$, mudava ao longo do tempo, conforme ilustrado na figura 3. Ao verificar que o intervalo entre dois eclipses consecutivos variava com o tempo, relacionou-se essa variação à velocidade finita de propagação da luz, de acordo com a equação 3.1, onde c é a velocidade da luz. A partir disso, obteve-se $c \approx 2.3 \times 10^8$ m/s.

$$\Delta\tau = \frac{\Delta r}{c} \quad (3.1)$$

Figura 3 – Medida da velocidade da luz realizada por Römer. As linhas pontilhadas definem o ângulo de visão de Júpiter por um observador na Terra.



Fonte: (ZÍLIO, 2009)

Ao final do século XVII, ambas as teorias (corpúscular e ondulatória) eram aceitas. No decorrer do século XVIII, a teoria corpúscular acabou prevalecendo, principalmente devido ao grande peso científico de Newton, que havia se inclinado na direção desta. O início do século XIX, a teoria ondulatória ressurgiu. Entre 1801 e 1803, Thomas Young (1773-1829) propôs o princípio da superposição, explicando o fenômeno de interferência em filmes finos. Porém, devido ao prestígio científico de Newton e suas ideias sobre a teoria corpúscular, Young enfrentou críticas da comunidade científica inglesa em relação a esses

trabalhos. Desconhecendo os avanços de Young, visto que a disseminação de conhecimentos era lenta naquela época, Augustin Jean Fresnel (1788-1827) propôs, 13 anos depois, uma formulação matemática dos princípios de Huygens e da interferência. (ZÍLIO, 2009).

Nos primórdios da teoria ondulatória, acreditava-se que a luz era uma onda longitudinal, assemelhando-se a uma onda sonora propagando-se num meio tênue, conhecido como éter, com alta constante elástica. Esse éter precisava ser suficientemente tênue para não perturbar o movimento dos corpos, enquanto sua constante de mola deveria ser elevada para sustentar as oscilações de alta frequência da luz. Fresnel e Arago realizaram uma série de experimentos visando observar seu efeito no processo de interferência, mas os resultados não podiam ser explicados com o conceito de onda longitudinal aceito até então. Por vários anos, Fresnel, Arago e Young tentaram explicar os resultados observados, até que finalmente Young propôs que a luz era na verdade composta por ondas transversais (duas polarizações), como as que existem numa corda. (ZÍLIO, 2009).

A medida que a óptica avançava, a eletricidade e o magnetismo também se desenvolviam de forma paralela. Enquanto a teoria ondulatória era amplamente aceita e a teoria corpuscular tinha poucos defensores, em 1845, Michael Faraday (1791-1867) estabeleceu a primeira conexão entre o magnetismo e a luz através do efeito Faraday. Esse efeito envolve a rotação da polarização da luz em certos materiais submetidos a campos magnéticos intensos. A completa relação entre a óptica e o eletromagnetismo foi estabelecido por James Clerk Maxwell (1831-1879). Maxwell introduziu inicialmente a corrente de deslocamento e reescreveu as equações empíricas existentes na época em uma forma diferencial. (ZÍLIO, 2009). Essas expressões resultantes, conhecidas como as equações de Maxwell, foram combinadas para gerar uma equação de ondas para o campo eletromagnético, cuja velocidade de propagação dependia das grandezas permeabilidade magnética (μ_0) e permissividade elétrica (ϵ_0), de acordo com a equação 3.2.

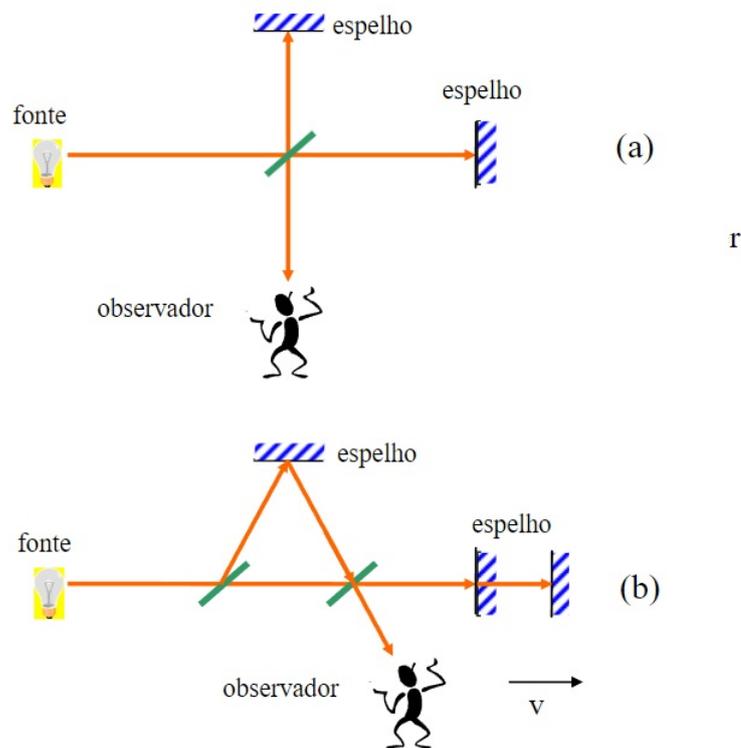
$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} \quad (3.2)$$

O valor obtido resultou numericamente igual à velocidade da luz, que já havia sido bem determinada experimentalmente. Com esse resultado, concluiu-se que a luz era uma onda transversal de natureza eletromagnética. Essa descoberta foi confirmada pelo trabalho de Heinrich Rudolf Hertz (1857-1894), que em 1888 conseguiu produzir e detectar ondas longas através de uma antena. (ZÍLIO, 2009).

A intuição na época é que para uma onda se propagar era necessária a existência de algum meio que a suportasse, no caso, o éter. Assim, grande parte dos esforços subsequentes foram na direção de se determinar a natureza física e as propriedades do éter. (...) Com esta motivação, iniciou-se uma série de estudos para a determinação do estado de movimento do éter. (ZÍLIO, 2009, p.8)

Em 1879, o físico Maxwell propôs um esquema para determinar a velocidade do sistema solar em relação ao éter, pouco antes de sua morte. Naquela época, o jovem físico americano Albert Abraham Michelson, com 26 anos, decidiu realizar o experimento sugerido por Maxwell e representado na Figura 1.4. A montagem experimental consiste em um interferômetro de dois feixes, agora conhecido como interferômetro de Michelson. A luz proveniente de uma fonte é dividida por um espelho semi-transparente (divisor de feixes), refletida por dois espelhos e retorna ao divisor de feixes. Parte da luz chega ao observador e a outra parte retorna à fonte, conforme a Figura 4(a). Se a Terra estiver se movendo para a direita com velocidade v , enquanto o éter permanece estacionário, os feixes horizontal e vertical levarão tempos diferentes para chegar ao observador, como ilustrado na Figura 4(b).

Figura 4 – Diagrama simplificado do experimento de Michelson-Morley: (a) interferômetro e (b) caminhos ópticos



Fonte: (ZÍLIO, 2009)

No entanto, os resultados não mostraram nenhuma variação significativa e, em 1881, Michelson publicou suas descobertas, comprovando que a Terra estava em repouso em relação ao éter. Esses experimentos foram repetidos com maior precisão em 1887, com a colaboração de Edward Williams Morley (1838-1923), e novamente obtiveram um resultado nulo. Muitos esforços subsequentes foram dedicados à busca da natureza física e das propriedades do éter. O principal motivo envolvido era se o éter estava em repouso ou não, pois essa indagação estava diretamente relacionada à observação da aberração estelar,

realizada em 1725 por James Bradley (1693-1762). Nesse fenômeno, ocorre um desvio da luz das estrelas devido ao movimento de translação da Terra em torno do Sol. Foi em 1900 que Jules Henri Poincaré (1854-1912), com base no experimento de Michelson e Morley, começou a questionar a necessidade da existência do éter. No entanto, foi somente em 1905, quando Albert Einstein (1879-1955) introduziu a teoria da relatividade restrita, que a aberração estelar pôde ser explicada sem a necessidade de postular a existência do éter. Com isso, chegou-se à conclusão de que as ondas eletromagnéticas existem por si só, sem a necessidade de um meio para se propagar. (ZÍLIO, 2009).

Em 1905, Einstein também realizou seu famoso trabalho sobre o efeito fotoelétrico, que lhe rendeu o Prêmio Nobel de 1921. Com o desenvolvimento da relatividade restrita, a necessidade do éter foi dispensada, favorecendo o conceito ondulatório da luz. No entanto, paradoxalmente, no efeito fotoelétrico, admitia-se a natureza corpuscular da luz, a mesma defendida por Newton. (ZÍLIO, 2009, p.12)

Certos fenômenos, como o efeito fotoelétrico, podem ser descritos considerando-se o caráter de partícula. Atualmente, entende-se que a luz tem uma natureza dual porque, devido aos trabalhos de quantização do campo de radiação eletromagnética, concluiu-se que as ondas eletromagnéticas são constituídas por partículas relativísticas, chamadas de fótons. Portanto, outros fenômenos, como interferência, podem ser descritos considerando-se o caráter ondulatório. (ZÍLIO, 2009).

3.3 ÓPTICA GEOMÉTRICA E LUZ

A luz, com a qual enxergamos, é apenas uma pequena parte do vasto espectro de um mesmo tipo de coisa, as várias partes deste espectro sendo distinguidas pelos diferentes valores de uma mesma grandeza a qual varia. Esta grandeza variável poderia ser chamada de “comprimento de onda”. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.263)

A epígrafe dessa seção apresenta uma definição, ainda que simplificada, para a luz no contexto da óptica geométrica. O desenvolvimento da natureza da luz permite que hoje possamos descrever um comportamento dual, de maneira que certos fenômenos podem ser descritos considerando o caráter corpuscular da luz e outros de caráter ondulatório. Quando tratamos dos estudos da óptica geométrica, estamos considerando as definições propostas por diversos autores (BENIGNO; SILVA, 2018; FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008; FIOLEAIS, 2000; HEWITT, 2009; ZÍLIO, 2009), em que desconsideramos o aspecto ondulatório da luz. Nesse contexto, fenômenos como difração e interferência não são observados. Ainda sobre a definição proposta, a óptica geométrica é descrita por Feynman, Leighton e Sands (2008) como um estudo com aproximações em que temos "(...)uma condição na qual os comprimentos de onda em questão são bem menores

em relação às dimensões do equipamento disponível para o seu estudo"(FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.263). Também ressaltamos o nosso interesse apenas em discutir as "(...) propriedades de propagação da luz em meios homogêneos, com ênfase na sua refração ao atingir uma interface dielétrica plana¹, em que entende-se como meio homogêneo aquele no qual o índice de refração não depende da posição, sendo, portanto constante."(ZÍLIO, 2009, p.15). Outra observações, quanto a definições de estudo a óptica que estamos interessado em discutir, é apresentada por Feynman, Leighton e Sands (2008):

(...) outras importantes observações são que, conforme a luz vai de um lugar a outro, ela o faz em linha reta, caso não exista nada no caminho, e que os raios de luz parecem não interferir uns com os outros. Isto é, a luz está cruzando em todas as direções da sala, mas a luz que está passando através da nossa linha de visão não afeta a luz que vem até nós de algum objeto.

Diante das discussões acima, a seguir faremos uma breve exposição das propriedades de propagação de raios em meios homogêneos, com ênfase na sua refração ao atingir uma interface dielétrica plana. Também daremos sequência as discussões apresentando o Princípio de Fermat e sua relação na compreensão dos fenômenos de reflexão e refração.

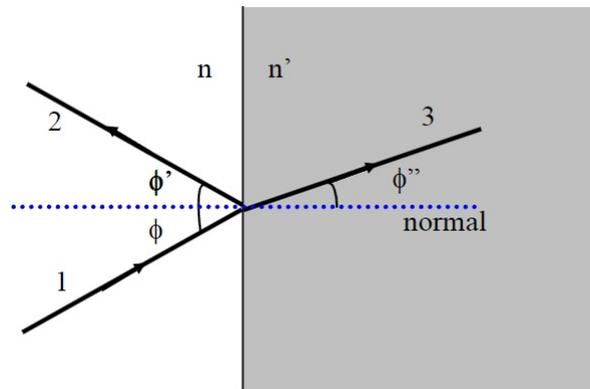
3.3.1 O princípio de Fermat, os fenômenos de reflexão e refração

Hoje, para o desenvolvimento adicional da ciência, queremos mais do que apenas uma fórmula. Primeiramente, temos uma observação, então temos os números que medimos e, depois, temos uma lei que resume todos os números. No entanto, a real glória da ciência é que podemos descobrir uma maneira de pensar tal que a lei é evidente. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.265)

Segundo Feynman, Leighton e Sands (2008), o princípio de Fermat, descoberto por Fermat em torno de 1650, revelou a primeira abordagem que evidenciou a lei do comportamento da luz. Segundo esse princípio, a luz escolhe o caminho que requer o menor tempo entre dois pontos, dentre todas as opções possíveis de trajeto. Para Zílio (2009), até a primeira metade do século XVII, diversos estudos foram realizados para compreender o comportamento da luz ao se propagar. Esses estudos estabeleceram dois princípios fundamentais: *a) a luz se propaga em linha reta em meios homogêneos; e b) ao atingir uma interface entre dois meios distintos, ocorre uma fração de reflexão (raio 2) e outra de refração (raio 3)*, como ilustrado na figura 5. Esses princípios foram essenciais para o avanço da óptica geométrica e da compreensão dos fenômenos de reflexão e refração da luz.

¹ Uma interface dielétrica plana é uma superfície plana que separa dois meios dielétricos, ou seja, meios materiais que não conduzem eletricidade facilmente. Essa interface pode ser formada, por exemplo, entre dois materiais isolantes, como vidro e ar, ou plástico e água.(ZÍLIO, 2009)

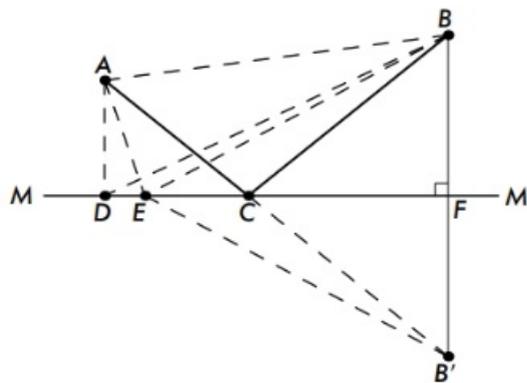
Figura 5 – Reflexão e refração de um raio luminoso numa interface dielétrica



Fonte: (ZÍLIO, 2009)

Como discutido por Huygens, cada meio é caracterizado por um parâmetro chamado índice de refração, n , que determina a velocidade com que o raio se propaga naquele meio. A direção seguida pelos raios 2 e 3 não é arbitrária. Para compreender a direção seguida pelo raio 2, que sofre reflexão vamos utilizar a interpretação discutida por Feynman, Leighton e Sands (2008). Na figura 6 são mostrados dois pontos, A e B, e um espelho plano, MM' .

Figura 6 – Ilustração do princípio do mínimo tempo



Fonte: (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

O caminho mais curto para o raio ir de A até B passando pelo espelho MM' no menor tempo possível é seguindo o caminho ACB, através de um truque geométrico. Para determinar esse caminho, de acordo com Feynman, Leighton e Sands (2008):

Construímos do outro lado de MM' um ponto artificial B' , o qual está a mesma distância abaixo do plano MM' que o ponto B está acima deste. Então desenhamos a linha EB' . Ora, como BFM é um ângulo reto e $BF = FB'$, EB é igual a EB' . Portanto, a soma das duas distâncias $AE + EB$, a qual é proporcional ao tempo em que a luz viaja com velocidade

constante, é também a soma dos dois comprimentos $AE + EB'$. Portanto, o problema torna-se: quando é que a soma desses dois comprimentos é menor? A resposta é fácil: quando a luz vai através do ponto C em uma linha reta de A até B! Em outras palavras, temos de encontrar o ponto aonde iremos em direção a um ponto artificial, e este será o ponto correto. Ora, se ACB' é uma linha reta, então o ângulo BCF é igual ao ângulo $B'CF$ e, por isso, igual ao ângulo ACM .

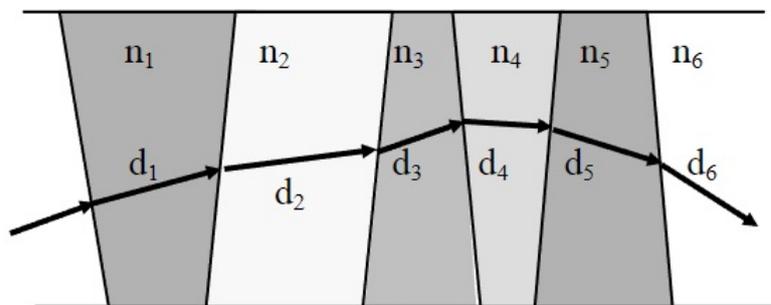
Diante disso, a afirmação de que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão é equivalente à afirmação de que a luz anda até o espelho tal que ela retorne ao ponto B no menor tempo possível. Segundo Feynman, Leighton e Sands (2008), originalmente, a afirmação foi feita por Heron de Alexandria, que a luz viaja de tal modo que ela anda até o espelho e dali até outro ponto na menor distância possível, portanto essa não é uma teoria moderna. Isso foi o que inspirou Fermat a sugerir a si mesmo que talvez a refração se desse de forma similar. Na refração, a luz obviamente não utiliza o caminho da menor distância, portanto Fermat tentou a ideia de que ela leva o tempo mais curto.

Agora, vamos considerar um raio se propagando por meios com diferentes índices de refração, conforme mostra a figura 7. Segundo Zílio (2009), o tempo total para ele realizar o percurso indicado é dado pela somatória dos tempos gastos em cada meio, a partir da equação 3.3:

$$t = \sum_{i=1}^N t_i = \sum_{i=1}^N \frac{d_i}{v_i} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^N n_i d_i \quad (3.3)$$

onde d_i é a distância percorrida em cada meio, com velocidade $v_i = c/n_i$. c é a velocidade da luz no vácuo e n_i é o índice de refração do i -ésimo meio. A somatória $\sum_{i=1}^N n_i d_i$ é denominada de caminho óptico. Como c é constante, o tempo mínimo implica no menor caminho óptico possível.

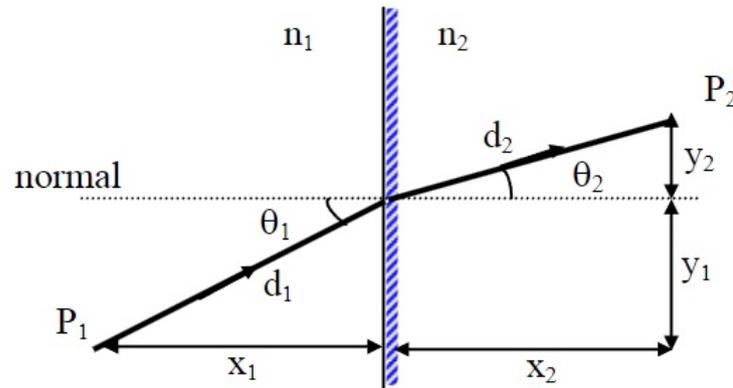
Figura 7 – Propagação de um raio por uma série de meios homogêneos com índices de refração diferentes.



Fonte: (ZÍLIO, 2009)

A partir da equação 3.3, vamos apresentar uma aplicação do princípio de Fermat para a dedução da lei de Snell, seguindo as considerações de Zílio (2009). Vamos considerar um raio que se propaga entre dois pontos fixos, P_1 e P_2 , localizados em meios com índices de refração distintos, n_1 e n_2 , conforme mostra a figura 8.

Figura 8 – Geometria utilizada na dedução da lei de Snell pelo princípio de Fermat.



Fonte: (ZÍLIO, 2009)

Conforme ilustra a figura 8, as distâncias x_1 e x_2 são fixas, mas y_1 e y_2 podem variar para a minimização do tempo. Entretanto, como os pontos P_1 e P_2 são fixos, $y_1 + y_2 = Y$ é constante. O caminho óptico será dado por:

$$[\Delta] = \sum_{i=1}^N n_i d_i = n_1 d_1 + n_2 d_2 \quad (3.4)$$

que de acordo com a geometria da figura 8, pode ser expresso como:

$$[\Delta] = n_1 \sqrt{x_1^2 + y_1^2} + n_2 \sqrt{x_2^2 + y_2^2} = n_1 \sqrt{x_1^2 + y_1^2} + n_2 \sqrt{x_2^2 + (Y - y_1)^2} \quad (3.5)$$

A equação 3.5 fornece a variação do caminho óptico com y_1 . Para encontrarmos seu valor mínimo igualamos sua derivada a zero:

$$\frac{d[\Delta]}{dy_1} = \frac{n_1 y_1}{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}} - \frac{n_2 (Y - y_1)}{\sqrt{x_2^2 + (Y - y_1)^2}} = 0 \quad (3.6)$$

De acordo com a geometria da figura 8, as frações da equação 3.6 correspondem aos senos de θ_1 e θ_2 , ângulos de incidência e refração respectivamente, de forma que assim obtemos a lei de Snell:

$$n_1 \sin \theta_1 - n_2 \sin \theta_2 = 0 \quad (3.7)$$

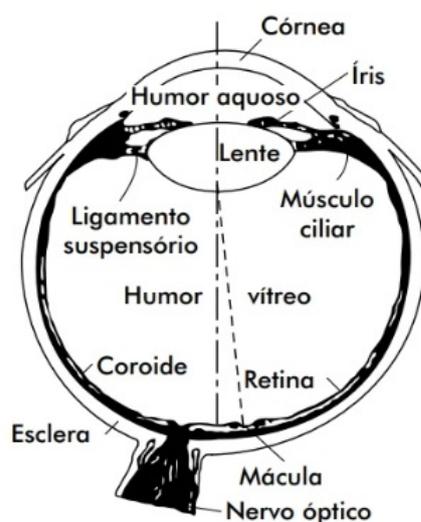
Passamos agora a discussão que diz respeito a visão, onde discutiremos principalmente os fenômenos observáveis da visão humana, afinal, a física descreve a luz que entra no olho, porém, nossas sensações dependem de processos neurais fotoquímicos e respostas fisiológicas.

3.4 VISÃO HUMANA E AS CORES

Existem muitos fenômenos interessantes associados com a visão que implicam uma mistura de fenômenos físicos e processos fisiológicos, e a apreciação completa dos fenômenos naturais, como os vemos, deve ultrapassar a física no sentido habitual. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.353)

A epígrafe dessa seção trás a reflexão de que a visão é um fenômeno complexo, que envolve uma combinação de processos físicos e fisiológicos. Para uma compreensão completa dos fenômenos visuais naturais, é necessário ir além da física tradicional, pois outros aspectos como a biologia e a fisiologia também desempenham um papel importante na percepção visual. Para promover essa discussão, utilizaremos a contribuição de Hewitt (2009) e Feynman, Leighton e Sands (2008), que detalham a respeito do instrumento óptico mais notável que conhecemos: o olho (figura 9).

Figura 9 – o olho humano



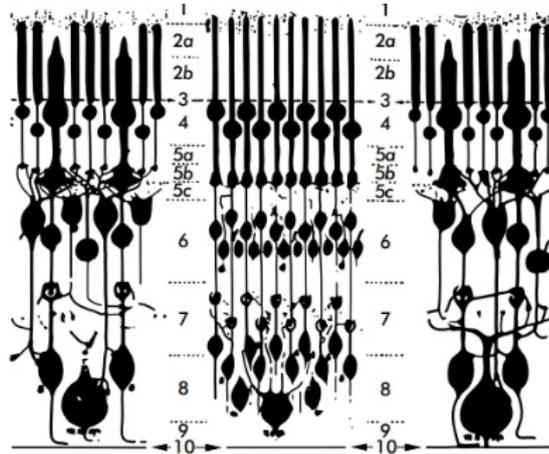
Fonte: (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

A luz entra no olho atravessando a córnea, que desvia cerca de 70% da luz antes de passar pela pupila, a abertura da íris. Em seguida, a luz atinge a lente cristalina, que ajusta o foco antes de atravessar o humor vítreo, um meio gelatinoso. Finalmente a luz atinge a retina, localizada na parte de trás do olho, onde diferentes partes dela recebem luz de diferentes regiões do campo visual externo. A retina não é uniforme e possui uma região especial chamada fóvea ou mácula, que proporciona maior acuidade visual e é usada para observar detalhes com precisão. (HEWITT, 2009; FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

As partes laterais do olho, como apreciamos imediatamente da nossa experiência em ver as coisas, não são tão eficazes para enxergar os detalhe como é o centro do olho. Existe

também uma mancha na retina na qual os nervos que transportam toda a informação se esgotam; é um ponto cego. Ainda falando sobre a retina, ela é formada por objetos (ou minúsculas antenas) que entram em ressonância com a luz que entra no olho. (HEWITT, 2009; FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

Figura 10 – A estrutura da retina (a luz entra pela parte de baixo).



Fonte: (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

Na figura 10, temos uma visão ampliada do interior da retina de forma esquemática. Diferentes partes da retina possuem diferentes tipos de estruturas. Os bastonetes estão mais densamente localizados perto da periferia da retina, responsáveis pela visão em baixa intensidade. Próximo à fóvea, além dos bastonetes, encontramos também células cone, que são responsáveis pela visão colorida e detalhada. A medida que nos aproximamos da fóvea, o número de cones aumenta significativamente, e na própria fóvea, encontramos células cone, dispostas de forma compacta. Isso significa que enxergamos com os cones no centro do campo visual, enquanto nas regiões periféricas predominam os bastonetes. No olho humano, a medida que nos afastamos da fóvea, o número de cones diminui. É notável que a cor de um objeto desaparece quando visto com a visão periférica. Além disso, a periferia da retina é altamente sensível ao movimento. Embora nossa visão nos cantos dos olhos seja limitada, somos muito sensíveis a qualquer movimento nessa região. Essa característica de sermos ligados a olhar para algo em movimento na parte lateral do campo visual pode ter sido importante para nosso desenvolvimento evolutivo. (HEWITT, 2009; FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

Outra diferença entre bastonetes e cones é a responsividade à intensidade de luz. Os cones requerem mais energia do que os bastonetes para gerar um impulso no sistema nervoso. Quando a intensidade da luz é muito baixa, as coisas que vemos não apresentam cores. Nossa visão adaptada à escuridão é principalmente devida aos bastonetes, enquanto a visão com luz brilhante é devida aos cones. Segundo Hewitt (2009):

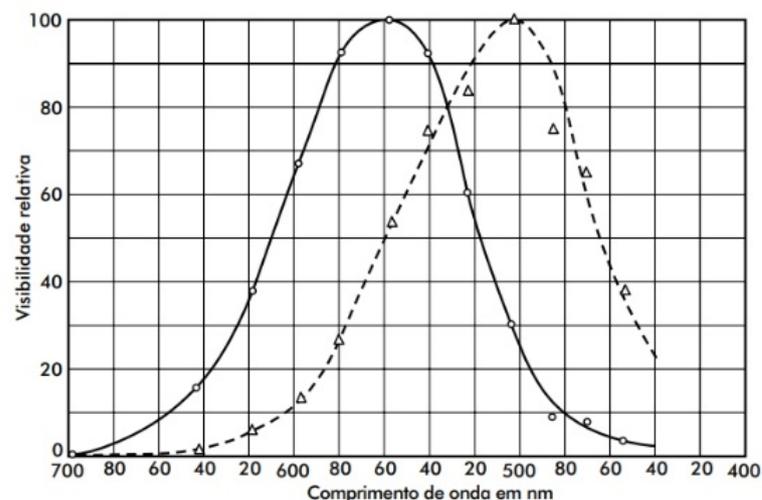
As estrelas, por exemplo, nos parecem brancas. Todavia, a maioria das estrelas na verdade possui um colorido vivo. Sua exposição, por algum tempo, a uma câmara fotográfica revela vermelhos e vermelho-alaranjados nas estrelas mais *frias*, e azuis e violeta-azulados nas estrelas mais *quentes*. A luz das estrelas, entretanto, é fraca demais para excitar os cones sensíveis às cores da retina. Assim, vemos as estrelas com nossos bastonetes e as percebemos como brancas ou, no melhor dos casos, apenas com cores desbotadas. (HEWITT, 2009, p.497)

Ainda discutindo a respeito dos foto receptores, descobriu-se que os bastonetes enxergam melhor que os cones na extremidade azul do espectro, enquanto que os cones podem ver, por exemplo, a luz de um vermelho profundo, que para os bastonetes é absolutamente impossível de se ver, sendo assim, a luz vermelha é preta no que diz respeito aos bastonetes. Aparentemente, os bastonetes têm uma sensibilidade muito baixa para a luz brilhante, mas na escuridão, conforme o tempo passa, eles adquirem a capacidade de ver a luz. (HEWITT, 2009; FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

Se estivermos no escuro e encontrarmos uma revista ou algo que tenha cores, antes que saibamos com certeza quais são as cores, identificamos quais são as áreas mais claras e as mais escuras, e se então levamos a revista para a luz, veremos essa troca bastante notável entre qual cor é mais brilhante e qual não é. O fenômeno é chamado o efeito de Purkinje. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.354)

Para uma melhor compreensão, Feynman, Leighton e Sands (2008) apresenta na figura 11 uma curva tracejada que representa a sensibilidade do olho na escuridão, isto é, usando os bastonetes, e também uma curva sólida, que é a representação da sensibilidade do olho, usando os cones.

Figura 11 – A sensibilidade espectral do olho. A curva tracejada representa os bastonetes; a curva contínua, os cones.



Fonte: (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

Na curva podemos perceber que a sensibilidade máxima dos bastonetes está na região verde e que a dos cones está mais na região amarela. Se houver uma página colorida de vermelho (vermelho é aproximadamente 650 nm) podemos ver sua cor quando brilhantemente iluminado, mas na escuridão ele é quase invisível.

O principal ponto que enfatizamos é que o sinal de luz já *foi pensado*. Isto é, a informação de várias células não vai imediatamente para o cérebro, ponto por ponto, mas na retina uma certa quantidade de informação já foi digerida, ao combinar a informação de vários receptores visuais. É importante entender que alguns fenômenos da função cerebral ocorrem no próprio olho. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.354)

Por fim, os bastonetes e os cones da retina não se conectam diretamente ao nervo óptico, mas, de forma interessante, estão interligados a muitas outras células conectadas entre si. Embora muitas dessas células estejam interconectadas, apenas algumas delas transportam informações para o nervo óptico. Por meio dessas interconexões, uma quantidade específica de informações é combinada a partir de vários receptores visuais e processada na retina. Sendo assim, o sinal de luz passa por processamento antes de seguir para o nervo óptico e, em seguida, para a parte principal do cérebro. Assim, parte da função cerebral ocorre no próprio olho. (HEWITT, 2009; FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

3.4.1 O mecanismo da visão em cores

Como sabemos, a luz branca pode ser dividida por um prisma em um espectro inteiro de comprimentos de onda que parecem ter cores diferentes; naturalmente, é isso que as cores são: aparências. Qualquer fonte de luz pode ser analisada por uma grade ou um prisma, e pode-se determinar a distribuição espectral, isto é, a *quantidade* de cada comprimento de onda. Certa luz pode ter muito azul, uma quantia considerável de vermelho, muito pouco amarelo e assim por diante. (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.355)

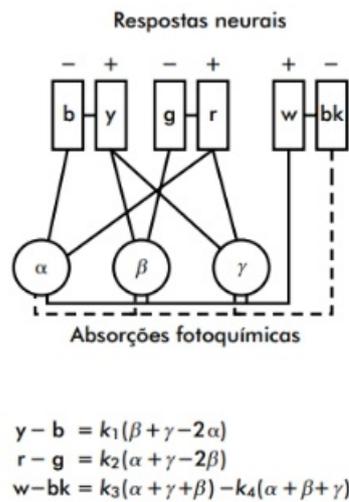
Segundo Feynman, Leighton e Sands (2008), uma teoria simples proposta por Young e Helmholtz busca explicar o comportamento das cores. Ela parte do pressuposto que no olho existem três pigmentos diferentes que recebem a luz, cada um com espectros de absorção distintos. Um pigmento absorve fortemente no vermelho, outro no azul e o terceiro no verde. Quando uma luz incide sobre eles, ocorre uma absorção diferenciada nas três regiões, e essas informações são processadas para determinar a cor percebida.

Quando consideramos a existência de três pigmentos sensíveis à cor no olho, surge o desafio de determinar o espectro de absorção de cada um. Observou-se que daltônicos representam uma parcela próxima dos 9% da população e possuem diferentes níveis de sensibilidade à variação de cores, mas ainda precisam combinar três cores. No entanto, dicromatas, que são capazes de combinar apenas duas cores primárias, sugerem a falta de

um dos três pigmentos. Ao encontrar três tipos de dicromatas daltônicos com diferentes regras de mistura de cor, sendo um faltando o vermelho, outro o verde e o terceiro a pigmentação azul, é possível determinar as três curvas de absorção do pigmento. Além disso, destacamos a existência de dois tipos comuns de dicromatas e um terceiro tipo extremamente raro, sendo a partir desses três que foi possível deduzir os espectros de absorção dos pigmentos.(FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008).

O fato de que há três pigmentos não significa que deve haver três tipos de sensações. Segundo Feynman, Leighton e Sands (2008), uma das outras teorias da visão colorida diz que realmente existem esquemas de cores opostos, como representado na figura 12. Isto é, uma das fibras do nervo transporta muitos impulsos se o amarelo for visto, e menos do que o habitual para o azul. Outra fibra do nervo transporta informação do verde e do vermelho da mesma maneira, e o outra, branco e preto.

Figura 12 – Esquema da teoria de conexões neurais



Fonte: (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008)

Em outras palavras, nessa teoria alguém já começou a fazer suposições quanto ao sistema de conexões, uma vez que "(...) os pigmentos primários não precisam estar em células separadas; podem existir células com misturas de vários pigmentos, células com os pigmentos vermelho e verde, células com todos os três (a informação de todos os três é então informação branca) e assim por diante. Há muitos modos de conectar o sistema, e temos de descobrir qual o caminho utilizado pela natureza."(FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p.367).

4 METODOLOGIA

O capítulo 4 é designado para a apresentação da nossa concepção e visão de homem de sociedade, da própria ciência, enfim de mundo, evidenciando como enxergamos a realidade na sua essência, bem como a descrição do método empírico empregado nesse estudo. Vamos discutir o método materialista histórico dialético e suas relação com a pesquisa-ação, o método que irá servir de suporte na construção da metodologia e do nosso produto educacional.

4.1 MATERIALISMO HISTÓRICO DIALÉTICO

O método materialista histórico-dialético caracteriza-se pelo movimento do pensamento através da materialidade histórica da vida dos homens em sociedade, isto é, trata-se de descobrir (pelo movimento do pensamento) as leis fundamentais que definem a forma organizativa dos homens em sociedade através da história. (PIRES, 1997, p. 1)

A partir da epígrafe que inicia essa seção, apresentamos uma discussão a respeito do método materialista histórico dialético, que é visto como uma interpretação da realidade, visão de mundo e práxis¹. Para Leite (2017), o materialismo histórico-dialético pode fomentar reflexões acerca da realidade e, em especial, colaborar com o modo de conduzir pesquisas no campo da educação realizadas em âmbito stricto sensu e, de modo específico, nos mestrados profissionais na área de ensino, pois as suas especificidades reforçam a "(...) importância de se evidenciar nesses espaços as relações entre teoria e prática - a práxis."(LEITE, 2017, p. 848).

Uma grande contribuição do método para os educadores, como auxílio na tarefa de compreender o fenômeno educativo, diz respeito à necessidade lógica de descobrir, nos fenômenos, a categoria mais simples (o empírico) para chegar à categoria síntese de múltiplas determinações (concreto pensado). Isto significa dizer que a análise do fenômeno educacional em estudo pode ser empreendida quando conseguimos descobrir sua mais simples manifestação para que, ao nos debruçarmos sobre ela, elaborando abstrações, possamos compreender plenamente o fenômeno observado. (PIRES, 1997, p. 88)

O materialismo histórico-dialético compreende que o conhecimento é social, pressupõe o outro, sendo a apropriação do saber sistematizado necessário para a constituição do sujeito. Nele, a realidade não dispõe de múltiplas possibilidades interpretativa e ao

¹ Práxis pode ser entendido como prática articulada à teoria, prática desenvolvida com e através de abstrações do pensamento, como busca de compreensão mais consistente e consequente da atividade prática. (PIRES, 1997, p. 86)

compreender que a essência do objeto não muda e que a matéria conserva sua propriedade independente do sujeito, reconhecemos que a realidade não pode ser explicada de infinitas formas. (PIRES, 1997)

Para o compreendermos o materialismo histórico dialético, devemos resgatar o conceito de trabalho como um conceito de trabalho filosófico, ou seja, a forma mais ampla possível de se pensar o trabalho. Esse caráter diz respeito a relação central do homem com a natureza e com outros homens, pois trata-se da sua atividade vital. O trabalho é essencial nos homens, pois é o tipo de atividade que ele exerce para produzir ou reproduzir a vida. Ele representa a atividade que garante a sua sobrevivência.(PIRES, 1997). Sendo assim, para Pires (1997):

Se o trabalho, como atividade essencial e vital traz a possibilidade de realização plena do homem enquanto tal (humanização), a exploração do trabalho determina um processo inverso, de alienação. Sob a exploração do trabalho, os homens tornam-se menos homens, há uma quebra na possibilidade de, pelo trabalho, promover a humanização dos homens. (PIRES, 1997, p.89)

A dicotomia humanização/alienação interessa à educação a partir do momento em que refletimos a cerca do seguinte questionamento: **Será que a educação está a serviço da humanização ou da alienação?** Para Pires (1997), esta pergunta tem que ser respondida pelo educador como direção de sua prática educativa. Vale ressaltar que o trabalho, como princípio educativo, traz para a educação a tarefa de educar pelo trabalho e não para o trabalho. Diante disso, o materialismo histórico dialético visa contribuir para que cada educador construa sua prática profissional por meio de leituras mais amplas da realidade. Ele influencia a sistematização de alguns métodos de investigação, dentre eles a pesquisa participante ou pesquisa ação, que detalharemos, na seção a seguir, a partir da discussão de alguns autores (THIOLLENT, 2009; COLETTE; THIOLLENT, 2018; TRIPP, 2005).

4.2 PESQUISA AÇÃO

É a metodologia que, ao invés de se preocupar somente com a explicação dos fenômenos sociais depois que eles aconteceram, visa, por outro lado, favorecer a aquisição de um conhecimento e de uma consciência que possibilitam, a um determinado grupo, assumir de forma crítica e autônoma seu papel de protagonista e ator social. (LEITE, 2017, p. 853)

Para a condução da pesquisa, é necessário a escolha de um método que oriente nossas investigações. A partir das concepções discutidas por Thiollent (2009), Tripp (2005), Colette e Thiollent (2018), utilizaremos o método de pesquisa-ação como suporte na construção da nossa metodologia e construção de nosso produto educacional. Para

Thiollent (2009), pesquisa-ação é definida como "(...) uma estratégia de pesquisa agregando vários métodos ou técnicas de pesquisa nos quais se estabelece uma estrutura coletiva, participativa e ativa a nível de captação de informações."(THIOLLENT, 2009, p. 28).

Já Colette e Thiollent (2018), trata a pesquisa-ação como um método de elaboração do conhecimento científico, que acontece em um "(...) processo de colaboração mútua, tendo a própria realidade como norteadora do pensamento e a prática como balizadora do trabalho científico.(COLETTE; THIOLLENT, 2018, p. 28). Para Tripp (2005), a pesquisa-ação é vista como "[...] uma estratégia para o desenvolvimento de professores e pesquisadores de modo que eles possam utilizar suas pesquisas para aprimorar seu ensino"(TRIPP, 2005, p. 445). Complementando, para Thiollent (2009), a pesquisa-ação na área educacional não se limita apenas a descrever conhecimentos ou avaliá-los. Trata-se de uma orientação metodológica que fornece aos pesquisadores "(...) condição de produzir informações e conhecimentos de uso mais efetivo, inclusive a nível pedagógico"(THIOLLENT, 2009, p. 81), em que seu aspecto principal remete a criação ou planejamento que visa mudanças de atitudes, de práticas, de situações e de condições, em função de um projeto alvo.(CHISTÉ, 2016).

Para Thiollent (2009), paralelo a pesquisa-ação sugere-se a produção de um material didático gerado pelos participantes. A sugestão corrobora com os objetivos do mestrado profissional, isto é, a apresentação de um produto ou resultado que objetiva formar um profissional de educação que saiba "(...) localizar, reconhecer, identificar e, sobretudo, utilizar a pesquisa de modo a agregar valor a suas atividades."(CHISTÉ, 2016, p. 791). Em nossa proposta, esse produto educacional consiste em uma sequência didática para o ensino de física, especificamente voltada para os assuntos da Óptica Física e Geométrica, com a integração pedagógica das TDIC. Segundo Zabala (2015), uma sequência didática é definida como:

(...) um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos. (ZABALA, 2015, p. 18)

Complementando, para Oliveira (2013) essas atividades ordenadas e estruturadas podem compreender um conjunto de atividades conectadas entre si, juntamente de um planejamento que delimite cada etapa e atividade para trabalhar os conteúdos disciplinares de forma integrada para uma melhor dinâmica no processo de ensino-aprendizagem.(OLIVEIRA, 2013).

Quanto à abordagem da nossa pesquisa, escolhemos a pesquisa qualitativa, uma vez que ela "(...) não se preocupa com representatividade numérica, mas, sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social, de uma organização."(GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p.32). No que diz respeito à natureza de nossa pesquisas, ela é será do tipo

aplicada, visto que ela objetiva "(...) gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais."(GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p. 35).

Na pesquisa qualitativa, o cientista é ao mesmo tempo o sujeito e o objeto de suas pesquisas. O desenvolvimento da pesquisa é imprevisível. O conhecimento do pesquisador é parcial e limitado. O objetivo da amostra é de produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que ela seja capaz de produzir novas informações. (POUPART et al., 2008 apud GERHARDT; SILVEIRA, 2009, p.33)

4.2.1 Locais e participantes

Aliado as potencialidades e opções de construção dessa proposta, é preciso esclarecer que a realidade da escola também é um fator determinante na construção do nosso produto. Essa proposta será aplicada em uma turma da segunda série do Ensino Médio, de uma Escola Estadual de SC, que fica no município de Araquari. Atualmente a E.E.B. Almirante Boiteux fica localizada no centro da cidade de Araquari na região Norte do Estado de Santa Catarina. Pelos dados fornecidos pela Escola, atualmente ela é composta por cerca de 1300 alunos, que estão matriculados no Ensino Fundamental e Médio. A escola funciona nos três turnos, sendo o Ensino Médio apenas nos turnos Vespertino e Noturno. Vale destacar que a escola não dispõe de Laboratório de Ciências, mas possui uma sala informatizada com lousa digital, computador, projetor, além de cerca de vinte *tablets* e dez *notebooks*, que podem ser utilizados por meio de agendamento. Além disso, ela também dispõe de mais dois projetores móveis e acesso a internet por meio de conexão Wi-Fi. Devido a Pandemia do COVID-19, a escola está dividindo suas turmas em dois grupos. Cada semana, um grupo desenvolve atividades presenciais, no chamado *Tempo Escola*, enquanto o outro grupo desenvolve atividades em casa no *Tempo Casa*. No turno vespertino, a escola tem duas turmas de segunda série do Ensino Médio e no Noturno são seis turmas. A carga horária da disciplina de Física é de duas horas semanais. Devido as divisões por grupos, essa carga se torna mais reduzida, no que diz respeito a atividades presenciais aluno-professor. Essa carga horária reduzida corrobora com a justificativa de não inserirmos mais assuntos de Óptica em nossa proposta, uma vez que para a execução total da mesma, demandaria muito tempo.

4.2.2 Rabiscos de uma sequência didática para o ensino de Física

Já discutimos no capítulo 2 algumas oportunidades de aprendizagem integrando as TDIC ao currículo escolar. Entre as oportunidades apresentadas, estamos propondo o uso de *applets*, jogos educacionais digitais e programas de simulação. Além disso,

temos instrumentos tecnológicos de comunicação como lousa digital e projetores a nossa disposição.

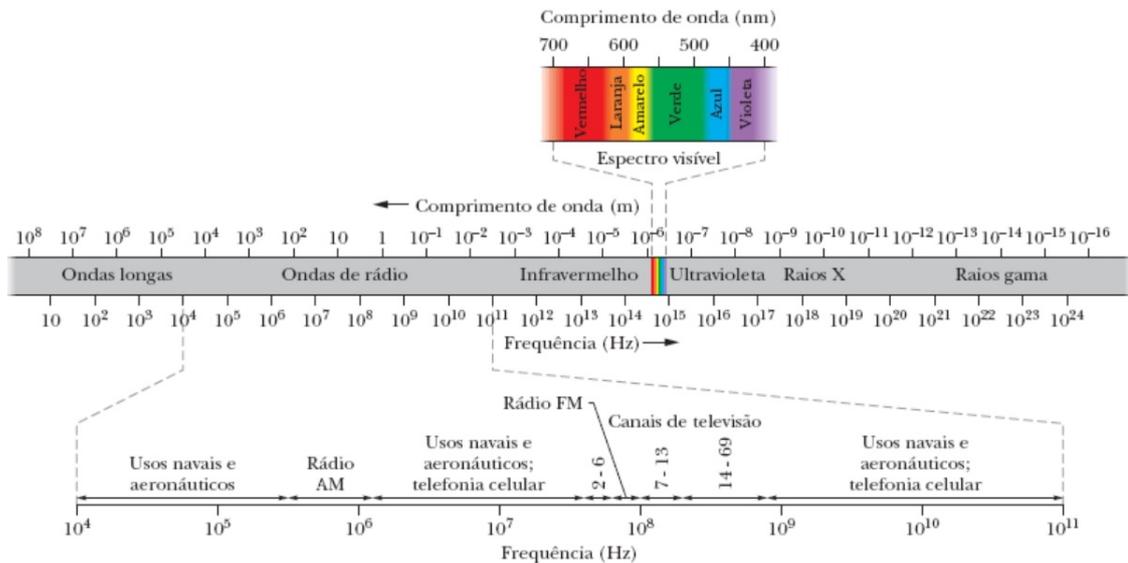
A partir da estrutura de quais serão as TDIC que iremos integrar a nossa sequência didática e a realidade da escola em que iremos realizar nossa pesquisa-ação, delimitamos qual o assunto que iremos abordar em nossa proposta de sequência didática. Propusemos desenvolver nossa sequência didática com uma turma de 2ª série do Ensino Médio, em que discutiremos a Óptica, área da Física na qual são estudados fenômenos e comportamentos relacionados à luz. Obviamente essa área da Física é subdividida em campos específicos do estudo da luz. Para Benigno e Silva (2018), o estudo da óptica é dividido em duas frentes, as chamadas Óptica física e Óptica geométrica. Na óptica física estudam-se "os fenômenos luminosos, cuja descrição depende da natureza ondulatória da luz." (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 130). Na óptica geométrica estudam-se "principalmente os fenômenos ligados à propagação da luz com base em alguns princípios simples que consideram o raio luminoso como um elemento definido geometricamente." (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 130).

No contexto da Óptica, foi proposto a discussão das teorias relacionadas a natureza da luz: A teoria corpuscular, a teoria ondulatória e o comportamento dual. Benigno e Silva (2018) relata que entre os séculos XVII e XVIII, grandes debates foram gerados pelos cientistas da época com relação a explicação da natureza da luz. Cientistas como Galileu Galilei (1564-1642), o francês René Descartes (1596-1650) e o inglês Isaac Newton (1642-1727) defendiam a ideia de que a luz era constituída por partículas. Diferentemente, o holandês Christian Huygens (1629-1695), o suíço Leonhard Euler (1707-1783) e o inglês Thomas Young (1773-1829), acreditavam que a luz era um fenômeno ondulatório. No início do século XX, Albert Einstein (1879-1955) mostrou que os resultados observados no efeito fotoelétrico, que também pareciam inexplicáveis pela física clássica, mas podiam ser explicados estendendo à luz como uma partícula sem massa, atualmente denominada *fóton*. Foi também Einstein quem primeiro explicitou a coexistência de aspectos corpusculares e ondulatórios da luz, aceito até então como o modelo de dualidade onda-partícula. (BENIGNO; SILVA, 2018). Justificamos a abordagem desse assunto a partir das discussões feitas na Introdução da referida dissertação, onde seguindo as concepções de San et al. (2018), Scarinci, Dias e Cano (2018) e Moreira (2018) devemos tratar a Ciência como uma construção histórica, onde as teorias não são definitivas e acabadas e o conhecimento não vem pronto e bem definido.

Permeando as discussões que envolvem o modelo ondulatório da luz segundo Hewitt (2009), buscamos propor a luz como um fenômeno eletromagnético que constitui uma pequena parte da larga faixa das ondas eletromagnéticas chamada de espectro eletromagnético. Nosso objetivo aqui é investigar suas propriedades eletromagnéticas, como ela interage com os diversos materiais e qual a sua aparência: a cor. No modelo ondulatório da luz, a luz é tratada como uma onda eletromagnética, ou seja, uma combinação de

campos elétricos e magnéticos oscilantes. A propagação dessas ondas, no vácuo ocorre com velocidade constante, podendo apresentar frequências de oscilação diferentes e, conseqüentemente, comprimentos de onda distintos. A classificação das ondas eletromagnéticas, baseada na frequência, constitui o espectro eletromagnético. Nele, as frequências da luz visível constituem menos do que 1 milionésimo de 1% do espectro eletromagnético medido. As frequências mais baixas que podemos enxergar aparecem como luz vermelha. As frequências mais altas de luz visível são aproximadamente duas vezes maiores do que as do vermelho, e aparecem como luz violeta. (HEWITT, 2009).

Figura 13 – O espectro eletromagnético e os comprimentos de onda relativos à luz visível.



Fonte: (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2009)

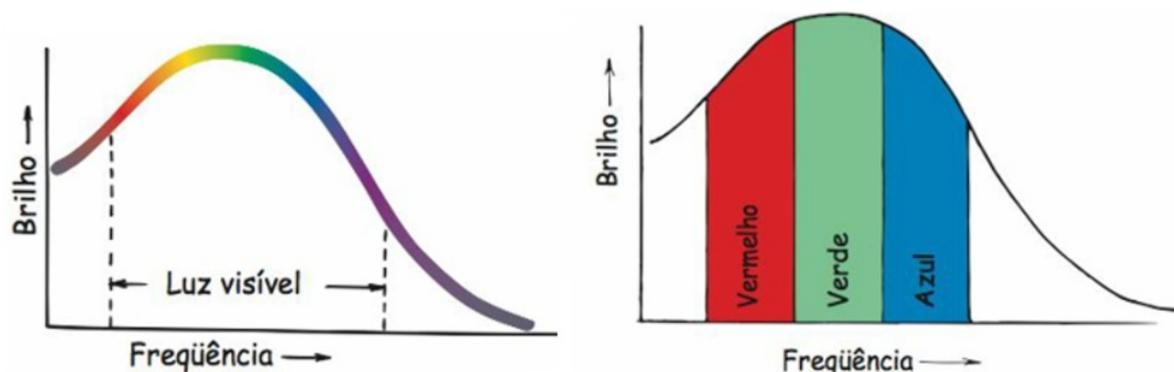
A respeito das cores, discutiremos a definição de Hewitt (2009):

As cores que vemos dependem da frequência da luz incidente. Luzes com frequência diferentes são percebidas em diferentes cores; a luz de frequência mais baixa que podemos detectar aparece para a maioria das pessoas como a cor vermelha, e as de mais alta frequência, como violeta. Entre elas existe uma faixa com número infinito de matizes que formam o espectro de cor de um arco-íris, como visto na curva de radiação. Por convenção, esses matizes são agrupados em sete cores: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Juntas, essas cores aparecem como o branco. A luz branca do Sol é uma composição de todas as frequências visíveis. (HEWITT, 2009, p. 294)

Também vemos o branco quando se combinam somente luzes vermelha, verde e azul. Podemos compreender isso dividindo a curva de radiação solar em três regiões, conforme a figura 14. Em nossos olhos, a cor é percebida por três tipos de células receptoras em forma de cone. Cada uma é estimulada por certas frequências de luz. As luzes visíveis de frequências mais baixas estimulam os cones sensíveis a baixa frequência e parecem vermelhas. Luzes de frequências intermediárias estimulam os cones sensíveis

a tais frequências e parecem verdes. E luzes de frequência mais elevada estimulam os cones sensíveis a altas frequências e parecem azuis. Quando os três tipos de cones são estimulados de maneira igual, vemos o branco.(HEWITT, 2009).

Figura 14 – A curva de radiação solar com os matizes agrupados em sete cores e a mesma dividida em três regiões - vermelha, verde e azul.



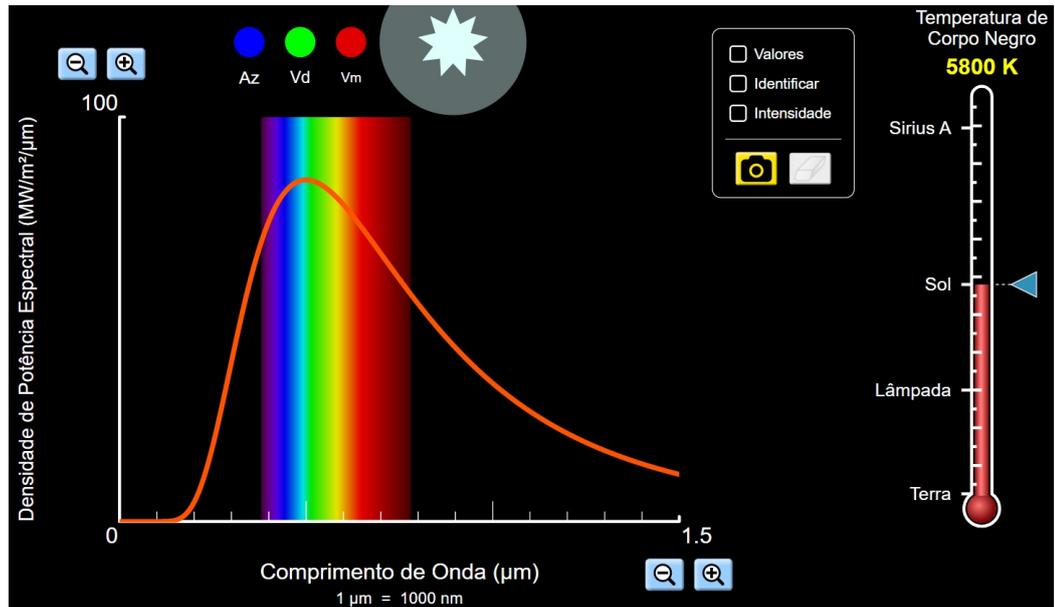
Fonte: (HEWITT, 2009)

Nossa proposta de integração das TDIC vem por meio da oportunidade de utilizarmos programas de simulação que buscam compreender as cores, sua dependência da frequência, comprimento de onda e a curva de radiação solar. Além disso, os simuladores possibilitarão a compreensão de como se dá a formação das cores a partir da divisão da curva de radiação solar em três regiões, fazendo relação aos três tipos de células receptoras presente em nossos olhos. Utilizaremos os simuladores do PhET²: *Radiação de Corpo Negro* e *Visão de Cor*. Os simuladores permitem discutir de forma interativa a curva de radiação solar e a formação das cores, de acordo com os três tipos de células receptoras presente em nossos olhos.

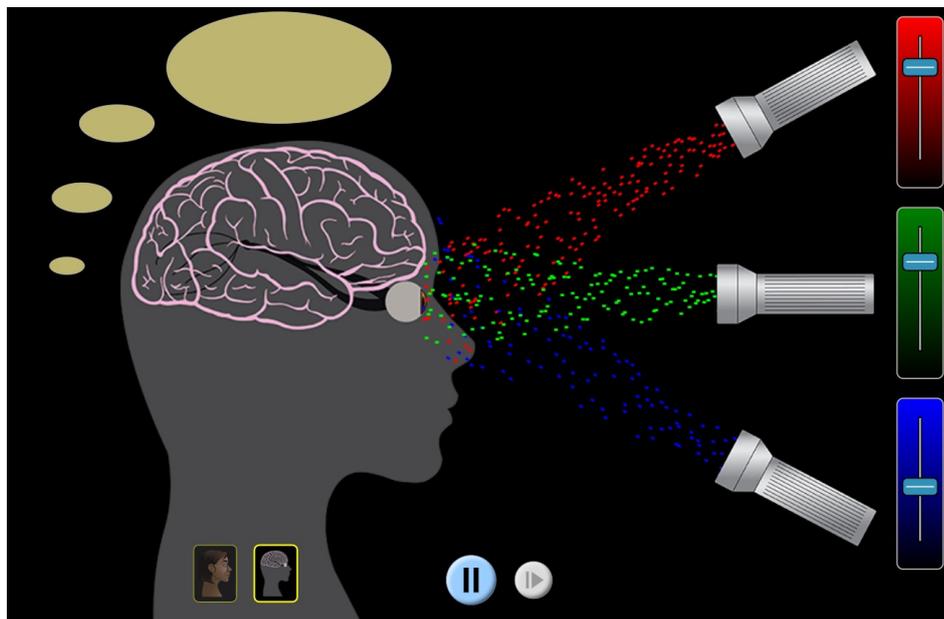
Como visto na figura 15, o simulador *Radiação de Corpo Negro*, permite a interação de diferentes tipos de Fontes de luz (A estrela Sirius A, o Sol, uma lâmpada incandescente e o Planeta Terra) e suas respectivas curvas de radiação, de forma a ilustrar qual é o espectro eletromagnético visível para cada situação e sua respectiva cor predominante. Já na figura 16, o simulador *Visão de Cor* permite interagirmos com as três regiões da curva de radiação para identificar qual é o tipo de cor que cada célula receptora será estimulada e, posteriormente, assimilada como uma cor vista.

Daremos continuidade a construção da nossa proposta de sequência didática integrada pedagogicamente as TDIC. Agora nossas discussões envolvem a Óptica Geométrica que segundo Nussenzveig (2014), são fenômenos compatíveis com a teoria corpuscular da luz. Antes de desenvolvermos os Princípios da Óptica geométrica, é preciso definirmos

² O PhET é um programa da Universidade do Colorado que pesquisa e desenvolve simulações na área de ensino de ciências (<http://phet.colorado.edu>) e as disponibiliza em seu portal para serem usadas on-line ou serem baixadas gratuitamente pelos usuários que podem ser alunos, professores ou mesmo curiosos.(ARANTES; MIRANDA; STUDART, 2010).

Figura 15 – Simulador *PhET* - Radiação de Corpo Negro

Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/blackbody-spectrum>. Acesso em 08/05/2021.

Figura 16 – Simulador *PhET* - Visão de Cor

Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/color-vision>. Acesso em 08/05/2021.

alguns conceitos básicos e classificações importantes como: Definição de fontes de luz, fontes pontuais e extensas, meios de propagação da luz e a definição de Raio e feixe de luz. Como proposta para discussão desses assuntos, iremos utilizar o LEO3D (Laboratório de Ensino de Óptica 3D), "(...) um jogo educacional que utiliza os preceitos de mundos virtuais, laboratórios de simulação e jogos de entretenimento, para explorar os conteúdos de óptica geométrica." (SALVO, 2018, p. 7). Esse jogo educacional foi produto da tese de

Doutorado de André Luigi Amaral Di Salvo em 2018. Para Salvo (2018), os conteúdos específicos de Óptica Geométrica são na maioria conceitos apresentados em forma de figuras planas, carregadas de equações e símbolos matemáticos, onde processo de compreensão exige um grande nível de abstração e sem a disponibilidade de laboratórios de ciências, o aluno não consegue ter uma representação real do fenômeno. Na versão atual e grátis, o LEO3D disponibiliza 11 laboratórios didáticos. Para discutirmos os conceitos que desejamos, iremos utilizar o *Lab102 - Propagação Retilínea da Luz* e o *Lab104 - Objetos e Sombras*.

Figura 17 – Jogo Educacional LEO3D - *Lab102 - Propagação Retilínea da Luz*

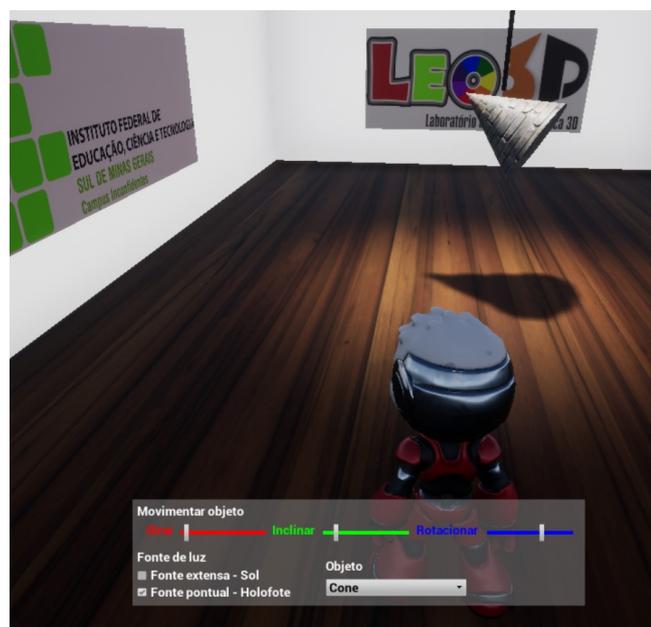


Fonte: LEO3D - Jogo Educacional.

No *Lab102 - Propagação Retilínea da Luz* podemos discutir a definição do conceitos de fonte primária, que são "(...) representadas pelos corpos que emitem luz própria, como uma lâmpada acesa ou a chama de uma vela."(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 130). Ao aproximarmos o personagem em qualquer um dos corredores, a fonte de luz irá iluminar o ambiente, proporcionando a formação da sombras dos objetos e iluminação daqueles que estão presentes no ambiente, caracterizados como fontes secundárias, que são "(...) corpos que recebem luz de outras fontes e enviam de volta uma fração dessa luz, ou seja, são corpos iluminados."(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 131). Outra definição pode ser vista na possibilidade de *Exibir feixes* de luz, que partem da fonte primária. Na Óptica Geométrica, o raio de luz é considerado um "(...) elemento geométrico na propagação da luz [...]"(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 131) e o feixe de luz corresponde a "(...) um conjunto de raios de luz que se propaga pelo espaço."(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 131).

O *Lab104 - Objetos e Sombras* nos possibilita compreender a formação da sombra de objetos conforme o tamanho da fonte de luz. A opção *Fonte pontual - Holofote*, mostra a formação da sombra em relação a uma Fonte pontual, que recebem essa denominação

Figura 18 – Jogo Educacional *LEO3D - Lab104 - Objetos e Sombras*



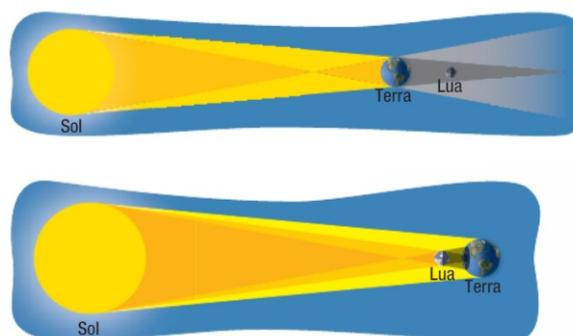
Fonte: LEO3D - Jogo Educacional.

"(...) quando apresentam dimensões desprezíveis em relação às distâncias que as separam dos outros corpos." (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 131). Já a opção *Fonte extensa - Sol* é quando as "(...) dimensões da fonte de luz são relevantes em comparação com as distâncias entre os corpos." (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 131). Também é possível movimentarmos o objetos ou mudar o formato deles, de forma a identificar que o seu formato ou posição em relação a fonte de luz altera o tipo de sombra gerada.

A próxima discussão que iremos propor diz respeito aos Princípios da Óptica Geométrica. Segundo Benigno e Silva (2018), ela se baseia em três princípios: a propagação retilínea da luz, a independência dos raios de luz e a reversibilidade de luz. O *Lab102 - Propagação Retilínea da Luz*, ilustrado na figura 17, do jogo educacional LEO3D permite discutir acerca do Princípio de Propagação retilínea da luz, uma que vez que esse princípio admite que "(...) num meio homogêneo a luz se propaga em linha reta." (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 136) No jogo educacional temos a opção de examinar a representação dos feixes de luz que saem da fontes e se propagam de forma retilínea, sendo que aqueles que são obstruídos pela parede formam aquilo que chamamos de sombra. Esse princípio possibilita a discussão de fenômenos como o Eclipse Solar e o Eclipse Lunar. No Eclipse lunar, a lua encontra à sombra da Terra e no Eclipse Solar, a Terra está na sombra da Lua. Outra atividade que facilita a compreensão deste princípio se dá a partir da sombra dos objetos em relação a incidência da luz do Sol. Existe uma relação de proporção entre a altura dos objetos e a sua sombra projetada. Um aluno pode determinar sua altura mediante o valor da sua sombra projetada, a sombra de seu colega e a altura do colega.

Para discutirmos a respeito do Princípio da independência dos raios de luz iremos

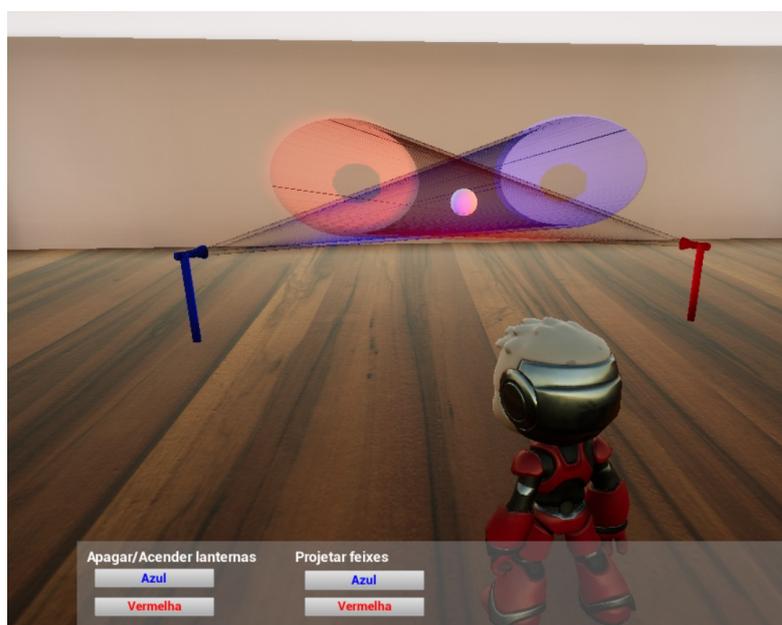
Figura 19 – Representação do Eclipse Lunar e Solar a cerca do Princípio de propagação retilínea da luz



Fonte: (BENIGNO; SILVA, 2018).

utilizar o *Lab105 - Independência dos raios* do jogo educacional LEO3D. Esse laboratório virtual permite verificar que os "(...) raios de luz que se interceptam não sofrem mudança de direção, ou seja, cada um conserva a sua trajetória, independentemente da presença do outro." (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 137).

Figura 20 – Jogo Educacional LEO3D - Lab104 - Objetos e Sombras



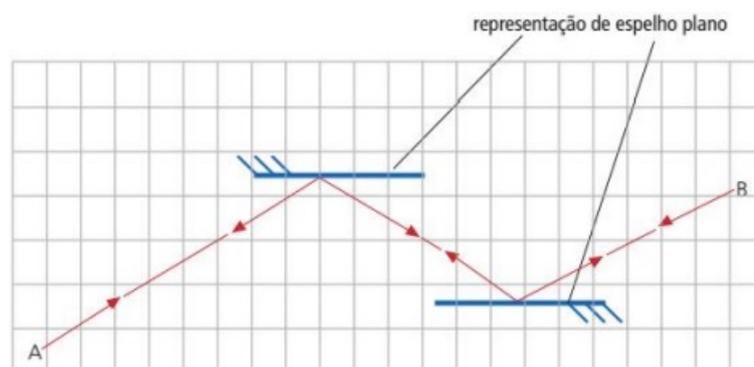
Fonte: LEO3D - Jogo Educacional.

Neste laboratório, conforme ilustrado na figura 20, é possível projetarmos dois feixes de luz que se cruzam sobre um objeto. Podemos observar na parede a formação da sombra do objeto, que obstruiu a passagem da luz, entretanto, sua direção de propagação não foi alterada e sua trajetória foi conservada, elucidando o Princípio de independência dos raios de luz. Na região onde os raios se interceptam, que também é o local onde a esfera está posicionada, é possível identificar que a cor dela está diferente das cores de cada

um dos feixes. Este fenômeno acontece devido a reflexão da luz que incide nele. Como o objeto é branco ele irá refletir as cores vermelho e azul para os olhos do observador, estimulando as células receptoras responsáveis por, que juntas assimilam a cor magenta, uma composição das cores *vermelho+azul*. Para essa compreensão podemos resgatar os conceitos vistos no *Simulador PhET - Visão de cor*, que neste momento complementam a discussão.

O terceiro princípio a ser discutido é o da Reversibilidade dos raios de luz, que segundo Benigno e Silva (2018) diz que a trajetória percorrida pelos raios de luz é independente do sentido de propagação desses raios. Esse princípio pode ser apresentado juntamente com a discussão dos fenômenos ópticos da reflexão e refração, que serão nosso próximo assunto a ser tratado. Na ilustração abaixo, temos uma representação desse princípio, a partir do fenômeno da reflexão.

Figura 21 – Princípio da reversibilidade dos raios de luz: A trajetória da luz é a mesma, seja pelo caminho *AB*, seja pelo caminho *BA*.



Fonte: (BENIGNO; SILVA, 2018).

Para exemplificar esse princípio, podemos considerar a situação em que um motorista observa um passageiro pelo retrovisor. Neste caso, se o motorista vê o passageiro, este também pode visualizar o motorista. A trajetória da luz não depende do sentido de propagação. Na figura 21, uma pessoa que encontra-se em *A* consegue olhar pelo espelho e enxergar uma pessoa que encontra-se em *B*, do mesmo modo que uma pessoa em *B* visualiza a pessoa em *A*, olhando pelo espelho.

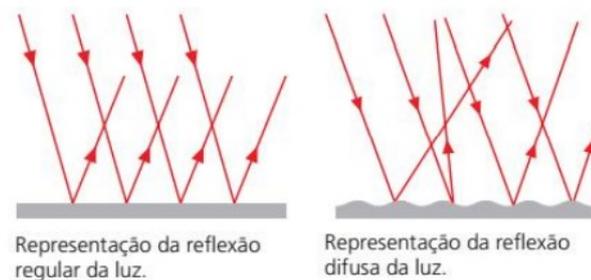
Por fim, a última discussão da nossa proposta de sequência didática é tratar dos fenômenos ópticos da reflexão e refração. Segundo Benigno e Silva (2018), a reflexão da luz ocorre quando:

um feixe de luz incide sobre uma superfície (dita refletora) e retorna ao meio de origem, onde se propagava anteriormente. No caso da reflexão da luz, destacam-se a reflexão regular e a reflexão difusa (...). A reflexão regular acontece quando um feixe de luz atinge uma superfície e é refletido de forma regular. (...) a reflexão difusa ocorre quando um feixe de luz

incide numa superfície e volta de forma irregular. (BENIGNO; SILVA, 2018, p. 142)

Complementando a definição de Benigno e Silva (2018), a reflexão acontece de forma regular quando o "(...) raio refletido pertence ao plano de incidência, e o ângulo de reflexão é igual ao de incidência."(NUSSENZVEIG, 2014, p. 17). Já em uma reflexão difusa, o ângulo de incidência não será o mesmo que o de reflexão para todo o plano de incidência, uma vez que esta superfície é rugosa e tem formato irregular.

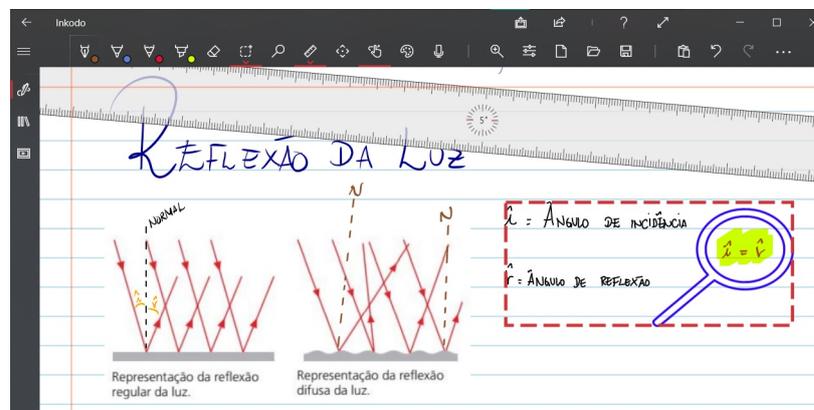
Figura 22 – Representação da reflexão da luz



Fonte: (BENIGNO; SILVA, 2018).

Para discutirmos o fenômeno da reflexão, vamos propor uma aula expositiva, utilizando a lousa digital e o projetor. Por meio do software *Inkodo*, temos a possibilidade de interagir e apresentar as representações na forma de desenho ou imagens extraídas da internet ou livros didáticos digitais. É possível construir junto com o aluno uma nota da aula em específico ou modificar aquela previamente construída para determinada aula, ficando a disposição para ele, de forma digital ou impressa.

Figura 23 – *Software Inkodo* e uma possibilidade de utilização com uma lousa digital e um projetor



Fonte: Feito pelo autor.

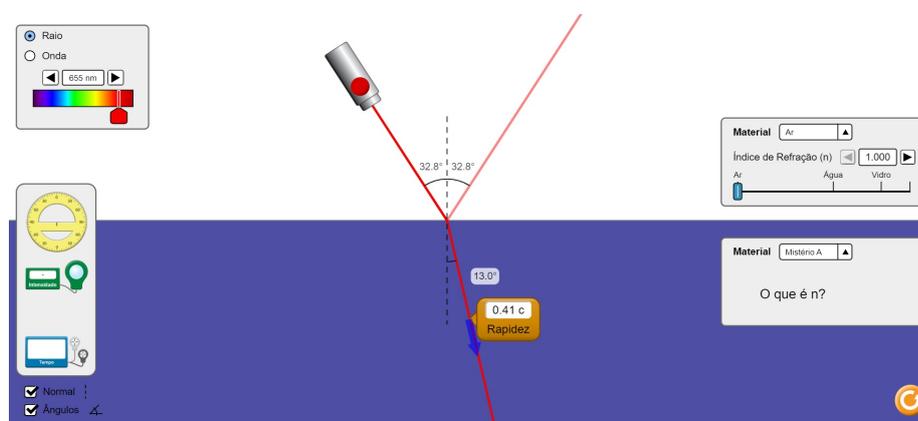
A refração da luz é um fenômeno que ocorre quando "(...) a luz incide numa superfície que separa dois meios transparentes e, atravessando-a, propaga-se no outro

meio."(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 143). Em situações como essa, a luz pode sofrer mudança na direção de sua trajetória. Essas mudanças dependem dos meios envolvidos. A luz, como já discutido anteriormente, é uma onda eletromagnética que pode se propagar em meios materiais e no vácuo. A sua velocidade de propagação depende qual meio ela se encontra, de forma que a razão entre a velocidade da luz e a velocidade de propagação dela em um meio refringente é conhecido como índice de refração absoluto.

$$n = \frac{c}{v} \quad (4.1)$$

Na equação 4.1, n representa o índice de refração absoluto do meio, c é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade da luz no meio. Para a compreensão desse assunto e também outras duas leis que relacionam as grandezas relevantes na refração, iremos utilizar o simulador *PhET - Desvio de Luz*. Neste simulador, é possível observar os efeitos de desvio da luz quando ela incide outro meio. Também podemos medir a velocidade da luz no meio escolhido, de forma a determinar o índice de refração absoluta dos meios. O importante nesse assunto é o aluno compreender que o raio de luz poderá se comportar de três maneiras: se aproximar da reta perpendicular a superfície que separa os meios (também chamada de reta normal), se afastar ou não sofrer desvio. Esses comportamentos ocorrem em virtude dos índices de refração absoluta dos meios envolvidos. Se o raio se propaga de um meio menos refringente (menor índice de refração absoluta) para um mais refringente (maior índice de refração absoluta), ele irá se aproximar da normal. Caso a propagação seja de um meio mais refringente para um menos refringente, o raio de luz irá se afastar da reta normal. Se o ângulo de incidência for perpendicular à superfície de separação dos meios, ele não sofrerá desvio.

Figura 24 – Simulador *PhET - Desvio da Luz*



Fonte: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/bending-light>. Acesso em 08/05/2021.

Em síntese, a delimitação da nossa sequência didática compreende conceitos que julgam ser mais teóricos, no que diz respeito a outros assunto de Óptica que não fazem parte dessa sequência. Não fazem parte dessa sequência a descrição de fenômenos ópticos

de reflexão em espelhos esféricos, bem como os fenômenos de difração, polarização e interferência que são explicados a partir de modelos ondulatórios da luz.

A estrutura que norteia a aplicação da sequência didática é fundamentada na Pedagogia Histórico Crítica, o qual será apresentada na próxima seção desse capítulo. Além de discutirmos as etapas e como nossa sequência didática será dividida, delimitaremos, a partir de um cronograma, a quantidade de encontros estimada para a aplicação dela.

4.3 PEDAGOGIA HISTÓRICO CRÍTICA

(...) o que quero traduzir com a expressão Pedagogia Histórico-Crítica é o empenho em compreender a questão educacional com base no desenvolvimento histórico-objetivo. Portanto, a concepção pressuposta nesta visão da Pedagogia Histórico-Crítica é o materialismo histórico, ou seja, a compreensão da história a partir do desenvolvimento material, da determinação das condições materiais da existência humana. (SAVIANI, 2021, p.150)

Para Saviani (1994) a Pedagogia Histórico-Crítica compreende a educação escolar como oriunda de um processo de transformação histórico, representando uma superação da visão-crítico-mecanicista, crítico-a-histórica para uma visão crítico-dialética. É fundamentada partindo do entendimento do homem como um ser constituído historicamente e formado a partir da produção histórica humana desenvolvida ao longo dos tempos.

Partindo desse pressuposto, estamos inseridos em uma sociedade marcada pela contradição entre o domínio do Capital sobre o trabalho, sendo esta organizada sob o amparo do Capital. Os fundamentos da Pedagogia Histórico-Crítica reforçam a importância da escola, instituição historicamente criada para assegurar a socialização dos conhecimentos, como mediadora imprescindível ao alcance da compreensão do real na essência. (SAVIANI, 1994; PEREIRA; PEDROSA, 2020).

Podemos perceber várias propostas de articulação entre a pedagogia histórico-crítica e o ensino de ciências, especialmente em relação ao ensino da física e química. (DUARTE, 2021; SAVIANI; DUARTE, 2021; SANTOS, 2019; MORI; CURVELO, 2016; SANTOS, 2005). Galvão et al. (2021) alerta o fato dos trabalhos relacionados a pedagogia histórico-crítica não são, nem de longe, maioria na área de ensino de ciências, por se tratar de uma pedagogia contra-hegemônica. Os autores também chamam atenção para os problemas relacionados a didatização desmetodizada, que seria tentar converter a proposição metodológica da pedagogia histórico-crítica em passos que podem ser realizados em sequências didáticas.

(...) a busca por encaixar as aulas ou os conteúdos de maneira mecânica nos cinco passos/momentos da pedagogia histórico-crítica sem levar em consideração o método do materialismo histórico-dialético é algo

grave. Essa prática tem conduzido professores e pesquisadores da área a assumirem que a pedagogia histórico-crítica só pode ser adotada para ensinar determinados conteúdos e, ainda, valendo-se de certos temas. (GALVÃO et al., 2021, p.144)

Diante desse desafio, utilizaremos a contribuição teórica fundamentada em João Luiz Gasparin, em *Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica*. Nessa obra, o autor desenvolve uma prática pedagógica a partir de cinco passos, embasados na concepção metodológica dialética de conhecimento. O trabalho desenvolvido por Gasparin (2020) vem auxiliando os professores das Ciências da Natureza a se aproximarem da pedagogia histórico-crítica. Vamos apresentar uma síntese dos cinco passos (Prática social inicial, problematização, instrumentalização, catarse e prática social final), bem como a estruturação da nossa sequência didática a partir deles e do método da pedagogia histórico-crítica de Saviani e Duarte (2021).

4.3.1 Prática Social Inicial

Primeiro passo do método pedagógico da Pedagogia Histórico-Crítica. É o ponto de partida e caracteriza-se por uma "preparação, uma mobilização do aluno para a construção do conhecimento escolar. É uma primeira leitura da realidade, um contato inicial com o tema a ser estudado."(GASPARIN, 2020, p.36). Para Pereira e Pedrosa (2020), a prática social inicial parte dos conhecimentos prévios e experiências cotidianas do educando para abordar o conteúdo a ser ensinado com o objetivo de estabelecer uma relação deste com a realidade.

Para Gasparin (2020), a tarefa inicial do professor é definir sua estratégia de ação, ou seja, quais procedimentos o professor poderia utilizar para trabalhar com a prática social como leitura de realidade. Em nossa sequência didática, encaminhamos essa atividade a partir do anúncio dos conteúdos, que consiste na listagem da unidade e dos tópicos a serem trabalhados, explicitando os objetivos da aprendizagem e também buscamos, através da vivência cotidiana, explicitar o que os alunos já sabem ou gostariam de saber a mais.

Na prática social apontamos um encaminhamento do conteúdo por meio de uma divisão em tópico, em que cada um apresenta um objetivo específico a ser atingido ao longo da execução da sequência didática. Além disso, para a leitura de realidade, definimos algumas questões a serem levantadas, no que diz respeito a cada tópico elaborado e objetivos a serem alcançados.

A seguir temos a estruturação da nossa Prática Social Inicial para a Unidade Luz, onde apresentamos o objetivo geral da unidade, bem como os tópicos, objetivos específicos e questões a serem levantadas.

Objetivo Geral: Aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir

Tabela 5 – Unidade Luz - Estrutura da Prática Social Inicial

| Itens | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|---|---|--|
| Item 1 – O que é luz | Conceituar cientificamente a luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | <ul style="list-style-type: none"> ● O que é luz? ● Você viveria sem luz? |
| Item 2 – Luz e a visão | Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar. | <ul style="list-style-type: none"> ● Você consegue ver os objetos sem luz? ● Como você pensa que enxergamos os objetos? ● A mesma cor que eu vejo, você vê? |
| Item 3 – O estudo da Óptica | Identificar as ramificações da Óptica. | <ul style="list-style-type: none"> ● Por que estudar a luz? ● O que é uma sombra? ● Por que vemos através de alguns objetos (vidros e plásticos) e outros não (paredes e portas)? |
| Item 4 – Aplicação de Fenômenos ópticos | Compreender princípios básicos da Óptica. | <ul style="list-style-type: none"> ● Por que os carros têm espelhos? ● Por que um espelho reflete luz? ● Por que as coisas ficam distorcidas dentro da água? |

Fonte: Feito pelo autor

uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.

Para Gasparin (2020), esse é o momento da contextualização do conteúdo a ser estudado, buscando despertar a consciência crítica sobre o que ocorre na sociedade em relação ao assunto estudado, neste caso, a luz. Nessa etapa buscamos ter uma vivência individual e coletiva do conteúdo social que passa a ser reconstruída pelo aluno de forma sistematizada.

O desenvolvimento dessa etapa acontece a partir da apresentação do conteúdo a ser explorado, bem como a definição de estratégias de diálogo com a turma. É importante que o professor faça registros dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do conteúdo a ser explorado e também o uso que os alunos fazem do conteúdo na prática social cotidiana. Destacamos que na Prática Social Inicial não iremos aprofundar a discussão sobre o conteúdo a ser explorado.

4.3.2 Problematização

A problematização é o segundo momento enunciado por Saviani (2018), onde é preciso detectar que questões precisam ser resolvidas no âmbito da prática social e, em

consequência, que conhecimento é necessário dominar. O autor ressalta que esse não é o momento didático em que o docente faz perguntas para o aluno e ele não consegue responder a ela com base no senso comum. A problematização é um método que deve se unir com o conceito de problema, ou seja, aquilo que o sujeito não sabe, mas que precisa saber. Para Pereira e Pedrosa (2020) é importante e necessário questionar a realidade advinda da prática social inicial, para estimular as percepções dos estudantes.

Ao relacionar o conteúdo explorado com questões do cotidiano dos estudantes, problematizando e explorando situações reais, o conhecimento científico, sistematizado, passa a ter maior significado para eles. (PEREIRA; PEDROSA, 2020, p.26)

Para Gasparin (2020), a problematização é um desafio, a criação de uma necessidade para que o educando, através de sua ação, busque o conhecimento. O processo de busca, de investigação para solucionar as questões em estudo, é o caminho que predispõe o espírito do educando para a aprendizagem significativa, uma vez que são levantadas situações-problema que estimulam o raciocínio. De maneira geral, os conteúdos são, quase sempre, comunicados aos educandos por uma única dimensão, a conceitual científica. Aliás, o professor sempre enfatiza que o conteúdo é científico e se esforça para que seja aprendido como tal. Entretanto, na construção do conhecimento escolar discute-se que a ciência também é um produto social, nascida de necessidades históricas, econômicas, políticas, ideológicas, filosóficas, religiosas, técnicas, ou seja, todo conteúdo, portanto, reveste-se dessas dimensões, as quais devem ser tratadas juntamente com a dimensão científica. (SAVIANI, 2021; PEREIRA; PEDROSA, 2020; GASPARIN, 2020)

É pautado na discussão das múltiplas faces a serem exploradas e do pressuposto de que a aprendizagem se faz por aproximações sucessivas, que iremos estruturar essa etapa em nossa sequência didática, visto que nessa fase iremos apresentar aos estudantes uma primeira visão, uma primeira definição, ainda que simplificada, dos conceitos que se referem a luz. Nesta fase, buscamos preparar o estudante para analisar e aprender o conteúdo em suas múltiplas dimensões. Na problematização é necessário identificar os principais problemas postos pela prática social e pelo conteúdo, e diante disso transformar o conteúdo e os desafios da prática social inicial em questões problematizadoras. A seguir estruturamos nossa problematização para a Unidade Luz, onde apresentamos uma divisão dos conteúdos, sua submissão em dimensões e também as questões problematizadoras associadas a cada conteúdo e dimensão.

Tabela 6 – Unidade Luz - Estrutura da Problematização

| Conteúdos | Dimensões | Questões Problematizadoras |
|--|--|---|
| O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | Conceitual/científica | <ul style="list-style-type: none"> • O que é luz? • A luz do Sol e de uma lâmpada são iguais? • Qual é a natureza da luz? |
| | Histórica | <ul style="list-style-type: none"> • A luz sempre existiu? • Como as cidades eram iluminadas antigamente? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Por que precisamos de luz? • Como seria viver sem luz? |
| | Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> • Qual a importância da luz na religião? |
| Luz, cores, visão | Conceitual/científica | <ul style="list-style-type: none"> • Como enxergamos os objetos? • O que é cor? • Como se forma as cores que vemos? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Todas as pessoas veem as mesmas cores? |
| Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> • O que é uma sombra? • O que são objetos translúcidos e opacos? • Como a luz se propaga? • O que são fontes de luz? • Por que a lua brilha como se emitisse luz? • Por que a lua tem fases? |
| Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | Conceitual/científica | <ul style="list-style-type: none"> • Como funciona um espelho? • Por que alguns objetos distorcem as imagens vistas? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • O que é o ponto cego nos carros? • Por que palavras impressas na parte da frente de alguns veículos estão ao contrário? |

Fonte: Feito pelo autor

Para Gasparin (2020), a problematização representa um desafio para professores e alunos. É uma nova forma de considerar o conhecimento, tanto em suas finalidades sociais quanto na forma de comunicá-lo e reconstruí-lo. Pensando no professor, este deve buscar uma nova maneira de estudar e preparar o que será trabalhado com os

alunos: o conteúdo é submetido a dimensões e questionamentos que exigem dele uma reestruturação do conhecimento que já domina. Importante destacar que as questões problematizadoras elaboradas nesta etapa não são respondidas aqui, mas sim na fase da Instrumentalização, quando os alunos estão efetivamente construindo, de forma mais elaborada, seu conhecimento, seus conceitos.

4.3.3 Instrumentalização

Trata-se de se apropriar dos instrumentos teóricos e práticos necessários ao equacionamento dos problemas detectados na prática social. Como tais instrumentos são produzidos socialmente e preservados historicamente, a sua apropriação pelos alunos está na dependência de sua transmissão direta ou indireta por parte do professor. (SAVIANI, 2018, p.78)

Esse terceiro momento se refere ao caminho para pensarmos que instrumentos teórico-práticos são necessários para resolver os problemas encontrados na prática social inicial. Para Galvão et al. (2021), cabe ao professor pensar nas formas como os conteúdos serão vinculados e o melhor modo pelo qual os estudantes conseguirão colocar em atividade de estudo os conteúdos que estão aprendendo. Segundo Gasparin (2020), as ações didático-pedagógicas e os recursos necessários para a realização desta fase são definidos por alguns aspectos, como a experiência do professor, o conteúdo e os interesses e necessidades dos alunos.

O professor tem diversas opções para ensinar, como o uso de tecnologias, experimentações, atividades lúdicas, modelagem e aulas expositivas. Não há uma forma específica vinculada à pedagogia histórico-crítica. O importante é que as formas de ensino sejam utilizadas para ensinar conceitos verdadeiros. Os conceitos de máxima generalização da realidade influenciam na relação entre a realidade e os conceitos cotidianos, ampliando e dando novo significado às relações estabelecidas na estrutura psíquica do ramo escolar. (SAVIANI, 2018; GASPARIN, 2020; PEREIRA; PEDROSA, 2020)

Para a elaboração da instrumentalização, segundo Pereira e Pedrosa (2020) é preciso que o professor compreenda que ensinar ciência de forma clara e organizada é fundamental para o sucesso dos estudantes. Para isso, é importante que o professor promova a construção dos conceitos dos estudantes a partir de suas próprias percepções, estabelecendo relações entre as diversas partes do conteúdo e com o contexto social. Além de apresentar atividades desafiadoras que estimulem o raciocínio e a reflexão sobre questões reais. Outra estratégia possível é fomentar a pesquisa sobre os conteúdos explorados, a fim de ampliar o conhecimento dos estudantes. Propor atividades em grupos, debates enriquecedores, experimentos e entrevistas com pessoas que desenvolvem atividades relacionadas ao conteúdo explorado, aproximam os estudantes da realidade concreta.

A dinâmica de representação de nossa sequência didática deve ser desenvolvida

Tabela 7 – Unidade Luz - Estrutura da Instrumentalização

| Objetivos Específicos | Conteúdos | Dimensões | Ações | Recursos |
|--|--|---|--|---|
| Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | Conceitual/científica Histórica Social Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> • Leitura de textos; • Debate; • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> • Materiais Impressos; |
| Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar | Luz, cores, visão | Conceitual/científica Social Estética | <ul style="list-style-type: none"> • Debate; • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de Slides; • Tablets; • Computador; |
| Identificar as ramificações da Óptica. | Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de Slides; • Tablets; • Computador; |
| Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos. | Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | Conceitual/científica Social Estética Histórico, Social, Cultural | <ul style="list-style-type: none"> • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> • Materiais Impressos; • Lousa Digital; • Tablets; • Computador; |

Fonte: Feito pelo autor

a partir da retomada dos conteúdos de cada tópico ou subtópico anunciado na Prática Social Inicial, bem como, os objetivos específicos de cada item e as dimensões na qual o conteúdo será comunicado. Nesse passo também devemos explicitar que ações serão realizadas para cada conteúdo e divisões, apresentando também quais recursos devem integrar-se em todos os seus aspectos com as demais partes do processo, de tal forma que constituam um processo único na aprendizagem dos conteúdos científicos. A tabela 7 estrutura a instrumentalização de nossa sequência didática para a unidade Luz.

Segundo Gasparin (2020), a fase da Instrumentalização é o centro do processo pedagógico. É nela que se realiza, efetivamente, a aprendizagem. Por isso o professor deve provocar os estudantes para a reelaboração de conceitos, ou desconstrução de conceitos baseados no senso comum, por conceitos científicos, a partir de questionamentos, explicações mais claras, retomadas de conteúdos mais complexos, a partir de uma ação interativa entre professor e aluno. O diálogo entre o professor, enquanto mediador do conhecimento, e os estudantes é fundamental, para que seja possível acompanhar o processo de aprendizagem e oferecer orientações, para que os estudantes possam evoluir no seu aprendizado.

4.3.4 Catarse

A catarse, para Saviani (2018) é a efetiva incorporação dos instrumentos culturais, transformados agora em elementos ativos de transformação social. Para Gasparin (2020) ela representa a combinação entre o cotidiano e o científico, o teórico e o prático que o

estudante alcançou, mostrando sua nova perspectiva em relação ao conteúdo e a forma de construção social e reconstrução na escola. É a expressão teórica da mentalidade do estudante que demonstra a compreensão mais elevada da totalidade concreta.

Embora nenhuma das definições aponte, é muito comum associar a catarse com uma avaliação, principalmente por conta da influência da obra de Gasparin (2020), que pode trazer para muitos uma interpretação de que resolvendo provas ou fazendo trabalhos corretamente, o estudante chegaria à catarse. Na verdade, o aluno não se transforma instantaneamente quando aprender sobre a natureza da luz, as propriedades da luz ou os fenômenos óptico, por exemplo. É ao ensinar os conteúdos e mostrar como eles se relacionam e são aplicados, seja de maneira direta ou indireta, que o professor permite que os estudantes ponham os conceitos em prática. É assim que os conceitos de Física adquirem significado e se tornam uma ferramenta valiosa para compreender a realidade.

Podemos dividir essa fase em dois momentos, como sugere Gasparin (2020). O primeiro deles é a elaboração teórica de uma síntese, por meio da qual o estudante mostra a si mesmo seu nível de compreensão do tema. A síntese é a sistematização do conhecimento adquirido, a conclusão a que o aluno chegou. O segundo é a expressão prática da nova síntese, que é a exteriorização, a manifestação pública de sua aprendizagem, podendo essa ser definida pelo professor, de que forma que ela possa traduzir o crescimento do aluno, como se apropriou do conteúdo, como resolveu as questões propostas e como reconstituiu seu processo de concepção da realidade social. É o quando o professor avalia se o aluno atingiu o "(...) ponto de chegada, ou seja, terão caminhado de uma concepção sincrética para uma sintética."(PEREIRA; PEDROSA, 2020, p.159)

A catarse não deixa de ser uma avaliação de aprendizagem do conteúdo, mas não como demonstração de que aprendeu um novo tema apenas para a realização de uma prova ou de um teste, mas como expressão prática de que se apropriou de um conhecimento que se tornou um novo instrumento de compreensão da realidade e de transformação social. Também destacamos que esse tipo de avaliação não é restrito apenas a essa fase, mas deve ocorrer durante todo o desenvolvimento da sequência didática. Contudo, é na catarse que ocorre o término do processo intelectual de aquisição do conhecimento proposto e sua análise. Portanto, é necessário explicitar de maneira mais clara e consistente a real compreensão de todo o conteúdo estudado. Para assegurar que o aluno aprendeu o conteúdo, o professor deve avaliar se o aluno sabe aplicá-lo corretamente em diversas situações. (GASPARIN, 2020; SAVIANI, 2018)

Diante do que foi discorrido sobre a importância da catarse, para garantir uma avaliação efetiva, é necessário selecionar os instrumentos mais apropriados, levando em consideração o conteúdo abordado, a metodologia utilizada e as diversas dimensões propostas pela Problematização, etapa anteriormente discutida. Na tabela abaixo apresentamos a estrutura da nossa catarse. Nessa etapa, optamos por avaliações formais, onde "(...) o

Tabela 8 – Unidade Luz - Estrutura da Catarse

| Conteúdos | Dimensões | Ações | Recursos | Avaliação |
|--|--|---|---|---|
| O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | Conceitual/científica, Histórica, Social Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> Leitura de textos; Debate; Exposição Oral do professor; Análise de Imagens relacionadas ao assunto; Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> Materiais Impressos; Lousa Digital; Tablets; Computador; | <ul style="list-style-type: none"> Produção de texto, em forma de poema, carta etc., que demonstre a importância da luz nas diversas dimensões; Construção de um mapa mental sobre os assuntos abordados; Quiz de perguntas e respostas referente aos assuntos abordados; Atividades avaliativas objetivas (síntese a respeito dos experimentos realizados nos simuladores) que abordem as diferentes dimensões discutidas na problematização e instrumentalização; |
| Luz, cores, visão | Conceitual/científica, Social, Estética | <ul style="list-style-type: none"> Debate; Exposição Oral do professor; Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> Materiais Impressos; Tablets; Computador; | |
| Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> Exposição Oral do professor; Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> Materiais Impressos; Tablets; Computador; | |
| Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | Conceitual/científica, Social, Estética, Histórico, Social, Cultural | <ul style="list-style-type: none"> Exposição Oral do professor; Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> Materiais Impressos; Lousa Digital; Tablets; Computador; | |

Fonte: Feito pelo autor

professor seleciona e apresenta as diversas maneiras que oferecem ao educando a oportunidade de se manifestar sobre o quanto suas respostas se aproximam das questões básicas que orientaram a aprendizagem."(GASPARIN, 2020, p.187)

Para as avaliações descritas, a produção dos alunos será avaliada a partir da organização e clareza na apresentação dos resultados da aprendizagem, correção, articulação das partes, sequência lógica, rigor na argumentação e criatividade. Tais discussões serão feitas no relato de aplicação da sequência didática.

4.3.5 Prática Social Final

Esta fase representa a transposição do teórico para o prático dos objetivos da unidade de estudo, das dimensões do conteúdo e dos conceitos adquiridos. (GASPARIN, 2020, p.78)

Conforme a citação de Gasparin (2020), a prática social final é o ponto de chegada do processo pedagógico na perspectiva histórico-crítica. Segundo Saviani (2018), a prática social inicial e a final são a mesma coisa, uma vez que se constituem como "(...) o suporte e o contexto, o pressuposto e o alvo, o fundamento e a finalidade da prática pedagógica."(SAVIANI, 2018, p. 145). Entretanto, elas podem ser encaradas de forma diferente quando "(...) considerarmos que o modo de nos situarmos em seu interior se alterou qualitativamente pela mediação da ação pedagógica.(SAVIANI, 2018, p. 145).

Considerando todas as fases pela qual o professor e os alunos passaram entre a prática social inicial e a final, é correto afirmar que ambos sofreram modificações intelectuais e qualitativas em relação às suas concepções sobre o conteúdo. Se tratando dos alunos, estes passaram de um estágio de compreensão científica limitada para uma fase de maior clareza e entendimento dessa mesma concepção dentro do contexto geral. Como resultado, há um novo posicionamento em relação à prática social do conteúdo adquirido. No entanto, embora tenham compreendido o conteúdo, o aluno ainda não o colocou em prática. Isso requer uma ação real por parte do sujeito que aprendeu, ou seja, exige aplicação prática. (SAVIANI, 2018; GASPARIN, 2020; PEREIRA; PEDROSA, 2020)

Entretanto, essa aplicação prática não deve se restringir a esperar do aluno novos comportamentos imediatos, com base naquele tema que foi desenvolvido, uma vez que, como nos diz Duarte (2021):

As relações entre o ensino dos conteúdos escolares e a formação/transformação da concepção de mundo são mediadas e complexas. É um erro e uma ingenuidade esperar mudanças imediatas e facilmente visíveis da visão de mundo dos alunos a partir de cada tópico dos conteúdos escolares. (DUARTE, 2021, p.32)

É na prática social final que o professor, após todo o processo pedagógico desenvolvido, busca identificar saltos qualitativos, em termos de desenvolvimento da visão de mundo dos indivíduos com relação a temática desenvolvida. Para Pereira e Pedrosa (2020), é o momento que o professor verifica se houve mudança de concepção sincrética para uma sintética, ou seja, a visão confusa e caótica a respeito daquele assunto torna-se mais rica, desenvolvida e organizada.

Na identificação desses saltos qualitativos, é preciso analisar qual a contribuição do conhecimento de Ciências, e no caso da nossa dissertação a de Física, que se espera no que tange a humanização dos indivíduos. Para Saviani e Duarte (2021), a abordagem do ensino de Ciências da Natureza hoje apresenta uma visão instrumental e utilitarista, em que não provoca uma reflexão mais profunda sobre o mundo, a realidade e a relação entre seres humanos e natureza. No entanto, o autor argumenta que o ensino de Ciências pode ser de grande importância se for trabalhado de forma a ampliar e transformar a visão de mundo dos alunos. Em outras palavras, é preciso analisar como o ensino de ciências da natureza impacta na forma como os indivíduos percebem e se relacionam com o mundo ao seu redor.

(...) a importância das ciências naturais para a humanização no processo educativo está associada, entre outras coisas, à visão que nós temos das relações entre sociedade e natureza e da nossa responsabilidade quanto a isso. Isso se remete a várias questões éticas que envolvem as relações entre os próprios seres humanos, porque nossas relações com a natureza dependem da forma como organizamos a sociedade e as atividades produtivas. (SAVIANI; DUARTE, 2021, p.459)

Esse processo de identificar o impacto na forma como o aluno percebe e se relaciona com o mundo ao seu redor pode ser analisado na Prática Social Final a partir do momento em que ele tem "(...) a oportunidade de revelar sua nova visão ou a maneira de ser que assumirá, no cotidiano, em relação ao conteúdo aprendido."(GASPARIN, 2020, p.201). Essa oportunidade é chamada por Gasparin (2020) de nova atitude prática, em que revela-se a partir de uma proposta de ação que, segundo o autor:

(...) procura prever o que cada aluno (ou grupo de alunos) fará na vida prática, no seu cotidiano dentro e fora da escola. Procura também prever como será seu desempenho depois de ter adquirido determinado conhecimento. É o desenvolvimento de seu compromisso com a prática social. (GASPARIN, 2020, p.201)

Diante do que foi discutido ao longo dessa seção, estruturamos algumas novas atitudes práticas que podemos esperar dos alunos, que serão analisado ao longo da sequência didática, além de propostas de ação que podem aparecer como consequência das novas atitudes práticas. A tabela 9 abaixo ilustra essas possibilidades.

Tabela 9 – Unidade Luz - Estrutura de possibilidades de nova atitude prática e proposta de ação

| Nova atitude prática | Proposta de ação |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ● Apropriação do conceito científico de luz e sua importância como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. ● Compreensão da Natureza da luz e suas propriedades. ● Discutir com propriedade a importância da luz nas dimensões apresentadas a partir de novas questões problematizadoras. ● Conhecer a importância dos fenômenos ópticos nas dimensões Conceitual/científica, Social, Estética, Histórico, Social e Cultural. | <ul style="list-style-type: none"> ● Valorizar a luz como elemento crucial para manutenção da vida dos seres da Terra. ● Fazer leituras sobre novas tecnologias que utilizam os fenômenos ópticos. ● Buscar filmes, documentários que mostram a importância dos fenômenos ópticos na vida da Terra. ● Buscar nas dimensões social, histórico e cultural, problemas em que o conhecimento a respeito da óptica possa contribuir na solução de outras questões detectadas. |

Fonte: Feito pelo autor

Em síntese, a Pedagogia Histórico-Crítica é um enfoque teórico e metodológico que busca compreender as condições históricas, sociais e culturais que influenciam a educação e o processo de ensino-aprendizagem. Ela se baseia na ideia de que a educação e o conhecimento são construídos socialmente e estão sujeitos as transformações históricas e sociais. Com relação ao ensino de física, essa abordagem pedagógica pode ser usada para compreender como o conhecimento científico sobre as ciências da natureza é construído e desenvolvido ao longo do tempo e como ele é influenciado por fatores sociais, econômicos

e culturais. Além disso, ela pode ser usada para examinar como a física é ensinada e aprendida em diferentes contextos sociais e históricos, servindo de suporte para desenvolver metodologias de ensino que considerem esses aspectos. É importante notar que a Pedagogia Histórico-Crítica não é um método específico de ensino de Física, mas uma abordagem teórica e metodológica que pode ser aplicada para compreender e desenvolver o ensino e a aprendizagem dele em um contexto histórico e social mais amplo. Diante disso, o próximo capítulo busca apresentar e discutir a respeito do processo de desenvolvimento e aplicação da sequência didática, a partir da abordagem e estrutura que foi discutida até então.

5 Desenvolvimento e relato de aplicação

No capítulo anterior, discutimos a respeito das etapas do planejamento da sequência didática, a partir de uma abordagem histórico-crítica onde buscamos relacionar as suas possibilidades para o ensino de Física. Para esse capítulo apresentaremos como foi o desenvolvimento da sequência didática, as estratégias utilizadas para o ensino e as atividades desenvolvidas pelos alunos. Serão apresentados também os resultados obtidos com a aplicação da sequência didática, apontando as contribuições e desafios encontrados durante o processo de ensino e aprendizagem. Os registros dos relatos da aplicação do produto educacional foram documentados por meio de vídeos gravados, captura de imagens, escuta atenta e transcrição das interações dos estudantes.

5.1 CRONOGRAMA DE APLICAÇÃO

Ao longo da seção que discutimos sobre a abordagem que estruturou a montagem de nossa sequência didática, apresentamos os passos, seus objetivos, sua relação com o conteúdo e o que espera-se do aluno e do professor. No quadro 10 abaixo temos a divisão desses passos conforme o número de encontros que foi definido, além de apresentar como foi feita a divisão dos conteúdos dentro da etapa de instrumentalização.

Tabela 10 – Cronograma de aplicação

| Passo/Conteúdo | | Número de encontros |
|------------------------|--|----------------------------|
| Prática social Inicial | | 1 encontro |
| Problematização | | |
| Instrumentalização | O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | 1 encontro |
| | Luz, cores, visão | 1 encontro |
| | Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | 1 encontro |
| | Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | 2 encontros |
| Catarse | | 2 encontros |
| Prática Social Final | | |

Fonte: Feito pelo autor

Mesmo com uma duração prevista de oito encontros, o período de aplicação da sequência didática compreendeu os meses de agosto de 2021 até dezembro de 2021. Cada encontro teve duração de 90 minutos, equivalente a duas horas-aulas semanais, como previsto na matriz curricular para o ensino de física. O longo período de aplicação da sequência justifica-se a partir da dinâmica de divisão das aulas que acontecia na escola. Devido a Pandemia do COVID-19, a escola estava dividindo as turmas em dois grupos. A cada semana, um grupo desenvolve atividades presenciais, no chamado Tempo Escola, enquanto o outro grupo desenvolve atividades em casa no Tempo Casa. Passamos agora para discussão do desenvolvimento da sequência didática e o relato de experiências.

5.2 DEMARCANDO AS LINHAS DE COMPREENSÃO: A PRÁTICA SOCIAL INICIAL E A PROBLEMATIZAÇÃO

O interesse do professor por aquilo que os alunos já conhecem é uma ocupação prévia sobre o tema que será desenvolvido. É um cuidado preliminar que visa saber quais as “pré-ocupações” que estão nas mentes e nos sentimentos dos escolares. (GASPARIN, 2020, p.38)

A epígrafe que inicia essa seção nos apresenta a possibilidade que o professor tem de desenvolver um trabalho pedagógico mais adequado, a fim de que, nas fases posteriores do processo, os alunos apropriem-se de um conhecimento significativo para suas vidas a partir da percepção daquilo que já conhecem sobre o tema que será visto. A prática social inicial foi o nosso ponto de partida para o estudo dos conceitos que envolvem a luz, sua natureza e compreensão dos fenômenos associados a ela.

Diante disso, o primeiro encontro iniciou-se com a prática social inicial. Estimamos que essa etapa teve duração de cerca de 25 minutos. O diálogo começou a partir de uma apresentação pessoal e, posteriormente, uma explicação para os alunos de que nos próximos encontros eles estariam participando da aplicação de uma sequência didática com uma abordagem diferente, se comparado a outras metodologias de aprendizagem. Porém ressaltamos que o objetivo principal no desenvolvimento das atividades era o de que os alunos pudessem **aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.**

Em seguida, explicitamos que o conteúdo que abordaríamos nas próximas aulas seria todo relacionado a um fenômeno: *Luz*. A partir daí, por meio de uma apresentação no projetor, listamos os temas que seriam desenvolvidos, bem como os objetivos. Esclarecemos aos alunos que naquele momento estaríamos desafiando eles a mostrar o que sabem do conteúdo a partir de questões, perguntas e constatações. Para isso, dividimos o assunto

em quatro temáticas, em que cada temática apresentava questões a serem levantadas. No quadro 11, abaixo temos a primeira temática e as questões que foram levantadas.

Tabela 11 – Temática 1

| Temática | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|--------------------|--|---|
| O que é luz | Conceituar cientificamente a luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | <ul style="list-style-type: none"> • O que é luz? • Você viveria sem luz? |

Fonte: Feito pelo autor

Quando questionados sobre "*O que é luz?*" e "*Você viveria sem luz?*", algumas respostas são relatadas a seguir:

Acho que luz é o que a gente vê. Como eu vou conseguir ver sem luz?
(Aluno A)

Luz é o que me faz ver as coisas. Sem luz eu não poderia enxergar.
(Aluno B)

Professor, sem luz não existiria vida. Como a gente viveria sem a luz do Sol? (Aluno C)

Qual luz professor? A luz que acende as lâmpadas? Sem essa luz eu não teria como fazer nada! (Aluno D)

A segunda temática, na qual trouxemos questões a serem levantadas, relaciona *Luz e Visão*. O quadro 12 ilustra o objetivo específico e questões que foram levantadas:

Tabela 12 – Temática 2

| Temática | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|----------------------|---|--|
| Luz e a visão | Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar. | <ul style="list-style-type: none"> • Você consegue ver os objetos sem luz? • Como você pensa que enxergamos os objetos? • A mesma cor que eu vejo, você vê? |

Fonte: Feito pelo autor

Algumas respostas feitas pelos alunos, no que diz respeito as questões da segunda temática estão a seguir:

Depende professor, se eu ficar muito tempo no escuro eu consigo enxergar.
(Aluno A)

Eu não sei direito como enxergo, mas acho que é porque a luz bate nos meus olhos. (Aluno B)

Não vemos as mesmas cores, eu conheço uma pessoa que só enxerga preto e branco. (Aluno C)

Se eu apagar a luz do meu quarto, na hora eu não vejo nada e se está muito escuro eu não consigo ver. (Aluno D)

A terceira temática já começa a abordar um pouco da dimensão científica dos estudos da luz, na qual chamamos de *O estudo da Óptica*. Seu objetivo e as questões a serem levantadas podem ser vistas no quadro 13.

Tabela 13 – Temática 3

| Temática | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|---------------------------|--|--|
| O estudo da Óptica | Identificar as ramificações da Óptica. | <ul style="list-style-type: none"> • Por que estudar a luz? • O que é uma sombra? • Por que vemos através de alguns objetos (vidros e plásticos) e outros não (paredes e portas)? |

Fonte: Feito pelo autor

Abaixo, relatamos algumas respostas ditas pelos alunos ao serem questionados sobre o assunto da temática *O estudo da Óptica*.

Tem luz em tudo, professor. Acho que por isso precisamos saber mais sobre ela. (Aluno A)

Sombra é quando ali não tem luz, professor. (Aluno B)

A gente consegue ver a luz naqueles objetos que são transparentes. A luz passa por eles. Nos outros não passa a luz. (Aluno C)

A última temática chamamos de *Aplicação dos fenômenos ópticos*, que apresenta um enfoque muito ligado ao conhecimento científico, mas com questões a serem levantadas relacionadas a situações do dia-a-dia em que o aluno pode ter dificuldade para explicar ou não compreende o fenômeno. As questões a serem levantadas e o objetivo dessa temática estão no quadro 14.

Nessa etapa, percebemos uma maior dificuldade e resistência dos alunos a responder as questões a serem levantadas. Poucos alunos optaram por relatar a sua percepção sobre, com medo de estarem errados. Abaixo destacamos as respostas que acreditamos ser as mais relevantes para discutirmos posteriormente.

Os espelhos servem pra gente conseguir ver outros carros que estão nos ultrapassando. A luz bate nele e dá pra vermos. (Aluno A)

Tabela 14 – Temática 4

| Temática | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|---------------------------------------|---|---|
| Aplicação de Fenômenos ópticos | Compreender princípios básicos da Óptica. | <ul style="list-style-type: none"> • Por que os carros têm espelhos? • Por que um espelho reflete luz? • Por que as coisas ficam distorcidas dentro da água? |

Fonte: Feito pelo autor

A água é mais densa e fica se mexendo, daí não dá pra ver direito. (Aluno B)

Precisa de espelho pra ver o que tem atrás de nós ou passando pela gente. Não sei por que ele reflete, professor. (Aluno C)

A seguir, pedimos para os alunos apontar outros aspectos, relacionados aos assuntos e que apresentem relevância com as questões que foram levantadas, que sejam do interesse deles, o qual manifestam desejo de saber e conhecer mais sobre. Separamos uma pergunta que foi apresentada pelos estudantes: "*Por que as estrelas tem cores diferentes?*". Diante desses questionamentos, abrimos caminho para iniciar a outra fase da nossa abordagem pedagógica: A problematização.

Este é o momento em que são apresentadas e discutidas as razões pelas quais os alunos devem aprender o conteúdo proposto, não por si mesmo, mas em função de necessidades sociais.[...]Mostram-se, paralelamente, as diversas faces sociais que os conceitos carregam consigo. Esse processo leva o aluno, aos poucos, a descobrir novas dimensões dos conceitos em questão. O conteúdo começa a ter sentido para o aluno. (GASPARIN, 2020, p.69)

Conforme Gasparin (2020) sugere, foi na problematização que apresentamos aos alunos uma primeira visão, uma primeira definição, ainda que simplificada, de como ele irá aprender sobre os fenômenos ópticos, compreender o comportamento da luz e sua importância. Buscamos nessa fase preparar o educando para analisar e aprender o conteúdo em suas múltiplas dimensões.

Nessa etapa, explicamos aos alunos que o conteúdo apresenta as chamadas *dimensões*, algo como identificar que o assunto apresenta perspectivas diferentes e muitas são as formas de conhecê-las. Essas dimensões são uma forma de expressar as diferentes naturezas de um conteúdo. Essa explicação foi através do projetor, em que também apresentamos a eles o quadro 6, *Estrutura da Problematização*. Explicamos aos alunos que cada questão problematizadora busca explorar outras faces do conteúdo e auxilia na orientação das próximas etapas. Também ressaltamos que a elaboração de questões dinâmicas em dimensões

diferentes representa uma mudança na maneira como o conhecimento é transmitido, uma vez que ele é visto com maior totalidade, diferente de apenas discutir a dimensão conceitual e científica. Evidenciar e discutir as diversas dimensões de um conteúdo, evidencia um momento de tentativa para a tomada de consciência crítica dos alunos.

Figura 25 – Discussão sobre as dimensões do conteúdo



Fonte: Feito pelo autor

Vale ressaltar que nesse momento, pedimos para que os alunos tentassem alocar em qual conteúdo e dimensão a questão levantada por eles na prática social inicial deveria ser posta. A turma se dividiu em duas escolhas, alguns alunos afirmaram que a questão representa uma dimensão científica e que deveriam ser alocadas no conteúdo *Luz, cores, visão* e outros afirmaram que deveriam ser alocadas no conteúdo *Óptica, Propriedades da luz, Meios de propagação e Princípios de Propagação*.

O quadro 15 representa os dois conteúdos, as dimensões e as questão problematizadora com o acréscimo da questão levantada pelos alunos na prática social inicial.

Por fim, afirmamos aos alunos que as questões que apresentamos serão mantidas

Tabela 15 – Adição das questões levantada pelos alunos na prática social inicial

| | | |
|--|--|---|
| Luz, cores, visão | Conceitual/científica | <ul style="list-style-type: none"> • Como enxergamos os objetos? • O que é cor? • Como se forma as cores que vemos? • Por que as estrelas têm cores diferentes? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Todas as pessoas veem as mesmas cores? |
| Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> • O que é uma sombra? • O que são objetos translúcidos e opacos? • Como a luz se propaga? • O que são fontes de luz? • Por que a lua brilha como se emitisse luz? • Por que a lua tem fases? |

Fonte: Feito pelo autor

presentes ao longo do desenvolvimento das próximas etapas, uma vez que elas, "[...] junto com os objetivos, tornam-se a diretriz do processo pedagógico." (GASPARIN, 2020, p.71). Passamos para o desenvolvimento e o relato da próxima etapa: a instrumentalização.

5.3 DA VISÃO SINCRÉTICA PARA SINTÉTICA: A INSTRUMENTALIZAÇÃO

Trata-se de se apropriar dos instrumentos teóricos e práticos necessários ao equacionamento dos problemas detectados na prática social. A sua apropriação pelos alunos está na dependência de sua transmissão direta ou indireta por parte do professor. (SAVIANI, 2018, p.144)

A epígrafe que inicia essa seção relata brevemente o terceiro passo do método didático histórico-crítico: a instrumentalização. Para Saviani (2018), esse momento caminha para pensarmos os instrumentos teórico práticos que são necessários para resolver os problemas localizados na prática social. Vale ressaltar que não é apenas o momento em que o professor começa a discutir física, apresentar equações ou discutir definições e conceitos. Trata-se de "(...) pensar especificamente quais são os instrumentos teórico-procedimentais que garantem que o estudante se aproprie do legado histórico da humanidade." (GALVÃO et al., 2021, p.236).

No que diz respeito a transmissão direta ou indireta, estamos nos referindo a formas de ensinar a partir dos instrumentos teórico-procedimentais escolhidos. Afinal, "(...) o

professor tanto pode transmiti-los diretamente como pode indicar os meios pelos quais a transmissão venha a se efetivar."(SAVIANI, 2018, p.145).

Conforme descrito no cronograma de aplicação, esse passo representou o maior número de encontros para a sua aplicação. Ele foi dividido em quatro conteúdos, em que três deles tiveram duração de um encontro e o último dois encontros. A seguir, faremos um relato da aplicação desse passo conforme a divisão feita por conteúdos, buscamos descrever os instrumentos teóricos-procedimentais escolhidos para cada conteúdo, apresentar as considerações observadas e relatar as ações realizadas ao longo de cada encontro.

5.3.1 O que é luz?

O primeiro encontro da etapa de instrumentalização iniciou-se lembrando os estudantes de que a luz é vista como importante nas mais diversas dimensões, mas que é preciso identificar essas dimensões, primeiramente. Além disso, o objetivo desse encontro seria conceituar cientificamente a luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida. Trouxemos as questões problematizadoras discutidas na etapa de problematização que deveriam ser respondidas nesse encontro. A quadro 16 apresenta o objetivo específico, dimensões e questões problematizadoras dos conteúdos do primeiro encontro de instrumentalização.

Tabela 16 – Aula 1 - O que é luz?

| Objetivos Específicos | Questões problematizadoras | Conteúdos | Dimensões |
|--|--|---|---|
| Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | <ul style="list-style-type: none"> ● O que é luz? ● A luz do Sol e de uma lâmpada são iguais? ● Qual é a natureza da luz? ● A luz sempre existiu? ● Como as cidades eram iluminadas antigamente? ● Por que precisamos de luz? ● Como seria viver sem luz? ● Qual a importância da luz na religião? | O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | Conceitual/científica Histórica Social Religiosa |

Fonte: Feito pelo autor

Buscando confrontar o saber empírico com o saber científico, além de viabilizar aos estudantes responder às questões problematizadoras, essa aula foi constituída de um conjunto de oito textos e dois áudios, que foram distribuídos entre os estudantes da turma para que pudessem realizar a leitura ou escuta, em que cada um deveria responder a pergunta: *O que é luz?*

Os textos e áudios foram extraídos de artigos científicos, livros, jornais, revistas e *podcasts* e apresentam a importância da luz e sua representação, de acordo com a dimensão contextualizada. Na tentativa de que os estudantes identificassem as dimensões conceitual/científica, histórica, social e religiosa, após a leitura ou escuta, foi proposto a eles que escrevessem qual a importância da luz e a dimensão em que aquele texto ou áudio

se enquadra, para uma posterior discussão entre os estudantes. Vamos destacar algumas respostas e em seguidas faremos algumas considerações, no que diz respeito ao processo de aprendizagem.

A luz permite a nós enxergar formas e cores, seja natural quanto artificial, não poderíamos captar nosso mundo material. Na Grécia antiga, como nos dias de hoje, o teatro depende da iluminação, como aconteciam ao ar livre, a luz espontânea do sol iluminava as peças, causando efeitos de sombra. translucidez e brilho. O teatro passou-se a acontecer em ambientes fechados, o sol não conseguiria alcançar propriamente a peça. Houve a necessidade de criar fontes de luz, sendo elas tochas, velas, lampiões a gás e eventualmente a luz elétrica, evoluindo conforme a tecnologia da época, desde antes de cristo até século XX. (Aluno A, Texto 6)

O relato do Aluno A nos permite identificar uma primeira aproximação do que vem a ser a percepção de luz nas dimensões histórico e social. O primeiro trecho evidencia que ele começa a decodificar a luz como algo essencial para percepção da vida e racionalidade dos seres vivos. Já em um contexto histórico, nos trechos seguintes, percebeu-se que o aluno compreende que a evolução na forma de manipulação luz foi fundamental para permitir a criação de teatro em ambientes fechados, por exemplo. A seguir, destacamos outro relato:

A luz seria basicamente um monte de minúsculas partículas que preencham o espaço.(Ela também seria algo onipresente). Sem a luz não conseguiríamos ver nada no cosmo (espaço). Não veríamos os planetas, as estrelas e as galáxias como pontinhos brilhantes no céu. Além disso o céu não seria azul, já que essa coloração provém da combinação da luz solar com os elementos que compõem a atmosfera. (Em resumo a luz nos permite ver tudo).(Aluno B, Texto 3)

Nesse relato, o estudante buscou resumir aquilo que entendeu do texto extraído do livro *Física Divertida*, que apresenta a ele uma dimensão científica conceitual do que vem a ser a luz. Para Fiolhais (2000), responder ao questionamento do que é a luz, remete a discutir as teorias relacionadas a natureza dela. Para isso, o autor apresenta em seu texto a defesa de Isaac Newton, de que a "(...) luz tinha, na sua constituição, algo de parecido com uma maçã ou uma lua. Assim como a maçã e a lua são corpúsculos, também a luz era constituída por pequeníssimos corpúsculos que preenchem o espaço."(FIOLHAIS, 2000, p.20). Passamos ao terceiro relato, escrito pelo Aluno C.

A luz é algo muito mais amplo do que vemos no conteúdo de física da escola. A luz é uma onda eletromagnética que pode ser visível, ou não. A óptica é o estudo da luz, mas não necessariamente a luz visível, o que pode confundir muitas pessoas que acreditam que a luz é algo que nossos olhos podem ver. A diferença entre a luz emitida por diferentes corpos é principalmente a sua frequência, como acontece com a luz do sol e a luz da lâmpada. (Aluno C, Áudio)

O terceiro relato, escrito pelo estudante C, foi feito a partir de um resumo do *podcast* Fisicast (2020) - #35 Óptica: Introdução. Esse *podcast* introduz aos ouvintes uma dimensão científica a respeito do assunto. Trás respostas para questões como a natureza da luz, a diferença entre a luz solar e de uma lâmpada. Além de envolver as questões problematizadoras da aula 1, no resumo, discute-se sobre a frequência, grandeza física importante na constituição do espectro eletromagnético. A discussão desse resumo nos permite introduzir aos discentes a investigação das propriedades eletromagnéticas e como ela interage com os diversos materiais, servindo de caminho para o assunto da aula 2, que descreveremos em seguida. Passamos para o último relato, escrito pelo aluno D.

A luz no meio religioso consiste em uma luz divina/sobrenatural, onde trabalhamos a criação, percepção e o sentimento. Dependendo de cada religião a luz pode ter uma utilização diferente, como na Umbanda, que é usado durante os rituais, para projeção de luzes coloridas e acender velas, para ajudar no físico e na energia e conseqüentemente a luminosidade interferindo no ambiente também. Temos exemplos de luz em diversos ambientes, utilizando objetos na arte, como vitrais coloridos nas igrejas medievais. (Aluno D, Texto 7)

O último relato faz referência a uma dimensão religiosa, como também artística para descrição da luz. Segundo Jacinto e Stumm (2020), o texto trás uma discussão sobre a luz como materialidade a ser manipulada, para compor espaços de luz e de visualidades, em ambientes expositivos. Por meio de objetos em situações de propagação da luz, a discussão transita não só por questões que identificam o potencial da luz a fim de modificar o ambiente, como também propõem o artista como um manipulador de objetos/luz. O potencial da luz como modificador de ambiente é descrito no relato do aluno, quando ele descreve que a luz é usada de diferentes formas, de acordo com cada religião.

O último momento da aula foi de discussão dos relatos feito pelos estudantes, na tentativa de responder as questões problematizadoras. Neste momento, como professores, desempenhamos o papel de mediadores, resumindo, valorizando e interpretando as informações a serem transmitidas. A nossa ação ocorre por meio da explanação do conteúdo científico, da formulação de perguntas sugestivas e das orientações sobre como o aluno deve começar e desenvolver a tarefa. Também inclui o diálogo, as experiências compartilhadas e a colaboração. Sempre se trata de uma atividade direcionada, com o objetivo de estimular o surgimento de funções que ainda não estão completamente desenvolvidas. (GASPARIN, 2020).

Dessa forma, iniciamos a discussão perguntando aos alunos *O que é luz*, passando para as demais questões problematizadoras, que destacamos no quadro 16. Observamos que a dimensão conceitual/científica começa a fazer parte dos relatos dos estudantes, uma vez que na etapa da prática social inicial e problematização não houve menções quanto a natureza da luz e suas propriedades, mas que em algumas relatos e no momento

das discussão se fez presente. Ao longo dessa discussão, complementamos a dimensão conceitual/científica, no que tange as teorias relacionadas a natureza da luz. Aproveitando os diferentes relatos a respeito da natureza da luz, ora relatada como partícula, ora como onda eletromagnética, foi possível debater o comportamento de dualidade onda-partícula, aceito até então. Além disso, no que diz respeito ao modelo ondulatório da luz, explicamos que significa tratar a luz como onda eletromagnética, que seria uma combinação de campos elétricos e magnéticos que oscilam com determinada frequência. A propagação dessas ondas, no vácuo, ocorre com velocidade constante e apresentam frequência de oscilação diferentes, que representam o chamado *espectro eletromagnético*. A luz que consideramos como visível representa apenas uma fração muito pequena desse espectro. Para complementar esse assunto, mostramos no projetor a figura 13, já apresentada no Referencial teórico. Esses esclarecimentos são importantes para a próxima aula da etapa de instrumentalização: *Luz, cores e visão*.

5.3.2 Luz, cores e visão

O segundo encontro da etapa de instrumentalização foi dividido em dois momentos. O primeiro momento, a partir de uma aula expositiva através de uma apresentação de slides, iniciamos relembando os estudantes sobre os objetivos que buscamos alcançar na aula anterior, bem como as questões problematizadoras que buscaríamos responder nesse encontro. Também apresentamos que o objetivo desse encontro seria compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar.

Após as considerações iniciais, seguimos para a explicação da primeira questão problematizadora: "*Como enxergamos os objetos?*" Para responder essa pergunta apresentamos algumas características que dizem respeito ao olho humano, como a sua estrutura e a celular receptoras de luz presentes nele. Na figura 26 podemos ver os dois slides apresentados aos estudantes sobre o assunto.

Figura 26 – Estrutura do olho humano - Slide 6 e 7

Como enxergamos os objetos?

O olho humano

A visão está relacionada com a capacidade de detectar padrões luminosos do meio externo, transformando-os em imagens.

Para enxergarmos um objeto é preciso, primeiro, que o objeto esteja iluminado, seja pela luz solar, seja pela luz artificial de uma lâmpada ou vela.

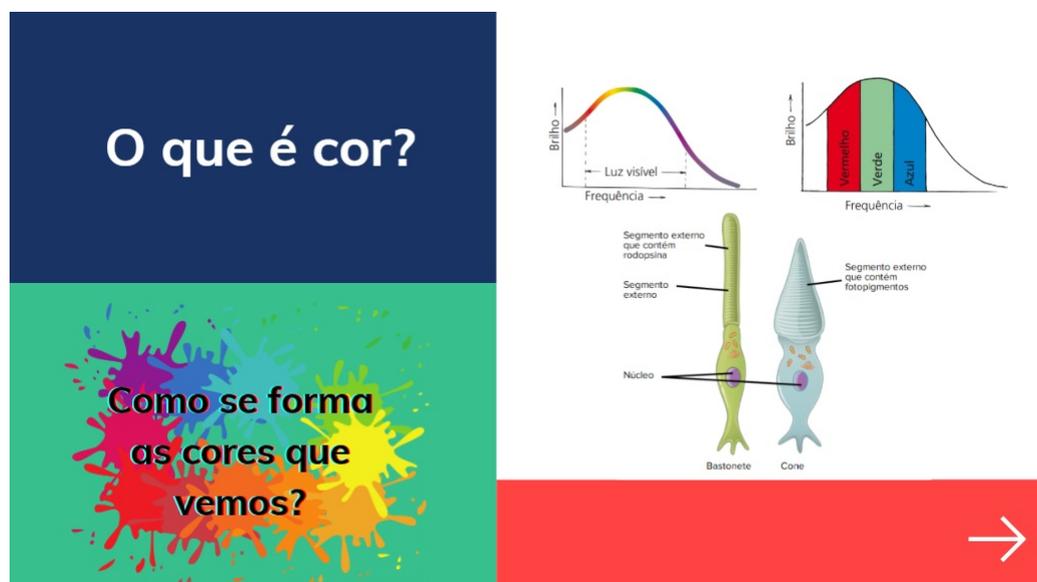
Fonte: Feito pelo autor

Nesse momento, foi explicado aos estudantes que o olho humano é composto por várias estruturas, incluindo a córnea, os músculos ciliares, a íris, a pupila, o cristalino, o corpo vítreo, a retina e o nervo óptico. A córnea é uma lente convergente localizada na parte frontal do olho, que também tem a função de proteção. Entre a córnea e o cristalino, há um líquido chamado humor aquoso. O cristalino é uma lente que foca os raios de luz na retina. A convergência do cristalino pode ser alterada pelos músculos ciliares, que contraem ou relaxam. A íris, um tecido opaco e colorido, bloqueia parte da luz que entra nos olhos, enquanto a pupila, que pode se contrair ou dilatar, controla a quantidade de luz que entra no olho, dependendo da luminosidade do ambiente. Na parte posterior do olho, a imagem do ambiente é projetada na retina, onde células sensíveis à luz, chamadas de cones e bastonetes, transmitem impulsos elétricos através do nervo óptico para o cérebro. No processo de visão, os raios de luz entram no olho através da pupila e convergem através da córnea e do cristalino, formando uma imagem invertida na retina. Essa imagem invertida é transmitida pelo nervo óptico e interpretada pelo cérebro, que a inverte novamente para fornecer uma orientação correta dos objetos no ambiente.

Em seguida, apresentamos a segunda e a terceira questão problematizadora: *O*

que é cor e como vemos as cores? O slide 8, visto na figura 27, mostra a relação entre as células sensíveis a luz e a curva de radiação da luz solar, uma vez que a cor é resultado da combinação do nível de ativação de três células foto receptoras.

Figura 27 – O que é cor e como vemos as cores - Slide 8



Fonte: Feito pelo autor

As cores que percebemos estão relacionadas a uma determinada faixa de frequência das ondas eletromagnéticas. Diferentes frequências resultam em diferentes cores. A luz de menor frequência é percebida como vermelha, enquanto a de maior frequência é vista como violeta. Entre elas, há uma infinidade de matizes que formam o espectro de cores do arco-íris, representado na curva de radiação. Esses matizes são agrupados em sete cores principais: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta. Quando essas cores são combinadas, elas formam o branco. A luz branca do Sol é uma combinação de todas as frequências visíveis. Além disso, podemos obter a cor branca ao combinar apenas luzes vermelha, verde e azul. Nos olhos, a percepção das cores é realizada por três tipos de células receptoras em forma de cone. Cada tipo é estimulado por determinadas frequências de luz. As luzes de frequências mais baixas estimulam os cones sensíveis a baixas frequências e parecem vermelhas. As luzes de frequências intermediárias estimulam os cones sensíveis a essas frequências e parecem verdes. E as luzes de frequências mais altas estimulam os cones sensíveis a altas frequências e parecem azuis. Quando os três tipos de cones são estimulados igualmente, percebemos a cor branca. (HEWITT, 2009)

A próxima questão promove a discussão sobre "*Como vemos as cores?*" e a possibilidade de problematizar o assunto em uma dimensão social. Dessa forma, apresentamos a seguinte questão: "*Todas as pessoas veem as mesmas cores?*" A resposta da pergunta surge a partir da compreensão de que distúrbios da visão podem existir através do mau funcionamento das células receptoras existentes em nossos olhos. Diante disso, apresentamos

uma notícia sobre um atleta que apresenta daltonismo, mas busca driblar esse distúrbio no dia-a-dia.

Figura 28 – Todas as pessoas veem as mesmas cores? - Slide 9

Todas as pessoas veem as mesmas cores?

Fixo do Praia Clube, Sacon dribla daltonismo e tenta levar vida normal dentro e fora das quadras

Jogador do time de futsal de Uberlândia fala sobre distúrbio na visão, relembra histórias e conta com ajuda de companheiros em certas situações

Por Filipe Ferreira e Lucas Papel — Uberlândia, MG
13/06/2021 08h00 - Atualizado há 2 meses

"Por enquanto, nunca tive um prejuízo muito grande em relação aos jogos, pois normalmente os uniformes de uma equipe são claros e, da outra, escuros. O que acontece é que, muitas vezes, tive dificuldades para assistir a jogos de algumas equipes com cores que, para mim, são semelhantes"

Matheus Sacon

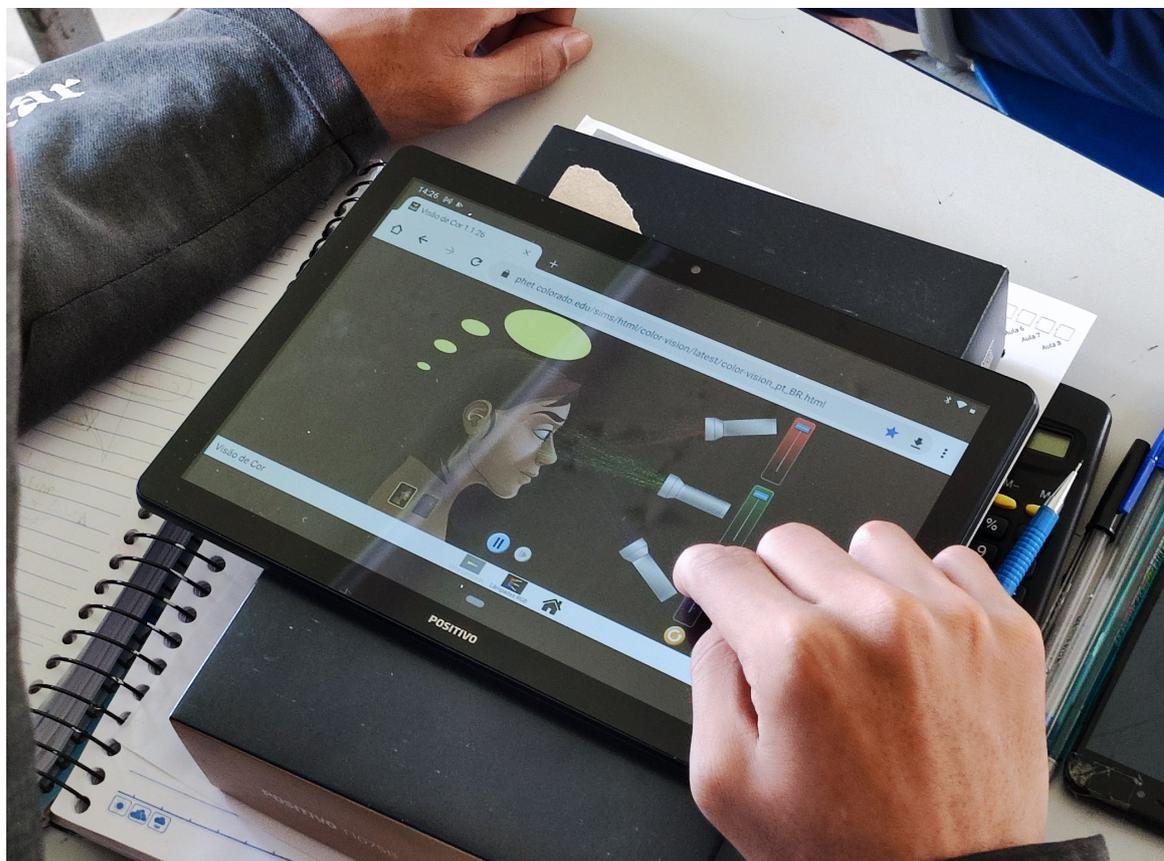
Fonte: Feito pelo autor

Por definição, o daltonismo é uma disfunção da visão, ocasionado pelo não funcionamento de um dos cones, que são células receptoras responsáveis pela distinção de diferentes frequências de luz. Como nossos olhos possuem três tipos de células receptoras, pode-se dividir o daltonismo em três tipos: Deuteranopia, Protanopia e Tritanopia. A deuteranopia está relacionada à disfunção dos cones verdes ou cones médios (cones M) responsáveis pela percepção da cor verde e pela distinção entre verde e vermelho. Na Protanopia, os cones responsáveis pela percepção do espectro vermelho-verde, chamados de cones longos (cones L) ou cones vermelhos, estão ausentes ou não funcionam corretamente. Esses cones são responsáveis por detectar a luz vermelha, permitindo a diferenciação entre os diferentes tons de vermelho e verde. Por fim, na tritanopia os cones responsáveis pela percepção do espectro azul-amarelo, conhecidos como cones curtos (cones S) ou cones azuis, estão ausentes ou não funcionam corretamente. Esses cones são responsáveis por detectar a luz azul e ajudam na diferenciação entre tons de azul e amarelo. Outro tipo de daltonismo, mais raro, é a Acromatopsia. Nela os cones estão ausentes ou não funcionam corretamente. Isso faz com que a pessoa afetada veja o mundo em tons de cinza, sem a capacidade de diferenciar cores.

No segundo momento desse encontro, a partir do uso de TDIC, exploramos o assunto de forma mais prática, para permitir ao aluno uma melhor compreensão daquilo que vem sendo discutido. Para isso, utilizamos *tablets* em que instalamos dois simuladores e um aplicativo. Já mencionamos, anteriormente no referencial teórico, o potencial existente

entre simuladores aliados ao ensino de Física. Os simuladores que foram disponibilizados aos estudantes foram o *Radiação de Corpo Negro* e *Visão de Cor* do PhET.

Figura 29 – Simulador PhET: Visão de Cor



Fonte: Feito pelo autor

O primeiro simulador, visto na figura 15, permitiu auxiliar os estudantes a encontrar a resposta para a questão problematizadora "*Por que as estrelas tem cores diferentes?*". Esse simulador permitiu a interação de diferentes tipos de fontes de luz e suas respectivas curvas de radiação, de forma a ilustrar qual o espectro eletromagnético visível para cada fonte e sua respectiva cor predominante.

As estrelas têm cores diferentes devido à temperatura e composição química, o que está relacionado ao espectro visível da luz. A temperatura de uma estrela determina a faixa de comprimentos de onda que ela emite com maior intensidade. As estrelas mais quentes emitem luz com alta intensidade na faixa azul e branca do espectro visível, resultando em uma cor azulada ou branca. As estrelas de temperatura intermediária emitem luz com maior intensidade na faixa verde e amarela, aparecendo como estrelas amarelas. Já as estrelas mais frias emitem luz com maior intensidade na faixa vermelha do espectro, dando-lhes uma cor vermelha ou alaranjada. Além da temperatura, a composição química das estrelas também desempenha um papel na cor observada. A presença de elementos específicos em suas atmosferas afeta a absorção e emissão de diferentes frequências de luz,

resultando em características coloridas distintas. (FILHO; SARAIVA, 2004)

O segundo simulador, visto na figura 29, permitiu que os estudantes interagissem com as três regiões da curva de radiação solar, para identificar qual é o tipo de cor que cada célula receptora será estimulada e, posteriormente, assimilada como uma cor vista. Por fim, utilizamos o aplicativo *Chromatic Vision Simulator*¹ para mostrar aos estudantes como seria a visão de pessoas com alguma disfunção das células receptoras. A figura 30 abaixo, representa uma das observações feitas pela turma em aula.

Figura 30 – App *Chromatic Vision Simulator* - Imagem feita pelos estudantes



Fonte: Feito pelo autor

Na atividade prática de observação, com o uso das tecnologias, foi possível para os estudantes perceberem que a Deuteranopia e a Protanopia, por serem disfunções que afetam a distinção do vermelho e do verde, apresentam formação de cores muito parecidas entre si. Já a Tritanopia afeta a distinção entre verde e azul, devido a disfunção da célula receptora de luz de altas frequências. Passamos agora para o relato da próxima aula da etapa da instrumentalização: *Óptica Geométrica*.

5.3.3 Óptica Geométrica

O terceiro encontro da etapa de instrumentalização utilizou recursos como apresentação de slides e aplicativos para *smartphones* ou *tablets*. Inicialmente, utilizamos

¹ *Chromatic Vision Simulator* é uma ferramenta de experiência que simula a visão de pessoas com distúrbios de visão. Este software faz e mostra um vídeo simulado da câmera built-in em tempo real.

parte da aula de forma expositiva, onde por meio de uma apresentação de slides, foi abordado as questões problematizadoras dessa etapa. Em seguida, para compreender a importância da luz e sua relação com a sombra, como uma linguagem visual muito utilizada na Arte, é importante para a compreensão do assunto em uma dimensão Social e Histórica. Apresentamos aos estudantes o video *Art Explainer² 3: Luz e Sombra*.

Figura 31 – *O que é sombra?* - Slide 4



Fonte: Feito pelo autor

Esse video, a partir de três obras da coleção do *Art Institute of Chicago³*, aborda as escolhas que os artistas fazem para criar luz e sombra em seus trabalhos. Partindo da pergunta *Como um artista usa a luz para nos ajudar a ficar fora da escuridão?*, o video aborda que com a presença ou ausência de luz, podemos revelar o mundo a nossa volta ou coloca-lo na sombra/escuridão. Sem o contraste de luz e sombra não poderíamos ver nada. Sendo assim, os artistas usam a luz de muitas formas, como a contagem de histórias, transmitir sensações e emoções ou até mesmo como próprio meio.

Após o video, apresentamos aos estudantes a área da Física responsável pelo estudo dos fenômenos luminosos: a Óptica, sendo que para a compreensão de fenômenos como a sombra, essa é apresentada como uma ramificação a parte: A Óptica Geométrica. Em seguida apresentamos os princípios fundamentais para o estudos da luz como o Princípio

² Os vídeos Art Explainer dão instrumentos para olhar e entender a arte de qualquer período histórico ou cultural. Elaborado para alunos e adultos, esta série de vídeos é produzida para a internet, e pode ser usada em vários ambientes de aprendizado, de aparelhos móveis a salas de aula formais.

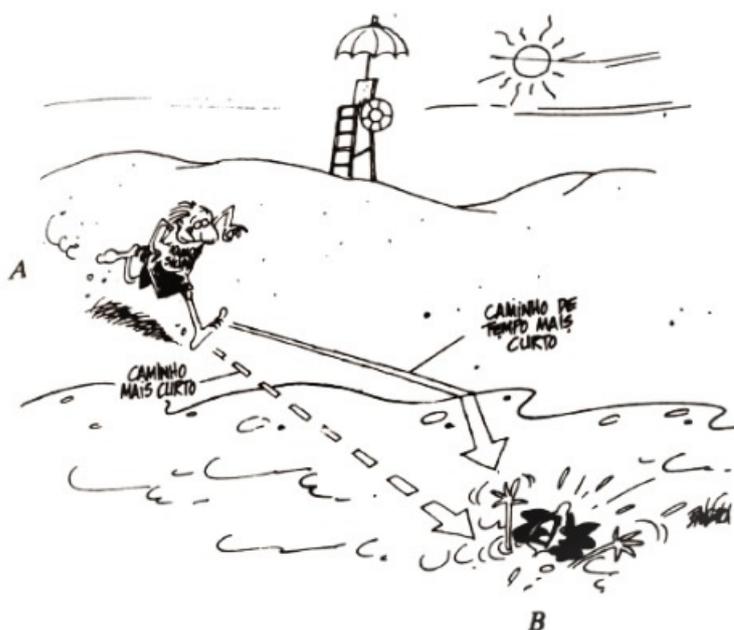
³ O Instituto de Arte de Chicago coleta, preserva e interpreta obras de arte de altíssima qualidade, representando as diversas tradições artísticas do mundo, para a inspiração e educação do público. Fundado em 1879, o museu abriga aproximadamente 300.000 obras de arte de todas as culturas e períodos históricos, abrangendo todas as mídias, além de receber mais de 30 exposições especiais por ano.

de Fermat, o princípio de propagação retilínea da luz e a definição de meios de propagação de luz.

A luz não efetua percursos inúteis. Não anda dando voltas desnecessárias para ir de um ponto para outro. Vai direitinha e porta-se bem. (FIOLHAIS, 2000, p.82)

Para Fiolhais (2000), existe uma maneira engenhosa de explicar os fenômenos associados a luz. O francês Pierre de Fermat propôs, no século XVII, a ideia de que a luz caminha em linha reta a fim de demorar o mínimo tempo a ir de um lugar para outro. A linha reta é a trajetória mais curta entre dois pontos. Como a velocidade da luz no mesmo meio é constante, falar de trajetória mais curta ou de tempo mínimo resulta no mesmo. Fenômenos como a reflexão, por exemplo, podem ser explicados a partir da ideia de que a luz, para ir de um certo ponto A para um outro B, passando por um espelho C, demora o mínimo tempo ao longo do caminho especificado por essas leis.

Figura 32 – Representação do Princípio de Fermat



Fonte: (FIOLHAIS, 2000)

Com relação ao fenômeno da refração, o autor ilustra na figura 32 a situação que envolve uma turista num certo ponto B e um salva-vidas, que se encontra no ponto A, e deve se deslocar até o ponto B para salvar a banhista em perigo. O fato de nos movimentarmos com maior rapidez caminhando pela areia do que nadando até a turista indica que o salva-vidas deve ir, em linha reta na areia, até mais adiante do que iria se fosse direto ao encontro da banhista em perigo e logo depois, nadar ao longo da trajetória, também em linha reta para salvar a turista. A luz faz exatamente a mesma coisa, busca sempre o caminho de tempo mais curto.

Seguindo o raciocínio feito por Fiolhais (2000), a partir da ideia de que a luz sempre busca o caminho de tempo mais curto, passamos a discutir com os estudantes como se dá a propagação da luz, ilustrando a definição de três tipos de meios em que a luz pode se propagar: meios translúcidos, opacos e transparentes. Segundo Hewitt (2009):

Quando a luz se transmite através da matéria, alguns dos elétrons são forçados a oscilar. Dessa maneira, as oscilações do emissor são transformadas em oscilações no receptor. (HEWITT, 2009, p.491)

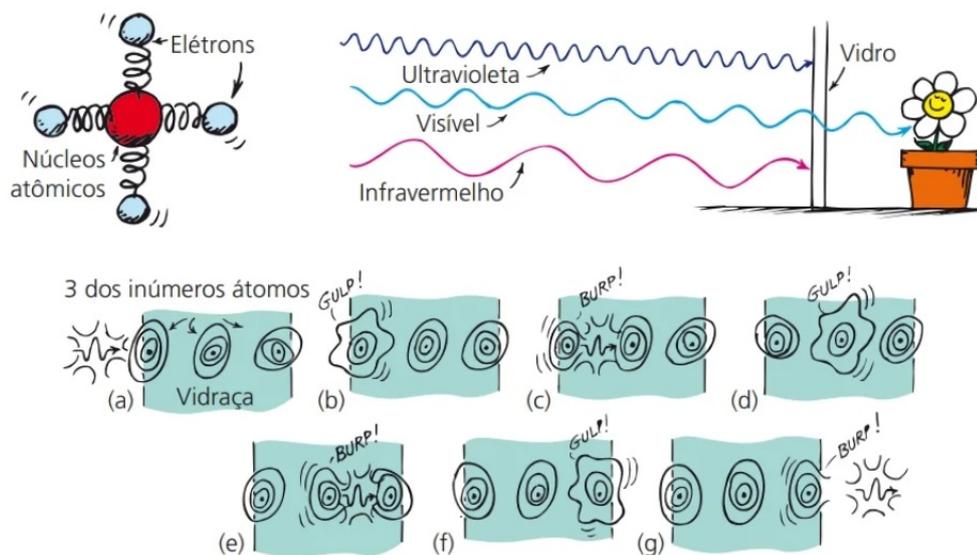
Foi explicado que quando a luz passa através de materiais transparentes como vidro e água, ela faz com que os elétrons nesses materiais oscilem. Os elétrons estão ligados aos núcleos dos átomos por meio de "molas imaginárias". Quando a luz incide sobre esses elétrons, eles começam a vibrar. Em frequências mais baixas, como a luz visível, os elétrons do vidro vibram, mas com menos intensidade. Os átomos retêm a energia por um curto período de tempo, o que reduz a chance de colisão com os átomos vizinhos e a transferência de energia na forma de calor.

A energia dos elétrons em oscilação é reemitida na forma de luz. Dessa forma, o vidro é transparente a todas as frequências do espectro visível. A luz reemitida possui a mesma frequência da luz que iniciou a oscilação dos elétrons. No entanto, há um pequeno atraso entre a absorção da luz e a reemissão. Esse atraso resulta em uma velocidade média mais baixa para a luz que atravessa um material transparente.

Na figura 33, o autor ilustra um modelo de molas para a luz. Os elétrons dos átomos do vidro possuem determinadas frequências naturais de vibração e podem ser representados por modelos em que as partículas que os representam estão ligadas ao núcleo atômico por meio de molas. Sendo assim, uma onda de luz visível, incidindo sobre uma vidraça de janela, põe em vibração os átomos, produzindo uma cadeia de absorções e reemissões, com o que a luz atravessa o material e sai pelo outro lado. Devido ao atraso entre as absorções e as reemissões, a luz se propaga no vidro mais lentamente do que no espaço vazio. Entretanto, quando uma onda com frequência mais baixa que a da luz incidem no vidro, como ondas infravermelhas, fazem vibrar não apenas os elétrons, mas também átomos ou moléculas inteiras da estrutura do vidro. Essas vibrações aumentam a energia interna e a temperatura da estrutura, motivo pelo qual as ondas infravermelhas são costumeiramente chamadas de ondas de calor. O vidro é transparente à luz visível, mas não ao ultravioleta e ao infravermelho.

A sequência da explicação, sobre a definição de meios opacos e translúcidos, se dá pela interpretação do fenômeno a partir de situações que possam ocorrer diferentemente da que define um meio como transparente para a incidência de luz. Diante disso, foi explicado que maioria das coisas ao nosso redor é opaca para a incidência de luz, ou seja, absorvem-a sem reemiti-la. Livros, escrivaninhas, cadeiras e pessoas são meios opacos. As

Figura 33 – Ilustração do modelo de molas para a luz e representação de absorção e reemissão de luz em meios transparentes.



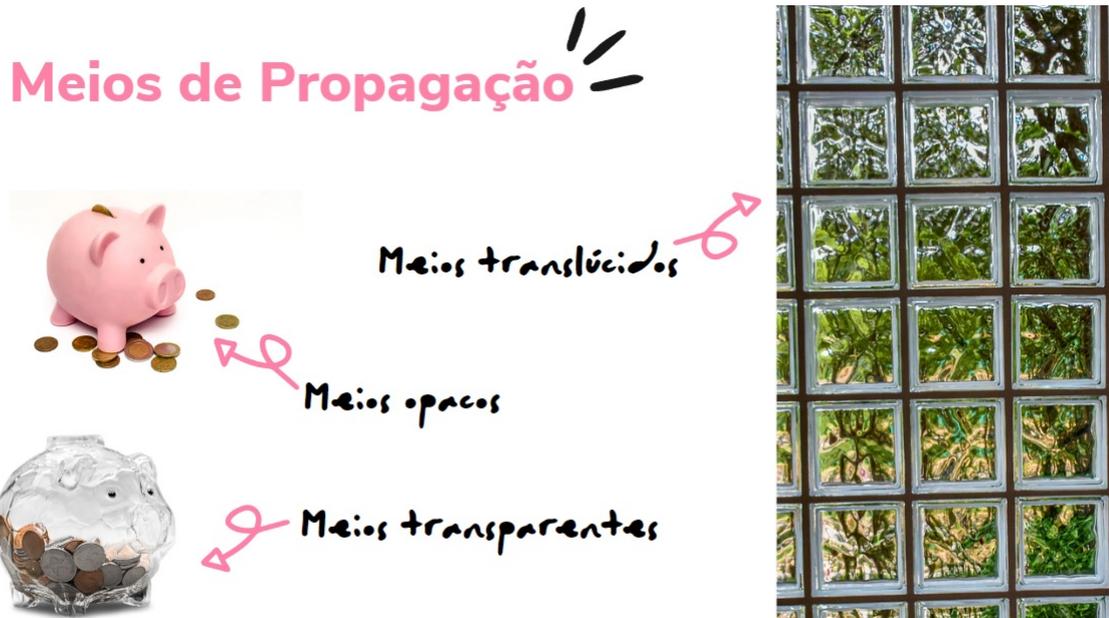
Fonte: Adaptado de (HEWITT, 2009)

vibrações comunicadas a seus átomos ou moléculas pela luz são transformadas em energia interna, tornando os corpos ligeiramente mais quentes.

Já para a definição de meios translúcidos, foi explicado que a propagação da luz ocorre de forma semelhante aos meios transparentes, mas com algumas diferenças. Nos materiais translúcidos, como papel vegetal ou vidro fosco, a luz também consegue passar através deles, mas de forma difusa e com maior dispersão. Explicamos que isso ocorre porque as partículas do material, como as fibras de papel ou as irregularidades na superfície do vidro fosco, causam um desvio aleatório na trajetória da luz. Dessa forma, a luz é espalhada em diferentes ângulos e não segue uma trajetória reta como ocorre nos meios transparentes.

Compreendido a respeito das definições de meios de propagação e suas diferenciações, a parte seguinte da aula foi apresentar aos estudantes como a formação de sombras está intimamente ligado a diferentes tipos de meios. Em meios transparentes, a luz se propaga sempre em linha reta, seguindo o princípio de Fermat. Foi explicado que existe um objeto opaco à luz do Sol ou de alguma fonte de luz, parte dela é interceptada pelo objeto, enquanto outros raios seguem adiante em linha reta. Uma sombra então é projetada, que seria uma região onde os raios de luz não conseguem chegar. A região a qual nenhum raio de luz consegue chegar é chamada de umbra. A penumbra seria o nome dado a região a qual parte da luz foi bloqueada, mas que ainda é alcançada por outros raios. Para auxiliar as explicações feitas aos estudantes utilizamos gravações do Jogo Educacional LEO3D, anteriormente apresentado, discutido sua aplicabilidade no referencial teórico e que pode ser visto na figura 35.

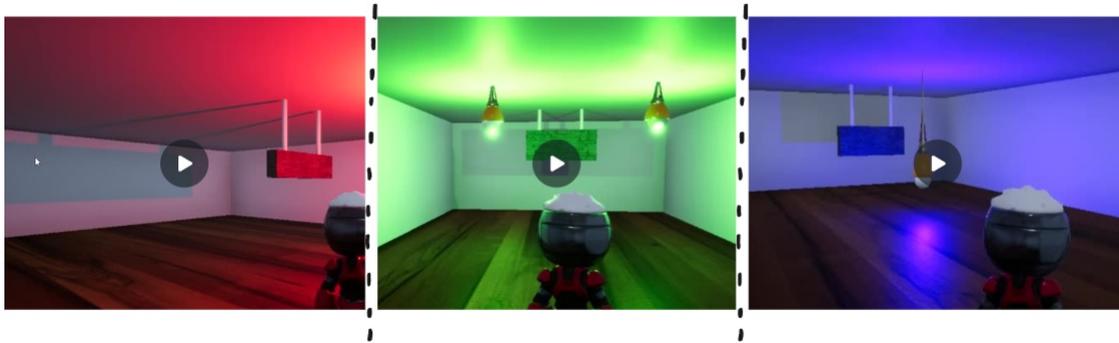
Figura 34 – Meios de propagação - Slide 7



Fonte: Feito pelo autor

Figura 35 – Propagação da Luz - Slide 8

Propagação Retilínea da Luz



"A trajetória da luz é uma linha reta."

Fonte: Feito pelo autor

Após discutido essas definições, passamos para a resolução de mais questões problematizadoras dessa etapa: *Por que a lua brilha como se emitisse luz e o que são os eclipses?* Esses dois questionamentos surgem como uma abordagem daquilo que até então está sendo apresentado aos alunos, como uma aplicação da dimensão conceitual/científica em um contexto de dimensão Social. Além disso, a resposta para tais questionamentos já serve como inserção de conceitos que foram discutidos na próxima aula, que será descrita em seguida.

Na apresentação de slides exposta ao estudantes, conforme a figura 36, ilustramos

em forma de animação a lua passando pelas diversas fases e também uma foto da lua em sua fase cheia. Quanto à percepção de que a Lua parece emitir luz, foi explicado que isso ocorre devido ao fenômeno chamado de reflexão da luz. A Lua não emite luz própria, mas reflete a luz solar que incide sobre sua superfície. A luz do Sol atinge a Lua e é refletida de volta para a Terra, permitindo que a enxerguemos no céu noturno. A superfície da Lua é composta principalmente de rochas e poeira que refletem a luz solar, dando a aparência de que a Lua está brilhando por conta própria. Dependendo da posição relativa da Terra, Lua e Sol, diferentes partes da Lua são iluminadas, resultando nas fases lunares que observamos ao longo do mês. Durante a Lua cheia, por exemplo, a luz solar incide diretamente sobre a superfície da Lua, fazendo com que ela pareça completamente iluminada.

Figura 36 – Por que a Lua brilha como se emitisse luz? - Slide 9

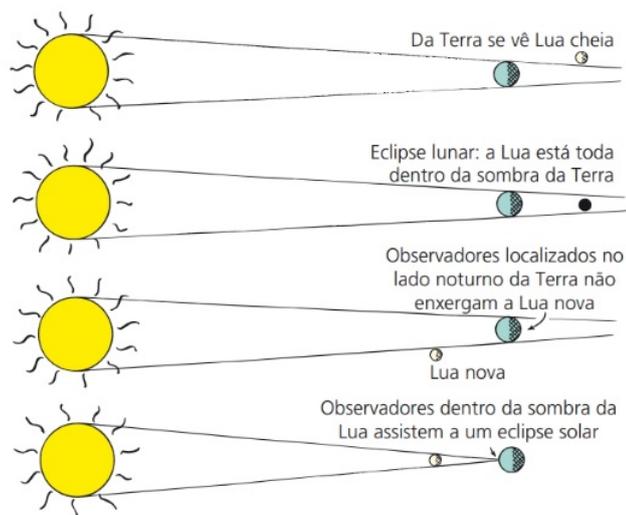


Fonte: Feito pelo autor

No que diz respeito a resposta para a questão problematizadora sobre os eclipses lunar e solar, foi explicado que durante um eclipse, tanto a Terra quanto a Lua projetam sombras devido à luz solar incidente sobre elas. Quando a trajetória de um desses corpos passa pela sombra projetada pelo outro, ocorre um eclipse. Durante um eclipse solar, a sombra da Lua é projetada sobre a Terra e se alguém estiver localizado na umbra, experimentará escuridão durante o dia, o que é conhecido como um eclipse solar total. Se estiver na penumbra, ocorrerá um eclipse solar parcial, onde será possível ver um crescente solar. Em um eclipse lunar, a Lua atravessa a sombra da Terra. Para complementar essa explicação, foi apresentado aos estudantes a figura 37 abaixo:

A última etapa dessa aula foi realizada através de uma atividade intitulada *Teste da Sombra*. Os estudantes foram divididos em equipes onde, utilizando os *tablets* fornecidos pela escola ou seus *smartphones*, testaram suas habilidades para formar imagens, por meio da incidência de luz em objetos e a formação de sombras desses objetos em uma

Figura 37 – Explicação sobre Eclipse solar e lunar



Fonte: (HEWITT, 2009)

parede. Esse quebra-cabeça corresponde a um aplicativo de celular chamado *Shadowmatic*⁴, que buscou testar, a partir do uso de tecnologias, o conhecimento dos alunos a cerca da formação de imagens com sombras, por meio dos conceitos de meios de propagação e a propagação retilínea da luz.

Figura 38 – *Shadowmatic*



Fonte: Feito pelo autor

5.3.4 Fenômenos Ópticos: Reflexão e Refração da luz

Os últimos encontros da etapa de instrumentalização foram destinados para discutir com os estudantes a respeito dos fenômenos de reflexão e refração da luz. Por tratar de assuntos que foram norteados com um maior número de questões problematizadoras de

⁴ *Shadowmatic* é um quebra-cabeça que atíça a imaginação e nele você gira objetos abstratos sob luz para descobrir silhuetas reconhecíveis em sombras projetadas, relevantes para o ambiente em volta.

dimensão conceitual/científica, foram necessários dois encontros para a discussão desses fenômenos. Entre as ações e recursos utilizados nesses encontros, destacam-se a exposição oral do professor no quadro e o uso de simuladores digitais através de *smartphones* e *tablets*.

Inicialmente, foi feita uma retomada dos conteúdos vistos até o momento, como a definição de luz, a óptica geométrica e os princípios fundamentais da óptica geométrica. Após, iniciamos o assunto de reflexão da luz, partindo da seguinte questão problematizadora: *Como funciona um espelho?*

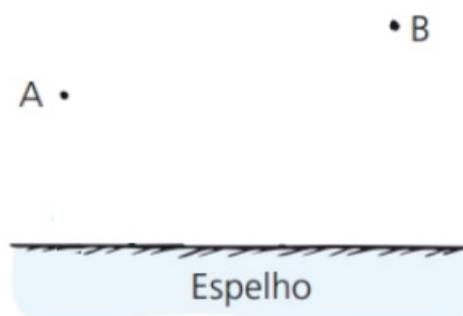
Foi explicado que a maior parte das coisas que vemos ao nosso redor não emitem luz própria. Elas são visíveis porque reemitem a luz que incide em suas superfícies, vinda de uma fonte primária, como o Sol ou uma lâmpada, ou de uma fonte secundária, como algum objeto opaco. Quando a luz incide na superfície de um material, ela é reemitida sem que ocorra alteração na sua frequência. Basicamente retomamos a explicação que fora feita, anteriormente, no que tange os meios de propagação da luz. O fenômeno da reflexão corresponde a uma luz que retorna ao meio de onde veio, ou seja, quando a luz é refletida. Destacamos também que a existência de dois tipos de reflexão: especular e difusa.

Para compreender a diferença entre os dois tipos de reflexão, explicamos aos alunos que os metais são meios opacos de propagação de luz, porém atendem um especificidade, os elétrons mais externos dos átomos metálicos não estão ligados a um átomo em particular, eles são livres para se movimentarem pelo material, enfrentando muito pouco impedimento, ou seja, quando uma luz incide sobre o metal e coloca seus elétrons livres em vibração, sua energia não “pula” de átomo para átomo através do material, mas, em vez disso, é refletida. Isso explica porque os metais são tão brilhantes. A superfície do espelho é geralmente polida e revestida com uma fina camada de metal, como a prata ou o alumínio, sendo assim, altamente refletora. Sendo assim, foi explicado que a reflexão especular ocorre em superfícies lisas e regulares, como espelhos, onde a luz que incide é refletida de maneira organizada e mantém a direção original. Por outro lado, a reflexão difusa ocorre em superfícies ásperas ou irregulares, onde a luz incidente é refletida em várias direções, resultando em uma dispersão da luz.

A seguir, propomos aos alunos como podemos estimar, matematicamente, esse comportamento da reflexão da luz. Para isso, retomamos a ideia de que a luz segue o caminho mais rápido ao ir de um ponto a outro, visto anteriormente como princípio de Fermat. Ilustramos a figura 39 abaixo no quadro, com o seguinte questionamento: *Como podemos ir de A até B o mais rápido possível, isto é, no mínimo tempo?*

A resposta dos estudantes foi unânime: *O caminho mais rápido é a linha reta entre os pontos A e B.* A seguir, estabelecemos a condição de que a luz deve incidir no espelho a partir do ponto A, refletir e atingir o ponto B. Para essa situação, os alunos responderam que muitos são os caminhos. Nesse momento, acrescentamos o fato de que além de incidir

Figura 39 – Ilustrando o fenômeno da reflexão

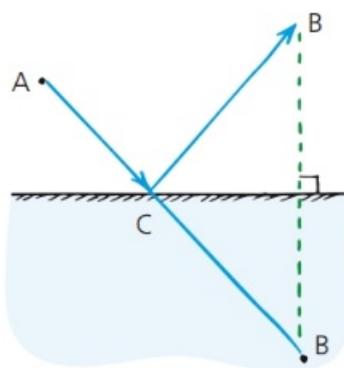


Fonte: Adaptado de (HEWITT, 2009)

no espelho, a incidência de luz deve obedecer o princípio de Fermat, percorrer o caminho mais curto. Para isso, utilizamos a explicação proposta por Hewitt (2009):

Marcamos um ponto artificial, B, no outro lado do espelho, a uma distância abaixo do mesmo igual à distância do ponto B até o espelho (Figura 40). A distância mais curta entre A e este ponto artificial B é muito simples de determinar: trata-se de uma linha reta. Agora esta linha reta intercepta o espelho no ponto C, o ponto preciso de reflexão para se ter o caminho mais curto e, daí, o caminho de mínimo tempo para transmissão luminosa de A para B. (HEWITT, 2009, p.521)

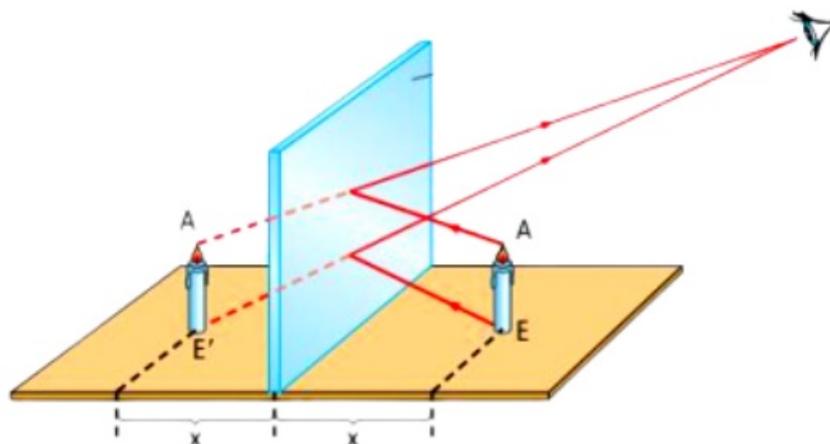
Figura 40 – Ilustrando o fenômeno da reflexão juntamente ao princípio de Fermat



Fonte: (HEWITT, 2009)

Por fim, ilustramos aos estudantes a lei da reflexão, na qual o ângulo da luz incidente de A para C é igual ao ângulo de reflexão de C para B, representado na figura 40. Destacamos a eles que a lei se aplica tanto para reflexões especulares como difusas. No caso da reflexão difusa, como a superfície em que a luz incide é bastante rugosa, esta apresenta diferentes ângulos de orientação, logo cada raio de luz reflete em diferentes direções. A lei da reflexão permitiu que pudéssemos responder a questão problematizadora inicial. Abaixo, a figura 41 foi mostrada aos estudantes para uma melhor compreensão do fenômeno.

Figura 41 – Ilustrando um espelho plano e a formação da imagem virtual



Fonte: (BENIGNO; SILVA, 2018)

A figura acima ilustra uma das principais características dos espelhos planos, que é a formação das imagens atrás dele. Essa constatação pode ser comprovada aplicando-se as leis de reflexão para dois raios de luz quaisquer que partem do objeto e incidem no espelho. Se considerarmos uma vela localizada diante de um espelho plano, na figura 41 são representados dois raios de luz, que saem do objeto de pontos diferentes e se propagam até o observador após refletirem no espelho. O prolongamento desses raios que chegam até o observador indica a posição da imagem.

A explicação do funcionamento do espelho trás consigo a possibilidade de responder outra questão problematizadora que foi exposta aos estudantes: *Por que palavras impressas na parte da frente de alguns veículos estão ao contrário?* Conforme a ilustração, a imagem de um objeto na frente de um espelho plano sempre apresenta mesma orientação e mesmo tamanho. Devido ao prolongamento dos raios de luz, é possível perceber que um espelho provoca a chamada reversão da imagem (o lado direito do objeto passa a ser o esquerdo da imagem e vice-versa). Esse fenômeno é denominado enantiomorfismo. Sendo assim, imprimir palavras impressas com reversão da imagem é feito intencionalmente para que as palavras possam ser lidas corretamente quando vistas em um espelho retrovisor, por exemplo. Isso torna mais fácil e rápido para os motoristas em veículos à frente lerem o texto quando eles veem o veículo através do espelho retrovisor. Quando o veículo se aproxima, o espelho retrovisor reflete o texto de forma reversa, mas como o texto está espelhado, ele pode ser lido corretamente pelo motorista à frente.

A seguir, buscamos responder a questão problematizadora *O que é o ponto cego nos carros?* Explicamos aos estudantes a definição de campo visual. Para Benigno e Silva (2018), o campo visual representa a região que ao olharmos para um espelho, podemos ver os objetos que estão próximos ao observador. Objetos que estão fora do campo de

visão são aqueles em que não existe um prolongamento de raios de luz que indique a posição da imagem. No contexto de um veículo, explicamos que o ponto cego é a área ao redor do veículo que não pode ser visualizada pelos espelhos retrovisores. Isso ocorre devido a posição e ângulo dos espelhos, em relação à visão do motorista e a não existência de prolongamento de raios de luz que possam formar uma imagem no espelho que consiga refletir nos olhos do motorista.

O segundo encontro dessa etapa consistiu em discutir com os estudantes a respeito da refração da luz. Infelizmente, devido a questões que envolviam o funcionamento da escola na data do encontro, uma das ações que foi prevista não pode ser realizada. Inicialmente, nesse encontro deveria haver dois momentos. O primeiro seria uma aula expositiva, em que seria desenvolvido e discutido com os alunos a questão problematizadora e, em seguida, os estudantes realizariam uma atividade com o uso de simuladores em *tablets* e *smartphones*. Como a duração desse encontro foi reduzido pela metade, só foi possível discutir com a turma a questão problematizadora.

O início da aula foi de retomada do assunto visto anteriormente, bem como a exposição da questão problematizadora a ser solucionada: *Por que alguns meios distorcem as imagens vistas?* Os estudantes relataram que esse assunto já havia sido discutido, anteriormente. Abaixo, destacamos dois relatos de estudantes da turma:

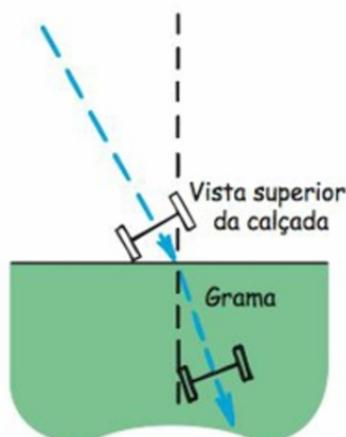
Na terceira aula o professor explicou que a luz quando passa por outro meio, ela fica mais lenta. (Aluno A)

A imagem pode ser distorcida quando o meio é translúcido. A luz se espalha e distorce tudo. (Aluno B)

Para conseguirmos uma melhor compreensão dos estudantes sobre o comportamento da luz incidente em outro meio, utilizamos uma analogia proposta por Hewitt (2009). O autor considera o movimento de um carrinho com duas rodinhas ao longo de uma calçada ao lado de um gramado, conforme ilustrado na figura 42. Assim, explicamos aos estudantes que se movimentarmos o carrinho na direção do gramado, de modo que uma das rodinhas penetre no gramado antes da outra, nesse instante, a rodinha que está na calçada manterá sua velocidade enquanto a roda que encostou no gramado terá sua velocidade reduzida (pelas condições impostas ao gramado, de modo semelhante a incidência de luz em um meio diferente). Sendo assim, o carrinho irá girar em torno da roda que está no gramado, desviando sua trajetória em relação a uma reta perpendicular a fronteira gramado-calçada.

Prosseguimos a aula discutindo que, devido ao fato da velocidade da luz sofrer alterações quando incide em um meio diferente do que estava, é possível determinar um razão existente entre a velocidade da luz no vácuo e a velocidade da luz nesse meio. Tal razão é chamada de índice de refração absoluto. Ilustramos a equação 4.1 no referencial teórica, anteriormente, de forma que n representa o índice de refração absoluto do meio,

Figura 42 – Explicação para o desvio da luz ao incidir outros meios



Fonte: (HEWITT, 2009)

c é a velocidade da luz no vácuo e v é a velocidade da luz no meio. Outra definição quantitativa para compreender o fenômeno da refração é através da Lei de Snell, uma relação matemática que define uma constante de proporcionalidade entre o seno do ângulo de incidência da luz e o índice de refração absoluto do meio. Essa constante se mantém para o produto do seno do ângulo refratado da luz e o índice de refração absoluto do meio em que ela incidiu.

A etapa seguinte da aula, que não ocorreu, seria feita a partir de uma prática utilizando o Simulador *PhET - Desvio da Luz*. Nessa atividade prática, os alunos fariam comparações entre os ângulos de incidência e refração de diferentes luz monocromáticas quando o feixe de luz incide em meios de maior ou menor índice de refração absoluto. Os alunos testariam sua compreensão a partir da análise da rapidez da luz em diferentes meios, determinação de índice de refração absoluto e o comportamento dos ângulos de incidência e refração quando a luz atravessa superfícies com diferentes índices de refração absoluto.

Figura 43 – Roteiro de atividade prática que não foi realizado - Simulador *PhET* - *Desvio da Luz*

**Instrumentalização - Fenômenos ópticos,
Reflexão da luz, Refração da luz
Roteiro Aula 6 - Simulador**

Aula 1 Aula 2 Aula 3 Aula 4 Aula 5 **Aula 6** Aula 7 Aula 8

Objetivo Específico:
Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos.

Simulador Phet - Desvio da Luz

Para acessar esse simulador, utilize seu smartphone ou então o tablet que lhe foi emprestado. Escaneie, com a câmera do aparelho, o código abaixo:


QR Code - Acesso ao simulador

Após o acesso, clique na opção *Mais Ferramentas* Você irá encontrar essa tela.



Desvio da Luz

Mais Ferramentas



Atividade 1

1.1 Na opção do material mais abaixo, escolha **Mistério A**. No canto inferior esquerdo, marque a opção **Ângulos**. Escolha uma cor e registre o comprimento de onda dela: _____
Agora, clique no botão vermelho do laser e ajuste um ângulo de incidência de 60°.

1.2 O resultado para o ângulo de refração foi:
a) Maior do que o de incidência;
b) Menor do que o de incidência;
c) Igual ao de incidência;

1.3 Agora utilize o instrumento **Rapidez**, no canto inferior esquerdo e posicione ele no raio de luz refratado. Compare o valor colocando o instrumento no raio de luz incidente.

O valor da medição no raio refratado é:
a) Maior que o do raio incidente;
b) Menor que o do raio incidente;
c) Igual o do raio incidente;

1.4 Por fim, o valor numérico medido no instrumento **Rapidez** corresponde a um número, multiplicado pela velocidade da luz ($c=300\ 000\ 000\ \text{km/s}$). Sabe-se que o índice de refração corresponde a razão entre a velocidade da luz no vácuo pela velocidade de propagação da luz em um meio. Determine o índice de refração do meio **Mistério A**.

$n = \frac{c}{v}$


0,66.300000 = velocidade da luz nesse meio

19

Fonte: Feito pelo autor

Por fim, a etapa de instrumentalização encerrou-se com o término dessa aula. Para Gasparin (2020), essa etapa exige algumas considerações a serem feitas quando ao processo que o autor define como mediação pedagógica. A primeira delas diz respeito as características do professor mediador. Ao longo do desenvolvimento dessa etapa, buscamos sempre voltar a aprendizagem para o aluno, colocando-o como centro do processo, assim como desenvolver ações conjuntas com os alunos em direção à aprendizagem e assumir uma postura de corresponsabilidade e parceria com os alunos. Nesse processo, também tentamos abrir momentos de disponibilidade para o diálogo, mas principalmente buscando assumir o papel de "(...) provocador, contraditor, facilitador, orientador. Tornando-se também unificador do conhecimento cotidiano e científico de seus alunos, assumindo sua responsabilidade social na construção/reconstrução do conhecimento científico das novas

gerações, em função da transformação da realidade."(GASPARIN, 2020, p.156).

É importante destacarmos que esse processo pedagógico "(...)pressupõe atitudes e ações do professor e dos alunos em três momentos distintos e complementares: antes da aula, durante a aula e depois da aula."(GASPARIN, 2020, p.158). Sendo assim, é importante destacarmos que a postura dos alunos foi positiva no que diz respeito as ações realizadas durante as aulas, entretanto, dentre a realização de atividades mentais, destacaram-se a memorização e a compreensão, apenas. Percebemos que a demonstração de interesse em aprender, se traduziu em tentativas de memorização, leitura de textos e escuta do professor. A aula que mereceu destaque foi o segundo encontro dessa etapa. Percebemos uma disposição dos estudantes em pôr em prática o conteúdo aprendido, bem como a vontade de conhecer mais sobre o assunto tratado em aula, neste caso, as disfunções da visão. A seguir, faremos o relato e a discussão dos dois últimos passos aplicados em nossa sequência didática: a catarse e a prática social final.

5.4 A FÍSICA COMO SEGUNDA NATUREZA DO ESTUDANTE: A CATARSE E A PRÁTICA SOCIAL FINAL

A catarse trata-se de uma transformação, ao mesmo tempo intelectual, emocional, educacional, política e ética, que modifica a visão de mundo do indivíduo e suas relações com sua própria vida, com a sociedade e com o gênero humano. (SAVIANI; DUARTE, 2021, p.374)

A epígrafe que inicia essa seção apresenta a catarse como um processo de transformação profunda e abrangente. É um processo poderoso de crescimento e evolução pessoal, no qual as percepções e perspectivas são ampliadas, sendo vista como uma experiência que leva a uma profunda reflexão sobre si mesmo, sobre a sociedade e sobre o mundo, buscando uma mudança de valores, crenças e atitudes. É importante destacar que esse processo de transformação não acontece de forma instantânea. Nosso relato buscou avaliar quais foram os saltos qualitativos que identificamos nos estudantes, "(...) numa visão de totalidade integradora, daquilo que antes aparecia como um conjunto de partes dispersas."(GASPARIN, 2020, p.179).

Essa visão de totalidade integradora é definida por alguns autores (SAVIANI, 2021; SAVIANI; DUARTE, 2021; GALVÃO et al., 2021) como a transformação do conhecimento em segunda natureza. Da mesma maneira que sabemos ler e escrever, onde passamos a considerar esses atos como naturais. Isso significa que o aprendizado da Física, no sentido catártico, para nós, é compreender e reconhecer os fenômenos da natureza como algo profundo e sistemático, podendo levar a uma mudança na visão de mundo, provocando questionamentos sobre a natureza da realidade, nossa posição no universo e a conexão

existente entre os fenômenos físicos. Discutiremos mais sobre a pedagogia histórico-crítica e o aprendizado de física quando apresentarmos nossas considerações finais.

O outro passo, o qual faremos o relato de sua aplicação, é a prática social final, também chamado de prática social como ponto de chegada. Na catarse, o estudante começa a esboçar mudanças intelectuais e qualitativas sobre os conteúdos ensinados, passando de um estágio de menor compreensão científica a uma fase de maior clareza e compreensão dessa mesma concepção dentro da totalidade. Para Gasparin (2020), Saviani e Duarte (2021) há um novo posicionamento perante a prática social do conteúdo que foi adquirido. Entretanto, esse processo de compreensão do conteúdo ainda não se concretizou como prática.

Uma ação concreta, a partir do momento em que o educando atingiu o nível do concreto pensado, é também todo o processo mental que possibilita análise e compreensão mais amplas e críticas da realidade, determinando uma nova maneira de pensar, de entender e julgar os fatos, as ideias. É uma nova ação mental. (GASPARIN, 2020, p.194)

Essa ação concreta, no que compete à física, implica em assumir que, na prática social final, os alunos caminharam de uma concepção sincrética para uma sintética, ou seja de uma compreensão superficial, fragmentada ou simplista, para uma mais completa, integrada e abrangente. Consequentemente, eles serão capazes de perceber, através dos conhecimentos básicos de física, por exemplo, que as cores, a interação dos objetos, a dinâmica e a percepção de que há muito mais do que podemos ver ou sentir diretamente não têm explicações mágicas nem folclóricas. As forças, que são o resultado da interação entre objetos explica a dinâmica de movimento deles, assim como as interações da luz com as partículas da matéria explicam as cores e as formas.

Seguindo o cronograma de aplicação da sequência didática, a duração da aplicação dessas duas etapas foi estimada em dois encontros. O quadro 8, que discutimos anteriormente na metodologia, apresentou quais seriam as atividades a serem desenvolvidas na etapa de catarse. Entretanto, ao longo da aplicação da sequência didática, identificamos que para que fosse possível desenvolver todas as atividades previstas, seria necessário um maior número de encontros. Essa consideração justifica-se devido a realidade da turma e o perfil dos alunos, o qual vem sendo traçado ao longo dos encontros que discutimos anteriormente.

Na aplicação da sequência didática, realizamos apenas a elaboração da *Carta aberta a luz*, atividade em que os alunos eram convidados a escrever uma carta para uma suposta personificação da luz. Abaixo, relatamos uma carta escrita por um dos alunos.

Luz, eu queria te falar que você é demais. É tipo uma coisa brilhante que nos permite ver tudo a nossa volta. Você é capaz de iluminar os lugares escuros e nos mostra as coisas bonitas do mundo. Mas você não

é apenas importante para os nossos olhos. A verdade é que aprendi que você só é vista por que os nossos olhos tem essa capacidade. Tem gente que não consegue te ver, ou vê diferente dos outros. Através de você, a gente descobre coisas incríveis sobre o universo e como tudo funciona. Imagino se você pudesse falar, que histórias sobre o universo você teria e nos daria muitas respostas para as perguntas que a gente faz. Valeu por ser tão especial e fazer o mundo ficar mais bonito e cheio de vida! (Aluno A)

No relato do aluno, conseguimos identificar uma compreensão acerca da dimensão social, juntamente da assimilação com a dimensão científica/conceitual, no que diz respeito ao objetivo específico tratado no terceiro encontro. Nesse encontro o objetivo específico a ser discutido foi *compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar*. Aqui também podemos perceber que o aluno começa a adquirir uma consciência de que a maneira como compreendemos nossa realidade é fruto da forma como conseguimos enxergá-la. A partir disso fica um questionamento mais filosófico a respeito: Qual seria as formas de interpretação de realidade poderíamos ter se enxergássemos o mundo a partir de uma faixa maior ou menor do espectro eletromagnético?

As questões problematizadoras sobre luz, que foram discutidas ao longo dos encontros, não foram apenas sobre a dimensão social e conceitual/científica. O quarto encontro apresentou a importância da luz na dimensão artística, que trás o contraste da luz com as diversas manifestações artísticas, permitindo que sua manipulação revele o mundo a nossa volta, conforme o desejo do artista. Abaixo, relatamos a o texto feito por um estudante, em que podemos evidenciar essa compreensão.

Querida luz, hoje eu queria te falar o quanto você é essencial pra gente. Sem você, a nossa vida seria totalmente diferente. É por causa de você que enxergamos e conhecemos o mundo ao nosso redor. Você traz clareza e cor pra gente. Você tem um papel muito importante na nossa sociedade e na nossa cultura. Na arte as pinturas, fotografias e esculturas são moldadas por causa de você, onde a sombra e as cores são importantes para o que artista quer mostrar. Você também mostra pra gente a beleza da natureza através dos nossos olhos. Ainda mais, você é muito esperta e quando se movimenta em linha reta por ai surgem os fenômenos da reflexão e refração que nos ensinam muito sobre o seu comportamento. Eles nos permitem entender como funciona os espelhos, entender como as sombras são formadas e até acompanhar as fases da lua. Agora eu vejo que seria impossível viver sem você. (Aluno B).

Podemos destacar no relato do estudante B uma breve descrição acerca da compreensão dos princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos, estes intimamente ligado ao Princípio de Fermat e a interação da luz com os diferentes tipos de meios. Essa descrição está em consonância com objetivos específicos discutidos nos encontros três e quatro da etapa de problematização. Passamos agora a discutir o último encontro, realizado na aplicação da sequência didática.

O último encontro realizado com os estudantes fez parte da etapa chamada de prática social final. Após a produção de texto feita pelos alunos anteriormente, utilizamos esse encontro para discutir quais as intenções e disposições eles têm, com relação ao que foi aprendido e compreendido nos encontros anteriores. Esse encontro é visto como o momento em que professor e aluno "(...) definirão as estratégias de como podem usar de modo mais significativo os conceitos novos no contexto de operações sociais práticas, não dirigidas para o imediato reconhecimento teórico dos traços essenciais do conceito, mas de seu novo uso."(GASPARIN, 2020, p.200).

Essa etapa é dividida em dois momentos: nova atitude prática e proposta de ação. Na nova atitude prática, questionamos a turma a respeito da possibilidade de, dado o conhecimento adquirido, quais novas questões problematizadoras poderiam ser elaboradas e em quais dimensões elas se encaixariam. Um dos alunos relatou que sabia que o funcionamento da fibra óptica teria alguma relação com os fenômenos associados a propagação da luz, mas não sabia quais. Mas que após as discussões nas aulas, acredita que isso tenha relação com a propagação da luz. Outro estudante mencionou que teria curiosidade de entender como funciona equipamentos como Raio X e que ele soube da existência da física médica, área de estudo que busca compreensão dos estudos na Física, voltado para a prevenção, diagnóstico e tratamento de doenças.

Com o intuito de encerrar o encontro, seguimos para o momento da proposta de ação. Nesse momento pedimos que os estudantes pesquisassem, com o uso de seus *smartphones*, sugestões de ações para melhorar a compreensão deles a respeito do que foi exposto na nova atitude prática.

A respeito do funcionamento das fibra óptica, os alunos sugeriram a pesquisa por vídeos relacionados ao assunto. A turma então destacou um video do Canal *Manual do Mundo*⁵: *Por onde vem a internet? Seguimos a fibra até sua casa!*⁶ Nesse video, o canal explica como se dá o funcionamento da internet do Brasil, desde o centro de processamento de dados até chegar em nossas residências, explicando a importância da fibra óptica.

Sem entender como a luz tem seus mecanismos básicos de conversar com a matéria viva, ou não, não poderíamos entender o universo maravilhoso que nos rodeia. (BAGNATO; PRATAVIEIRA, 2015, p.7)

Sobre a importância do estudo da luz para aplicações voltadas a saúde, sugerimos aos estudantes que fizessem a leitura de um artigo chamado *Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida*, escrito por Vanderlei S. Bagnato e Sebastião Pratavieira.

⁵ O Manual do Mundo é um popular canal do YouTube brasileiro criado por Iberê Thenório e sua esposa, Mariana Fulfaro. Lançado em 2008, o canal se tornou uma referência em conteúdo educativo e entretenimento, com foco em experimentos científicos, curiosidades, truques e atividades práticas que podem ser realizadas em casa.

⁶ Link: <https://youtu.be/fYJl-7jRzuw>. Acesso em 15/06/2023.

Os autores abordam a importância da luz para manter a natureza funcionando e gerando vida. Além disso, eles também explicam que ela pode ser usada de forma adicional para resolver problemas e tornar a vida de todos melhor. O exemplo disso é a biofotônica, uma área responsável por estudar e compreender a interação da luz com células a fim de podermos diagnosticar doenças ou mesmo tratá-las.

As novas atitudes práticas e as propostas de ação que foram trazidas pelos estudantes e pelo professor estão de acordo com aquelas que foram discutidas e planejadas na metodologia. Destacamos como nova atitude prática a *discussão com propriedade a respeito da importância da luz nas dimensões apresentadas a partir de novas questões problematizadoras*, bem como *conhecer a importância dos fenômenos ópticos nas dimensões Conceitual/científica, Social, Estética, Histórico, Social e Cultural*. Já no que tange as propostas de ação, destacamos a de *fazer leituras sobre novas tecnologias que utilizam os fenômenos ópticos*, e também *buscar nas dimensões social, histórico e cultural, problemas em que o conhecimento a respeito da óptica possa contribuir na solução de outras questões detectadas*. No próximo capítulo vamos apresentar nossas considerações finais. Nele buscamos discutir as questões que envolvem a solução nossa problemática de pesquisa, a resposta para as questões secundárias enunciadas anteriormente e, no que diz respeito a aplicação da nossa sequência didática, se foi possível cumprir com o objetivo geral e os objetivos específicos.

6 Considerações Finais

É um erro e uma ingenuidade esperar mudanças imediatas e facilmente visíveis da visão de mundo dos alunos a partir de cada tópico dos conteúdos escolares. (DUARTE, 2021, p.32)

A epígrafe que inicia esse capítulo reitera que o processo de mudança de visão de mundo do estudante, bem como, aquilo que é descrito como segunda natureza para ele é um processo longo, árduo, tortuoso e cheio de contradições. Para isso, segundo Galvão et al. (2021), o ensino dos conceitos precisa acontecer em espiral ascendente, de modo que ele apareça várias vezes, cada vez mais rico de determinações. Isso significa que a discussão envolvendo a luz não podem ser abordadas apenas no segundo ano do ensino médio. É necessário uma aprendizagem progressiva, em que esses conceitos sejam retomados, trabalhados e rediscutidos nos diversos outros conteúdos de Física, seja por meio de conexões ou contextualizações.

Ainda sobre as questões envolvendo a dificuldade de mudanças imediatas e facilmente visíveis, trazemos alguns apontamentos, no que diz respeito as questões que envolvem nossa problemática inicial de pesquisa: *A integração pedagógica de TDIC ao currículo de Física*. Ao longo da aplicação da nossa sequência didática, nos deparamos com uma enorme dificuldade dos estudantes em manipular as tecnologias para fins estritamente pedagógicos. Essas observações evidenciam aquilo que segundo Neto (2016) é visto como a utilização das TDIC na vida pessoal ter lógica diferente do uso escolar, visto que "(...) são ambientes em que os objetivos e níveis de exigência de uso são distintos em relação aos conhecimentos técnico/tecnológicos.(NETO, 2016, p.187)". Percebemos que nosso estudante ainda carece de uma cultura escolar digital.

Na vida pessoal, os professores usam as TDIC de forma mais livre, intuitiva, com mais autonomia e com níveis muito pequenos e básicos de fluência digital, até mesmo porque os objetivos são, predominantemente, para lazer, entretenimento, se comunicar e, em menor grau, para pesquisar, mas sempre com caráter pessoal. (NETO, 2016, p.186)

Nesse contexto, percebemos que os estudantes da turma em que foi aplicado a sequência didática apresentavam características semelhantes as do professor, citadas acima. Nos primeiros contatos com o *tablet*, para alguns estudantes, foi necessário realizar até a conexão da rede de internet, acessar o navegador e digitar o site em que estavam os simuladores, ilustrando uma grande dificuldade em manipular as tecnologias.

Entretanto, para a finalidade de integração pedagógica ao currículo, destacamos que foi unanime entre os estudantes que o uso das TDIC como instrumento de mediatização

foi vista por eles como *extremamente necessária e obrigatória* para a compreensão dos assuntos. Essa evidência permite assumirmos que a nossa sequência didática foi integrada pedagogicamente com as TDIC, pois esteve preocupada com todo o processo, onde o uso de simuladores (como usar) por meio de *tablets* (o que usar) foi fundamental para explorar a compreensão dos fenômenos relacionados a luz (por que usar). Cada vez mais os avanços tecnológicos permitem que sejam discutidos a possibilidade de integração de um currículo escolar para o ensino de física a partir da integração pedagógica das TDIC. É possível que haja essa integração e que os maiores desafios do professor é o de se importar em:

(...) saber não só o conteúdo da disciplina que ensina, os saberes pedagógicos para o seu planejamento e execução da sua prática e nem apenas um motivação atitudinal e de inclinação para o uso das TDIC, mas também o desenvolvimento de capacidades relacionadas aos conhecimentos tecnológicos como saberes necessários no atual contexto da cultura digital. (NETO, 2016, p.242)

Outro aspecto importante diz respeito da elaboração de uma sequência didática à luz da Pedagogia Histórico-Crítica. Encontramos um grande desafio na hora de estruturarmos nossa sequência didática, bem como, uma falta de clareza em proceder na aplicação dessa proposta didático-pedagógica em nossa prática docente. Atribuímos essa dificuldade ao entendimento das teorias e seus fundamentos histórico-materialistas. Entretanto, após a aplicação da sequência didática, consideramos que obtivemos resultados satisfatórios, em relação a realidade o qual estávamos inseridos. Atribuímos esse resultado a partir das atividades desenvolvidas pelos estudantes e as respostas dadas por eles ao longos dos encontros, principalmente, na etapa de catarse e prática social final.

Essa últimas etapas, são fundamentais na descrição do que se espera de uma sequência didática a luz da pedagogia histórico-crítica. Essa sequencia precisa ter clareza e proporcionar um ensino de física que ajude na construção de uma concepção de mundo materialista, preocupado com a humanização e a busca pela verdade.

Os professores que trabalham com o conhecimento científico precisam assumir o desafio de mostrar aos seus alunos e à sociedade como um todo que a difusão do conhecimento científico carrega consigo a atitude de busca da verdade. (SAVIANI; DUARTE, 2021, p.465)

Essa atitude, de busca da verdade, é vista por Galvão et al. (2021), Saviani e Duarte (2021) como tratar a ciência como explicação que muitos do conhecimento que já produzimos e que resolveriam problemas de muitas pessoas não são acessados por todos. Da mesma maneira que tragédias, como a de Mariana e o rompimento da barragem de Brumadinho por exemplo, não são decorrência de causas puramente naturais ou de questões puramente técnicas de engenharia. Existia uma lógica econômica por trás, em que o lucro foi colocado em primeiro lugar na escala de prioridade. O ensino de física crítico precisa ter essa visão, em que analisa os efeitos na sua totalidade.

Para que possamos ensinar física a partir de um visão de totalidade, é preciso, segundo Duarte (2021), desconstruir a visão de ciência como puramente instrumental. Esse pensamento utilitarista não tem influência na forma como as pessoas encaram a realidade, pois não leva o indivíduo a refletir sobre a essência do mundo, a natureza das interações humanas e sociais, e o modo como a sociedade se relaciona com o meio ambiente.

Essa reflexão sobre a essência do mundo, por vezes é pouco ou quase nada abordado no ensino de física. Quando pouco se discute sobre isso, o senso comum tende a generalizar a concepção de que tudo que ocorre no universo possui um propósito.

(...) tudo o que acontece no universo atende a uma finalidade. O capim cresce para que a vaca tenha o que comer, a vaca cresce para que alguém possa se alimentar da vaca, e assim por diante. Parece que tudo é intencional, quando não é assim que a natureza funciona. (SAVIANI; DUARTE, 2021, p.456)

A frase citada por Saviani e Duarte (2021), faz parecer que tudo tem um propósito, mas a natureza não funciona dessa forma. Para o autor, explicar a natureza com uma perspectiva que atende a uma finalidade é adotar uma visão de mundo que atribui características ou comportamentos humanos a seres ou objetos que não são humanos, ou seja, é atribuir à natureza como um todo, características que são exclusivas das ações humanas.

Em síntese, as concepções de Duarte (2021), Galvão et al. (2021), Saviani e Duarte (2021) revelam que à luz da Pedagogia Histórico-Crítica, é necessário clareza por parte dos educadores de que os conhecimentos científicos não são apenas retratos de pedaços da realidade, mas que carregam também respostas para questionamento sobre o que é a realidade. Cabe aos professores a compreensão de que ensinar ciências, em específico física, é fundamental para a humanização do ser humano, pois fornece a compreensão da realidade e do funcionamento da natureza. Não podemos esquecer que o conhecimento científico também impulsiona avanços tecnológicos e soluções para problemas complexos da sociedade, moldando uma visão de mundo que impacta nas relações humanas, devendo incentivar debates éticos sobre nossa responsabilidade ambiental e social.

Referências

- ALMEIDA, F. A. de. O currículo na perspectiva da educação emancipatória. **Psicologia.pt**, 2019.
- ALMEIDA, M. E. B. de; SILVA, M. d. G. M. da. Currículo, tecnologia e cultura digital: espaços e tempos de web currículo. **Revista e-curriculum**, v. 7, n. 1, 2011.
- ARANTES, A. R.; MIRANDA, M. S.; STUDART, N. Objetos de aprendizagem no ensino de física: usando simulações do phet. **Física na Escola**, v. 11, n. 1, p. 27–31, 2010.
- BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 37, p. 4206–1, 2015.
- BARATTO, M. B.; ALBERTI, T. F.; MEYER, K. J. K. Novas tecnologias, novas perspectivas: O uso dos jogos online e do site rede social facebook como recursos em ambientes escolares. **Educação, aprendizagem e tecnologias: relações pedagógicas e interdisciplinares**, Pimenta Cultural, p. 113, 2020.
- BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. d. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 5, p. 83–94, 1998.
- BENIGNO, B. F.; SILVA, C. X. da. **Física aula por aula: termologia, óptica, ondulatória**. [S.l.]: FTD, 2018.
- CAPECCHI, M. C. V. de M.; CARVALHO, A. M. P. Atividade de laboratório como instrumento para a abordagem de aspectos da cultura científica em sala de aula. **Pro-posições**, v. 17, n. 1, p. 137–153, 2006.
- CASTRO, A. D. de; CARVALHO, A. M. P. de. **Ensinar a ensinar: didática para a escola fundamental e média**. [S.l.]: Cengage Learning Editores, 2001.
- CHISTÉ, P. d. S. Pesquisa-ação em mestrados profissionais: análise de pesquisas de um programa de pós-graduação em ensino de ciências e de matemática. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 22, n. 3, p. 789–808, 2016.
- CHITOLINA, D. et al. Desenvolvimento de um ambiente virtual de ensino e aprendizagem para o ensino da relatividade. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2017.
- COLETTE, M. M.; THIOLENT, M. A pesquisa-ação como metodologia participativa de pesquisa, ensino e extensão. In: FORTUNATO, I.; NETO, A. S. (Ed.). **Método (s) de Pesquisa em Educação**. [S.l.]: Edições Hipótese, 2018.
- COSTA, F.; RODRIGUEZ, C.; CRUZ, E.; FRADÃO, S. Repensar as tic na educação. **O professor como agente transformador**. Lisboa: Santillana, 2012.
- DUARTE, N. **Os conteúdos escolares e a ressurreição dos mortos: contribuição à teoria histórico-crítica do currículo**. [S.l.]: Autores Associados, 2021.

FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. Unidade de ensino potencialmente significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 42, 2020.

FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. Lições de física–vol. 1. **Tradução de Adriana VR da Silva e Kaline R. Coutinho. Porto Alegre: Bookman, 2008.**

FILHO, A. T.; QUAGLIO, P. Professor reflexivo: Mais que um simples modismo–uma possibilidade real. **Revista da Faculdade de Educação**, v. 7, n. 9, p. 55–72, 2008.

FILHO, K. de S. O.; SARAIVA, M. d. F. O. Astronomia e astrofísica. **Rio Grande do Sul: Livraria da Física, 2004.**

FIOLHAIS, C. **Física Divertida**. [S.l.]: Universidade de Brasília, 2000.

FISICAST. #35 - Óptica - Introdução. 2020. Spotify. (Podcast Audio). Disponível em: <<https://podcasters.spotify.com/pod/show/fisicast/episodes/035---ptica-Introduo-ef5r3b5>>.

GALVÃO, A. C.; JÚNIOR, C. d. L. S.; COSTA, L. Q.; LAVOURA, T. N. **Pedagogia histórico-crítica: 40 anos de luta por escola e democracia–Volume 2**. [S.l.]: Autores Associados, 2021.

GARCIA, C. d. S. et al. Jogos, modelos, encenação e softwares: recursos para o ensino inovador de astronomia. 2019.

GASPARIN, J. L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. [S.l.]: Autores Associados, 2020.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. [S.l.]: Plageder, 2009.

GRAMOWSKI, V. B.; DELIZOICOV, N. C.; MAESTRELLI, S. R. P. O pnd e os guias dos livros didáticos de ciências (1999-2014): uma análise possível. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, SciELO Brasil, v. 19, 2017.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de física, vol. 4: óptica e física moderna. **Livros Técnicos e Científicos Editora**, p. 25, 2009.

HEWITT, P. G. **Fundamentos de física conceitual**. [S.l.]: Bookman, 2009.

JACINTO, R. C.; STUMM, R. L. Manipulador: uma relação entre espaço, luz e objeto. **Urdimento-Revista De Estudos Em Artes Cênicas**, v. 1, n. 37, p. 211–227, 2020.

JÚNIOR, H. V. d. C. et al. Curta física. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2017.

KENSKI, V. M. **Educação e tecnologias: o novo ritmo da informação**. [S.l.]: Campinas: Editora Papirus, 2007.

LEITE, P. d. S. C. Contribuições do materialismo histórico-dialético para as pesquisas em mestrados profissionais na área de ensino de humanidades. **CIAIQ 2017**, v. 1, 2017.

LENGERT, R. Profissionalização docente: entre vocação e formação. **Educação, Ciência e Cultura**, v. 16, n. 2, p. 11–23, 2011.

- LIBÂNEO, J. C. O essencial da didática e o trabalho de professor: em busca de novos caminhos. **PUC-GO: Goiânia**, 2001.
- MONCHESKI, C. et al. A utilização de tics como instrumentos pedagógicos no ensino de astronomia na educação de jovens e adultos. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2020.
- MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de física. **Estudos avançados**, SciELO Brasil, v. 32, n. 94, p. 73–80, 2018.
- MOREIRA, M. A. Desafios no ensino da física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 43, 2021.
- MORI, R. C.; CURVELO, A. A. d. S. O pensamento de dermeval saviani e a educação em museus de ciências. **Educação e Pesquisa**, SciELO Brasil, v. 42, p. 491–506, 2016.
- NETO, A. S. **Do aprender ao ensinar com as tecnologias digitais: mapeamento dos usos feitos pelos professores**. Tese (Doutorado) — Tese de Doutorado em Educação. Programa de Pós-Graduação em Educação da . . . , 2015.
- NETO, A. S. **Do aprender ao ensinar com as tecnologias digitais: discussões atuais aos professores**. [S.l.]: Pimenta Cultural, 2016.
- NETO, A. S. Ensino médio em disputa: Tensões engendradas em torno do currículo. **Revista e-Curriculum**, v. 17, n. 3, p. 1263–1287, 2019.
- NETO, A. S. **Escola, currículo e tecnologias: desafios da integração pedagógica**. [S.l.]: Pimenta Cultural, 2020.
- NETO, A. S.; MENDES, G. M. L. A inserção das tecnologias digitais na escola: Fluência digital e segurança docente do professor em discussão. **Educação, aprendizagem e tecnologias: relações pedagógicas e interdisciplinares**, Pimenta Cultural, p. 11, 2020.
- NETO, J. M.; FRACALANZA, H. O livro didático de ciências: problemas e soluções. **Ciência & Educação (Bauru)**, SciELO Brasil, v. 9, n. 2, p. 147–157, 2003.
- NOGUEIRA, B. M.; BÓ, A.; ESTIVALET, A.; COSTA, D. Fatores de desinteresse e a experimentação no ensino de ciências da natureza. **XV Encontro sobre Investigação na Escola, Porto Alegre**, 2018.
- NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. [S.l.]: Editora Blucher, 2014. v. 2.
- OLIVEIRA, M. M. d. Sequência didática interativa no processo de formação de professores. **Petrópolis, RJ: Vozes**, p. 39, 2013.
- OLIVEIRA, M. N. et al. Ferramentas tecnológicas educacionais: elaboração de um guia e a utilização no planejamento das aulas de física. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2019.
- PEREIRA, S. M. G. d. S.; PEDROSA, E. M. P. Proposta à luz da pedagogia histórico-crítica: da prática social inicial à prática social final. **Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão**, 2020.

- PIMENTA, S. G. **Saberes pedagógicos e atividade docente**. [S.l.]: Cortez, 2000.
- PIRES, M. F. d. C. O materialismo histórico-dialético e a educação. **Interface-comunicação, saúde, educação**, SciELO Brasil, v. 1, n. 1, p. 83–94, 1997.
- POCKSZEVNICKI, J. O som e o sentido da audição: uma proposta de interdisciplinaridade entre física e biologia para o ensino médio. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2021.
- POUPART, J.; DESLAURIERS, J.-P.; GROULX, L.-H.; LAPERRIÈRE, A.; MAYER, R.; PIRES, Á. A pesquisa qualitativa. **Enfoques epistemológicos e metodológicos**, v. 2, 2008.
- REINERT, J. E. Unidade de ensino potencialmente significativo para o ensino da relatividade especial no ensino médio: uma abordagem com auxílio de recursos digitais. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2020.
- ROMANCINI, J. A. et al. Desenvolvimento de página web utilizando a evolução do automóvel como tema motivacional para o ensino de física. **Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina**, 2017.
- RONCHI, V.; ROSEN, E. **Optics: The science of vision**. [S.l.]: Courier Corporation, 1991.
- SACRISTÁN, J. G. **Saberes e incertezas sobre o currículo**. [S.l.]: Penso Editora, 2013.
- SALVO, A. L. A. D. **LEO3D: ambiente digital multididático para o ensino de óptica geométrica**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2018.
- SAN, A. M. P. d. C.; RICARDO, E. C.; SASSERON, L. H.; VITAL, M. L. **Ensino de física (Coleção Ideias em Ação)**. [S.l.]: Cengage Learning Brasil, 2018.
- SANTOS, C. S. d. **Ensino de Ciências: Abordagem Histórico-crítica**. [S.l.]: Autores Associados, 2005.
- SANTOS, M. M. Ensino de termologia: uma proposta de sequência didática baseada na pedagogia histórico-crítica de dermeval saviáni. Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, 2019.
- SAVIANI, D. Desafios atuais da pedagogia histórico-crítica. **Dermeval Saviani e a educação brasileira: o simpósio de Marília**. São Paulo: Cortez, p. 243–286, 1994.
- SAVIANI, D. **Escola e democracia**. [S.l.]: Autores associados, 2018.
- SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. [S.l.]: Autores associados, 2021.
- SAVIANI, D.; DUARTE, N. **Conhecimento escolar e luta de classes: a pedagogia histórico-crítica contra a barbárie**. [S.l.]: Autores Associados, 2021.
- SCARINCI, A. L.; DIAS, V. S.; CANO, M. R. d. O. **Física Coleção: A reflexão e a prática no Ensino Médio**. [S.l.]: Editora Blucher, 2018.

-
- SELWYN, N. Educação e tecnologia: abordagens críticas. In: FERREIRA, G. M. d. S. F.; ROSADO, L. A. d. S.; CARVALHO, J. d. S. (Ed.). **Educação e Tecnologia: abordagens críticas**. [S.l.]: Rio de Janeiro: SESES, 2017.
- SILVA, A. de P.; FLORES, A. R.; SILVA, A. R. L. da; ALMEIDA, A. M. P.; NETO, A. S.; NOBRE, A. M. d. J. F.; QUINTAS-MENDES, A. M.; BENTO, A. M. D. S.; CATAPAN, A. H.; CASTRO, C. E. de et al. **Inovação em práticas e tecnologias para aprendizagem**. [S.l.]: Pimenta Cultural, 2015.
- SOUZA, F.; CARDOSO, S. Aceleração da gravidade: Análise de experimentos didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, SciELO Brasil, v. 42, 2020.
- THIOLLENT, M. Metodologia da pesquisa-ação. In: **Metodologia da pesquisa-ação**. [S.l.]: Editora Cortez, 2009.
- TRIPP, D. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. **Educação e pesquisa**, SciELO Brasil, v. 31, n. 3, p. 443–466, 2005.
- VASCONCELLOS, C. d. S. Formação didática do educador contemporâneo: desafios e perspectivas. **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Prograd. Caderno de Formação: formação de professores didática geral**. São Paulo: **Cultura Acadêmica**, v. 9, p. 33–58, 2011.
- ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. [S.l.]: Penso Editora, 2015.
- ZÍLIO, S. C. Óptica moderna: fundamentos e aplicações. 2009.

A Apêndice - Produto educacional



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE BLUMENAU
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

William Silva Pereira

PRODUTO EDUCACIONAL

**Sequência didática para ensino de Óptica Geométrica à luz da Pedagogia
Histórico-Crítica**

Blumenau/SC

2023



SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA ENSINO DE ÓPTICA GEOMÉTRICA À LUZ DA PEDAGOGIA HISTÓRICO-CRÍTICA

William Silva Pereira

Este produto educacional é parte integrante da dissertação Ensino de Física, Currículo e Tecnologias: Uma Proposta de sequência didática para o ensino da Óptica Geométrica à luz da Pedagogia Histórico-Crítica desenvolvida no âmbito do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Alaim Souza Neto

Blumenau/SC

2023

Agradecimentos

Agradeço aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, campus Blumenau, em especial ao meu orientador Prof^o. Dr. Alaim Souza Neto, que analisou minuciosamente cada particularidade desta dissertação, me concedeu fundamentação e saber científico, demandou o máximo de minha capacidade e com calma e discernimento me conduziu a alcançar este instante.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Catarina por oportunizar a possibilidade de me aperfeiçoar através deste programa de mestrado, a Sociedade Brasileira de Física por investir na educação e conseqüentemente proporcionar este mestrado como forma de capacitação profissional, bem como a CAPES pelo incentivo através dessa proposta.

Agradeço a Escola de Educação Básica Almirante Britez seus alunos que participaram e apoiaram toda pesquisa.

Agradecimento especial a minha família, meus pais Edmilson e Zoima e minha irmã Paula, por todo o apoio recebido. Se hoje estou defendendo essa dissertação, é fruto do amor, do carinho e da dedicação de vocês com a minha educação, o que me tornou capaz de ir atrás dos meus sonhos, enfrentar os desafios da vida e nunca desistir diante das dificuldades. Aos meus amigos, agradeço a amizade de vocês, o companheirismo, o apoio e a insistência para que eu permanecesse no mestrado.

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

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física



**Universidade Federal de Santa Catarina
Campus de Blumenau
Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física**

Produto Educacional

William Silva Pereira

**Sequência didática para ensino de Óptica
Geométrica à luz da Pedagogia Histórico-
Crítica**

**Blumenau/SC
2023**

Sumário

| | |
|---|-----------|
| <u>Guia do Professor</u> | 1 |
| <u>Capítulo 1 - Fundamentação Teórica</u> | |
| Pedagogia Histórico-Crítica | 3 |
| Prática Social Inicial | 4 |
| Problematização | 6 |
| Instrumentalização | 8 |
| Catarse | 10 |
| Prática Social Final | 12 |
| <u>Capítulo 2 - Roteiro de Aplicação</u> | |
| Introdução | 14 |
| Aula 1 | 15 |
| Aula 2 | 18 |
| Aula 3 | 29 |
| Aula 4 | 32 |
| Aula 5 | 34 |
| Aula 6 | 35 |
| Aula 7 | 39 |
| Aula 8 | 41 |
| <u>Capítulo 3 - Considerações Finais</u> | 43 |
| Referências | 46 |

Caro professor(a)

Este produto educacional é o resultado de uma dissertação de mestrado do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Campus Blumenau. O Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF) é um programa nacional de pós-graduação de caráter profissional, voltado a professores de ensino médio e fundamental com ênfase principal em aspectos de conteúdos na Área de Física. É uma iniciativa da Sociedade Brasileira de Física (SBF) com o objetivo de coordenar diferentes capacidades apresentadas por diversas Instituições de Ensino Superior (IES) distribuídas em todas as regiões do País. Para o trabalho de conclusão do MNPEF, o mesmo deve ser composto da produção de uma Dissertação e de um Produto Educacional.

Sendo assim, o produto educacional foi elaborado a partir de discussões sobre o ensino de Física e as questões da tradição, bem como possível integração de Tecnologias Digitais de Informação e Comunicação (TDIC). Para alguns autores (MOREIRA, 2018; NOGUEIRA et al., 2018; SCARINCI; DIAS; CANO, 2018), a Física permeia a vida dos seres humanos e aprendê-la é um direito nosso. Todavia, os autores evidenciam a necessidade de repensar como concebemos o conhecimento científico. Nas pesquisas de Nogueira et al. (2018), tem-se que a falta de motivação dos estudantes do Ensino Médio durante o processo de aprendizagem na área de Ciências da Natureza (Física, Biologia e Química) ocorre devido à falta de significância do conteúdo. As concepções de San et al. (2018), Gramowski, Delizoicov e Maestrelli (2017), Vasconcellos (2011) e Moreira (2018) revelam a existência de um currículo escolar de Física regulado por livros didáticos e, por vezes, desconexo da realidade vivida pelo aluno. O professor não atua como agente mais próximo do currículo, sem propostas que buscam desenvolver melhor a escola e o ensino, tornando-se um ensino pouco preocupado com questões didático-pedagógicas, enfim, um ensino mais reprodutivo e repetitivo. Esse retrato é visto nas escolas que buscam apenas resultados em testes, onde o papel do professor é apenas avaliar a quantidade de informações que os alunos são capazes de registrar.

Além disso, segundo Ferreira et al. (2020), o perfil dos estudantes vem mudando drasticamente em que é necessário repensar estratégias para promover um aprendizagem significativa, sendo possível uma articulação com as TDIC. Nesse contexto, Neto (2020) discute a possibilidade de integração pedagógica das TDIC ao Currículo Escolar. Corroborando, Moreira (2021) discute sobre a importância das atividades experimentais, para o ensino de Física, em que a utilização de simuladores virtuais pode representar um caminho da integração.

As discussões a respeito da falta de significância do conteúdo, o conhecimento científico tratado como pronto, o formalismo matemático, a falta de contextualização e a pouca preocupação com questões didático-pedagógicas, aliado as possibilidades de integração pedagógica das TDIC ao currículo são o pano de fundo para a elaboração dessa **Sequência Didática**.

A elaboração dessa sequência didática busca promover a integração pedagógica das TDIC ao Currículo escolar, sendo assim estamos propondo o uso de *applets*, jogos educacionais digitais e programas de simulação, bem como a necessidade de instrumentos tecnológicos de comunicação como lousa digital e projetores a disposição do professor.

GUIA DO PROFESSOR

Sugerimos que essa sequência didática seja desenvolvida com estudantes da 2ª série do Ensino Médio, em que a matriz curricular abrange a Óptica, área da Física na qual são estudados fenômenos e comportamentos relacionados à luz. Obviamente essa área da Física é subdividida em campos específicos do estudo da luz. Para Benigno e Silva (2018), o estudo da óptica é dividido em duas frentes, as chamadas Óptica física e Óptica geométrica. Na óptica física estudam-se "os fenômenos luminosos, cuja descrição depende da natureza ondulatória da luz."(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 130). Na óptica geométrica estudam-se "principalmente os fenômenos ligados à propagação da luz com base em alguns princípios simples que consideram o raio luminoso como um elemento definido geometricamente."(BENIGNO; SILVA, 2018, p. 130). Entretanto, essa sequência didática abrange apenas os estudos da **Óptica Geométrica**.

A estrutura que norteia essa sequência didática é fundamentada no método materialista histórico-dialético e na Pedagogia Histórico-Crítica. O materialismo histórico-dialético compreende que o conhecimento é social, pressupõe o outro, sendo a apropriação do saber sistematizado necessário para a constituição do sujeito. Nele, a realidade não dispõe de múltiplas possibilidades interpretativa e ao compreender que a essência do objeto não muda e que a matéria conserva sua propriedade independente do sujeito, reconhecemos que a realidade não pode ser explicada de infinitas formas. (PIRES, 1997).

No que tange as discussões a respeito da Pedagogia Histórico-Crítica, apresentamos ela no Capítulo 1 - Fundamentação Teórica. Nesse capítulo, será feita uma discussão sobre a estrutura da sequência didática, as divisões do conteúdos em etapas e forma de aplicação. No Capítulo 2 - Roteiro de aplicação, exibimos uma descrição detalhada da sequência didática, seguida das orientações para sua aplicação. Por fim, no Capítulo 3 - Considerações Finais, mostramos algumas informações e orientações relevantes para que o professor quanto as expectativas de uso e aplicação da sequência didática.

Boa leitura!

The page features a white background with decorative elements in blue, red, and yellow. In the top-left corner, there is a blue shape with a wavy, scalloped edge. In the bottom-right corner, there is a blue shape with a similar wavy edge. On the left side, there is a red triangle pointing downwards, partially overlapping a yellow triangle pointing upwards. On the right side, there is a red circle partially visible at the top, and a yellow triangle pointing downwards below it.

Fundamentação técnica

Pedagogia Histórico-Crítica

Definição

(...) o que quero traduzir com a expressão Pedagogia Histórico-Crítica é o empenho em compreender a questão educacional com base no desenvolvimento histórico-objetivo. Portanto, a concepção pressuposta nesta visão da Pedagogia Histórico-Crítica é o materialismo histórico, ou seja, a compreensão da história a partir do desenvolvimento material, da determinação das condições materiais da existência humana. (SAVIANI, 2021, p.150)

Para Saviani (1994) a Pedagogia Histórico-Crítica compreende a educação escolar como oriunda de um processo de transformação histórico, representando uma superação da visão-crítico-mecanicista, crítico-a-histórica para uma visão crítico-dialética. É fundamentada partindo do entendimento do homem como um ser constituído historicamente e formado a partir da produção histórica humana desenvolvida ao longo dos tempos.

Partindo desse pressuposto, estamos inseridos em uma sociedade marcada pela contradição entre o domínio do Capital sobre o trabalho, sendo esta organizada sob o amparo do Capital. Os fundamentos da Pedagogia Histórico-Crítica reforçam a importância da escola, instituição historicamente criada para assegurar a socialização dos conhecimentos, como mediadora imprescindível ao alcance da compreensão do real na essência. (SAVIANI, 1994; PEREIRA; PEDROSA, 2020).

Diante desse desafio, essa sequência didática utiliza a contribuição teórica fundamentada em João Luiz Gasparin, em Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica. Nessa obra, o autor desenvolve uma prática pedagógica a partir de cinco passos, embasados na concepção metodológica dialética de conhecimento. O trabalho desenvolvido por Gasparin (2020) vem auxiliando os professores das Ciências da Natureza a se aproximarem da pedagogia histórico-crítica. Vamos apresentar uma síntese dos cinco passos, bem como a estruturação da nossa sequência didática a partir deles e do método da pedagogia histórico-crítica de Saviani e Duarte (2021).



Prática Social Inicial

Prática Social Inicial

Definição

Primeiro passo do método pedagógico da Pedagogia Histórico-Crítica. É o ponto de partida e caracteriza-se por uma "preparação, uma mobilização do aluno para a construção do conhecimento escolar. É uma primeira leitura da realidade, um contato inicial com o tema a ser estudado." (GASPARIN, 2020, p.36). Para Pereira e Pedrosa (2020), a prática social inicial parte dos conhecimentos prévios e experiências cotidianas do educando para abordar o conteúdo a ser ensinado com o objetivo de estabelecer uma relação deste com a realidade.

Para Gasparin (2020), a tarefa inicial do professor é definir sua estratégia de ação, ou seja, quais procedimentos o professor poderia utilizar para trabalhar com a prática social como leitura de realidade. Em nossa sequência didática, encaminhamos essa atividade a partir do anúncio dos conteúdos, que consiste na listagem da unidade e dos tópicos a serem trabalhados, explicitando os objetivos da aprendizagem e também buscamos, através da vivência cotidiana, explicitar o que os alunos já sabem ou gostariam de saber a mais.

Na prática social apontamos um encaminhamento do conteúdo por meio de uma divisão em tópico, em que cada um apresenta um objetivo específico a ser atingido ao longo da execução da sequência didática. Além disso, para a leitura de realidade, definimos algumas questões a serem levantadas, no que diz respeito a cada tópico elaborado e objetivos a serem alcançados.

Para Gasparin (2020), esse é o momento da contextualização do conteúdo a ser estudado, buscando despertar a consciência crítica sobre o que ocorre na sociedade em relação ao assunto estudado, neste caso, a luz. Nessa etapa buscamos ter uma vivência individual e coletiva do conteúdo social que passa a ser reconstruída pelo aluno de forma sistematizada.

O desenvolvimento dessa etapa acontece a partir da apresentação do conteúdo a ser explorado, bem como a definição de estratégias de diálogo com a turma. É importante que o professor faça registros dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do conteúdo a ser explorado e também o uso que os alunos fazem do conteúdo na prática social cotidiana. Destacamos que na Prática Social Inicial não iremos aprofundar a discussão sobre o conteúdo a ser explorado.

A seguir temos a estruturação da nossa Prática Social Inicial para a Unidade Luz, onde apresentamos o objetivo geral da unidade, bem como os tópicos, objetivos específicos e questões a serem levantadas.

Objetivo Geral: Aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.

Prática Social Inicial

Definição

Tabela 1 - Unidade Luz - Estrutura da Prática Social Inicial

| Itens | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|---------------------------------|---|--|
| O que é luz | Conceituar cientificamente a luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | <ul style="list-style-type: none">• O que é luz?• Você viveria sem luz? |
| Luz e visão | Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar. | <ul style="list-style-type: none">• Você consegue ver os objetos sem luz?• Como você pensa que enxergamos os objetos?• A mesma cor que eu vejo, você vê? |
| O estudo da óptica | Identificar as ramificações da Óptica. | <ul style="list-style-type: none">• Por que estudar a luz?• O que é uma sombra?• Por que vemos através de alguns objetos e outros não? |
| Aplicação dos fenômenos ópticos | Compreender princípios básicos da Óptica. | <ul style="list-style-type: none">• Por que os carros têm espelhos e porque um espelho reflete luz?• Por que as coisas ficam distorcidas dentro da água? |

Problematização

The page features a white background with several decorative elements. In the top-left corner, there is a blue, wavy-edged shape. On the left side, there is a vertical strip with a red top section and a yellow bottom section. On the right side, there is a red circle at the top, a yellow trapezoidal shape below it, and a blue, wavy-edged shape at the bottom.

Problematização

Definição

A problematização é o segundo momento enunciado por Saviani (2018), onde é preciso detectar que questões precisam ser resolvidas no âmbito da prática social e, em consequência, que conhecimento é necessário dominar. O autor ressalta que esse não é o momento didático em que o docente faz perguntas para o aluno e ele não consegue responder a ela com base no senso comum. A problematização é um método que deve se unir com o conceito de problema, ou seja, aquilo que o sujeito não sabe, mas que precisa saber. Para Pereira e Pedrosa (2020) é importante e necessário questionar a realidade advinda da prática social inicial, para estimular as percepções dos estudantes.

Ao relacionar o conteúdo explorado com questões do cotidiano dos estudantes, problematizando e explorando situações reais, o conhecimento científico, sistematizado, passa a ter maior significado para eles. (PEREIRA; PEDROSA, 2020, p.26)

Para Gasparin (2020), a problematização é um desafio, a criação de uma necessidade para que o educando, através de sua ação, busque o conhecimento. O processo de busca, de investigação para solucionar as questões em estudo, é o caminho que predispõe o espírito do educando para a aprendizagem significativa, uma vez que são levantadas situações-problema que estimulam o raciocínio. De maneira geral, os conteúdos são, quase sempre, comunicados aos educandos por uma única dimensão, a **conceitual científica**. Aliás, o professor sempre enfatiza que o conteúdo é científico e se esforça para que seja aprendido como tal. Entretanto, na construção do conhecimento escolar discute-se que a ciência também é um produto social, nascida de necessidades históricas, econômicas, políticas, ideológicas, filosóficas, religiosas, técnicas, ou seja, todo conteúdo, portanto, reveste-se dessas dimensões, as quais devem ser tratadas juntamente com a dimensão científica. (SAVIANI, 2021; PEREIRA; PEDROSA, 2020; GASPARIN, 2020)

É pautado na discussão das múltiplas faces a serem exploradas e do pressuposto de que a aprendizagem se faz por aproximações sucessivas, que iremos estruturar essa etapa em nossa sequência didática, visto que nessa fase iremos apresentar aos estudantes uma primeira visão, uma primeira definição, ainda que simplificada, dos conceitos que se referem a luz. Nesta fase, buscamos preparar o estudante para analisar e aprender o conteúdo em suas múltiplas dimensões. Na problematização é necessário identificar os principais problemas postos pela prática social e pelo conteúdo, e diante disso transformar o conteúdo e os desafios da prática social inicial em questões problematizadoras.

Para Gasparin (2020), a problematização representa um desafio para professores e alunos. É uma nova forma de considerar o conhecimento, tanto em suas finalidades sociais quanto na forma de comunicá-lo e reconstruí-lo. Pensando no professor, este deve buscar uma nova maneira de estudar e preparar o que será trabalhado com os alunos: o conteúdo é submetido a dimensões e questionamentos que exigem dele uma reestruturação do conhecimento que já domina. Importante destacar que as questões problematizadoras elaboradas nesta etapa não são respondidas aqui, mas sim na fase da Instrumentalização, quando os alunos estão efetivamente construindo, de forma mais elaborada, seu conhecimento, seus conceitos.

A seguir estruturamos nossa problematização para a Unidade Luz, onde apresentamos uma divisão dos conteúdos, sua submissão em dimensões e também as questões problematizadoras associadas a cada conteúdo e dimensão.

Tabela 2 - Unidade Luz - Estrutura da Problematização

| Conteúdos | Dimensão | Questões Problematizadoras |
|---|--|---|
| <p>O que é luz;</p> <p>Natureza da luz;</p> <p>Propriedades da luz;</p> | <p>Conceitual/Científica</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O que é luz? • A luz do Sol e de uma lâmpada são iguais? • Qual é a natureza da luz? |
| | <p>Histórica</p> | <ul style="list-style-type: none"> • A luz sempre existiu? • Como as cidades eram iluminadas antigamente? |
| | <p>Social</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Por que precisamos de luz? • Como seria viver sem luz? |
| | <p>Religiosa</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Qual a importância da luz na religião? |
| <p>Luz, Cores e visão</p> | <p>Conceitual/Científica</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Como enxergamos os objetos? • O que é cor? • Como se forma as cores que vemos? |
| | <p>Social</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Todas as pessoas veem as mesmas cores? |
| <p>Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação</p> | <p>Conceitual/científica, Histórico, Social</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O que é uma sombra? • O que são objetos translúcidos e opacos? • Como a luz se propaga? • O que são fontes de luz? • Por que a lua brilha como se emitisse luz? • Por que a lua tem fases? |
| <p>Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz</p> | <p>Conceitual/científica</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Como funciona um espelho? • Por que alguns objetos distorcem as imagens vistas? |
| | <p>Social</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O que é o ponto cego nos carros? • Por que palavras impressas na parte da frente de alguns veículos estão ao contrário? |

Instrumentalização

Instrumentalização

Definição

Trata-se de se apropriar dos instrumentos teóricos e práticos necessários ao equacionamento dos problemas detectados na prática social. Como tais instrumentos são produzidos socialmente e preservados historicamente, a sua apropriação pelos alunos está na dependência de sua transmissão direta ou indireta por parte do professor. (SAVIANI, 2018, p.78).

Esse terceiro momento se refere ao caminho para pensarmos que instrumentos teórico-práticos são necessários para resolver os problemas encontrados na prática social inicial. Para Galvão et al. (2021), cabe ao professor pensar nas formas como os conteúdos serão vinculados e o melhor modo pelo qual os estudantes conseguirão colocar em atividade de estudo os conteúdos que estão aprendendo. Segundo Gasparin (2020), as ações didático-pedagógicas e os recursos necessários para a realização desta fase são definidos por alguns aspectos, como a experiência do professor, o conteúdo e os interesses e necessidades dos alunos.

O professor tem diversas opções para ensinar, como o uso de tecnologias, experimentações, atividades lúdicas, modelagem e aulas expositivas. Não há uma forma específica vinculada à pedagogia histórico-crítica. O importante é que as formas de ensino sejam utilizadas para ensinar conceitos verdadeiros. Os conceitos de máxima generalização da realidade influenciam na relação entre a realidade e os conceitos cotidianos, ampliando e dando novo significado às relações estabelecidas na estrutura psíquica do ramo escolar. (SAVIANI, 2018; GASPARIN, 2020; PEREIRA; PEDROSA, 2020)

Para a elaboração da instrumentalização, segundo Pereira e Pedrosa (2020) é preciso que o professor compreenda que ensinar ciência de forma clara e organizada é fundamental para o sucesso dos estudantes. Para isso, é importante que o professor promova a construção dos conceitos dos estudantes a partir de suas próprias percepções, estabelecendo relações entre as diversas partes do conteúdo e com o contexto social. Além de apresentar atividades desafiadoras que estimulem o raciocínio e a reflexão sobre questões reais. Outra estratégia possível é fomentar a pesquisa sobre os conteúdos explorados, a fim de ampliar o conhecimento dos estudantes. Propor atividades em grupos, debates enriquecedores, experimentos e entrevistas com pessoas que desenvolvem atividades relacionadas ao conteúdo explorado, aproximam os estudantes da realidade concreta.

A dinâmica de representação de nossa sequência didática foi desenvolvida a partir da retomada dos conteúdos de cada tópico ou subtópico anunciado na Prática Social Inicial, bem como, os objetivos específicos de cada item e as dimensões na qual o conteúdo será comunicado. Nesse passo também explicitamos que ações serão realizadas para cada conteúdo e divisões, apresentando também quais recursos devem integrar-se em todos os seus aspectos com as demais partes do processo, de tal forma que constituam um processo único na aprendizagem dos conteúdos científicos.

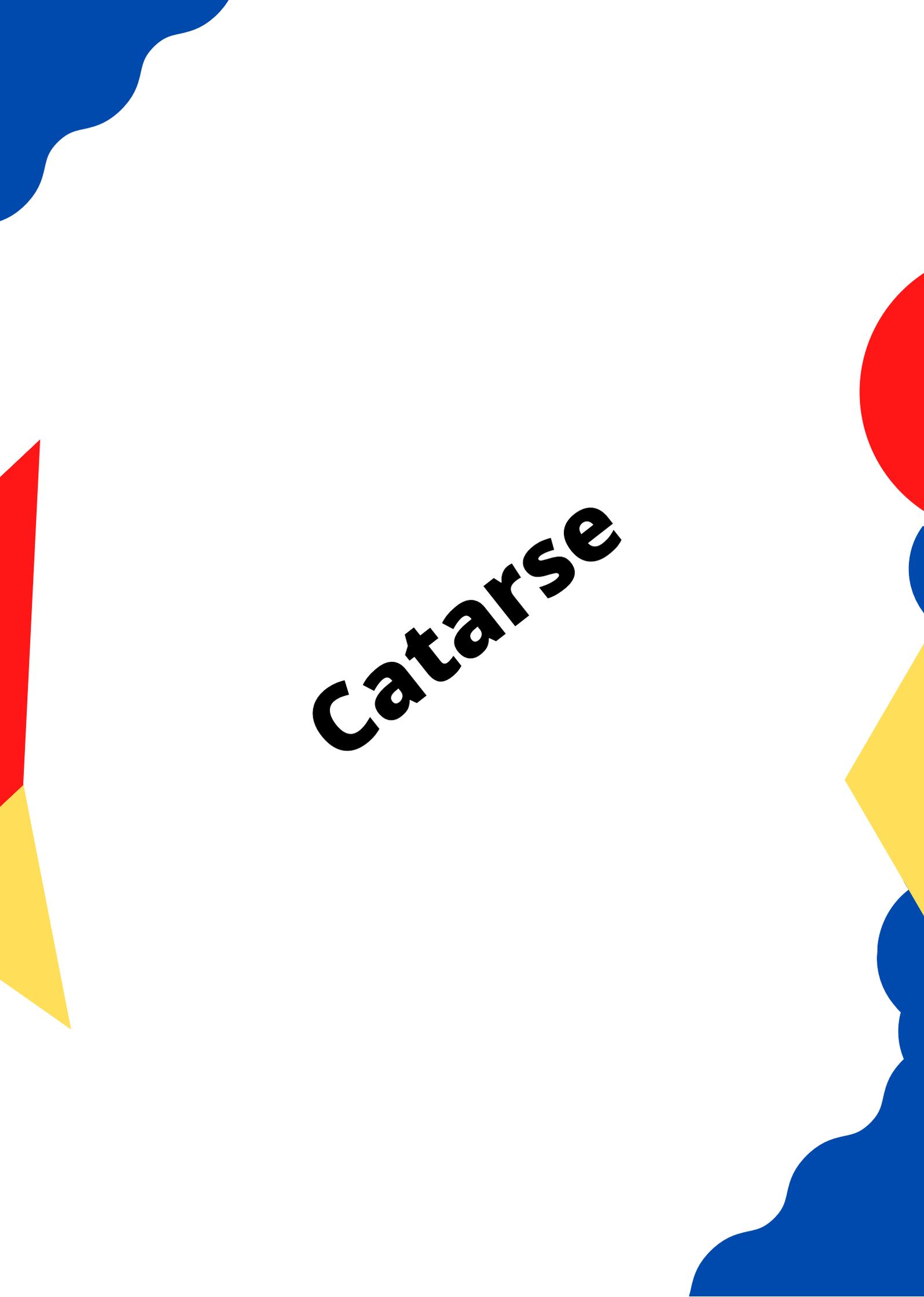
Segundo Gasparin (2020), a fase da Instrumentalização é o centro do processo pedagógico. É nela que se realiza, efetivamente, a aprendizagem. Por isso o professor deve provocar os estudantes para a reelaboração de conceitos, ou desconstrução de conceitos baseados no senso comum, por conceitos científicos, a partir de questionamentos, explicações mais claras, retomadas de conteúdos mais complexos, a partir de uma ação interativa entre professor e aluno. O diálogo entre o professor, enquanto mediador do conhecimento e os estudantes é fundamental, para que seja possível acompanhar o processo de aprendizagem, oferecer orientações e evoluir no seu aprendizado. A tabela a seguir estrutura a instrumentalização de nossa sequência didática para a unidade Luz.

Instrumentalização

Definição

Tabela 3 - Unidade Luz - Estrutura da Instrumentalização

| Objetivos Específicos | Conteúdos | Dimensões | Ações | Recursos |
|--|--|---|--|---|
| Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | Conceitual/científica Histórica Social Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> • Leitura de textos; • Debate; • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> • Materiais Impressos; |
| Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar | Luz, cores, visão | Conceitual/científica Social Estética | <ul style="list-style-type: none"> • Debate; • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de Slides; • Tablets; • Computador; |
| Identificar as ramificações da Óptica. | Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> • Apresentação de Slides; • Tablets; • Computador; |
| Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos. | Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | Conceitual/científica Social Estética Histórico, Social, Cultural | <ul style="list-style-type: none"> • Exposição Oral do professor; • Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> • Materiais Impressos; • Lousa Digital; • Tablets; • Computador; |



Catarse

Catarse

Definição

A catarse, para Saviani (2018) é a efetiva incorporação dos instrumentos culturais, transformados agora em elementos ativos de transformação social. Para Gasparin (2020) ela representa a combinação entre o cotidiano e o científico, o teórico e o prático que o estudante alcançou, mostrando sua nova perspectiva em relação ao conteúdo e a forma de construção social e reconstrução na escola. É a expressão teórica da mentalidade do estudante que demonstra a compreensão mais elevada da totalidade concreta.

Embora nenhuma das definições aponte, é muito comum associar a catarse com uma avaliação, principalmente por conta da influência da obra de Gasparin (2020), que pode trazer para muitos uma interpretação de que resolvendo provas ou fazendo trabalhos corretamente, o estudante chegaria à catarse. Na verdade, o aluno não se transforma instantaneamente quando aprender sobre a natureza da luz, as propriedades da luz ou os fenômenos óptico, por exemplo. É ao ensinar os conteúdos e mostrar como eles se relacionam e são aplicados, seja de maneira direta ou indireta, que o professor permite que os estudantes ponham os conceitos em prática. É assim que os conceitos de Física adquirem significado e se tornam uma ferramenta valiosa para compreender a realidade.

Podemos dividir essa fase em dois momentos, como sugere Gasparin (2020). O primeiro deles é a elaboração teórica de uma síntese, por meio da qual o estudante mostra a si mesmo seu nível de compreensão do tema. A síntese é a sistematização do conhecimento adquirido, a conclusão a que o aluno chegou. O segundo é a expressão prática da nova síntese, que é a exteriorização, a manifestação pública de sua aprendizagem, podendo essa ser definida pelo professor, de que forma que ela possa traduzir o crescimento do aluno, como se apropriou do conteúdo, como resolveu as questões propostas e como reconstituiu seu processo de concepção da realidade social. É o quando o professor avalia se o aluno atingiu o "(...) ponto de chegada, ou seja, terão caminhado de uma concepção sincrética para uma sintética." (PEREIRA; PEDROSA, 2020, p.159) .

A catarse não deixa de ser uma avaliação de aprendizagem do conteúdo, mas não como demonstração de que aprendeu um novo tema apenas para a realização de uma prova ou de um teste, mas como expressão prática de que se apropriou de um conhecimento que se tornou um novo instrumento de compreensão da realidade e de transformação social. Também destacamos que esse tipo de avaliação não é restrito apenas a essa fase, mas deve ocorrer durante todo o desenvolvimento da sequência didática. Contudo, é na catarse que ocorre o término do processo intelectual de aquisição do conhecimento proposto e sua análise. Portanto, é necessário explicitar de maneira mais clara e consistente a real compreensão de todo o conteúdo estudado. Para assegurar que o aluno aprendeu o conteúdo, o professor deve avaliar se o aluno sabe aplicá-lo corretamente em diversas situações. (GASPARIN, 2020; SAVIANI, 2018).

Diante do que foi discorrido sobre a importância da catarse, para garantir uma avaliação efetiva, é necessário selecionar os instrumentos mais apropriados, levando em consideração o conteúdo abordado, a metodologia utilizada e as diversas dimensões propostas pela Problematização, etapa anteriormente discutida. Na tabela abaixo apresentamos a estrutura da nossa catarse. Nessa etapa, optamos por avaliações formais, onde "(...) o professor seleciona e apresenta as diversas maneiras que oferecem ao educando a oportunidade de se manifestar sobre o quanto suas respostas se aproximam das questões básicas que orientaram a aprendizagem." (GASPARIN, 2020, p.187).

Catarse

Definição

Tabela 4 - Unidade Luz - Estrutura da Catarse

| Conteúdos | Dimensões | Ações | Recursos | Avaliação |
|--|--|---|---|---|
| O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | Conceitual/científica, Histórica, Social Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> Leitura de textos; Debate; Exposição Oral do professor; Análise de Imagens relacionadas ao assunto; Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> Material Impressos; Lousa Digital; Tablets; Computador; | <ul style="list-style-type: none"> Produção de texto, em forma de poema, carta etc., que demonstre a importância da luz nas diversas dimensões; Construção de um mapa mental sobre os assuntos abordados; Quiz de perguntas e respostas referente aos assuntos abordados; Atividades avaliativas objetivas (síntese a respeito dos experimentos realizados nos simuladores) que abordem as diferentes dimensões discutidas na problematização e instrumentalização; |
| Luz, cores, visão | Conceitual/científica, Social, Estética | <ul style="list-style-type: none"> Debate; Exposição Oral do professor; Experimento através da utilização de Simuladores; | <ul style="list-style-type: none"> Material Impressos; Tablets; Computador; | |
| Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> Exposição Oral do professor; Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> Material Impressos; Tablets; Computador; | |
| Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | Conceitual/científica, Social, Estética, Histórico, Social, Cultural | <ul style="list-style-type: none"> Exposição Oral do professor; Experimento através da utilização de Simuladores | <ul style="list-style-type: none"> Material Impressos; Lousa Digital; Tablets; Computador; | |

The page features a white background with decorative elements in blue, red, and yellow. In the top-left corner, there is a blue shape with a wavy, scalloped edge. In the bottom-right corner, there is a blue shape with a similar wavy edge. On the left side, there is a vertical strip with a red top section and a yellow bottom section. On the right side, there is a red circle at the top, a blue circle below it, and a yellow trapezoidal shape below that. The main text is centered and tilted at an angle.

Prática Social

Final

Prática Social Final

Definição

Esta fase representa a transposição do teórico para o prático dos objetivos da unidade de estudo, das dimensões do conteúdo e dos conceitos adquiridos. (GASPARIN, 2020, p.78)

Conforme a citação de Gasparin (2020), a prática social final é o ponto de chegada do processo pedagógico na perspectiva histórico-crítica. Segundo Saviani (2018), a prática social inicial e a final são a mesma coisa, uma vez que se constituem como "(...) o suporte e o contexto, o pressuposto e o alvo, o fundamento e a finalidade da prática pedagógica." (SAVIANI, 2018, p. 145). Entretanto, elas podem ser encaradas de forma diferente quando "(...) considerarmos que o modo de nos situarmos em seu interior se alterou qualitativamente pela mediação da ação pedagógica." (SAVIANI, 2018, p. 145).

Considerando todas as fases pela qual o professor e os alunos passaram entre a prática social inicial e a final, é correto afirmar que ambos sofreram modificações intelectuais e qualitativas em relação às suas concepções sobre o conteúdo. Se tratando dos alunos, estes passaram de um estágio de compreensão científica limitada para uma fase de maior clareza e entendimento dessa mesma concepção dentro do contexto geral. Como resultado, há um novo posicionamento em relação à prática social do conteúdo adquirido. No entanto, embora tenham compreendido o conteúdo, o aluno ainda não o colocou em prática. Isso requer uma ação real por parte do sujeito que aprendeu, ou seja, exige aplicação prática. (SAVIANI, 2018; GASPARIN, 2020; PEREIRA; PEDROSA, 2020).

Entretanto, essa aplicação prática não deve se restringir a esperar do aluno novos comportamentos imediatos, com base naquele tema que foi desenvolvido, uma vez que, como nos diz Duarte (2021):

As relações entre o ensino dos conteúdos escolares e a formação/transformação da concepção de mundo são mediadas e complexas. É um erro e uma ingenuidade esperar mudanças imediatas e facilmente visíveis da visão de mundo dos alunos a partir de cada tópico dos conteúdos escolares. (DUARTE, 2021, p.32)

É na prática social final que o professor, após todo o processo pedagógico desenvolvido, busca identificar saltos qualitativos, em termos de desenvolvimento da visão de mundo dos indivíduos com relação a temática desenvolvida. Para Pereira e Pedrosa (2020), é o momento que o professor verifica se houve mudança de concepção sincrética para uma sintética, ou seja, a visão confusa e caótica a respeito daquele assunto torna-se mais rica, desenvolvida e organizada.

Na identificação desses saltos qualitativos, é preciso analisar qual a contribuição do conhecimento de Ciências que se espera no que tange a humanização dos indivíduos. Para Saviani e Duarte (2021), a abordagem do ensino de Ciências da Natureza hoje apresenta uma visão instrumental e utilitarista, em que não provoca uma reflexão mais profunda sobre o mundo, a realidade e a relação entre seres humanos e natureza. No entanto, o autor argumenta que o ensino de Ciências pode ser de grande importância se for trabalhado de forma a ampliar e transformar a visão de mundo dos alunos. Em outras palavras, é preciso analisar como o ensino de ciências da natureza impacta na forma como os indivíduos percebem e se relacionam com o mundo ao seu redor.

(...) a importância das ciências naturais para a humanização no processo educativo está associada, entre outras coisas, à visão que nós temos das relações entre sociedade e natureza e da nossa responsabilidade quanto a isso. Isso se remete a várias questões éticas que envolvem as relações entre os próprios seres humanos, porque nossas relações com a natureza dependem da forma como organizamos a sociedade e as atividades produtivas. (SAVIANI; DUARTE, 2021, p.459)

Prática Social Final

Definição

Esse processo de identificar o impacto na forma como o aluno percebe e se relaciona com o mundo ao seu redor pode ser analisado na Prática Social Final a partir do momento em que ele tem " (... a oportunidade de revelar sua nova visão ou a maneira de ser que assumirá, no cotidiano, em relação ao conteúdo aprendido." (GASPARIN, 2020, p.201). Essa oportunidade é chamada por Gasparin (2020) de nova atitude prática, em que revela-se a partir de uma proposta de ação que, segundo o autor:

(...) procura prever o que cada aluno (ou grupo de alunos) fará na vida prática, no seu cotidiano dentro e fora da escola. Procura também prever como será seu desempenho depois de ter adquirido determinado conhecimento. É o desenvolvimento de seu compromisso com a prática social. (GASPARIN, 2020, p.201)

Diante do que que foi discutido ao longo dessa seção, estruturamos algumas novas atitudes práticas que podemos esperar dos alunos, além de propostas de ação que podem aparecer como consequência das novas atitudes práticas. A tabela 9 abaixo ilustra essas possibilidades.

Tabela 5 - Unidade Luz - Estrutura de possibilidades da na Prática Social Final

| Nova atitude prática | Proposta de ação |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Apropriação do conceito científico de luz e sua importância como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.• Compreensão da Natureza da luz e suas propriedades.• Discutir com propriedade a importância da luz nas dimensões apresentadas a partir de novas questões problematizadoras.• Conhecer a importância dos fenômenos ópticos nas dimensões Conceitual/científica, Social, Estética, Histórico, Social e Cultural. | <ul style="list-style-type: none">• Valorizar a luz como elemento crucial para manutenção da vida dos seres da Terra.• Fazer leituras sobre novas tecnologias que utilizam os fenômenos ópticos.• Buscar filmes, documentários que mostram a importância dos fenômenos ópticos na vida da Terra.• Buscar nas dimensões social, histórico e cultural, problemas em que o conhecimento a respeito da óptica possa contribuir na solução de outras questões detectadas. |

Em síntese, a Pedagogia Histórico-Crítica é um enfoque teórico e metodológico que busca compreender as condições históricas, sociais e culturais que influenciam a educação e o processo de ensino-aprendizagem. Ela se baseia na ideia de que a educação e o conhecimento são construídos socialmente e estão sujeitos as transformações históricas e sociais. Com relação ao ensino de física, essa abordagem pedagógica pode ser usada para compreender como o conhecimento científico sobre as ciências da natureza é construído e desenvolvido ao longo do tempo e como ele é influenciado por fatores sociais, econômicos e culturais. Além disso, ela pode ser usada para examinar como a física é ensinada e aprendida em diferentes contextos sociais e históricos, servindo de suporte para desenvolver metodologias de ensino que considerem esses aspectos.

É importante notar que a Pedagogia Histórico-Crítica não é um método específico de ensino de Física, mas uma abordagem teórica e metodológica que pode ser aplicada para compreender e desenvolver o ensino e a aprendizagem dele em um contexto histórico e social mais amplo. Diante disso, o próximo capítulo busca apresentar e discutir a respeito do processo de aplicação da sequência didática, a partir da abordagem e estrutura que foi discutida até então.



Roteiro de aplicação

Roteiro de Aplicação

Introdução

No capítulo anterior, apresentamos informações que dizem respeito a metodologia utilizada para o desenvolvimento dessa sequência didática. A partir de uma abordagem histórico-crítica onde buscamos relacionar as suas possibilidades para o ensino de Física. Nesse capítulo apontaremos as estratégias sugeridas para a aplicação da sequência didática, em que apresentamos as atividades que serão desenvolvidas pelos alunos, com a mediação do professor.

Anteriormente, também estruturamos a montagem da sequência didática, apresentando os passos, etapas, objetivos e o que se espera do estudante e do professor. Com base nas discussões, o quadro abaixo sugere como se dá a divisão desses passos, conforme o número de encontros que definimos. Além disso, para a etapa de instrumentalização, também fizemos a divisão dos conteúdos a serem discutidos nela.

Tabela 6 - Cronograma de Aplicação

| Passo/Conteúdo | | Número de encontros |
|------------------------|--|----------------------------|
| Prática social Inicial | | 1 encontro |
| Problematização | | |
| Instrumentalização | O que é luz, Natureza da Luz, Propriedades da luz | 1 encontro |
| | Luz, cores, visão | 1 encontro |
| | Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | 1 encontro |
| | Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | 2 encontros |
| Catarse | | 2 encontros |
| Prática Social Final | | |

Ressaltamos que o número de encontros é apenas uma estimativa. Ela pode sofrer alterações conforme a realidade de cada escola, turma ou concepções prévias de cada estudante. Também esclarecemos que a duração de cada encontro levou em conta a duração de 90 minutos, ou então 2 horas-aulas. As próximas seções desse capítulo são para apresentar o roteiro de aplicação da sequência didática.

Objetivo Geral: Aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.

A etapa da prática social inicial é o primeiro passo do método pedagógico da Pedagogia Histórico-Crítica. É o ponto de partida e caracteriza-se por uma preparação, uma mobilização do aluno para a construção do conhecimento.

Nesse momento, cabe ao professor discutir sobre o objetivo geral dessa sequência didática e esclarecer aos estudantes que esse momento de encontro serve para que eles possam mostrar o que sabem do conteúdo a partir de questões, perguntas e constatações. A tabela abaixo serve de auxílio no que diz respeito a divisão dos conteúdos, bem como as questões a serem levantadas para os estudantes.

O professor pode, se desejar, discutir isso de forma oral com os estudantes ou a partir de outras alternativas, como formulários ou questionários. É importante que o professor faça registros dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do conteúdo a ser explorado e também o uso que os alunos fazem do conteúdo na prática social cotidiana. Destacamos que na Prática Social Inicial não iremos aprofundar a discussão sobre o conteúdo a ser explorado.

Tabela 7 - Prática Social Inicial

| Itens | Objetivos Específicos | Questões a serem levantadas |
|--|--|---|
| O que é luz | Conceituar cientificamente a luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra. | <ul style="list-style-type: none"> • O que é luz? • Você viveria sem luz? |
| Luz e visão | Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar. | <ul style="list-style-type: none"> • Você consegue ver os objetos sem luz? • Como você pensa que enxergamos os objetos? • A mesma cor que eu vejo, você vê? |
| O estudo da óptica | Identificar as ramificações da Óptica. | <ul style="list-style-type: none"> • Por que estudar a luz? • O que é uma sombra? • Por que vemos através de alguns objetos e outros não? |
| Aplicação dos fenômenos ópticos | Compreender princípios básicos da Óptica. | <ul style="list-style-type: none"> • Por que os carros têm espelhos e porque um espelho reflete luz? • Por que as coisas ficam distorcidas dentro da água? |

Objetivo Geral: Aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.

A problematização é o segundo passo do método dialético de construção do conhecimento escolar. A problematização é fundamental na transição entre a prática e a teoria, entre o empírico, o cotidiano e a cultura elaborada. Representa o momento do processo em que a prática social é posta em questão, analisada, interrogada, levando em consideração o conteúdo a ser trabalhado e as exigências sociais de aplicação desse conhecimento.

Esse momento é proposto para que seja apresentado aos estudantes uma primeira visão, uma primeira definição, ainda que simplificada, de como ele irá aprender sobre os fenômenos ópticos, compreender o comportamento da luz e sua importância. Busca-se nessa fase preparar o educando para analisar e aprender o conteúdo em suas múltiplas dimensões. Sugerimos que seja explicado aos estudantes que o conteúdo apresenta as chamadas *dimensões*, algo como identificar que o assunto apresenta perspectivas diferentes e muitas são as formas de conhecê-las. Essas dimensões são uma forma de expressar as diferentes naturezas de um conteúdo. Abaixo, apresentamos a estrutura da problematização, dividida entre conteúdos, dimensões e questões problematizadoras.

Tabela 8 - Estrutura Problematização

| Conteúdos | Dimensão | Questões Problematizadoras |
|--|------------------------------|--|
| O que é luz; Natureza da luz; Propriedades da luz; | Conceitual/Científica | <ul style="list-style-type: none"> • O que é luz? • A luz do Sol e de uma lâmpada são iguais? • Qual é a natureza da luz? |
| | Histórica | <ul style="list-style-type: none"> • A luz sempre existiu? • Como as cidades eram iluminadas antigamente? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Por que precisamos de luz? • Como seria viver sem luz? |
| | Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> • Qual a importância da luz na religião? |

Objetivo Geral: Aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.

| Conteúdos | Dimensão | Questões Problematizadoras |
|--|--|---|
| Luz, Cores e visão | Conceitual/Científica | <ul style="list-style-type: none"> • Como enxergamos os objetos? • O que é cor? • Como se forma as cores que vemos? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Todas as pessoas veem as mesmas cores? |
| Óptica, Propriedades da luz, Meios de Propagação, Princípios de Propagação | Conceitual/científica, Histórico, Social | <ul style="list-style-type: none"> • O que é uma sombra? • O que são objetos translúcidos e opacos? • Como a luz se propaga? • O que são fontes de luz? • Por que a lua brilha como se emitisse luz? • Por que a lua tem fases? |
| Fenômenos ópticos, Reflexão da luz, Refração da luz | Conceitual/científica | <ul style="list-style-type: none"> • Como funciona um espelho? • Por que alguns objetos distorcem as imagens vistas? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • O que é o ponto cego nos carros? • Por que palavras impressas na parte da frente de alguns veículos estão ao contrário? |

É importante explicar aos estudantes que cada questão problematizadora busca explorar outras faces do conteúdo e auxilia na orientação das próximas etapas. Também ressaltamos que a elaboração de questões dinâmicas em dimensões diferentes representa uma mudança na maneira como o conhecimento é transmitido, uma vez que ele é visto com maior totalidade, diferente de apenas discutir a dimensão conceitual. Também reiteramos a importância de afirmar aos alunos que as questões apresentadas serão mantidas presentes ao longo do desenvolvimento das próximas etapas, uma vez que elas, "(...) junto com os objetivos, tornam-se a diretriz do processo pedagógico." (GASPARIN, 2020, p.71).

Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Na etapa de instrumentalização que acontece o confronto do saber empírico com o saber científico, viabilizando aos estudantes responder às questões sociais do seu cotidiano, de maneira crítica. Essa aula foi constituída de um conjunto de oito textos e dois áudios para que a turma possa realizar a leitura ou escuta, buscando responder a pergunta:

O que é luz?

Cada texto ou áudio apresenta a importância da luz e sua representação, de acordo com a dimensão contextualizada (Conceitual/Científica, Histórica, Social ou Religiosa). Após a leitura ou escuta, será proposto uma discussão entre os estudantes, para apresentar qual a importância da luz e a dimensão em que ela se enquadra.

Nesse momento, cabe ao professor discutir cada uma das dimensões de forma a provocar os estudantes a construírem seus conceitos, a partir de suas percepções acerca do que foi apresentado, estabelecendo relações entre as diversas partes do conteúdo e do conteúdo com o contexto social, buscando responder as questões problematizadoras levantadas anteriormente.

Tabela 9 - Problematização Item 1

| Conteúdos | Dimensão | Questões Problematizadoras |
|--|-----------------------|--|
| O que é luz; Natureza da luz; Propriedades da luz; | Conceitual/Científica | <ul style="list-style-type: none"> • O que é luz? • A luz do Sol e de uma lâmpada são iguais? • Qual é a natureza da luz? |
| | Histórica | <ul style="list-style-type: none"> • A luz sempre existiu? • Como as cidades eram iluminadas antigamente? |
| | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Por que precisamos de luz? • Como seria viver sem luz? |
| | Religiosa | <ul style="list-style-type: none"> • Qual a importância da luz na religião? |

Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!**O que é a luz?**

A luz é o princípio de toda a ciência, porque é a luz que nos permite ver o mundo. Sem luz não existiria a relação íntima entre sujeito observador e objeto observado que é essencial à observação. É a luz que permite ver tanto o que está perto como o que está longe. Foi um holandês obscuro quem construiu a primeira luneta, mas foi Galileu quem primeiro se lembrou de virar uma luneta para o céu, para ver melhor a luz que vem de longe, dos planetas e das estrelas.

Existe uma relação entre astronomia e literatura. O desenvolvimento das lentes e dos óculos teve a ver com a introdução da imprensa. A partir do momento em que começaram a fabricar vários tipos de lentes, não demorou muito até se verificar que uma combinação especial de duas lentes permitia ver de perto o que estava muito longe nos céus.

No romance Cem anos de solidão, do colombiano Gabriel García Márquez, é descrita uma trupe de saltimbancos que utilizam a luneta para impressionar o povo de Macondo:

Em março, os ciganos voltaram. Desta vez traziam uns óculos de longo alcance e uma lupa do tamanho de um tambor, que exibiram como a última descoberta dos judeus de Amsterdã. Sentaram uma cigana num extremo da aldeia e instalaram os óculos de longo alcance na entrada da tenda. Mediante o pagamento de cinco reais, o povo aproximava-se dos óculos e via a cigana ao alcance da mão. "A ciência eliminou as distâncias", apregoava Melquíades. "Dentro em pouco o homem poderá ver o que acontece em qualquer lugar da Terra, sem sair de sua casa."

A Física permite, de fato, eliminar as distâncias e ver objetos distante, como se estivessem próximos. Pode o povo de Macondo olhar a cigana pelo óculos e, em vez de gritar, falar-lhe em surdina, porque ela parece estar ali próxima. Podem também os astrônomos devassar a intimidade dos outros planetas, das estrelas, das galáxias, apanhados na mira dos seus telescópios.

FIOLHAIS, C. Física Divertida, Editora Universidade de Brasília, São Paulo, 2000.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!**O que é a luz?**

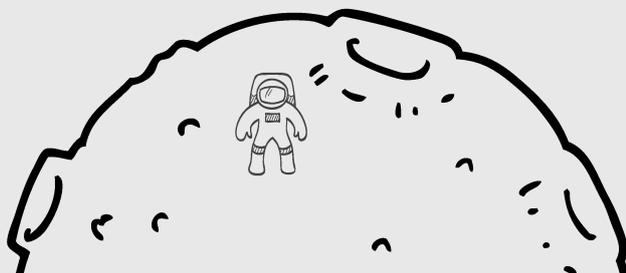
Esta é uma pergunta cuja resposta é fácil e difícil. Fácil, por que um físico pode sempre dizer que a luz é a "oscilação do campo eletromagnético" (já se sabe isso há cerca de um século: a luz já não se reveste hoje do mistério de tempos antigos); difícil, porque um leigo não entende essa explicação. As explicações não só de vem explicar como também, se possível, explicar a todo mundo interessado em ouvir a explicação. O conceito de "campo eletromagnético" não é simples. Mas ele não foi preciso para analisar, ao longo de muitos anos, as propriedades da luz. Algumas dessas propriedades são bem estranhas. A luz, não obstante ter já sido decifrada pelos físicos, mostra algumas propriedades que perturbam um pouco todo mundo, incluindo os próprios físicos.

O Sol é a nossa fonte principal de luz, e quando nos falta essa iluminação o melhor é ir dormir. Embora o Sol seja fonte de todos os tipos de luz, é o majoritariamente de luz visível. Por isso é que vemos tão claramente esse círculo com uma cor amarelo-alaranjada, a percorrer um caminho semicircular entre o nascente e o poente.

Mas para termos luz do Sol é preciso que esta primeiro parta e depois chegue. Acontece não apenas que o Sol emite predominantemente luz visível, mas também que a atmosfera se deixa atravessar por essa luz. A atmosfera permite a passagem abundante de luz visível, alguma luz infravermelha (que ajuda os banhistas a bronzearem-se na praia) e a luz das emissões de rádio (que é aproveitada pelos banhistas para ouvir música na areia). Para que a lista da luz coada pela atmosfera fique completa, convém referir ainda a luz ultravioleta, que o recém-descoberto mas já famoso buraco de ozônio deixa incidir nos pobres pingüins. Praticamente, toda a restante luz fica retida no ar, mais acima ou mais abaixo. Na Lua não há ar, e por isso a superfície do nosso satélite natural recebe todos esses tipos de luz. Os trajes dos astronautas que pisaram a Lua foram feitos de modo a proteger os seus portadores de todas as radiações perigosas.

Tanto a luz visível como as ondas de rádio são formas de luz úteis para a comunicação à superfície da Terra: a luz visível serve para comunicar de perto, enquanto as ondas de rádio servem para comunicar de longe. O homem tornou útil toda a luz que a atmosfera deixa passar.

FIOLHAIS, C. Física Divertida, Editora Universidade de Brasília, São Paulo, 2000.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!**O que é a luz?**

Sem luz nada se veria no cosmo. Não se veria o Sol amarelo-laranja no céu azul (o céu é azul porque as pequenas poeiras da alta atmosfera espalham principalmente a luz azul de toda a luz visível que provém do Sol). Não se veriam de noite os planetas, as estrelas e as galáxias pontilhando o céu escuro. Mas a luz passa, antes de chegar à atmosfera, pelo nada. Hoje se sabe que a luz atravessa o vazio sideral, proveniente dessas grandes fogueiras alimentadas a hidrogênio e hélio que são as estrelas. Chega até luz do tempo em que não existiam estrelas: a luz de microondas, por exemplo, resultante da união dos elétrons com os núcleos para formar os átomos, enche todo o espaço e vem de todo lado.

Os vários tipos de luz permitem-nos conhecer as várias faces que o universo teve no passado, porque a luz, devido à sua velocidade finita (300.000 km/s), demora algum tempo para chegar. A luz demora um só segundo para chegar da Lua. A luz do Sol demora oito minutos para chegar e a luz das outras estrelas muito mais, anos e anos. A luz chega sempre atrasada, de onde quer que venha.

Mas afinal o que é a luz? A essa pergunta sobre a natureza da luz procurou Isaac Newton responder. O cientista inglês escreveu um tratado sobre a luz, intitulado concisamente *Óptica* e subintitulado pedantemente *Tratado das reflexões, refrações, inflexões e cores da luz e também sobre as espécies e grandezas de figuras curvilineares*. O mesmo físico que primeiro penetrou nos mistérios das luas e das maçãs também tentou perceber o que era essa coisa onipresente - a luz - que permitia ver tanto maçãs como luas. Segundo Newton, a luz tinha, na sua constituição, algo de parecido com uma maçã ou uma lua. Assim como a maçã e a lua são corpúsculos, também a luz era constituída por pequeníssimos corpúsculos que preenchem o espaço. **A luz seria formada por partículas.**

FIOLHAIS, C. Física Divertida, Editora Universidade de Brasília, São Paulo, 2000.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!**O que é a luz?**

Segundo Newton, a luz tinha, na sua constituição, algo de parecido com uma maçã ou uma lua. Assim como a maçã e a lua são corpúsculos, também a luz era constituída por pequeníssimos corpúsculos que preenchem o espaço. **A luz seria formada por partículas.**

Newton, além de ter proposto a teoria corpuscular da luz, efetuou uma outra descoberta notável sobre a luz. A luz branca visível é composta por luzes de várias cores, que podem ser separadas com o auxílio de um prisma de vidro. Esse fato foi o princípio da explicação de toda a diversidade de cores que hoje conseguimos reconhecer nos objetos à nossa volta. O Sol é amarelo porque emite principalmente luz amarela. Uma papoula é vermelha porque, de toda a luz que recebe, só reenvia a cor vermelha, absorvendo a restante. A luz infravermelha tem uma "cor" que não vemos por que está para além da cor vermelha. As ondas de rádio têm uma "cor" ainda mais distante. Newton, quando colocou o seu prisma à frente de um raio de luz, desvendou o segredo do arco-íris. Sabe-se hoje, passados trezentos anos, que existe um enorme arco-íris invisível, para além daquele que enfeita os nossos dias chuvosos e ensolarados, com cores cuja paleta vai do violeta ao vermelho.

Ao arco-íris de toda a luz chama-se "*espectro eletromagnético*". A palavra "*espectro*", que significa fantasma e vem do tempo de Newton, mostra como os primeiros estudiosos da óptica ficaram um pouco assustados com o que viram.

Vários fenômenos mostram que a luz pode, realmente, ser vista como um conjunto de partículas. Dois dos fenômenos luminosos mais antigos são a **reflexão** e a **refração**. A reflexão é o que acontece à luz quando encontra um espelho. A luz não passa, como a pequena Alice, para o outro lado do espelho, mas salta para trás, tal como uma bola numa parede. Reflete-se. A refração, por sua vez, é o que acontece à luz, por exemplo, quando, vinda do ar, encontra uma superfície de água e aí mergulha. A luz continua o seu caminho, mas ao longo de uma outra direção. Refrata-se.

FIOLHAIS, C. Física Divertida, Editora Universidade de Brasília, São Paulo, 2000.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

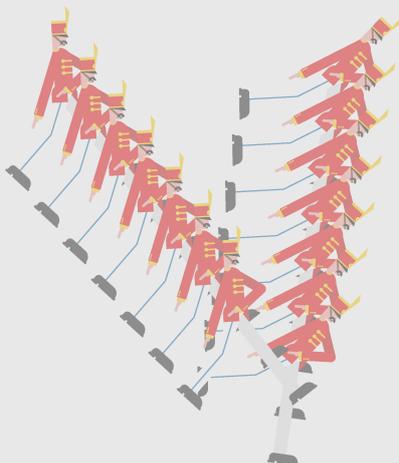
Boa leitura!**O que é a luz?**

Para Huygens a luz propagava-se de modo bastante semelhante a uma onda no mar. **A luz era uma onda.** A teoria de Huygens, exposta no livro *Tratado da luz: Onde são explicadas as causas do que acontece na reflexão e na refração e particularmente na estranha refração do cristal da Islândia*, era também capaz de explicar tanto a reflexão como a refração. Se uma onda do mar bater de frente num quebra-mar, volta para trás: é refletida. Se bater de lado num molhe, fazendo um certo ângulo com a perpendicular, sai do outro lado segundo um ângulo igual. Por outro lado, a refração também pode ser explicada com a ajuda da teoria ondulatória. Embora a explicação seja um bocadinho mais difícil, pode ser tentada por meio de uma analogia.

Suponhamos que uma fila horizontal de militares em marcha representa uma frente de onda. A fila avança paralelamente a si própria, porque todos os indivíduos caminham com a mesma velocidade. Imaginemos agora que a coluna militar dirige obliquamente para a água. Então, um dos militares chega primeiro à água do que os outros. Nesse caso, a fila roda, porque o fulano que chegou primeiro começa a andar mais lentamente, enquanto os outros continuam a caminhar em terra firme, com o mesmo passo que traziam. A certa altura, ficam todos os membros da fila dentro da água, pelo que ela segue em frente, paralelamente a si própria, com uma direção diferente da de incidência.

A luz é uma onda que se propaga na água mais lentamente do que no ar (ao contrário do som, que no ar viaja a 330 m/s, enquanto na água vai a cerca de 1.500 m/s). O efeito é bem visível, porque a velocidade da luz na água é cerca de três quartos da velocidade da luz no ar. Por sua vez, a luz propaga-se no ar mais lentamente do que no vazio, embora a diferença seja muito pouco significativa.

FIOLHAIS, C. Física Divertida, Editora Universidade de Brasília, São Paulo, 2000.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos *"O que é luz?"*, *"Qual a sua natureza?"*. Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar *"A luz sempre existiu?"*, *"Como as cidades eram iluminadas antigamente?"*. Já sob uma perspectiva social, *"Por que precisamos de luz?"* ou *"Como seria viver sem luz?"*

Para compreender mais um pouco sobre esse *"elemento"*, trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!**O que é a luz?**

A linguagem visual é uma das primeiras possibilidades de percepção e comunicação com o mundo desde o princípio da vida do homem, quando se depara com tantas cores, formas e volumes diferentes após o nascimento. Tudo isso, porém, não poderia ser revelado se não existisse a presença da luz. Se estivéssemos imersos à ausência total de uma fonte luminosa, seja ela natural ou artificial, não poderíamos captar as formas e cores através do sentido da visão, somente a uniformidade esta-belecida pela ausência de uma fonte luminosa, o escuro. É a luz que nos revela, visualmente, todas as formas e cores existentes no mundo material.

A luz, como forma necessária da percepção visual, faz-se presente no mundo desde a era Primitiva, através do sol ou do fogo que, por sua vez, passou a ser manipulado. Historicamente, no teatro não é diferente, pois desde o princípio de suas manifestações, na Grécia Antiga, dependia-se de uma fonte de luz, para tornar visíveis as encenações que aconteciam ao ar livre, nesse caso, sob atuação natural do sol, que iluminava de forma espontânea e incontrolável, causando efeitos de sombras, translucidez e brilho (em maior ou menor intensidade), que variavam conforme sua posição.

Segundo Camargo (2012), quando o teatro sai da rua e passa a ser encenado em edifícios arquitetônicos, onde a luz solar não era suficiente, há uma necessidade de criar formas artificiais de iluminação e, durante dez séculos, foram utilizados – cronologicamente – os recursos de tochas, velas, querosene e gás, como combustíveis de fonte emissora de luz. Então, após o surgimento da luz elétrica, no século XX, até os dias atuais, na era digital, inúmeras ferramentas e dispositivos de iluminação são fabricados. Aqui ocorre um marco de mudança, outra linguagem passa a operar e esta se encontra entre a arte da cena e a da visualidade, a luz como algo que não só ilumina, mas que causa efeitos, amplifica, esconde, muda o que está posto. Ainda como iluminação teatral, começa a ser pensada como arte e não somente como um recurso que torne visível os atores na cena. Surge a necessidade de se pensar esteticamente a luz, permitindo a singularidade e subjetividade na maneira de iluminar, possibilitando trabalhar sombras, linhas, cores, formas e volumes, ocultar o desnecessário e realçar nuances, transformando um corpo em cena, construindo atmosferas e percepções visuais não apenas no teatro, como em diversas outras formas de arte.

JACINTO, Rafael Cardoso; STUMM, Rebeca Lenize. Manipulador: uma relação entre espaço, luz e objeto. Urdimento-Revista de Estudos em Artes Cênicas, v. 1, n. 37, p. 211-227, 2020.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "*O que é luz?*", "*Qual a sua natureza?*". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "*A luz sempre existiu?*", "*Como as cidades eram iluminadas antigamente?*". Já sob uma perspectiva social, "*Por que precisamos de luz?*" ou "*Como seria viver sem luz?*"

Para compreender mais um pouco sobre esse "*elemento*", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!**O que é a luz?**

Quando falamos de luz, há diversos pontos importantes. Primeiro, toda a luz deve ser produzida, podendo as fontes serem naturais ou artificiais. Uma vez produzida, ela apresenta propriedades que em geral dependeram da forma como foi produzida. Finalmente, temos sua interação com a matéria e as consequências desta interação.

Dentre as fontes de luz, não há dúvida que a mais importante para nós é o Sol. A luz do Sol, produzida através de mecanismos nucleares, percorre uma grande distância até chegar ao nosso planeta, onde encontrando aqui matéria, transforma-se em calor, energia química, dando a vida ao planeta.

Se por alguma razão o Sol interrompesse seu fornecimento de luz, em poucas horas começaria um inverno intenso. Não haveria forma adequada de formarmos moléculas essenciais à vida através das fotoreações, e a partir daí a vida seria extinta. Todos os seres vivos são um "pequeno pedaço" do Sol através da energia química que carregamos. Neste sentido, as civilizações antigas tinham razão ao afirmar que "somos filhos da luz". A vida hoje, depende integralmente da energia do Sol que chega até nós através da luz por ele emitida. A nossa dependência com a luz é muito mais íntima do que podemos imaginar e neste sentido não podemos entender o mundo ao nosso redor se não entendermos a luz e sua interação com a matéria.

Por milênios a luz tem sido associada com divindades, tal sua importância. Para os antigos egípcios, a luz teria sido a razão para a vida e o Sol associado com um "Deus" (Rá é o deus do Sol do Antigo Egito, de onde se origina a palavra radiação). Nas escolas gregas, muitos se dedicaram ao entendimento da luz como elemento essencial da natureza.

BAGNATO, Vanderlei S.; PRATAVIEIRA, Sebastião. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, p. 4206-1-4206-8, 2015.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "*O que é luz?*", "*Qual a sua natureza?*". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "*A luz sempre existiu?*", "*Como as cidades eram iluminadas antigamente?*". Já sob uma perspectiva social, "*Por que precisamos de luz?*" ou "*Como seria viver sem luz?*"

Para compreender mais um pouco sobre esse "*elemento*", trouxemos alguns textos produzidos em artigos científicos, livros, jornais e revistas que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

O que é a luz?**Boa leitura!**

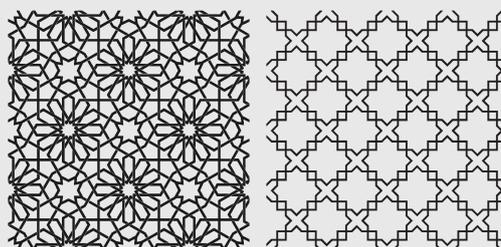
A luz carrega consigo muitos significados, sentidos perceptivos, com a luz do sol que é energia e vitalidade humana; a luz divina que estabelece a comunicação entre os deuses, como na religião; cor; calor; energia; reflexo; sombra nos objetos. Além das experiências sensoriais de profundas explicações, quando falamos em luz, falamos em física, biologia, artes, psicologia, filosofia, etc. Trabalhar com a luz, (independente da linguagem artística), possibilita um ato ilimitado de iluminar, dar a ver nuances. Ultrapassamos o ato de apenas dar a ver e mergulhamos num inesgotável ambiente de possibilidades de criação e percepção.

Durante os rituais litúrgicos de Umbanda, na qual faço parte desde os meus seis anos de idade, frequentemente, fazemos uso de velas, fogo e projeções de luzes coloridas, que têm por finalidade contribuir física e energeticamente com os trabalhos mediúnicos realizados durante o ritual.

Consecutivamente, em um contexto religioso, criar situações de luz, assim como na arte, é algo que nos remete a outros espaços, possibilitando-nos desconhecer, por algum tempo, o ambiente frequentado. Nas artes visuais, meu trabalho interfere no ambiente, ocupando-o por determinado tempo, transformando a forma como vemos o espaço e as materialidades envolvidas. Por vezes, algo nos faz olhar para a luz e imediatamente olhar para a fonte de luz, revelando, causando a ampliação de como vemos esses objetos e espaços. Causando uma experiência que nos envolve como corpo presente naquele espaço.

Na cultura Árabe, a luz protagoniza um espetáculo histórico/ancestral que acontece no interior das residências. O Muxarabi é uma técnica que implica em envolver uma tela em madeira com cavidades em formas geométricas e coloca-las em grandes janelas, as quais impossibilitam a visibilidade de quem está no ponto externo da residência e, ao mesmo tempo, permitem que a luz do sol adentre ao ambiente, difundindo-se nas cavidades e compondo um ambiente de luz e sombra no interior das residências. Como se fosse um espetáculo de luz e formas que vai se modificando conforme a posição e incidência do sol durante a passagem do dia. Nesse espetáculo natural, a luz do sol dirige a composição, da mesma forma que os vitrais coloridos, nas igrejas medievais, colaboravam na composição das cenas dos dramas litúrgicos.

JACINTO, Rafael Cardoso; STUMM, Rebeca Lenize. Manipulador: uma relação entre espaço, luz e objeto. Urdimento-Revista de Estudos em Artes Cênicas, v. 1, n. 37, p. 211-227, 2020.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos um podcast que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!

O que é a luz?

PODCAST FÍSICAST - Óptica: Introdução



Assista apenas os primeiros 6 minutos.



Objetivo Específico:

Conceituar cientificamente luz como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Você já se perguntou sobre a importância da luz nas suas várias dimensões? Quando falamos em dimensão científica, por exemplo, pensamos "O que é luz?", "Qual a sua natureza?". Em uma dimensão histórica, devemos nos perguntar "A luz sempre existiu?", "Como as cidades eram iluminadas antigamente?". Já sob uma perspectiva social, "Por que precisamos de luz?" ou "Como seria viver sem luz?"

Para compreender mais um pouco sobre esse "elemento", trouxemos um podcast que discutem a respeito da importância luz em diversas dimensões.

Boa leitura!

O que é a luz?

PODCAST FÍSICAST - Óptica: Introdução



Assista a partir dos 4 minutos até 9 minutos.



Objetivo Específico:

Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar.

Na etapa de instrumentalização que acontece o confronto do saber empírico com o saber científico, viabilizando aos estudantes responder às questões sociais do seu cotidiano, de maneira crítica. Essa aula utilizará recursos como apresentação de slides e utilização de simuladores.

Inicialmente, o professor deve utilizar parte da aula de forma expositiva, onde por meio de uma apresentação de slides, irá abordar as questões problematizadoras. Após a apresentação do sumário, será feita uma retomada do assunto promovido na Aula 2: *Luz*. Em seguida, partindo da problematização: *"Como enxergamos os objetos?"*, será apresentado algumas características que dizem respeito ao olho humano, como a sua estrutura e sobre as celular receptoras de luz.

Conhecer a função das células fotoreceptoras, permite auxiliar a responder a próxima questão problematizadora: *"O que é cor? Como vemos as cores?"*. A cor, conforme a percebemos, é resultado da combinação do nível de ativação de três células fotoreceptoras. Diante disso, é possível problematizar o assunto em uma dimensão social, trazendo a seguinte questão: *"Todas as pessoas veem as mesmas cores?"*

Diante disso, na apresentação de slides, mostramos uma noticia a respeito de um atleta que está tentando seguir sua vida normalmente, mesmo apresentando um distúrbio de visão. A partir dessa questão, será feito uma discussão sobre esse distúrbio. Nessa etapa, os alunos irão acessar o simulador Phet - Visão de Cor.

No simulador, inicialmente iremos deixar os alunos mexerem sem nenhum roteiro, para que possam se ambientar no mesmo. Em seguida, iremos propor responder alguns questionamentos, conforme o roteiro na sequência.

Tabela 10 - Problematização Item 2

| Conteúdos | Dimensão | Questões Problematizadores |
|-----------|-----------------------|--|
| Luz | Conceitual/Científica | <ul style="list-style-type: none"> • Como enxergamos os objetos? • O que é cor? • Como se forma as cores que vemos? |
| Cores | | |
| Visão | Social | <ul style="list-style-type: none"> • Todas as pessoas veem as mesmas cores? |



**QR code -
Apresentação de
slides**

Objetivo Específico:

Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar.

Slides da apresentação Luz, cores e visão

Física

Aula 3

Luz, cores e visão

Sumário

- Objetivos
 - Geral
 - Específico
- Luz
- Cores
- Visão

Objetivos

Geral
Aprender sobre os fenômenos ópticos existentes, compreendendo o comportamento da luz e sua importância nas diversas dimensões, a fim de adquirir uma consciência crítica sobre o tema, assumindo compromisso efetivo de seu uso social adequado.

Específico
Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar

Luz

um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.

Relembrando...

Dimensão

Conceitual/Científica

Histórica

Social

Religiosa

Como enxergamos os objetos?

O olho humano

A visão está relacionada com a capacidade de detectar padrões luminosos do meio externo, transformando-os em imagens.

Para enxergarmos um objeto é preciso, primeiro, que o objeto esteja iluminado, seja pela luz solar, seja pela luz artificial de uma lâmpada ou vela.

O que é cor?

Como se forma as cores que vemos?

Todas as pessoas veem as mesmas cores?

Fixo do Praia Clube, Sacon dribla daltonismo e tenta levar vida normal dentro e fora das quadras

jogador do time de basquete brasileiro faz vídeo discorrendo no modo, relembrar histórias e contar com ajuda de companheiros em certas situações.

Por Felipe Ferreira e Lucas Paganini — UOL Notícias, 10/02/2016

"Por enquanto, nunca tive um prejuízo muito grande em relação aos jogos, pois normalmente as unidades de uma equipe são claras e, da outra, escuras. O que acontece é que, muitas vezes, tive dificuldades para escolher a jogada de algumas equipes com cores que, para mim, são semelhantes".

Matheus Sacon

Vamos testar...

Objetivo Específico:

Compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar.

Simulador Phet - Visão de Cor

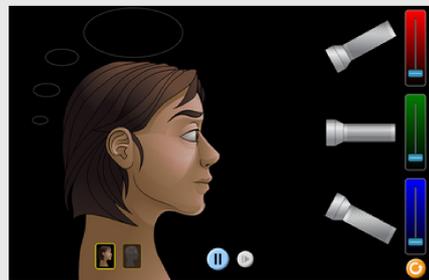
Para acessar esse simulador, utilize seu smartphone ou então o tablet que lhe foi emprestado. Escaneie, com a câmera do aparelho, o código abaixo:



QR Code - Acesso ao simulador

Após o acesso, clique na opção *Lâmpadas RGB*.

Você irá encontrar essa tela.



Atividade 1

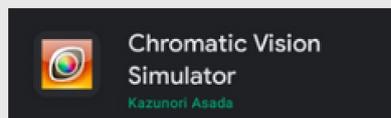
O simulador pressupõe uma pessoa que tem suas células fotorreceptoras funcionando de forma correta. Qual combinação deve ser utilizada para que a pessoa consiga enxergar a cor **laranja** ?

Atividade 2

Qual combinação deve ser utilizada para que uma pessoa consiga enxergar a cor **azul claro** ? Caso as células fotorreceptoras não consigam captar o verde, a pessoa conseguirá ver essa cor?

Aplicativo Chromatic Vision Simulator

Acesse pelo tablet ou baixe em seu celular o aplicativo Chromatic Vision Simulator.



Carregue uma imagem de sua preferência ou então clique nas opções **P**, **D** ou **T**.

Cada uma das opções representa um distúrbio de visão. Você consegue identificar qual cor cada distúrbio encontra dificuldade em ver?

- P - Protanopia**
- D - Deuteranopia**
- T - Tritanopia**

Objetivo Específico:

Identificar as ramificações da Óptica.

Essa aula utiliza recursos como apresentação de slides e aplicativos para *smartphones* ou *tablets*. Inicialmente, o professor deve utilizar parte da aula de forma expositiva, onde por meio de uma apresentação de slides, irá abordar as questões problematizadoras. Após a apresentação dos objetivos, será feito uma introdução ao assunto por meio do video **Art Explainer 3: Luz e Sombra**.



Art Explainer 3: Luz e Sombra - QR Code



Apresentação de Slides - QR Code

Compreender a importância da luz e sua relação com a sombra, como uma linguagem visual muito utilizada na Arte é importante para a compreensão do assunto em uma dimensão Social e Histórica. Na sequência apresentamos a área da Física responsável pelo estudo dos fenômenos luminosos: **a Óptica**, sendo que para a compreensão de fenômenos como a sombra é apresentada como uma ramificação a parte: **A Óptica Geométrica**.

Nesse momento, deve ser apresentado aos estudantes alguns princípios fundamentais para o estudos da luz como o Princípio de Fermat, a definição de meios de propagação de luz e o Princípio de propagação retilínea da luz. Nesse último, fazemos a contextualização a partir da questão problematizadora:

Por que a lua brilha como se emitisse luz? Por que a lua tem fases?

Por fim, lança-se aos estudantes o desafio de jogar o jogo **Shadowmatic**, por meio de seus smartphones ou pelos tablets utilizados em aula. *Shadowmatic* é um quebra-cabeça que atíça a imaginação, e nele você gira objetos abstratos sob luz para descobrir silhuetas reconhecíveis em sombras projetadas, relevantes para o ambiente em volta.

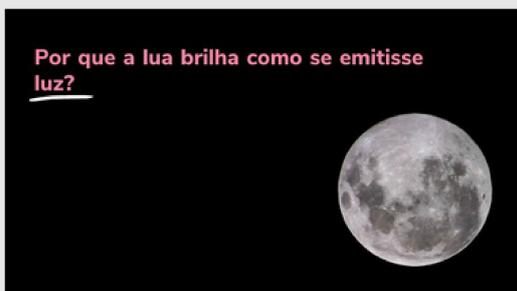
Tabela 11 - Problematização Item 3

| Conteúdos | Dimensão | Questões Problematicadoras |
|---|---|---|
| <p>Óptica</p> <p>Propriedades da luz</p> <p>Meios de Propagação</p> <p>Princípios de Propagação</p> | <p>Conceitual/Científica</p> <p>Histórico</p> <p>Social</p> | <ul style="list-style-type: none"> • O que é uma sombra? • O que são objetos translúcidos e opacos? • Como a luz se propaga? • O que são fontes de luz? • Por que a lua brilha como se emitisse luz? • Por que a lua tem fases? |

Objetivo Específico:

Identificar as ramificações da Óptica.

Slides da apresentação Óptica, Propriedades da luz e Meios de Propagação



Objetivo Específico:

Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos.

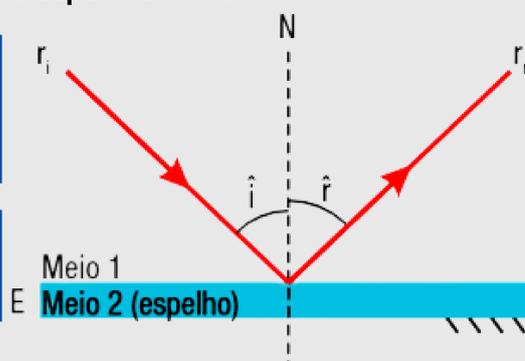
Essa aula, devido a dimensão do conteúdo, é dividida em duas aulas. Na primeira será realizada com auxílio do quadro e de forma expositiva. Inicialmente é feito uma retomada dos conteúdos vistos até o momento como a definição de luz, a óptica geométrica e os princípios fundamentais da óptica geométrica. Após, iniciamos o assunto de **Reflexão da luz**, partindo da seguinte questão problematizadora:

Como funciona um espelho?

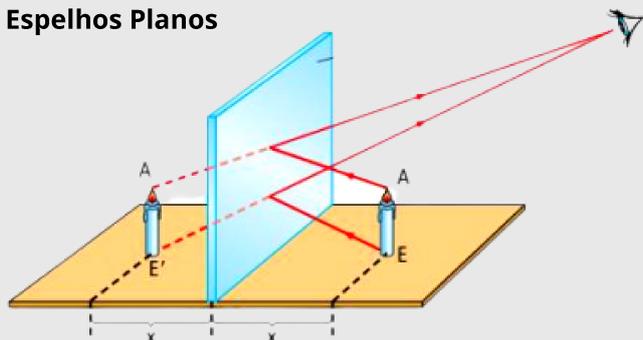
Nesse momento, será abordado as **Leis da Reflexão** e os **Espelhos Planos**.

Primeira Lei da Reflexão: A reta normal ao espelho (N) e os raios de luz incidente (r) e refletido estão contidos em um mesmo plano

Segunda Lei da Reflexão: o ângulo de incidência i e o ângulo de reflexão r são sempre iguais.



Espelhos Planos



Uma das principais características dos espelhos planos é a formação das imagens atrás deles. Essa constatação pode ser comprovada aplicando-se as leis de reflexão para dois raios de luz quaisquer que partem do objeto e incidem no espelho.

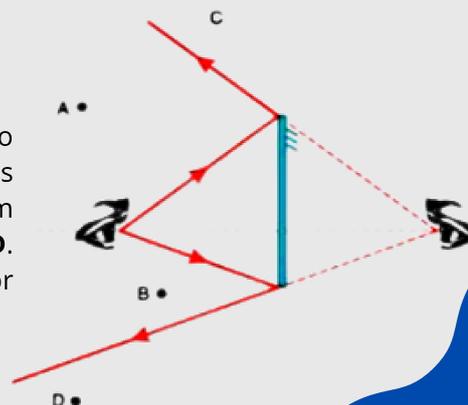
Considere a vela localizada diante de um espelho plano. Na imagem, são representados dois raios de luz, que saem do objeto de pontos diferentes e se propagam até o observador após refletirem no espelho. O prolongamento desses raios que chegam até o observador indica a posição da imagem.

Por que palavras impressas na parte da frente de alguns veículos estão ao contrário?

A imagem de um objeto na frente de um espelho plano sempre apresenta mesma orientação e mesmo tamanho. Entretanto, é possível perceber que um espelho provoca a chamada reversão da imagem (o lado direito do objeto passa a ser o esquerdo da imagem e vice-versa). Esse fenômeno é denominado **enantiomorfismo**.

O que é o ponto cego nos carros?

Ao olhar para um espelho, alguns objetos que estão próximos ao observador podem ser visualizados e outros não. Na ilustração, as imagens dos pontos **A** e **B** podem ser vistas pelo observador, mas não as imagens de **C** e **D**. A região do espaço que pode ser vista por um observador é chamada de **campo visual**.



Objetivo Específico:

Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos.

Nessa aula teremos o auxílio do quadro de forma expositiva e depois usaremos um simulador, seguindo um roteiro pré-determinado. Vamos iniciar o assunto de **Refração da luz**, partindo da seguinte questão problematizadora:

Por que alguns meios distorcem as imagens vistas?

Refração é o fenômeno no qual a luz muda de meio de propagação, ocorrendo como consequência, mudança na sua velocidade.

A razão entre a velocidade de propagação da luz(c) no vácuo e um meio (v) define o chamado **índice de refração absoluto (n)**

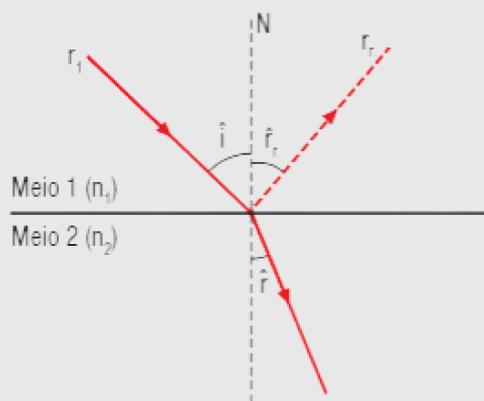
$$n = c / v$$

Leis da Refração

Primeira Lei da Refração: O raio de luz incidente (r_i), o raio de luz refratado e a reta normal (N) estão contidos em um mesmo plano.

Segunda Lei da Refração: Em um dioptra, para uma luz monocromática, o produto entre o seno do ângulo que raio forma com a normal e o índice de refração do meio é constante.

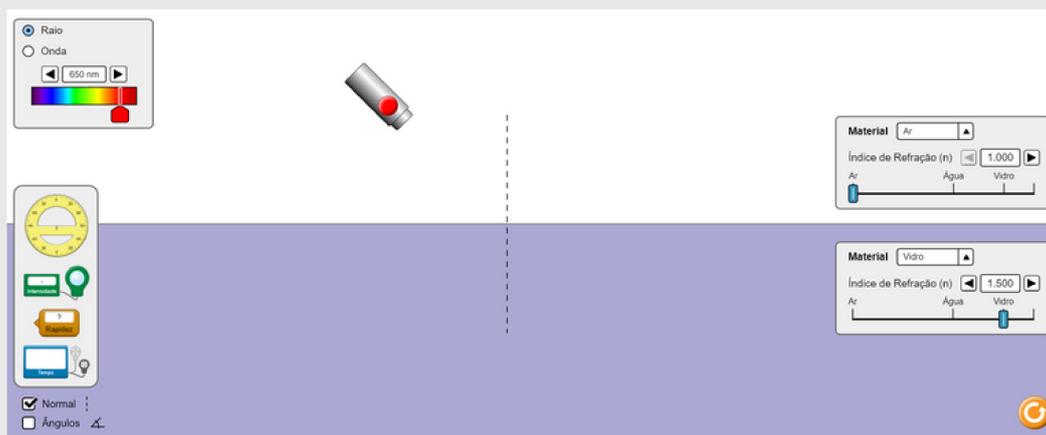
$$n \cdot \text{sen } \theta = \text{constante}$$



O conjunto formado por dois meios distintos e a superfície de separação entre eles denomina-se **dioptra**.

Simulador Phet - Desvio da Luz

A próxima etapa da atividade consiste em buscar a compreensão do fenômeno da refração por meio do uso de um simulador. Usaremos o simulador "Desvio de Luz". Ele pode ser utilizado por meio de computadores, *smartphones* ou *tablets*.



Objetivo Específico:

Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos.

Simulador Phet - Desvio da Luz

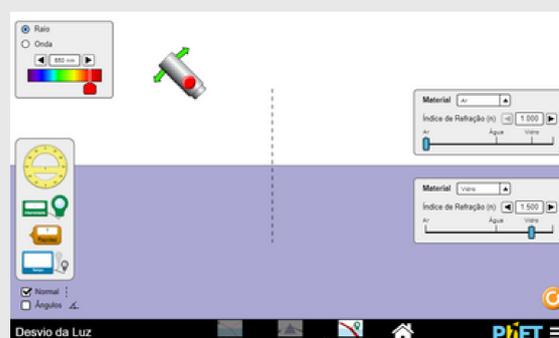
Para acessar esse simulador, utilize seu smartphone ou então o tablet que lhe foi emprestado. Escaneie, com a câmera do aparelho, o código abaixo:



QR Code - Acesso ao simulador

Após o acesso, clique na opção *Mais Ferramentas*

Você irá encontrar essa tela.



Atividade 1

1.1 Na opção do material mais abaixo, escolha **Mistério A**.

No canto inferior esquerdo, marque a opção **Ângulos**. Escolha uma cor e registre o comprimento de onda dela: _____

Agora, clique no botão vermelho do laser e ajuste um ângulo de incidência de 60°.

1.2 O resultado para o ângulo de refração foi:

- a) Maior do que o de incidência;
- b) Menor do que o de incidência;
- c) Igual ao de incidência;

1.3 Agora utilize o instrumento **Rapidez**, no canto inferior esquerdo e posicione ele no raio de luz refratado. Compare o valor colocando o instrumento no raio de luz incidente.

O valor da medição no raio refratado é:

- a) Maior que o do raio incidente;
- b) Menor que o do raio incidente;
- c) Igual o do raio incidente;



1.4 Por fim, o valor numérico medido no instrumento **Rapidez** corresponde a um número, multiplicado pela velocidade da luz ($c=300\ 000\ \text{km/s}$). Sabe-se que o índice de refração corresponde a razão entre a velocidade da luz no vácuo pela velocidade de propagação da luz em um meio. Determine o índice de refração do meio **Mistério A**.

$n =$ _____

Objetivo Específico:

Compreender princípios básicos relacionados aos Fenômenos ópticos.

Simulador Phet - Desvio da Luz

Atividade 2

2.1 Na opção do material mais abaixo, escolha **Mistério B**.

No canto inferior esquerdo, marque a opção **Ângulos**. Escolha uma cor e registre o comprimento de onda dela: _____

Agora, clique no botão vermelho do laser e ajuste um ângulo de incidência de 60°.

2.2 O resultado para o ângulo de refração foi:

- a) Maior do que o de incidência;
- b) Menor do que o incidência;
- c) Igual ao de incidência;

2.3 Agora utilize o instrumento **Rapidez**, no canto inferior esquerdo e posicione ele no raio de luz refratado. Compare o valor colocando o instrumento no raio de luz incidente.

O valor da medição no raio refratado é:

- a) Maior que o do raio incidente;
- b) Menor que o do raio incidente;
- c) Igual o do raio incidente;

2.4 Igual realizado na atividade 1, determine o índice de refração do meio **Mistério B**.

$$n = \underline{\hspace{2cm}}$$

Atividade 3

3.1 Comparando os resultados obtidos para os índices de refração do absoluto nas atividade 1 e 2, podemos afirmar que:

- a) a velocidade da luz no meio A é maior que no Meio B;
- a) a velocidade da luz no meio B é maior que no Meio A;
- a) a velocidade da luz nos dois meios é igual;

3.2 Sobre as velocidades de propagação da luz nos meios A e B, o desvio da luz foi maior:

- a) no Meio A;
- b) no Meio B;

3.3 Por fim, sabe-se das velocidades de propagação da luz nos meios A e B, bem como o desvio sofrido quando a luz incide esses meios, portanto, assinale qual alternativa é considerada a afirmativa correta.

- a) Quanto maior a velocidade de propagação da luz no meio, maior será o desvio.
- b) Quanto maior a velocidade de propagação da luz no meio, menor será o desvio.
- c) Quanto menor a velocidade de propagação da luz no meio, menor será o desvio.
- d) A velocidade de propagação da luz no meio não altera o desvio sofrido.

Gabarito Aula 6 - Simulador

Atividade 1

1.1 R: O estudante tem a opção de escolher valores de comprimento de onda que vão de 380 nm à 700 nm.

1.2 R: b) Menor do que o incidência; (os valores devem ser entre 20,5° e 21°).

1.3 R: b) Menor que o do raio incidente; (os valores devem ser entre 0,40c e 0,41c).

1.4 R= os resultados ficam aproximadamente entre 2,44 e 2,5.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{c}{0,4 \cdot c} = 2,5$$

$$n = \frac{c}{v} = \frac{c}{0,41 \cdot c} = 2,44$$

Atividade 2

2.1 R= O estudante tem a opção de escolher valores de comprimento de onda que vão de 380 nm à 700 nm.

2.2 R= b) Menor do que o incidência; (os valores devem ser entre 37,7° e 38,2°)

2.3 R= b) Menor que o do raio incidente; (o valor deve ser 0,71c)

2.4 R= o resultado deve ser aproximadamente 1,41.

$$n = \frac{c}{v} = \frac{c}{0,71 \cdot c} = 1,41$$

Atividade 3

3.1 R= a) a velocidade da luz no meio B é maior que no Meio A;

3.2 R= a) no Meio A;

3.3 R= b) Quanto maior a velocidade de propagação da luz no meio, menor será o desvio.

Catarse é a expressão elaborada da nova forma de entender a prática social. O educando sistematiza e manifesta o que assimilou, traduzindo na forma oral ou escrita a compreensão que teve acerca do conteúdo explorado, evidenciando uma nova forma de ver o conteúdo e a realidade.

Nessa etapa, o estudante deverá ser capaz de entender as questões sociais postas na fase de problematização, dando à aprendizagem um significado e utilidade à sua vida prática, sendo capaz de agir de forma consciente e crítica para transformar a sociedade; portanto, essa fase configura-se como o momento da aprendizagem efetiva, apesar de ocorrer durante todo o processo educativo, é nessa etapa que ela fica mais evidenciada.

A Catarse constitui-se como a etapa de elaboração da síntese do conhecimento construído ao longo do processo. Ao sintetizar o conhecimento científico adquirido em relação a um determinado fenômeno, que, ao ser analisado em sua totalidade, apresenta-se de forma clara e consciente. A catarse é o ponto de chegada, em que o aluno parte de um conhecimento abstrato e adquire o conhecimento concreto.

Essa sequência didática sugere duas atividades, buscando a sistematização daquilo que o estudante assimilou: Uma *Carta aberta à Luz* e a elaboração de um *Mapa Mental*. Reiteramos que outras atividades podem ser desenvolvidas nessa etapa. O quadro abaixo enuncia sobre a estrutura da catarse e, em seguida, apresentamos nossa sugestão de atividade.

Tabela 12 - Sugestão de atividades para a catarse

Sugestão de Atividades

- **Produção de texto, em forma de poema, carta etc., que demonstre a importância da luz nas diversas dimensões;**
- **Construção de um mapa mental sobre os assuntos abordados;**
- **Quiz de perguntas e respostas referente aos assuntos abordados;**
- **Atividades avaliativas objetivas (síntese a respeito dos experimentos realizados nos simuladores) que abordem as diferentes dimensões discutidas na problematização e instrumentalização;**

Mapa Mental

Ao longo das últimas semanas estamos discutindo abertamente sobre a luz, seus fenômenos, sua importância em vários contextos. Conhecemos esse *elemento* em suas várias dimensões e significados. Vimos que ela é um bem valioso nos dias de hoje e fora, antigamente.

Chegou o momento de realizarmos uma síntese dos conteúdos vistos em aula, na forma de um **Mapa Mental**.



Na perspectiva histórico-crítica, o ponto de chegada é novamente a prática social. Essa fase representa a transposição do teórico para o prático. É nesta etapa também que professor e estudante superam suas concepções e conceitos anteriores sobre determinado conhecimento, passando de um estágio de menor compreensão científica para um estágio mais amplo. Nasce um novo olhar acerca das questões relacionadas ao seu cotidiano e à realidade como um todo, entretanto, o processo educativo ainda não está finalizado, sendo necessário que a aprendizagem se traduza em ações, ou seja: é quando o estudante faz uso do conhecimento apreendido. A partir do momento em que o educando alcança o que Saviani (2020) chamou de “nível do concreto pensado”, isto é, quando ele atinge um novo processo mental, é capaz de compreender a realidade de maneira crítica, sem naturalizar os fatos. Seu compromisso com a transformação social começa a se materializar através de ações práticas conscientes.

É importante discutir nesse encontro quais as intenções e disposições que estudantes tem com relação ao que foi aprendido e compreendido nos encontros anteriores. Esse encontro é visto como o momento em que professor e aluno “[...]definirão as estratégias de como podem usar de modo mais significativo os conceitos novos no contexto de operações sociais práticas, não dirigidas para o imediato reconhecimento teórico dos traços essenciais do conceito, mas de seu novo uso.”(GASPARIN, 2020, p.200).

Essa etapa é dividida em dois momentos: *nova atitude prática e proposta de ação*. Na nova atitude prática, sugerimos que seja questionado a turma a respeito da possibilidade de, dado o conhecimento adquirido, quais novas questões problematizadoras poderiam ser elaboradas e em quais dimensões elas se encaixariam. Na proposta de ação sugerimos que os estudantes pesquisassem, com o uso de seus smartphones, sugestões de ações para melhorar a compreensão deles a respeito do que foi exposto na nova atitude prática. O quadro abaixo apresenta algumas atitudes práticas e propostas de ações que podem surgir na discussão da prática social final.

Tabela 13 - Prática Social Final

| Nova atitude prática | Proposta de ação |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Apropriação do conceito científico de luz e sua importância como um elemento sociocultural imprescindível para a vida na Terra.• Compreensão da Natureza da luz e suas propriedades.• Discutir com propriedade a importância da luz nas dimensões apresentadas a partir de novas questões problematizadoras.• Conhecer a importância dos fenômenos ópticos nas dimensões Conceitual/científica, Social, Estética, Histórico, Social e Cultural. | <ul style="list-style-type: none">• Valorizar a luz como elemento crucial para manutenção da vida dos seres da Terra.• Fazer leituras sobre novas tecnologias que utilizam os fenômenos ópticos.• Buscar filmes, documentários que mostram a importância dos fenômenos ópticos na vida da Terra.• Buscar nas dimensões social, histórico e cultural, problemas em que o conhecimento a respeito da óptica possa contribuir na solução de outras questões detectadas. |



Considerações finais

Considerações finais

É um erro e uma ingenuidade esperar mudanças imediatas e facilmente visíveis da visão de mundo dos alunos a partir de cada tópico dos conteúdos escolares. (DUARTE, 2021, p.32)

Caro Professor(a)

A epígrafe que inicia esse capítulo reitera que o processo de mudança de visão de mundo do estudante é um processo longo, árduo, tortuoso e cheio de contradições. Para isso, segundo Galvão et al. (2021), o ensino dos conceitos precisa acontecer em espiral ascendente, de modo que ele apareça várias vezes, cada vez mais rico de determinações. Isso significa que a discussão envolvendo a luz não podem ser abordadas apenas no segundo ano do ensino médio. Sugerimos que essa aprendizagem siga de forma progressiva, em que esses conceitos sejam retomados, trabalhados e rediscutidos nos diversos outros conteúdos de Física, seja por meio de conexões ou contextualizações.

Ainda sobre as questões envolvendo a dificuldade de mudanças imediatas e facilmente visíveis, trazemos alguns apontamentos no que tange a integração pedagógica de TDIC ao currículo de Física. Ao longo da aplicação da sequência didática, é possível se deparar com uma enorme dificuldade dos estudantes em manipular as tecnologias para fins estritamente pedagógicos. Essas observações evidenciam aquilo que segundo Neto (2016) é visto como a utilização das TDIC na vida pessoal ter lógica diferente do uso escolar, visto que "(...) são ambientes em que os objetivos e níveis de exigência de uso são distintos em relação aos conhecimentos técnico/tecnológicos.(NETO, 2016, p.187)". Talvez o estudante possa apresentar dificuldades no manuseio da tecnologias digitais, fique atento a isso.

Reiteramos que uso das TDIC como instrumento de mediatização é essencial e obrigatório para a aplicação da sequência didática, uma vez que para sua integração pedagógica, preocupou-se com o todo o processo, onde o uso de simuladores(como usar) por meio de tablets(o que usar) foi fundamental para explorar a compreensão dos fenômenos relacionados a luz (por que usar).

Para a etapa de instrumentalização, algumas considerações devem ser feitas quando ao processo de mediação pedagógica. A primeira delas diz respeito as características do professor mediador. Ao longo do desenvolvimento dessa etapa, sugerimos que o professor busque sempre voltar a aprendizagem para o aluno, colocando-o como centro do processo, assim como desenvolver ações conjuntas com os estudantes em direção à aprendizagem e assumir uma postura de corresponsabilidade e parceria com os alunos. Nesse processo, tente abrir momentos de disponibilidade para o diálogo, mas principalmente busque assumir o papel de "(...) provocador, contraditor, facilitador, orientador. Tornando-se também unificador do conhecimento cotidiano e científico de seus alunos, assumindo sua responsabilidade social na construção/reconstrução do conhecimento científico das novas gerações, em função da transformação da realidade." (GASPARIN, 2020, p.156).

A etapa de catarse é vista nessa sequência didática como o momento de transformação profunda e abrangente do estudante e do professor. É um processo poderoso de crescimento e evolução pessoal, no qual as percepções e perspectivas são ampliadas, sendo vista como uma experiência que leva a uma profunda reflexão sobre si mesmo, sobre a sociedade e sobre o mundo, buscando uma mudança de valores, crenças e atitudes. É importante destacar que esse processo de transformação não acontece de forma instantânea.

Considerações finais

Sugerimos que o professor busque avaliar quais foram os saltos qualitativos que foram identificados nos estudantes, "(...) numa visão de totalidade integradora, daquilo que antes aparecia como um conjunto de partes dispersas."(GASPARIN, 2020, p.179). Essa visão de totalidade integradora é definida por alguns autores (SAVIANI, 2021; SAVIANI; DUARTE, 2021; GALVÃO et al., 2021) como a transformação do conhecimento em **Segunda Natureza**.

Da mesma maneira que sabemos ler e escrever, onde passamos a considerar esses atos como naturais. Isso significa que o aprendizado da Física, no sentido catártico, é compreender e reconhecer os fenômenos da natureza como algo profundo e sistemático, podendo levar a uma mudança na visão de mundo, provocando questionamentos sobre a natureza da realidade, nossa posição no universo e a conexão existente entre os fenômenos físicos. É na catarse que o estudante começa a esboçar mudanças intelectuais e qualitativas sobre os conteúdos ensinados, passando de um estágio de menor compreensão científica a uma fase de maior clareza e compreensão dessa mesma concepção dentro da totalidade. Por exemplo, na aula 3, o objetivo específico a ser discutido foi *compreender que a luz e os fenômenos relacionados a propagação dela são elementos que permitem que várias espécies possam enxergar*. É importante verificar no processo de catarse se existe uma tentativa do estudante em adquirir uma consciência de que a maneira como compreendemos nossa realidade é fruto da forma como conseguimos enxergá-la. Deixamos aqui um questionamento mais filosófico a respeito, que pode até ser discutido com os estudantes, posteriormente:

Qual seria as formas de interpretação de realidade que poderíamos ter se enxergássemos o mundo a partir de uma faixa maior ou menor do espectro eletromagnético?

Por fim, na catarse consideramos que há um novo posicionamento perante a prática social do conteúdo que foi adquirido pelo estudante. Entretanto, esse processo de compreensão do conteúdo ainda não se concretizou como prática. Essa ação concreta deve ser discutida na prática social final que, no que compete à física, implica em assumir que os alunos caminharam de uma concepção sincrética para uma sintética, ou seja de uma compreensão superficial, fragmentada ou simplista, para uma mais completa, integrada e abrangente.

Os estudantes deverão ser capazes de perceber, através dos conhecimentos básicos de física, por exemplo, que as cores, a interação dos objetos, a dinâmica e a percepção de que há muito mais do que podemos ver ou sentir diretamente não têm explicações mágicas nem folclóricas. As forças, que são o resultado da interação entre objetos explica a dinâmica de movimento deles, assim como as **interações da luz** com as partículas da matéria explicam as **cores** e as **formas**.

Por isso essa últimas etapas são fundamentais na aplicação dessa sequência didática a luz da pedagogia histórico-crítica. Para que ela siga fundamenta à luz da pedagogia histórico-crítica ela precisa ter clareza e proporcionar um ensino de física que ajude na construção de uma concepção de mundo materialista, preocupado com a humanização e a busca pela verdade.

É preciso tratar a ciência como explicação de que muitos do conhecimento que já produzimos e que resolveriam problemas de muitas pessoas não são acessados por todos. Da mesma maneira que tragédias, como o rompimento da barragem de Brumadinho por exemplo, não são decorrência de causas puramente naturais ou de questões puramente técnicas de engenharia. Existia uma lógica econômica por trás, em que o lucro foi colocado em primeiro lugar na escala de prioridade. O ensino de física crítico precisa ter essa visão, em que analisa os efeitos na sua totalidade.

Considerações finais

Para que possamos ensinar física a partir de um visão de totalidade, é preciso, segundo Duarte (2021), desconstruir a visão de ciência como puramente instrumental. Esse pensamento utilitarista não tem influência na forma como as pessoas encaram a realidade, pois não leva o indivíduo a refletir sobre a essência do mundo, a natureza das interações humanas e sociais, e o modo como a sociedade se relaciona com o meio ambiente.

Essa reflexão sobre a essência do mundo, por vezes é pouco ou quase nada abordado no ensino de física. Quando pouco se discute sobre isso, o senso comum tende a universalizar a ideia de que tudo que acontece no universo tem uma finalidade. Essa universalização faz parecer que tudo tem um propósito, mas a natureza não funciona dessa forma. Explicar a natureza com uma perspectiva que atende a um propósito, é adotar uma visão de mundo que atribui características ou comportamentos humanos a seres ou objetos que não são humanos, ou seja, é atribuir à natureza como um todo, características que são exclusivas das ações humanas.

Sendo assim, na aplicação desse sequência didática, o professor precisa ter a compreensão de que ensinar física, é fundamental para a humanização do ser humano, pois fornece a compreensão da realidade e do funcionamento da natureza. Não podemos esquecer que o conhecimento científico também impulsiona avanços tecnológicos e soluções para problemas complexos da sociedade, moldando uma visão de mundo que impacta nas relações humanas, devendo incentivar debates éticos sobre nossa responsabilidade ambiental e social.



Referências

Referências

BARATTO, M. B.; ALBERTI, T. F.; MEYER, K. J. K. Novas tecnologias, novas perspectivas: O uso dos jogos online e do site rede social facebook como recursos em ambientes escolares. **Educação, aprendizagem e tecnologias: relações pedagógicas e interdisciplinares**, Pimenta Cultural, p. 113, 2020.

BENIGNO, B. F.; SILVA, C. X. da. **Física aula por aula: termologia, óptica, ondulatória**. [S.l.]: FTD, 2018.

DUARTE, N. **Os conteúdos escolares e a ressurreição dos mortos: contribuição à teoria histórico-crítica do currículo**. [S.l.]: Autores Associados, 2021.

FERREIRA, M.; FILHO, O. L. S.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. P. **Unidade de ensino potencialmente significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones**. Revista Brasileira de Ensino de Física, scielo, v. 42, 2020.

FIOLHAIS, C. **Física Divertida**. [S.l.]: Universidade de Brasília, 2000.

FISICAST. **#35 - Óptica - Introdução**. 2020. Spotify. (Podcast Audio). Disponível em: <https://podcasters.spotify.com/pod/show/fisicast/episodes/035---optica-Introduo-ef5r3b5>. GALVÃO, A. C.;

JÚNIOR, C. d. L. S.; COSTA, L. Q.; LAVOURA, T. N. **Pedagogia histórico-crítica: 40 anos de luta por escola e democracia**–Volume 2. [S.l.]: Autores Associados, 2021. GARCIA, C. d. S. et al. Jogos, modelos, encenação e softwares: recursos para o ensino inovador de astronomia. 2019.

GASPARIN, J. L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. [S.l.]: Autores Associados, 2020.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. [S.l.]: Plageder, 2009.

GRAMOWSKI, V. B.; DELIZOICOV, N. C.; MAESTRELLI, S. R. P. **O pnd e os guias dos livros didáticos de ciências (1999-2014): uma análise possível**. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), SciELO Brasil, v. 19, 2017.

HEWITT, P. G. **Fundamentos de física conceitual**. [S.l.]: Bookman, 2009.

JACINTO, R. C.; STUMM, R. L. **Manipulador: uma relação entre espaço, luz e objeto**. Urdimento-Revista De Estudos Em Artes Cênicas, v. 1, n. 37, p. 211–227, 2020.

MOREIRA, M. A. **Uma análise crítica do ensino de física**. Estudos avançados, SciELO Brasil, v. 32, n. 94, p. 73–80, 2018.

MOREIRA, M. A. **Desafios no ensino da física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 43, 2021. MORI, R. C.;

Referências

NETO, A. S. **Do aprender ao ensinar com as tecnologias digitais: discussões atuais aos professores**. [S.l.]: Pimenta Cultural, 2016.

NETO, A. S. **Ensino médio em disputa: Tensões engendradas em torno do currículo**. Revista e-Curriculum, v. 17, n. 3, p. 1263–1287, 2019.

NETO, A. S. **Escola, currículo e tecnologias: desafios da integração pedagógica**. [S.l.]: Pimenta Cultural, 2020.

NETO, A. S.; MENDES, G. M. L. **A inserção das tecnologias digitais na escola: Fluência digital e segurança docente do professor em discussão. Educação, aprendizagem e tecnologias: relações pedagógicas e interdisciplinares**, Pimenta Cultural, p. 11, 2020.

NETO, J. M.; FRACALANZA, H. **O livro didático de ciências: problemas e soluções**. Ciência & Educação (Bauru), SciELO Brasil, v. 9, n. 2, p. 147–157, 2003.

NOGUEIRA, B. M.; BÓ, A.; ESTIVALET, A.; COSTA, D. **Fatores de desinteresse e a experimentação no ensino de ciências da natureza**. XV Encontro sobre Investigação na Escola, Porto Alegre, 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: fluidos, oscilações e ondas, calor**. [S.l.]: Editora Blucher, 2014. v. 2.

PEREIRA, S. M. G. d. S.; PEDROSA, E. M. P. **Proposta à luz da pedagogia histórico-crítica: da prática social inicial à prática social final**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, 2020.

SAVIANI, D. **Desafios atuais da pedagogia histórico-crítica**. Dermeval Saviani e a educação brasileira: o simpósio de Marília. São Paulo: Cortez, p. 243–286, 1994.

SAVIANI, D. **Escola e democracia**. [S.l.]: Autores associados, 2018.

SAVIANI, D. **Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações**. [S.l.]: Autores associados, 2021.

SAVIANI, D.; DUARTE, N. **Conhecimento escolar e luta de classes: a pedagogia histórico-crítica contra a barbárie**. [S.l.]: Autores Associados, 2021.

SCARINCI, A. L.; DIAS, V. S.; CANO, M. R. d. O. **Física Coleção: A reflexão e a prática no Ensino Médio**. [S.l.]: Editora Blucher, 2018.