

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDRESSA WILLE

**ENSINO DE ÓPTICA PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL:
EXPLORANDO O EXPERIMENTO DE YOUNG ATRAVÉS DO TATO**

CURITIBA

2022

ANDRESSA WILLE

**ENSINO DE ÓPTICA PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL:
EXPLORANDO O EXPERIMENTO DE YOUNG ATRAVÉS DO TATO**

**Teaching optics to visually impaired students: exploring Young's
experiment by tactile means**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção
do título de Licenciado em Física do Curso
de Licenciatura em Física da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dra. Marcia Muller

Coorientador: Prof. Dra. Rita Zanlorensi
Visneck Costa

CURITIBA

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

ANDRESSA WILLE

**ENSINO DE ÓPTICA PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL:
EXPLORANDO O EXPERIMENTO DE YOUNG ATRAVÉS DO TATO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção
do título de Licenciado em Física do Curso
de Licenciatura em Física da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná.

Data de aprovação: 27/06/2022

Marcia Muller

Doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (USP) (1994)
Mestrado em Física pela Universidade Federal Fluminense (UFF) (1989)
Graduação em Física pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) (1985)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

José Luís Fabris

Doutorado em Física pela Universidade de São Paulo (USP) (1994)
Mestrado em Física pela Universidade Federal Fluminense (UFF) (1989)
Graduação em Física pela Universidade Federal do Paraná (UFPR) (1986)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

João Amadeus Pereira Alves

Doutorado em Física pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) (2010)
Mestrado em Física pela Universidade Estadual Paulista (UNESP) (2005)
Graduação em Física pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) (1998)
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2022

Para as coisas e pessoas que me inspiram,
todos os dias, a ser melhor.

AGRADECIMENTOS

Desde que eu soube que nada me faria mais feliz do que cursar Física, a decisão me pareceu muito natural e certa, mas entre traçar meu caminho até as estrelas e efetivamente começar a trilhá-lo, houve um enorme abismo. Aliás, os responsáveis por eu ter permanecido firme no meu objetivo foram os meus colegas do terceirão, e por isso meu agradecimento inicial vai para eles. A cada sábado de grupo de estudos, a cada realização de provas e listas de Física, meus colegas contaram comigo para esclarecer conteúdos e tirar dúvidas, incentivando-me a explorar cada vez mais meu gosto pela ciência. Eles comemoraram cada vitória minha naquele ano como se fosse deles também - e foi, porque eu nunca teria conseguido sem ajuda e apoio. Acho que incentivar o sonho de alguém, mesmo sem entendê-lo, é uma das formas mais genuínas de demonstrar amor, e eu sou muito grata por isso. A verdade é que minha carreira acadêmica e este trabalho não teriam sido possíveis sem o apoio e a influência de muitas pessoas.

Agradeço imensamente aos meus pais, Emilio e Roseli, por toda a dedicação, sacrifícios e cuidados ao longo desses anos. Do meu pai eu herdei a paixão pelos números. Da minha mãe, a paixão pelas palavras. Unir essas duas coisas em cada conquista é meu maior objetivo e um lembrete constante do amor que eu sinto pelos meus pais.

Agradeço a minha irmã Amanda, minha maior companheira desde a infância. Nossa conexão é incrível e eu nunca vou poder expressar em palavras o quanto isso é importante para mim.

Dedico esse trabalho também a todos os amigos que passaram pela minha vida. Na universidade, tive a enorme sorte de encontrar pessoas que fizeram cada dia de estudo, até mesmo no período remoto, cheio de risadas e brincadeiras. Meu agradecimento especial vai para o André, a Dani, a Aretha e o Henrique. Entretanto, todos os colegas que dividiram pequenos e precisos momentos comigo também estarão sempre nas minhas lembranças.

Por falar em amigos, eu não poderia deixar de agradecer também ao Grupo de Extragaláctica, do qual fui parte durante a iniciação científica. Obrigada por tudo: pelo acolhimento, inspiração, apoio, dicas de Python (fiz algumas figuras deste trabalho com a linguagem!) e conversas sobre astronomia.

Agradeço às instituições de ensino pelas quais passei ao longo dos anos, em especial à UTFPR, que é meu segundo lar.

Também sou muito grata pelas minhas orientadoras Prof Dra Marcia Muller e Prof Dra Rita Zanlorensi Visneck Costa. Obrigada por terem aceitado me conduzir em mais este desafio. Todas as recomendações e correções foram essenciais. Eu admiro muito vocês e todos os outros professores que contribuíram para a minha formação. Muito obrigada!

Agradeço por fim a todos os cientistas e divulgadores de ciência que me inspiraram e me fizeram enxergar a beleza do universo. Eu recorro às obras deles quando ninguém mais entende o quão importante a ciência é para mim.

Basta que você pense em todas as almas nobres e grandiosas que já viveram e trabalharam neste mundo - disse a sonhadora Anne. - Não vale a pena vir depois delas e herdar suas conquistas e ensinamentos? Não vale a pena pensar que podemos partilhar de suas inspirações? E, então, pense em todas as almas grandiosas que ainda virão no futuro... não é válido trabalhar um pouquinho, preparar-lhes a estrada para elas trilharem e facilitar-lhes um pouco as coisas, nem que seja apenas um passo em suas trajetórias? (MONTGOMERY, 2020, p. 219)

RESUMO

O ensino inclusivo é amparado por leis que garantem o direito fundamental à educação das pessoas com deficiência. Apesar disso, a inclusão de alunos cegos nas aulas de Física ainda é um desafio. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma sequência de ensino sobre óptica ondulatória com a utilização de materiais táteis, considerando a teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky e o ciclo de aprendizagem de Kolb. Foi realizada uma revisão bibliográfica de trabalhos dos últimos 15 anos sobre ensino de Física e materiais didáticos adaptados para alunos cegos, considerando teses e dissertações, artigos da Revista Brasileira de Ensino de Física e da revista Física na Escola, e trabalhos apresentados no Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. Tais produções passaram por uma análise categorial para investigar as lacunas e demandas nesta área, o que motivou a construção de artefatos táteis para o ensino do experimento de Young e conceitos de óptica ondulatória associados a ele, além da proposta de uma sequência didática baseada no uso destes materiais. A análise dos trabalhos selecionados para a revisão bibliográfica indicou que ainda existem poucas propostas para o ensino de óptica para estudantes com deficiência visual e um número muito pequeno de sequências didáticas com estratégias de ensino inovadoras. Portanto, o projeto aqui apresentado pode proporcionar aos alunos cegos uma maior autonomia e compreensão de conceitos associados a representações visuais. Além disso, pode gerar mais segurança para professores que lecionam em turmas inclusivas.

Palavras-chave: Óptica; Deficiência visual; Experimento de Young; ZDP; Ciclo de aprendizagem de Kolb.

ABSTRACT

Inclusive education is supported by laws that guarantee the fundamental right to education for people with disabilities. Despite this, the inclusion of blind students in physics classes is still a challenge. The goal of this work is to develop a teaching sequence about wave optics with the use of tactile materials, considering Vygotsky's Zone of Proximal Development (ZDP) theory and Kolb's learning cycle. A literature review of works from the last 15 years on physics teaching and didactic materials adapted for blind students was made, considering theses and dissertations, articles from the journals *Revista Brasileira de Ensino de Física* and *Física na Escola*, and works presented at the Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física. These productions were analyzed by categories to investigate the gaps and demands in this area, which motivated the construction of tactile artifacts for teaching Young's experiment and wave optics concepts associated with it, as well as the proposal of a didactic sequence based on the use of these materials. The analysis of the works selected for the literature review indicated that there are still few proposals for teaching optics to visually impaired students and a very small number of didactic sequences with innovative teaching strategies. Therefore, the project presented here can provide visually impaired students with greater autonomy and understanding of concepts associated with visual representations. In addition, it can generate more confidence for teachers who work in inclusive classes.

Keywords: Optics; Visual impairment; Young's experiment; ZDP; Kolb's learning cycle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de aprendizagem experiencial.	23
Figura 2 – Espiral da aprendizagem experiencial.	24
Figura 3 – Interferência de ondas na água.	29
Figura 4 – Interferência de porções de luz colorida.	29
Figura 5 – Séries de franjas de luz colorida.	29
Figura 6 – Onda eletromagnética.	31
Figura 7 – Espectro eletromagnético.	31
Figura 8 – Elementos da onda.	32
Figura 9 – Frentes de onda.	32
Figura 10 – Princípio de Huygens.	33
Figura 11 – Ondas em fase.	34
Figura 12 – Ondas parcialmente fora de fase.	34
Figura 13 – Ondas completamente fora de fase.	34
Figura 14 – Interferência construtiva.	35
Figura 15 – Interferência destrutiva.	35
Figura 16 – Difração por uma fenda.	36
Figura 17 – Experimento da dupla fenda.	36
Figura 18 – Geometria do experimento da dupla fenda.	37
Figura 19 – Categorias e subcategorias propostas para a análise dos trabalhos.	42
Figura 20 – Print do site do EPEF, mostrando a sessão de comunicações orais sobre inclusão.	46
Figura 21 – Sequência de etapas para cada aula.	50
Figura 22 – Esquema da aula 1.	56
Figura 23 – Artefato 1 - Características das ondas.	57
Figura 24 – Artefato 2 - Onda eletromagnética.	57
Figura 25 – Artefato 3 - Espectro eletromagnético.	57
Figura 26 – Esquema da aula 2.	58
Figura 27 – Artefato 4 - Ondas em fase e fora de fase.	59
Figura 28 – Artefato 5 - Interferência construtiva e destrutiva.	59
Figura 29 – Esquema da aula 3.	60

Figura 30 – Artefato 6 - Fonte pontual e frente de onda (visto de cima e de lado).	60
Figura 31 – Esquema da aula 4.	61
Figura 32 – Artefato 7 - Experimento de Young, em interferência construtiva.	61
Figura 33 – Artefato 7 - Experimento de Young, em interferência destrutiva.	62
Figura 34 – Artefato 8 - Experimento de Young (frentes de onda)	62
Figura 35 – Relação entre o ciclo de Kolb e a ZDP.	64
Figura 36 – Alfabeto em Braille e letras com diacríticos.	74
Figura 37 – Alguns símbolos matemáticos.	74
Figura 38 – Alfabeto grego em Braille.	74

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Origem dos trabalhos selecionados sobre ensino de Física para alunos cegos.	45
Gráfico 2 – Anos de publicação dos trabalhos selecionados sobre ensino de Física para alunos cegos.	45
Gráfico 3 – Quantidade de trabalhos com o tema “óptica”.	46
Gráfico 4 – Quantidade de trabalhos sobre ensino de física para alunos cegos, por categoria de análise.	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Trabalhos do EPEF selecionados para a revisão de literatura.	43
Quadro 2 – Trabalhos da revista Física na Escola selecionados para a revisão de literatura.	44
Quadro 3 – Trabalhos da RBEF selecionados para a revisão de literatura.	44
Quadro 4 – Dissertações e teses selecionadas para a revisão de literatura.	44
Quadro 5 – Trabalhos que se encaixam em pelo menos uma categoria de análise.	47
Quadro 6 – Lista de artefatos táteis.	49
Quadro 7 – Aulas que compõem a sequência didática.	50
Quadro 8 – Lista de materiais para confecção dos artefatos táteis.	72
Quadro 9 – Aula 1	84
Quadro 10 – Aula 2	84
Quadro 11 – Aula 3	85
Quadro 12 – Aula 4	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Siglas

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
EPEF	Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física
EVA	Acetato Vinil de Etileno (Ethylene Vinyl Acetate)
IBC	Instituto Benjamin Constant
PUC-MG	Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais
RBEF	Revista Brasileira de Ensino de Física
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNESP	Universidade Estadual Paulista
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

LISTA DE SÍMBOLOS

Letras Latinas

Símbolo	Definição	Unidade
E	Campo elétrico	[N/C]
B	Campo magnético	[T]
k	Número de onda	[m ⁻¹]
t	Tempo	[s]
c	Velocidade da luz	[m/s]
f	Frequência	[s ⁻¹]
v	Velocidade	[m/s]
L	Distância entre os anteparos	[m]
r	Raio da onda	[m]
y	Posição das franjas claras	[m]

Letras Gregas

Símbolo	Definição	Unidade
ω	Frequência angular	[rad/s]
Φ_E	Fluxo elétrico	[V·m]
Φ_B	Fluxo magnético	[Wb]
λ	Comprimento de onda	[m]
μ_0	Permeabilidade magnética do vácuo	[T·m/A]
ϵ_0	Permissividade elétrica do vácuo	[C ² /Nm ²]
θ	Ângulo entre o eixo e o raio da onda	[rad]

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	17
1.2	Justificativa	18
1.3	Estrutura do trabalho	19
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Concepções do processo de ensino-aprendizagem	20
2.1.1	A abordagem histórico social de Vygotsky	20
2.1.2	A teoria da aprendizagem experiencial de Kolb	23
2.2	Aspectos didáticos	25
2.2.1	O material didático	25
2.2.2	A sequência didática	27
2.3	Óptica ondulatória	27
2.3.1	Thomas Young e a teoria ondulatória da luz	27
2.3.2	Conceitos da óptica ondulatória	30
2.3.3	A BNCC de Ciências da Natureza e o ensino de óptica	38
3	METODOLOGIA	41
3.1	Revisão bibliográfica	41
3.2	Proposta de produto educacional	48
3.2.1	Conjunto didático tátil de óptica ondulatória	48
3.2.2	Sequência didática	50
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
4.1	Trabalhos sobre ensino de Física para alunos cegos	52
4.2	Proposta de materiais inclusivos e sequência didática sobre o experimento de Young	55
4.3	O ciclo de Kolb e a ZDP na sequência didática proposta	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICE A LISTA DE MATERIAIS PARA CONFEÇÃO DO CONJUNTO DIDÁTICO TÁTIL DE ÓPTICA ONDULATÓRIA	72

APÊNDICE B	TUTORIAL PARA A CONSTRUÇÃO DO CONJUNTO DIDÁTICO TÁTIL DE ÓPTICA ONDULATÓRIA	74
APÊNDICE C	PLANOS DE AULA PARA A SEQUÊNCIA DIDÁTICA . . .	84

1 INTRODUÇÃO

A pessoa com deficiência é aquela que apresenta barreiras físicas, mentais, intelectuais ou sensoriais a longo prazo, que podem dificultar a participação efetiva e em igualdade de condições na sociedade, conforme o Art. 2º da Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (BRASIL, 2015).

Um dos marcos mais importantes no contexto da inclusão é a Declaração de Salamanca, elaborada na Conferência Mundial sobre Necessidades Educacionais Especiais, realizada na Espanha em 1994 (SCHINATO; STRIEDER, 2020). Este documento é decisivo ao reconhecer a urgência da oferta do ensino para crianças, jovens e adultos com necessidades educacionais especiais no sistema regular e de proporcionar apoio instrucional adicional para estes alunos (BRASIL, 1994). Além disso, segundo a Constituição e a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência, a educação é um direito de todos e deve garantir o desenvolvimento pleno - para a pessoa com deficiência, de acordo com suas características e necessidades de aprendizagem, a fim de alcançar o máximo de seus talentos e habilidades -, a cidadania e a qualificação para o trabalho (BRASIL, 2015; BRASIL, 2016).

No Brasil haviam, em 2010, 6.562.910 pessoas com deficiência visual severa, sendo 321.619 paranaenses e 43.424 curitibanos (IBGE, 2010). Uma das instituições de referência, em nível nacional, para questões referentes a deficiência visual é o Instituto Benjamin Constant (IBC), no Rio de Janeiro. O IBC foi fundado por Dom Pedro II em 1854 e desde então atende a população com consultas oftalmológicas, reabilitação, assessoria para escolas, produção de materiais em Braille, publicações científicas, cursos, entre outros (MEC, 2015). Apesar de todos estes esforços, ainda é longa a estrada rumo à inclusão efetiva de pessoas com cegueira e baixa visão no Brasil.

A fim de contribuir para as pesquisas na área de educação inclusiva e ensino de Física, o tema deste trabalho é o ensino de óptica, particularmente os assuntos de ondulatória, para alunos do ensino médio que tenham deficiência visual, como cegueira e baixa visão. A questão de pesquisa foi definida como: quais as possíveis contribuições de artefatos táteis de óptica ondulatória adaptados para a inclusão de alunos do ensino médio com deficiência visual?

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver um conjunto de atividades educacionais sobre óptica ondulatória com a utilização de artefatos táteis, visando a inclusão de alunos do ensino médio com deficiência visual.

Quanto aos objetivos específicos, são três:

- Repertoriar e categorizar materiais didáticos direcionados a alunos com deficiência visual e evidenciar demandas e lacunas relacionadas a esse tipo de atividade educacional;

- Delinear dimensões de proposta educacional envolvendo atividades educacionais com a utilização de artefatos táteis, considerando proposições da teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal vygotskiana e o Ciclo de Aprendizagem de Kolb;
- Elaborar artefatos táteis para compor uma sequência didática de óptica ondulatória para o ensino médio, bem como roteiros para sua confecção.

1.2 Justificativa

O interesse pelo tema “inclusão” surgiu com a realização de algumas disciplinas da graduação. Na época em que cursei a disciplina de Educação Inclusiva, em 2019, a proposta da disciplina era escrever um trabalho sobre algum tipo de intervenção para a educação especial. No meu grupo, escolhemos o tema “ensino de óptica geométrica para alunos cegos” e estabelecemos o objetivo de propor um recurso educacional tátil para o ensino de espelhos esféricos e lentes. Foi um trabalho muito interessante, com o qual aprendi muitas coisas novas e explorei diversos artigos que são referência neste campo de estudo.

Em uma disciplina posterior, Pesquisa em Ensino de Física, fiz um trabalho de revisão sobre ensino de física no contexto da educação inclusiva e, portanto, este trabalho também me trouxe referências relevantes. Depois, cursei as disciplinas de Libras A e B, o que foi muito inspirador e me fez refletir ainda mais sobre inclusão. Todas estas experiências me trouxeram a visão de que a inclusão é benéfica para estudantes com e sem deficiências, pois ao conviverem, todos podem ter contato com diferentes maneiras de aprender.

A escolha de trabalhar assuntos de óptica no contexto da educação inclusiva foi motivada pelo trabalho desenvolvido na disciplina de Educação Inclusiva e também pela admiração pelos trabalhos do Prof. Dr. Eder Pires de Camargo na área, que trazem muitas sugestões interessantes de como ensinar Física a alunos com deficiência visual. Por exemplo, Camargo *et al.* (2008) defendem que artefatos visuais-táteis de baixo custo podem ser utilizados tanto com alunos com deficiência quanto com alunos normovisuais, pois criarão “interface tátil com os alunos cegos e uma interface tátil-visual com os alunos videntes”, auxiliando na aprendizagem de todos. Os autores ainda enfatizam que, no caso do ensino de óptica, deve-se destacar que o estudo da luz visível representa apenas uma pequena parte de um contexto maior, o da ondulatória. Por isso, o entendimento deste conhecimento não depende somente de “significados indissociáveis de representações visuais” e sim da compreensão da interação dos campos elétrico e magnético - que não são visíveis diretamente (CAMARGO, 2012, p. 254).

Estudos como estes são importantes porque, apesar de a educação inclusiva ser amparada por leis que garantem o direito fundamental à educação das pessoas com deficiência, ela ainda não se dá de forma efetiva em muitos contextos. A inclusão de alunos cegos ou com baixa visão ainda é um desafio. Costa, Neves e Barone (2006) realizaram um levantamento sobre as complicações enfrentadas:

Dificuldade com conteúdos da Matemática e das Ciências Naturais; Falta de recursos didáticos adaptados; Dependência de ledores; Formação insuficiente do professor de Ciências e Matemática para o ensino dos deficientes visuais; Ausência de exploração da percepção tátil e da experimentação no ensino dos estudantes com deficiência visual; Necessidade de ampliação do atendimento educativo para o deficiente visual (apoio especializado, sala de recursos etc.); Formação insuficiente do professor especializado para o ensino de Ciências e Matemática para pessoas com deficiência visual; Despreparo do sistema de ensino para promover a inclusão escolar; Existência de preconceitos com relação às pessoas com necessidades especiais; Evasão escolar; Ausência de pesquisas sobre o ensino de Física para pessoas com deficiência visual; Predominância de estruturas verbovisuais no ensino dos deficientes visuais (COSTA; NEVES; BARONE, 2006, p.150)

Segundo os autores, esses fatores reduzem muito a promoção do entendimento sobre ciência na escola. Isto é preocupante, pois, segundo Silva e Tundisi (2018), a ciência é determinante para o desenvolvimento social, econômico e ambiental de um país. Mas para isso, é preciso que todos os níveis da sociedade estejam aptos a se apropriar dos conhecimentos resultantes do processo científico, o que enfatiza a importância de uma educação de qualidade. Um programa de desenvolvimento de ciência para o Brasil deve considerar que a superação de injustiças e desigualdades passa por um esforço de inclusão social. Por isso, o ensino inclusivo de Física não deve ser visto apenas como uma imposição de leis e normas, mas como uma forma de transformar a realidade, propiciando a todos a oportunidade de compreender a ciência.

Na verdade, “muitas das barreiras com que se confrontam no contexto escolar podem ser minoradas, ou mesmo ultrapassadas no processo de ensino/aprendizagem (BRASIL, 2008, p.5).” Para que isto se realize, é preciso repensar, entre outros aspectos, estratégias de ensino e materiais didáticos.

Conforme Camargo (2007), ao valorizarem-se todas as percepções, os alunos são colocados em situação de igualdade, e esse é certamente um dos objetivos não apenas da educação inclusiva, mas da educação de forma geral.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho se divide em cinco capítulos. Neste, são apresentadas as justificativas e os objetivos do trabalho. No capítulo de Fundamentação Teórica, mostram-se concepções de ensino-aprendizagem; aspectos didáticos; e conceitos físicos, panorama histórico da óptica ondulatória e como documentos curriculares a abordam. Logo após, na Metodologia, são esclarecidos os processos de desenvolvimento deste trabalho. No capítulo de Resultados e Discussões, além da revisão de literatura, são exibidos os materiais e a sequência didática propostos. Por fim, a seção de Considerações Finais recapitula pontos importantes do trabalho. Os Apêndices contêm a lista de materiais utilizados, roteiros de confecção do conjunto didático tátil de óptica ondulatória, o alfabeto em Braille e os planos de aula da sequência didática.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensino de Física ainda apresenta muitos desafios. Um deles está no contexto da educação inclusiva, que tem suas próprias demandas e obstáculos. Segundo a Lei de Diretrizes e Bases da Educação, as escolas devem garantir aos alunos com necessidades especiais “currículos, métodos, técnicas, recursos educativos e organização específica, para atender às suas necessidades” (BRASIL, 1996, p.19). Porém, para que isto ocorra de forma efetiva é essencial que os professores dominem conhecimentos e práticas que tornem sua prática docente mais inclusiva, já que, conforme Schinato e Strieder (2020),

A educação inclusiva pretende oferecer um ensino comum a todos, portanto, é fundamental que neste tipo de oferta educacional sejam realizadas adequações e a busca permanente pela melhoria na práxis pedagógica, tendo em vista o desenvolvimento de todos os educandos (SCHINATO; STRIEDER, 2020, p. 32).

Assim, é importante um planejamento cuidadoso das aulas, que devem ser embasadas em concepções de ensino e teorias de aprendizagem adequadas aos desafios presentes. Tal tarefa não é trivial, e exige do professor mais do que estudo contínuo e criatividade, mas uma mudança de paradigma (FERREIRA, 2014).

Nas seções deste capítulo são apresentados conceitos que serviram de base para este trabalho. Na seção 2.1, são apontadas as concepções do processo de ensino-aprendizagem segundo Vygotsky e Kolb. Depois, na seção 2.2 é discutida a importância dos materiais didáticos e da sequência didática no ensino inclusivo. Na última seção (2.3), encontram-se um pouco da história de Thomas Young, os conceitos físicos da óptica ondulatória e as recomendações da BNCC para o ensino destes conteúdos.

2.1 Concepções do processo de ensino-aprendizagem

2.1.1 A abordagem histórico social de Vygotsky

Ao longo da história, muitos educadores, psicólogos e pensadores trouxeram contribuições valiosas para a educação. Pode-se destacar o trabalho do russo Lev Semionovitch Vygotsky (1896-1934) com a Psicologia Histórico-Social. Infelizmente Vygotsky teve uma morte precoce aos 38 anos, mas ao longo dos dez anos em que estudou e pesquisou sobre Psicologia, escreveu mais de 180 trabalhos sobre a área. Apesar disso, a obra dele foi praticamente banida até o fim do regime comunista na antiga União Soviética e demorou a ser publicada no Ocidente, sendo restringida a apenas alguns meios acadêmicos por muito tempo (FINO, 2001).

Vygotsky discute a importância de se compreender processos psicológicos integralmente, pois eles têm ligação direta com o fato do homem ser um ser social e histórico, que age de acordo com as demandas do meio onde se insere (PILETTI; ROSSATO, 2012).

Sendo assim, fica claro que a cultura influencia comportamentos, pensamentos e a aprendizagem humana. Na visão de Vygotsky, existem três formas de mediação fundamentais para que possamos compreender o mundo: o instrumento, o signo e o “outro”. Sobre o instrumento e o signo, há uma série de semelhanças e diferenças. Ambos são meios auxiliares para interagir com o mundo. O signo age de maneira similar ao instrumento, mas no plano psicológico. Porém, a diferença fundamental é que a orientação do instrumento é externa, leva a mudanças para controlar e dominar a natureza, enquanto o signo tem orientação interna, dirigindo-se para o controle e organização do próprio indivíduo (VYGOTSKY, 1991). Com base nestas definições, pode-se dar exemplos mais concretos. Um martelo, por exemplo, é um instrumento, pois permite agir sobre a natureza e modificá-la. Do mesmo modo, mas agora no contexto educacional, cadernos, livros didáticos e qualquer recurso educacional são instrumentos. Já a escrita, desenhos e a linguagem são exemplos de signos.

A interação com outras pessoas também é essencial para a aprendizagem. Segundo Vygotsky (1991, p.43), “todas as funções no desenvolvimento da criança aparecem duas vezes: primeiro, no nível social, e, depois, no nível individual; primeiro, entre pessoas (interpsicológica), e, depois, no interior da criança (intrapicológica)”. Portanto, a mediação social, juntamente com a mediação por instrumentos e pelos signos, são caminhos para o que Vygotsky chama de internalização: um processo de diversas transformações, e que representa uma atividade externa que é reconstruída e reiniciada internamente. Internalizar atividades que são sociais e historicamente construídas é o que diferencia a psicologia humana da animal (VYGOTSKY, 1991).

Embora o conceito de internalização se pareça com a noção intuitiva que se tem de aprendizagem ou até mesmo desenvolvimento, Vygotsky estabelece diferenças entre estes processos. O autor defende que desenvolvimento não é apenas o conjunto de mudanças isoladas, pois é um processo dialético, periódico, desigual no desenvolvimento de funções diferentes, adaptativo e que depende de fatores internos e externos (VYGOTSKY, 1991). A partir disto, Piletti e Rossato (2012) distinguem bem desenvolvimento e aprendizagem, e fica claro que o primeiro é mais amplo que o segundo, pois:

No caminho de desenvolvimento, têm grande peso os processos de aprendizagem, que vão sendo constituídos em todos os círculos culturais em que o indivíduo está inserido. O aprendizado adequadamente organizado resulta em desenvolvimento mental, colocando em movimento diversos processos de desenvolvimento (PILETTI; ROSSATO, 2012, p. 95).

É a partir da concepção de desenvolvimento que Vygotsky elabora um dos seus conceitos mais conhecidos e talvez um dos mais inovadores da psicologia da educação: a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Enquanto outros autores focaram na determinação de níveis de progresso para cada faixa etária das crianças, por exemplo, Vygotsky se deu conta de que, para estabelecer relações entre o processo de desenvolvimento e a capacidade de aprendizagem, não se pode limitar-se à demarcação de níveis. É preciso comparar ao menos dois: o nível

de desenvolvimento real e o nível de desenvolvimento potencial. O primeiro diz respeito ao que uma criança pode fazer sozinha, ou seja, as funções mentais já bem estabelecidas. O segundo, é o que a criança poderá fazer no futuro, quando atingir as habilidades necessárias para isso. Entre estes dois níveis está a ZDP. Nas palavras de Vygotsky (1991):

Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes (VYGOTSKY, 1991, p. 61).

Como a ZDP permite conceber as habilidades da criança que ainda estão em processo de maturação e, portanto, perceber o futuro iminente, um aprendizado eficiente é aquele que se adianta ao desenvolvimento (VYGOTSKY, 1991) para que seja possível abrir essa “janela” que é a ZDP. Novamente, é possível perceber que aprendizagem e desenvolvimento não coincidem, pois o desenvolvimento tem um ritmo mais lento e depende do processo de aprendizagem.

Refletindo sobre todas estas concepções de Vygotsky, é plausível considerar que a função do professor é proporcionar a um aluno recursos para que ele possa atingir níveis de conhecimento mais elevados do que ele seria capaz sem ajuda (FINO, 2001), pois quando o professor oferece apoio e orientação aos estudantes, eles passam a ter condições de solucionar problemas mais difíceis (PILETTI; ROSSATO, 2012). Segundo Fino (2001), o trabalho do professor é comparável aos andaimes que sustentam externamente uma obra que está sendo construída, até que a construção seja capaz de se sustentar sozinha e os andaimes possam ser retirados.

Na educação inclusiva, essa postura de suporte por parte do professor é ainda mais importante. Em uma de suas obras, Vygotsky discute a compensação social da cegueira e de outras deficiências. Segundo ele, o que determina o destino da personalidade de uma criança com deficiência não é a deficiência em si, mas as consequências sociais, pois o objetivo da vida do homem é o crescimento e o desenvolvimento, e estes são delimitados por aspectos sociais (VYGOTSKY, 1997). Assim, a compensação que uma criança cega desenvolve não é biológica, mas ocorre através de vivências que têm um objetivo final. Por exemplo, o autor cita a incorporação de experiências dos pares videntes, que é comunicada através da linguagem, e o tato mais apurado, que não é resultado de uma excitabilidade maior, mas do exercício contínuo de observação e compreensão das diferenças (VYGOTSKY, 1997).

Vygotsky defende que é preciso afastar a ideia de um ensino baseado no isolamento e na invalidez, pois “é verdade que a criança cega ou surda, pelo ângulo da pedagogia, pode ser equiparada a uma criança normal¹; mas ela atinge o mesmo que uma criança normal atinge de um modo diferente, por um caminho diferente, com meios diferentes” (VYGOTSKY, 1997, p. 50, tradução nossa).

¹ O termo “normal” para se referir à pessoas sem deficiência não era considerado preconceituoso na época em que Vygotsky escreveu suas obras. Hoje em dia, isto não é correto.

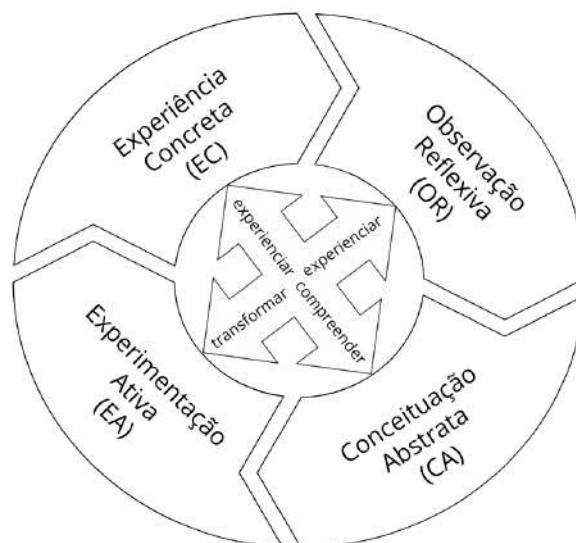
2.1.2 A teoria da aprendizagem experiencial de Kolb

Dentre os autores mais recentes no campo da educação, David Allen Kolb construiu uma teoria de aprendizagem bastante influente e relevante. Ele é professor emérito de Comportamento Organizacional em Weatherhead, nos Estados Unidos. Sua obra de maior importância é o livro “Experiential Learning”, publicado em 1984. A aprendizagem experiencial “ênfatisa a interdependência entre características internas do estudante e circunstâncias externas do ambiente, entre conhecimento de origem pessoal e social” (PIMENTEL, 2007, p. 160) e é fundamentada em trabalhos de diversos autores, como John Dewey, Kurt Lewin e Jean Piaget, que influenciaram o início da pesquisa de Kolb, e William James, Carl Rogers, Paulo Freire, Lev Vygotsky e Carl Jung, que tiveram uma influência posterior (KOLB, 2015). Segundo Kolb:

O modelo de aprendizagem da teoria da aprendizagem experiencial retrata dois modos dialeticamente relacionados de apreender a experiência - Experiência Concreta e Conceituação Abstrata - e dois modos dialeticamente relacionados de transformar a experiência - Observação Reflexiva e Experimentação Ativa (KOLB, 2015, p. 51, tradução nossa).

Um dos elementos mais conhecidos e disseminados da teoria da aprendizagem experiencial é o ciclo da aprendizagem experiencial, ou ciclo de Kolb. Conforme citado anteriormente, a teoria kolbiana trabalha com quatro modos de aprendizagem: Experiência Concreta, Observação Reflexiva, Conceituação Abstrata, e Experimentação Ativa. Segundo Kolb (2015), a aprendizagem surge da relação estabelecida entre esses quatro modos, e, portanto, pode ser caracterizada como um ciclo em que o aluno passa por cada uma destas etapas para experienciar (na fase de Experiência Concreta), refletir (na fase de Observação Reflexiva), pensar (na fase de Conceituação Abstrata) e agir (na fase de Experimentação Ativa). Uma representação do ciclo está ilustrada na Figura 1.

Figura 1 – Ciclo de aprendizagem experiencial.

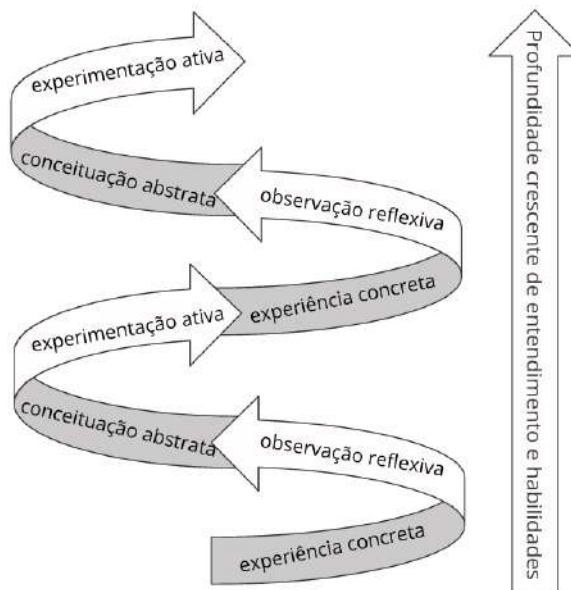


Fonte: Adaptado de Kolb (2015, p.51).

Conforme o tempo passa e novos conceitos e habilidades vão sendo aprendidos, o sujeito passa mais de uma vez pelo ciclo de Kolb e esse processo pode ser modelado como uma espiral de aprendizagem, conforme mostra a Figura 2.

A importância da teoria kolbiana está no fato de que “o ciclo de aprendizagem é um círculo ou espiral recursiva em oposição ao modelo tradicional e linear de transmissão de informação de aprendizagem utilizado na maior parte do ensino, onde a informação é transferida do professor para o aluno” e, além disso, “é um processo de intercâmbio incessante entre o mundo interno do estudante e o ambiente externo” (KOLB; KOLB, 2018, p. 8, tradução nossa).

Figura 2 – Espiral da aprendizagem experiencial.



Fonte: Adaptado de Kolb e Kolb (2018, p.9).

Outro aspecto importante na teoria da aprendizagem experiencial são os conceitos de diferenciação crescente e integração hierárquica. É através da relação dialética destes dois fatores que ocorre a progressão no desenvolvimento (KOLB, 2015). Conforme o autor, o avanço na aprendizagem e desenvolvimento ocorre através da distinção e da criação de categorias de experiência. A diferenciação crescente é marcada pela ampliação da complexidade e interdependência decrescente das partes, enquanto a integração hierárquica tem vários níveis, partindo de um nível mais baixo, onde se estabelecem as regras básicas que organizam as categorias de experiência, até chegar ao nível mais elevado de integração, onde existem interpretações alternativas das situações e as relações estabelecidas entre os conhecimentos são mais complexas. Pimentel (2007, p. 165) destaca que a finalidade da integração hierárquica é “organizar e controlar o processamento de subordinações e diferenciações dos conceitos, sentimentos, atos e observações”, daí a importância deste processo para a aprendizagem.

Kolb (2015) ainda destaca que a aprendizagem é um processo social, já que o desenvolvimento individual é delineado pela cultura. Assim como na teoria da aprendizagem experiencial existe a espiral que é caracterizada pelas iterações contínuas de experiência concreta, observa-

ção reflexiva, conceituação abstrata e experimentação ativa, a criação de conhecimento também é uma espiral com sucessivas relações entre “o conhecimento pessoal subjetivo e o conhecimento social objetivo”, sendo que o conhecimento construído socialmente é caracterizado por ferramentas da cultura (KOLB, 2015, p. 168). Estes elementos da teoria são inspirados pelas concepções de Vygotsky, um dos autores que teve influência na pesquisa de Kolb, conforme já comentado, e, portanto, uma aproximação entre ideias destes dois autores é concebível.

2.2 Aspectos didáticos

2.2.1 O material didático

Conforme já destacado, o instrumento é algo fundamental na teoria de Vygotsky. No ensino, são muito importantes para o aprendizado os “recursos pedagógicos específicos para a efetivação do processo de ensino e aprendizagem, [...] para que o aluno consiga enfrentar as dificuldades e acessar o currículo” (SCHINATO; STRIEDER, 2020, p. 25). Pode-se pensar neles como instrumentos que, conforme Vygotsky, têm orientação externa para a compreensão e transformação do mundo. A linguagem também é crucial para o aprendizado, pois as descrições e explicações do professor são exemplos de signos e são “meios auxiliares para solucionar um dado problema psicológico (lembrar, comparar coisas, relatar, escolher, etc.)” (VYGOTSKY, 1991, p. 40).

Em uma visão mais geral, Zabala (2014) considera que materiais curriculares são todos os instrumentos que podem auxiliar como referência ou como critério para tomada de decisões em todo o processo pedagógico: planejamento, processo de ensino-aprendizagem e avaliação. Desta definição fica claro que o que se conhece popularmente como “material didático” é uma classe dentro dos materiais curriculares: são aqueles que serão utilizados com os alunos (e pelos alunos) no processo de ensino-aprendizagem. Nos processos de planejamento e avaliação, o professor poderá utilizar documentos orientadores, guias didáticos, fichas, planilhas, entre outros, mas estes não serão materiais de ensino, então não podem ser considerados materiais didáticos.

Segundo Bandeira (2009), o material didático não é composto apenas de livros didáticos, mas também de outros produtos pedagógicos, “como jogos, ábacos, blocos lógicos e brinquedos educativos. O material dourado proposto pela educadora Maria Montessori (1870-1952) exemplifica uma das inúmeras possibilidades de criação de produtos pedagógicos” (BANDEIRA, 2009, p.14).

Mas como definir quais materiais podem ser utilizados em sala de aula? Isso depende da finalidade e dos objetivos do ensino; da proposta pedagógica, dos assuntos, duração e público-alvo do curso (BANDEIRA, 2009; ZABALA, 2014). É preciso, portanto, que o professor tenha clareza de todos estes aspectos antes de adotar - ou construir - um material didático.

No caso da educação inclusiva, é necessário ainda que o professor tenha conhecimento de outros aspectos, características específicas do aluno com deficiência. As orientações curriculares do Ministério da Educação para inclusão de alunos cegos e com baixa visão determinam que, em aulas inclusivas, o educador traga estratégias que contribuam para o reforço da autonomia, qualidade do desempenho, melhor domínio de competências e maior participação social do aluno cego (BRASIL, 2008). Não é apenas o material didático que irá contribuir para todos estes fatores, mas ele será um apoio e um guia fundamental neste processo.

Alguns exemplos de materiais didáticos adaptados para alunos com deficiência visual são: materiais táteis de representações geralmente visuais, como imagens e gráficos, e a transposição de textos didáticos para textos em Braille ou para áudios com descrição detalhada. Estes e outros devem levar em conta alguns pontos:

- A leitura, na modalidade visual, é realizada em “saltos” chamados movimentos sacádicos, que captam fragmentos de texto para depois constituir a unidade de percepção. Já a leitura tátil ocorre de forma contínua e sequencial, com um movimento regular e uniforme de varredura (BRASIL, 2008). Isso pode provocar diferenças no tempo de leitura de alunos cegos e alunos videntes.
- Sobre a escrita em Braille, especialmente ao resolver equações, é preciso se atentar para o fato de que um aluno cego não executa a tríade raciocínio/registro/observação que um aluno vidente faria, já que não consegue registrar e observar ao mesmo tempo. Isso pode trazer dificuldades nas atividades com cálculos (CAMARGO, 2012).
- Quanto à informação espacial, o aluno cego, por receber informações pelo tato e pela audição, vai demorar mais tempo para internalizar relações espaciais como proximidade, ordem, inclinação, entre outros (BRASIL, 2008). É preciso entender que o aluno cego terá um tempo diferente dos demais alunos para realizar atividades que necessitam noções espaciais.
- O tato distingue aspectos como textura, peso, temperatura, estabilidade, espessura, rigidez e irregularidades na forma e na dimensão de um objeto (BRASIL, 2008). Assim, é importante enfatizar essas características na construção ou escolha de materiais didáticos táteis.
- As medidas, algo tão importante na Física, podem ser divididas em três tipos: “as que utilizam medidas corporais (palmas, passos, etc.), as que utilizam medidas comparativas (mais perto que, maior que, etc.) e as de unidade padrão (como o metro, quilômetro, etc.)” (BRASIL, 2008, p.74). Enfatizar medidas corporais como ponto de partida ou referência, que serão mais concretas para o aluno cego, pode ser muito positivo.

2.2.2 A sequência didática

No processo educacional, uma coisa tão importante quanto os materiais didáticos adotados é a sequência didática organizada pelo professor.

Segundo Zabala (2014), as atividades são unidades básicas do processo de ensino-aprendizagem e uma sequência didática é um conjunto de atividades ordenadas e estruturadas com o objetivo de realizar determinados objetivos educacionais. Cada uma das atividades que compõem a sequência didática tem uma função na construção de conhecimento. Esse conjunto tem começo e fim conhecidos tanto pelos professores quanto pelos estudantes.

Zabala (2014) ainda destaca que:

Em cada caso utilizamos uma forma de ensinar adequada às necessidades do aluno. Segundo as características de cada um dos meninos e meninas, estabelecemos um tipo de atividade que constitui um desafio alcançável, mas um verdadeiro desafio e, depois, lhes oferecemos a ajuda necessária para superá-lo (ZABALA, 2014, p.45).

O professor deve ter como norte os objetivos educacionais que pretende alcançar com os alunos e estar atento às necessidades características de cada estudante, não apenas os que têm deficiência visual, a fim de buscar a verdadeira inclusão.

O ciclo de aprendizagem experiencial de Kolb pode servir como base para planejar uma sequência didática, considerando atividades coerentes com cada uma das etapas do ciclo: Experiência Concreta, Observação Reflexiva, Conceituação Abstrata e Experimentação Ativa.

2.3 Óptica ondulatória

2.3.1 Thomas Young e a teoria ondulatória da luz

Fenômenos ópticos como sombras, reflexões, arco-íris e outros, são interpretados de diferentes maneiras desde o começo da civilização humana. As primeiras especulações sobre a visão e a luz aconteceram nas escolas de filosofia gregas e orientais (DARRIGOL, 2012). Com o passar dos séculos, muitos estudiosos estabeleceram teorias e melhoraram aspectos experimentais para explorar os fenômenos luminosos.

Em um contexto em que a luz era encarada como um fenômeno corpuscular há muitos anos, é atribuída a Thomas Young a confirmação de sua natureza ondulatória. Young nasceu em Milverton, Reino Unido, em 1773, e foi físico, médico, linguista e egiptólogo. Ele deu contribuições para a física, na teoria da elasticidade (módulo de Young) e na óptica, e para egiptologia, ajudando a decifrar a pedra de Roseta (NUSSENZVEIG, 2014).

Como médico, as primeiras pesquisas de Young foram sobre audição e visão e isso permitiu que ele refletisse sobre o som e a luz (DARRIGOL, 2012), sendo muito importantes como introdução para seu trabalho em óptica. A Teoria Sobre Luz e Cores, de 1802, foi um

artigo publicado em um dos jornais mais importantes da época, *Philosophical Transactions*, e trazia, entre outras proposições e hipóteses de Young, sua primeira formulação do princípio da interferência luminosa, que foi sendo alterada ao longo dos anos:

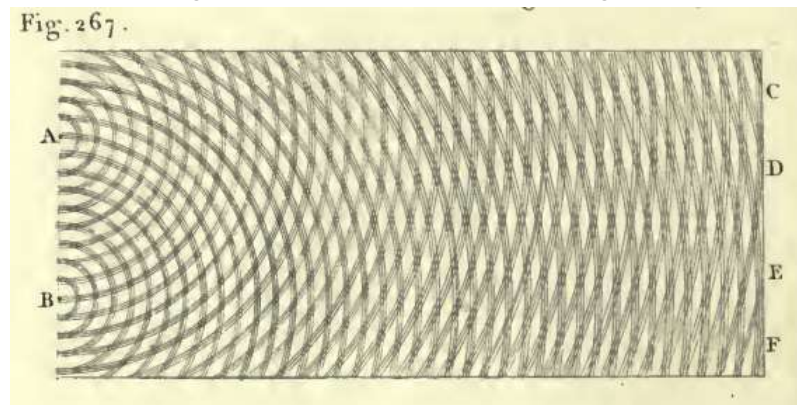
Proposição VIII: Quando duas Ondulações, a partir de diferentes origens, coincidem perfeitamente ou próximo disso em Direção, seu efeito conjunto é uma Combinação dos Movimentos pertencentes a cada uma (YOUNG, 1801, p. 34, tradução nossa).

Em uma das palestras que Thomas Young realizou na Royal Institution, o cientista discute sobre a natureza da luz e das cores, comparando a teoria corpuscular e as ideias ondulatórias de Huygens, sempre destacando fenômenos que não poderiam ser completamente explicados se a luz fosse composta de partículas (YOUNG, 1807). A partir disso, ele constrói o seguinte raciocínio:

Supondo que a luz de qualquer cor consista em ondulações de uma determinada largura, ou de uma dada frequência, segue-se que estas ondulações devem ser sujeitas aos efeitos que já examinamos no caso das ondas de água e dos pulsos de som. Foi demonstrado que duas séries iguais de ondas, provenientes de centros próximos uma da outra, podem ser observadas destruindo os efeitos uma da outra em certos pontos, e em outros pontos fazendo-os redobrar; e o batimento de dois sons foi explicado a partir de uma interferência semelhante. Devemos agora aplicar os mesmos princípios à união alternada e à extinção das cores. (Placa XX, Figura 267) Para que os efeitos de duas porções de luz possam ser assim combinados, é necessário que provenham da mesma origem, e que cheguem ao mesmo ponto por caminhos diferentes, em direções que não se desviem muito um do outro. Este desvio pode ser produzido em uma ou ambas as porções por difração, por reflexão, por refração, ou por qualquer destes efeitos combinados; mas o caso mais simples parece ser, quando um feixe de luz homogêneo incide sobre uma tela na qual existem dois buracos muito pequenos ou fendas, que podem ser considerados como centros de divergência, de onde a luz é difratada em todas as direções. Neste caso, quando os dois feixes recém-formados são recebidos numa superfície colocada de modo a interceptá-los, a sua luz é dividida por faixas escuras em porções quase iguais, mas tornando-se mais largas à medida que a superfície está mais afastada das aberturas, de modo a subtrair ângulos muito próximos das aberturas a todas as distâncias, e mais largos também na mesma proporção em que as aberturas estão mais próximas uma da outra. O meio das duas porções é sempre claro, e as faixas brilhantes de cada lado estão a tais distâncias, que a luz que lhes chega de uma das aberturas, deve ter passado por um espaço mais longo do que o que vem da outra, por um intervalo igual à largura de uma, duas, três, ou mais das supostas ondulações, enquanto que os espaços escuros intervenientes correspondem a uma diferença de meia suposta ondulação, de uma e meia, de duas e meia, ou mais (YOUNG, 1807, p.464, tradução nossa).

A figura 267 da Placa XX, citada no primeiro parágrafo a fim de estabelecer uma comparação entre a interferência de ondas mecânicas e a interferência luminosa, é um desenho de um padrão de interferência na água e se refere à uma palestra de Young sobre hidráulica (Figura 3).

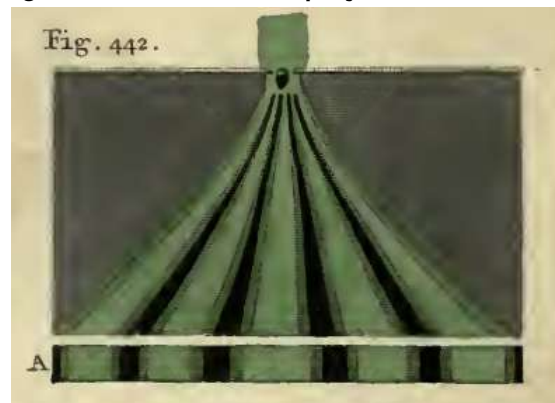
Figura 3 – Interferência de ondas na água.



Fonte: Young (1807, p.776).

Descrições e esquemas referentes à interferência de luz colorida também foram parte das palestras de Young (1807), como mostram as Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Interferência de porções de luz colorida.



Fonte: Young (1807, p.786).

Figura 5 – Séries de franjas de luz colorida.



Fonte: Retirado de Young (1807, p.786).

Estas contribuições de Young foram muito importantes para o desenvolvimento da teoria ondulatória da luz. Anos depois, os trabalhos de Maxwell unificaram o eletromagnetismo e a óptica, e a luz começou a ser encarada com uma perturbação eletromagnética que se propagava em forma de onda (HETCH, 2002), mudando mais uma vez o paradigma científico.

2.3.2 Conceitos da óptica ondulatória

Em 1873, Maxwell previu a existência das ondas eletromagnéticas e calculou a velocidade de propagação delas e, alguns anos depois, experimentos de Hertz confirmaram que a luz é uma onda eletromagnética (YOUNG; FREEDMAN, 2002).

A onda eletromagnética é gerada por uma carga oscilante que cria um campo elétrico \vec{E} variável no tempo, induzindo um campo magnético \vec{B} também dependente do tempo (HETCH, 2002). O módulo de tais campos é dado segundo as Equações 1 e 2 (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

$$E = E_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (1)$$

$$B = B_m \text{sen}(kx - \omega t) \quad (2)$$

E_m e B_m são as amplitudes dos campos, k é o número de onda e ω é a frequência angular.

O campo magnético varia com o seno e induz, conforme a lei de indução de Faraday (Equação 3), um campo elétrico perpendicular que também varia senoidalmente. Este campo induz, pela lei de indução de Maxwell (Equação 4), um campo magnético perpendicular, e assim os campos criam continuamente um ao outro, e a onda eletromagnética se propaga em uma direção perpendicular a eles (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{\partial \Phi_B}{\partial t} \quad (3)$$

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \Phi_E}{\partial t} \quad (4)$$

$d\vec{l}$ é um elemento diferencial de deslocamento sobre a curva C , μ_0 é a permeabilidade magnética do vácuo, ϵ_0 é a constante de permissividade elétrica do vácuo e Φ é o fluxo.

A Figura 6 mostra um esquema da onda eletromagnética.

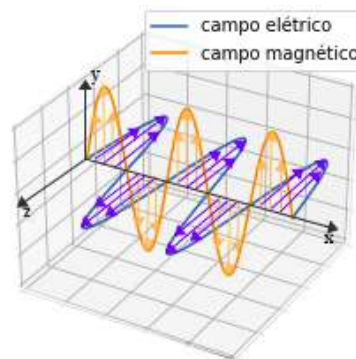
O sentido de propagação da onda ilustrada é $+x \hat{i}$.

Todas as ondas eletromagnéticas se propagam no vácuo com velocidade constante c , que pode ser calculada pela Equação 5:

$$c = \frac{E}{B} = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad (5)$$

A classificação das ondas eletromagnéticas, considerando frequência e comprimento de onda, forma o espectro eletromagnético. A luz visível é, na verdade, apenas uma parte dele. A frequência f é definida como sendo a taxa de repetição de uma vibração, ou seja, quantas vibrações são executadas por segundo. No caso de uma onda eletromagnética, sua frequência

Figura 6 – Onda eletromagnética.



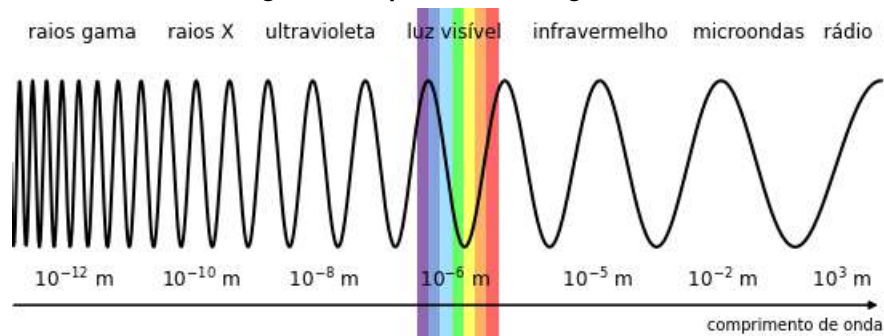
Fonte: Autoria própria (2022).

é a mesma da carga oscilante que gerou variação do campo elétrico (HEWITT, 2015), portanto é uma característica da fonte. Já o comprimento de onda λ pode ser definido como a distância entre dois pontos equivalentes da onda. Pela equação fundamental da ondulatória (Equação 6), sabe-se que frequência e comprimento de onda estão relacionados com a velocidade v de propagação da onda.

$$v = \lambda f \quad (6)$$

No espectro eletromagnético as ondas de menor frequência e maior comprimento de onda são as ondas de rádio. Depois, vêm as microondas, o infravermelho e a luz visível. Após, tem-se o ultravioleta, os raios X e os raios gama. Na Figura 7, são exibidas as radiações que compõem o espectro eletromagnético.

Figura 7 – Espectro eletromagnético.



Fonte: Autoria própria (2022).

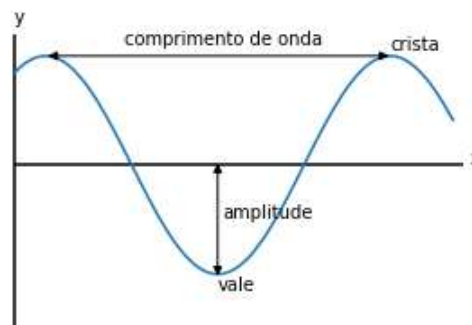
Os limites da parte visível do espectro são aproximadamente 390 e 780 nm. Dentro desta faixa se encontram as cores - desde o violeta até o vermelho -, que não são propriedades da luz, mas uma resposta eletroquímica do sistema sensorial (HETCH, 2002). A luz visível é uma parte ínfima de todas as radiações com as quais se interage diariamente:

Nossos corpos são também atravessados por sinais de rádio, televisão e telefonia celular. Micro-ondas de aparelhos de radar podem chegar até nós. Temos também as ondas eletromagnéticas provenientes das lâmpadas, dos

motores quentes dos automóveis, das máquinas de raios X, dos relâmpagos e dos elementos radioativos existentes no solo. Além disso, somos banhados pelas radiações das estrelas e de outros corpos de nossa galáxia e de outras galáxias (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016, p. 30).

Além da frequência e comprimento de onda, as ondas, tanto mecânicas quanto eletromagnéticas, têm outras características importantes. Os pontos mais altos de uma onda senoidal são as cristas, e os mais baixos são os vales. A amplitude é a distância entre o ponto médio da onda e a crista (ou o vale) (HEWITT, 2015). A Figura 8 mostra estas partes de uma onda.

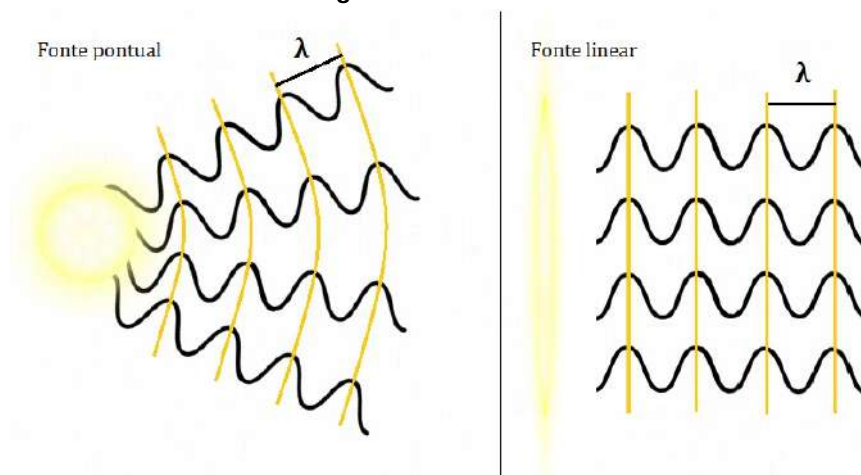
Figura 8 – Elementos da onda.



Fonte: Autoria própria (2022).

Quando se considera a propagação da onda eletromagnética em diferentes dimensões, um conceito bastante útil é o de frente de onda. Segundo Young e Freedman (2002), a frente de onda é o lugar geométrico onde todos os pontos estão na mesma parte do ciclo de vibração, portanto a distância que separa uma frente de onda da outra é um comprimento de onda; pode-se tomar como referência as cristas da onda, por exemplo. Se uma linha imaginária for traçada para indicar a direção de propagação da onda, tem-se um raio. A Figura 9 mostra as frentes de onda produzidas por uma fonte pontual e por uma fonte linear.

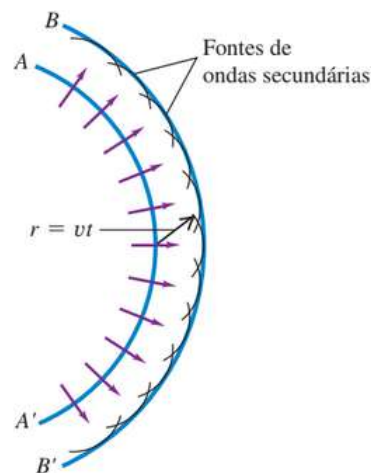
Figura 9 – Frentes de onda.



Fonte: Autoria própria (2022).

No início do desenvolvimento da teoria ondulatória da luz, Huygens desenvolveu um princípio sobre as frentes de onda, que ficou conhecido como Princípio de Huygens: todos os pontos de uma frente de onda se comportam como fontes pontuais que dão origem a ondas secundárias. A nova frente de onda é uma superfície tangente a essas ondas secundárias (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016), como mostra a Figura 10.

Figura 10 – Princípio de Huygens.



Fonte: Young e Freedman (2002, p.25).

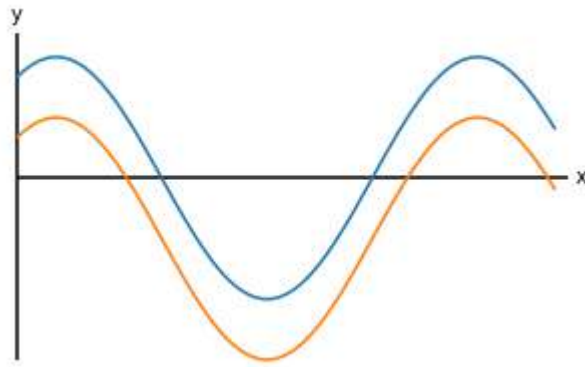
Em sua movimentação pelo espaço, as ondas podem interagir entre si, interferindo, e também podem interagir com obstáculos, difratando, por exemplo. A onda resultante de um encontro de duas ondas é a superposição delas. Se as ondas estão em fase, ou seja, estão com o mesmo deslocamento em relação a um ponto de referência, elas se reforçam e suas amplitudes se somam: acontece uma interferência construtiva (YOUNG; FREEDMAN, 2002). Já se as ondas estão fora de fase, por exemplo, se uma crista de onda chega a um ponto ao mesmo tempo que um vale de outra onda, ocorre uma interferência destrutiva, pois subtrai-se uma amplitude da outra e, caso o módulo das amplitudes seja igual, a amplitude resultante será zero, resultando num cancelamento completo. Existem também casos intermediários, em que as ondas não estão totalmente em fase ou fora de fase e acontecem cancelamentos e reforços parciais (YOUNG; FREEDMAN, 2002).

As Figuras 11 a 15 exemplificam a diferença de fase entre ondas e as interferências construtiva e destrutiva.

A causa das diferenças de fase pode ser a diferença de percurso ou diferença de caminho $r_1 - r_2$, no caso de as ondas serem provenientes da mesma fonte coerente.

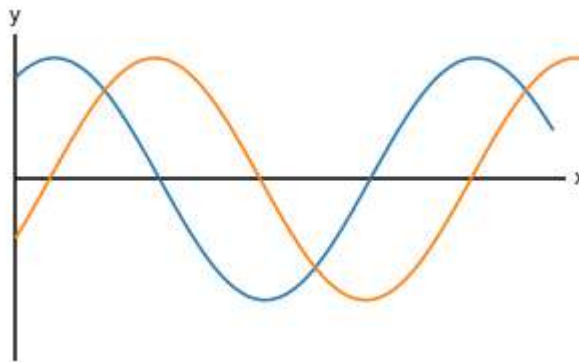
A coerência temporal e espacial da fonte determina se as ondas produzidas irão manter uma relação de fase constante (YOUNG; FREEDMAN, 2002). Segundo Hetch (2002), a coerência temporal é elevada se o tempo de coerência (durante o qual pode-se prever o valor da fase de onda em um ponto fixo) é significativo. Já a coerência espacial entre dois pontos acontece se ambos estão em uma mesma frente de onda em um determinado instante.

Figura 11 – Ondas em fase.



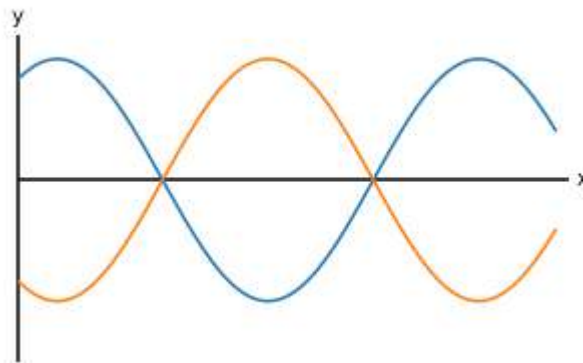
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 12 – Ondas parcialmente fora de fase.



Fonte: Autoria própria (2022).

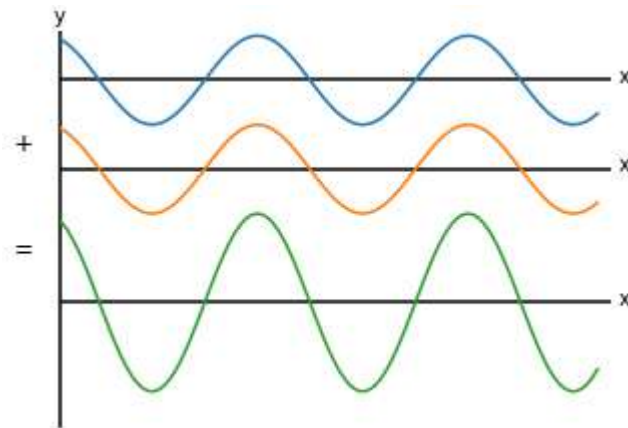
Figura 13 – Ondas completamente fora de fase.



Fonte: Autoria própria (2022).

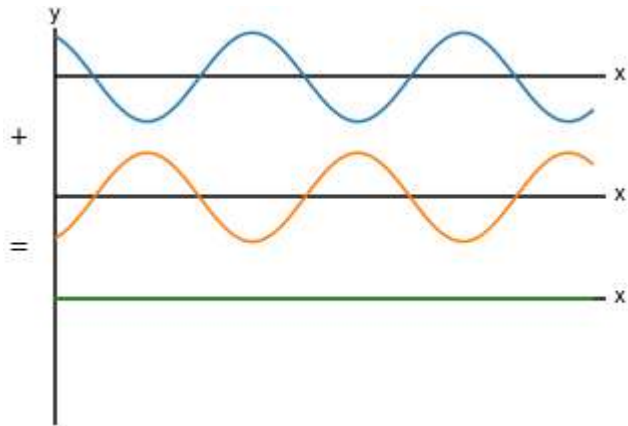
Em fontes incoerentes, a diferença de fase entre as ondas varia de forma aleatória com o tempo, o que faz a interferência entre elas mudar de construtiva para destrutiva tão rapidamente que não é possível ver (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

Figura 14 – Interferência construtiva.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 15 – Interferência destrutiva.



Fonte: Autoria própria (2022).

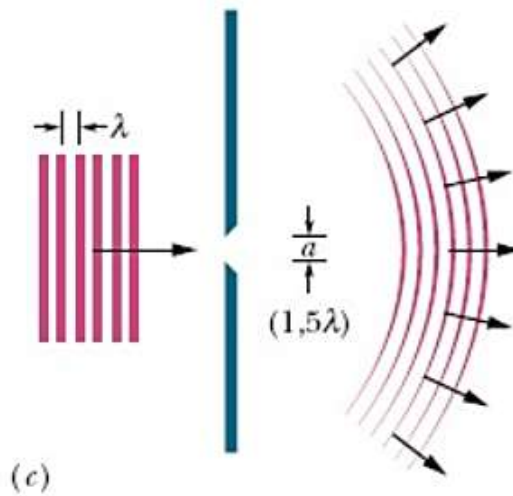
Percorrendo caminhos diferentes, quando as duas ondas se encontrarem em um ponto em comum, elas poderão interferir construtivamente, caso sua diferença de percurso seja igual a zero ou a um número inteiro de comprimentos de onda (Equação 7), pois as ondas se encontrarão exatamente em fase. Se a diferença de percurso for um múltiplo ímpar de metade de um comprimento de onda (Equação 8), as ondas chegam ao ponto comum com uma diferença de fase de meio comprimento de onda, o que caracteriza uma interferência destrutiva (YOUNG; FREEDMAN, 2002).

$$r_1 - r_2 = m\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (7)$$

$$r_1 - r_2 = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (8)$$

No caso da interação com objetos, as ondas apresentam a importante propriedade de difração, ou seja, a capacidade de curvar-se ao contornar um obstáculo. Quanto menor a abertura, maior a difração. A Figura 16 mostra a difração de uma onda ao passar por uma pequena fenda, da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda.

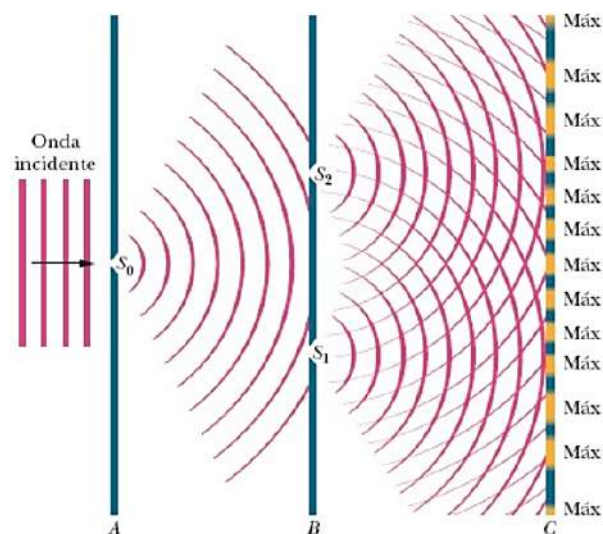
Figura 16 – Difração por uma fenda.



Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p.190).

A Figura 17 mostra um esquema do experimento de Young, ou experimento da fenda dupla. Tem-se uma fonte de luz, um anteparo com uma fenda, seguido por um anteparo com duas fendas e um anteparo liso.

Figura 17 – Experimento da dupla fenda.



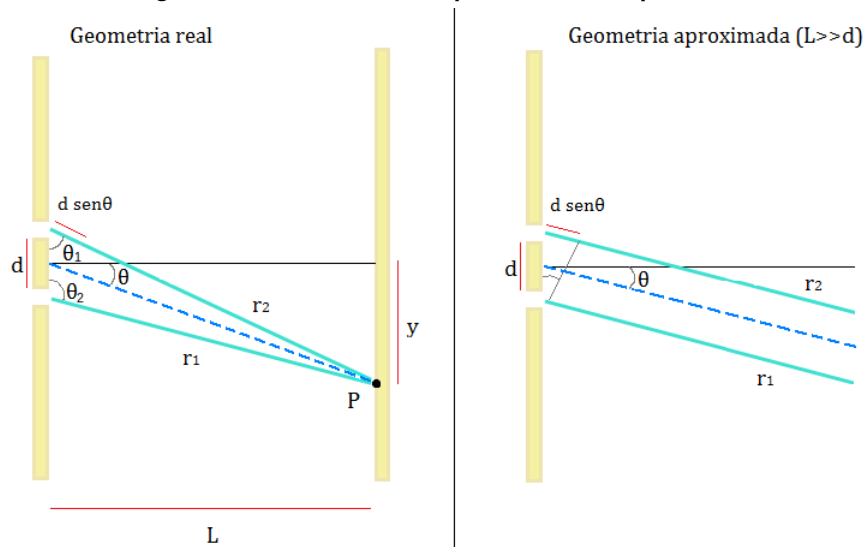
Fonte: Halliday, Resnick e Walker (2016, p.191).

A luz passa pela primeira fenda S_0 no anteparo A e sofre difração. Esta onda tem sua coerência espacial aumentada devido à pequena dimensão da fenda. S_1 e S_2 , no segundo anteparo, comportam-se como fontes pontuais, segundo o Princípio de Huygens. Assim, ondas secundárias são geradas (HETCH, 2002). Elas são coerentes - condição necessária para a formação de um padrão de interferência. A diferença de percurso causa uma diferença de fase entre ondas provenientes de S_1 e S_2 (fendas no anteparo B) e, como consequência, elas atingem diferentes pontos do anteparo C . A sobreposição irá acontecer de acordo com a diferença de fase, e um padrão de interferência com franjas escuras e claras pode ser observado em C ,

caracterizando as interferências construtivas (franjas claras) e destrutivas (franjas escuras) que aconteceram (YOUNG; FREEDMAN, 2002; HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

A posição das franjas claras e escuras pode ser obtida analisando a Figura 18.

Figura 18 – Geometria do experimento da dupla fenda.



Fonte: Autoria própria (2022).

Considerando que, no experimento, a distância L entre o segundo e o terceiro anteparo é bem maior do que a distância d entre as duas fendas, podemos considerar paralelos os raios das ondas provenientes das fendas. Assim, a diferença de percurso é dada pela Equação 9 (YOUNG; FREEDMAN, 2002):

$$r_1 - r_2 = d \operatorname{sen} \theta \quad (9)$$

Conforme as Equações 7 e 8, para uma interferência construtiva tem-se

$$m\lambda = d \operatorname{sen} \theta, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (10)$$

E para uma interferência destrutiva tem-se

$$\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda = d \operatorname{sen} \theta, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (11)$$

A Equação 12, a seguir, pode ser usada para encontrar a posição y de cada franja clara m ,

$$y_m = L \operatorname{tg} \theta_m \quad (12)$$

Porém, para pequenos ângulos, pode-se utilizar a aproximação $\operatorname{tg} \theta \approx \operatorname{sen} \theta$ e a Equação 12 pode ser escrita como

$$y_m = L \operatorname{sen} \theta_m \quad (13)$$

Finalmente, de acordo com a Equação 10, pode-se escrever (YOUNG; FREEDMAN, 2002):

$$y_m = L \frac{m\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots \quad (14)$$

2.3.3 A BNCC de Ciências da Natureza e o ensino de óptica

A primeira versão da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), segundo Branco e Zanatta (2021), foi disponibilizada para consulta em 2015, e no ano seguinte foi apresentada uma segunda versão. A última versão do documento foi publicada em 2017 (para a Educação Infantil e Ensino Fundamental) e em 2018 (para o Ensino Médio).

Com a Reforma do Ensino Médio, autocraticamente originada pela Medida Provisória (MP) nº 746/2016 e posteriormente amparada pela Lei nº 13.415 de 16 de fevereiro de 2017 (BRANCO; ZANATTA, 2021), a BNCC passa a ser referência para o currículo. O documento divide orientações para quatro áreas: Ciências da Natureza e suas Tecnologias, Matemática e suas Tecnologias, Linguagens e suas Tecnologias, e Ciências Humanas e Sociais Aplicadas. Para a etapa do Ensino Médio, a BNCC está estruturada a partir de competências e habilidades de cada uma das áreas de conhecimento e não especificamente dos conteúdos e componentes curriculares (CASTRO *et al.*, 2020). As instruções para o ensino de Física se encontram na parte de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, que conta com três competências gerais e vinte e três habilidades específicas associadas a elas, e contempla duas temáticas: “Matéria e Energia” e “Vida, Terra e Cosmos”. Segundo o documento:

Em Matéria e Energia, no Ensino Médio, diversificam-se as situações-problema, referidas nas competências específicas e nas habilidades, incluindo-se aquelas que permitem a aplicação de modelos com maior nível de abstração e que buscam explicar, analisar e prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia. [...] Em Vida, Terra e Cosmos, resultado da articulação das unidades temáticas Vida e Evolução e Terra e Universo desenvolvidas no Ensino Fundamental, propõe-se que os estudantes analisem a complexidade dos processos relativos à origem e evolução da Vida (em particular dos seres humanos), do planeta, das estrelas e do Cosmos, bem como a dinâmica das suas interações, e a diversidade dos seres vivos e sua relação com o ambiente (BRASIL, 2018a, p. 559).

A BNCC tem sido criticada por muitos educadores e instituições de ensino (BRANCO; ZANATTA, 2021), inclusive antes de sua homologação (FRANCO; MUNFORD, 2018). Apesar de ter sido concebido em um contexto pouco democrático e dar tanta ênfase a competências e habilidades, a ponto de não destacar os conteúdos (BRANCO; ZANATTA, 2021), é impossível ignorar a existência deste documento, pois ele possui “força de norma, sendo, dessa forma, uma orientação curricular que deverá ser seguida pelos sistemas de ensino, não servindo apenas como um parâmetro ou mesmo como uma diretriz que é uma orientação de caráter mais

genérico” (CASTRO *et al.*, 2020, p. 3). Portanto, buscou-se justificar o ensino de óptica ondulatória, foco deste trabalho, com base nas instruções da BNCC.

Na vaga menção aos conteúdos que devem ser ensinados no que diz respeito à óptica, apenas cita-se o estudo do espectro eletromagnético nas Competências 1 e 2.

A Competência 1 estabelece que os alunos devem

Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas interações e relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e global (BRASIL, 2018a, p. 554, grifo nosso).

E assim,

podem-se estimular estudos referentes a: estrutura da matéria; transformações químicas; leis ponderais; cálculo estequiométrico; princípios da conservação da energia e da quantidade de movimento; ciclo da água; leis da termodinâmica; cinética e equilíbrio químicos; fusão e fissão nucleares; espectro eletromagnético; efeitos biológicos das radiações ionizantes; mutação; poluição; ciclos biogeoquímicos; desmatamento; camada de ozônio e efeito estufa; desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias de obtenção de energia elétrica; processos produtivos como o da obtenção do etanol, da cal virgem, da soda cáustica, do hipoclorito de sódio, do ferro-gusa, do alumínio, do cobre, entre outros (BRASIL, 2018a, p. 554, grifo nosso).

Já na Competência 2, o objetivo é “analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis” (BRASIL, 2018a, p. 556) e para isso

podem ser mobilizados conhecimentos conceituais relacionados a: origem da Vida; evolução biológica; registro fóssil; exobiologia; biodiversidade; origem e extinção de espécies; políticas ambientais; biomoléculas; organização celular; órgãos e sistemas; organismos; populações; ecossistemas; teias alimentares; respiração celular; fotossíntese; neurociência; reprodução e hereditariedade; genética mendeliana; processos epidemiológicos; espectro eletromagnético; modelos atômicos, subatômicos e cosmológicos; astronomia; evolução estelar; gravitação; mecânica newtoniana; previsão do tempo; história e filosofia da ciência; entre outros (BRASIL, 2018a, p. 556, grifo nosso).

Em suma, para a BNCC é relevante que sejam investigados conhecimentos relacionados ao espectro eletromagnético. Neste sentido, pode-se pensar que os alunos devem dominar uma série de assuntos prévios que os farão compreender este conteúdo específico, como a interação entre campos elétrico e magnético e as características das ondas (frequência, comprimento de onda, velocidade, amplitude. . .). Outro tema importante levantado pelo documento é a interação da energia com a matéria. Ora, a luz interage com a matéria o tempo todo: ela é absorvida, refratada e refletida, por exemplo. Todos esses fenômenos são estudados pela óptica.

O estudo da luz também é ponto chave para um entendimento aprofundado da dinâmica da vida e da evolução dos seres vivos. É a presença da luz que possibilita a reação química

entre gás carbônico e água que resulta em oxigênio e carboidratos, o processo chamado de fotossíntese. É através dele que seres autotróficos dotados de células fotossintetizantes produzem seu alimento, e estes seres são a base da cadeia alimentar, possibilitando todas as outras formas de vida heterotróficas. A fotossíntese é essencial para a manutenção e evolução da vida na Terra (DUARTE, 2003).

Mesmo outros temas citados nas Competências 1 e 2 e que parecem não ter relação direta com óptica podem ser melhor compreendidos se forem esclarecidas as ligações com este campo de estudo. Por exemplo, na Competência 1, alguns conteúdos são:

- estrutura da matéria - a absorção e emissão de luz no modelo atômico de Bohr pode ser explorada neste conteúdo;
- fusão e fissão nucleares - nestes processos há emissão de radiação de alta energia;
- efeitos biológicos das radiações ionizantes.

Já na Competência 2, tem-se:

- astronomia - dada a importância do redshift, blueshift e espectroscopia na astronomia, é possível perceber como a óptica é essencial neste campo também;
- origem da vida e evolução biológica: a evolução da vida na Terra tem ligação direta com o ambiente eletromagnético em que vivemos.

Além disso, a BNCC destaca que “a elaboração, a interpretação e a aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são aspectos fundamentais do fazer científico, bem como a identificação de regularidades, invariantes e transformações” (BRASIL, 2018a, p. 548) e que “a contextualização social, histórica e cultural da ciência e da tecnologia é fundamental para que elas sejam compreendidas como empreendimentos humanos e sociais” (BRASIL, 2018a, p. 549). Conforme visto nas subseções anteriores, o estudo do espectro eletromagnético só foi instaurado depois que os cientistas aceitaram o modelo ondulatório da luz e o fato de que a luz visível é uma onda eletromagnética assim como outras radiações. Parece, portanto, ser necessário que os alunos também estudem a teoria ondulatória e sua história antes de entender o espectro eletromagnético, e isso inclui certamente o experimento da dupla fenda e todos os conceitos associados a ele: frentes de onda, interferência, difração, entre outros.

3 METODOLOGIA

De acordo com os objetivos deste trabalho, foram realizadas uma revisão bibliográfica e uma proposta de um conjunto didático tátil de óptica ondulatória e sequência didática para a inclusão de alunos com deficiência visual.

Neste capítulo são explicadas as etapas seguidas na pesquisa bibliográfica e a metodologia para criação do produto educacional.

3.1 Revisão bibliográfica

Para propor materiais didáticos táteis e uma sequência didática, foi preciso primeiramente repertoriar e categorizar os materiais e sequências didáticas direcionados a alunos com deficiência visual que já existem, a fim de evidenciar demandas e lacunas. Para isso, foi realizada uma pesquisa que se caracteriza como exploratória, do tipo bibliográfica. A natureza deste estudo é qualitativa, pois segundo Rosa (2013):

Pesquisa Qualitativa é uma pesquisa que não tem por objetivo imediato a generalização dos resultados obtidos. Nesse tipo de pesquisa, estamos interessados em levantar quais são as possíveis causas do evento observado pelo pesquisador, quais são as relações que determinam o comportamento de um determinado grupo ou sujeito. Ela tem um caráter exploratório, no sentido de que fazemos um mapeamento do terreno estudado (ROSA, 2013, p.41).

Foram seguidas as etapas da pesquisa bibliográfica definidas por Gil (2002):

- Escolha do tema: delimitação do assunto a ser pesquisado;
- Levantamento bibliográfico preliminar: estudo exploratório, o primeiro contato com referências do tema;
- Formulação do problema: definição da questão de pesquisa e dos objetivos;
- Elaboração do plano provisório de assunto: elaboração na “forma de itens e subitens ordenados em seções correspondentes ao desenvolvimento que se pretende dar à pesquisa” (GIL, 2002, p.63);
- Busca das fontes: identificação dos materiais a serem consultados;
- Leitura do material: leituras do nível mais superficial ao mais profundo, definidas por Gil (2002) como exploratória, seletiva, analítica e interpretativa;
- Fichamento: tomada de notas em forma de fichas;
- Organização lógica do assunto: estabelecimento do plano definitivo de assunto, ou seja, uma reformulação do plano provisório;

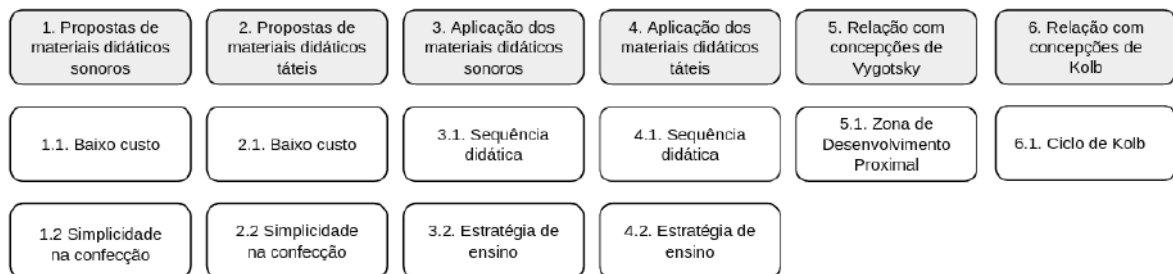
- Redação do texto.

A escolha do tema foi feita de modo a não limitar a pesquisa apenas ao ensino de óptica para alunos cegos, para ter uma visão mais ampla dos trabalhos sobre inclusão no contexto do ensino de Física. Assim, o tema escolhido foi “ensino de Física para alunos cegos”. Logo após foi realizado um levantamento preliminar de referências, com a leitura de alguns trabalhos da área, mas sem selecionar fontes específicas ou delimitar um período.

Na formulação do problema, foi definida a questão que se pretendia investigar com a revisão bibliográfica: quais as contribuições didáticas que as pesquisas recentes têm trazido para o ensino de Física para alunos cegos? Os objetivos, portanto, foram: categorizar propostas de materiais didáticos e sequências didáticas adaptados para a inclusão; verificar se tais propostas se baseiam nas concepções de ensino-aprendizagem de Vygotsky e Kolb; e evidenciar demandas e lacunas na área.

Para a elaboração do plano provisório do assunto, foram utilizadas algumas contribuições do processo de categorização conforme Bardin (2016). A categorização é uma operação de classificação de elementos, cujo objetivo é separar e reagrupar aspectos do texto analisado em unidades, as categorias (BARDIN, 2016). Foram criadas categorias e subcategorias para analisar os trabalhos escolhidos conforme mostra a Figura 19. Essas categorias auxiliaram a definir um desenvolvimento para a investigação.

Figura 19 – Categorias e subcategorias propostas para a análise dos trabalhos.



Fonte: Autoria própria (2021).

Na etapa de busca das fontes, foram selecionadas dissertações e teses da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), artigos das revistas Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF) e Física na Escola, comunicações orais do evento Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), com o tema “ensino de Física para alunos cegos”, publicados nos últimos 15 anos, entre 2007 e 2021. Após essa seleção inicial, foram excluídos trabalhos que tinham como foco propostas para o ensino superior e trabalhos de revisão de literatura.

Totalizando 31 trabalhos, os Quadros 1 a 4 listam informações sobre as produções selecionadas. Ao analisar o Quadro 2, é preciso destacar que a revista Física na Escola ficou inativa por cerca de 8 anos e isso explica a inexistência de artigos entre 2008 e 2018.

Foi realizada uma leitura inicial dos trabalhos e fichamento com as principais informações deles. A partir deste fichamento foram feitos gráficos para caracterizar os trabalhos.

No Gráfico 1 tem-se a quantidade de trabalhos de acordo com a origem. Mais da metade dos trabalhos sobre o tema foram apresentados no EPEF, o que é justificável pelo grande número de participantes que este evento tem.

Quadro 1 – Trabalhos do EPEF selecionados para a revisão de literatura.

Ano	Trabalho	Autores
2008	Ensino da Lei de Lenz adaptado para a deficiência visual: um experimento com circuito oscilador	Jacques Borges, Edek Soares Silva, Zanoni Santos
2011	Diversidade sensorial no processo ensino/ aprendizagem de Física: questão apenas de inclusão de alunos com necessidades educacionais especiais?	Eder Pires de Camargo
2011	Do Braille ao computador: tecnologias inclusivas associadas aos alunos deficientes visuais	Julio Cesar Queiroz de Carvalho, Éder Pires de Camargo, Sheila Gonçalves do Couto, Alberto Villani
2011	Ensino de Física para alunos com deficiência visual: identificando problemas	Adriana Gomes Dickman, Amauri Carlos Ferreira, Kátia Cristina da Silva
2014	Aprender a lecionar Física para deficientes visuais	Maria da Conceição Barbosa-Lima, Maria Auxiliadora Delgado Machado, Giselle Faur de Castro Catarino
2014	Neurociência cognitiva no processo de aprendizagem de alunos com deficiência visual: desenvolvimento de experimento com fluidos para o ensino da Física	Tiago Henrique Lima dos Santos, Estéfano Vizconde Veraszto
2018	Ouvir e sentir estrelas: astronomia para pessoas com deficiência visual	Magda Moreira Nunes, Giovanna Lins Guerson Costa, Guilherme de Souza Fernandes, Nicolly Cristina Costa Lima
2018	Possibilidades e reflexões sobre o ensino de cores para estudantes cegos: percepções de licenciandos do IFPR campus Paranaguá	Laurita Istéfani da Silva Teles, Caroline Dorada Pereira Portela
2018	Desenvolvimento, aplicação e análise de atividades de ensino de óptica para alunos cegos e com baixa visão	Estéfano Vizconde Veraszto, Bruno Mayer Pires, Nathália Elisa Ferreira Vicente, Osório Augusto de Souza Neto
2018	Avaliação da compreensão do processo de conceitualização em ciências por cegos congênitos	Estéfano Vizconde Veraszto, Eder Pires de Camargo, José Tarcísio Franco de Camargo, Juliane Cristina Molena, Osório Augusto de Souza Neto, Fernanda Oliveira Simon
2018	Os discursos dos professores de Física acerca de suas alunas cegas	Marcela Ribeiro da Silva, Eder Pires de Camargo
2018	Ensino de Física através da patinação artística para alunos com deficiência visual	Lucas Quintanilha, Maria da Conceição Barbosa-Lima
2020	Reflexões sobre o ensino de Física investigativo para pessoas com deficiência visual	Bernardo Copello Alves, Maria da Conceição Barbosa-Lima, Deise M. Vianna
2020	A utilização de tecnologias assistivas na realização de tarefa com alunos cegos	Jaqueline Santos Vargas Praça, Shirley Takeco Gobara
2020	Deficiência visual e ensino de Física: estudo de trabalhos apresentados em eventos científicos nacionais entre 2013 e 2017	Estéfano Vizconde Veraszto, Maxiwillian Sant'Ana Polverini, José Tarcísio Franco de Camargo, Eder Pires de Camargo
2020	Formação e saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de Física: uma análise das publicações na área	Angelita Vieira de Moraes, Eder Pires de Camargo

Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 2 – Trabalhos da revista Física na Escola selecionados para a revisão de literatura.

Ano	Trabalho	Autores
2007	É possível ensinar física para alunos cegos ou com pouca visão? Proposta de atividades que enfocam o conceito de aceleração	Eder Pires de Camargo
2008	Como ensinar óptica para alunos cegos e de baixa visão?	Eder Pires de Camargo, Roberto Nardi, Paulo Roberto Pires Maciel Filho, Débora Renata Vieira de Almeida
2018	Material pedagógico inclusivo: trabalhando com maquetes táteis visuais do modelo geocêntrico e do heliocêntrico	Samara da Silva Morett Azevedo, Delson Ubiratan da Silva Schramm, Marcelo de Oliveira Souza
2018	Preparação de material tátil-visual torna o ensino de conceitos de óptica acessível para pessoas com deficiência visual - Exposição "Luz ao alcance das mãos"	H.H. Buzzá, C.P. Campos, M.B. Requena, C.T. Andrade, I.S. Leite, T.C. Fortunato, M.D. Stringasci, M.C. Geralde, C.M. Faria, T.Q. Correa, R.A. Romano, R.G.T. Rosa, B. Ono, B.P. Oliveira, E.P. Camargo, C. Kurachi
2021	Construção de um experimento para ensino-aprendizagem da primeira lei de Ohm para estudantes com deficiência visual	Gabriel R. Castro, Gabriela S. Leite, Jefferson S. Martins
2021	Tecnologia tátil-visual para o ensino de associação de capacitores e resistores	Cléver Reis Stein, Artur Vitório Andrade Santo, Moacy José Stoffes Junior

Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 3 – Trabalhos da RBEF selecionados para a revisão de literatura.

Ano	Trabalho	Autores
2014	Ciclos de aprendizagem no ensino de física para deficientes visuais	A.C. Azevedo, A.C.F. Santos
2018	Audiotermômetro: um termômetro para a inclusão de estudantes com deficiência visual	Hercílio P. Cordova, Carlos E. Aguiar, Helio S. de Amorim, Karla Silene O. M. Sathler, Antônio Carlos F. dos Santos
2019	Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio	Márcio Velloso da Silveira, Ricardo Borges Barthem, Antonio Carlos dos Santos
2020	Construção de uma Maquete do Sistema Solar com Controle de Temperatura para Alunos com Deficiência Visual	Maurício S. Almeida, João N.M. Castro, Wilami T. Cruz, Rodrigo Q. Almeida

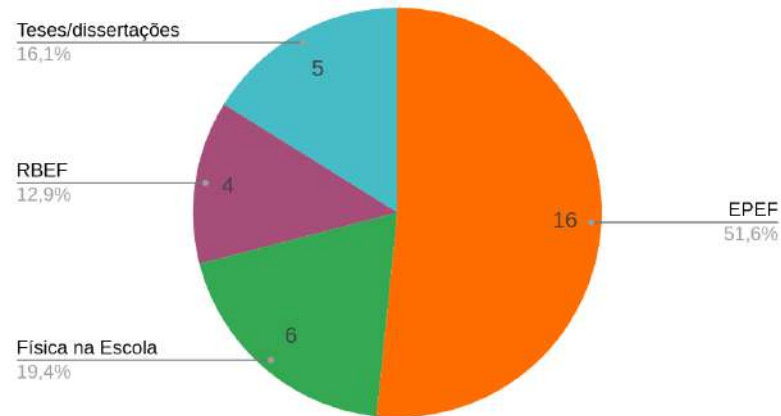
Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 4 – Dissertações e teses selecionadas para a revisão de literatura.

Origem	Ano	Trabalho	Autor
Dissertação de mestrado da UFSC	2008	O ensino de corrente elétrica a alunos com deficiência visual	Fábio Lombardo Evangelista
Dissertação de mestrado da PUC-MG	2013	Ensino de Física para deficientes visuais: materialização de figuras do livro didático	Nivaldo Manske
Dissertação de mestrado da PUC-MG	2013	Representação de figuras do livro didático de Física: uma proposta para a melhoria da autonomia dos estudantes cegos	Alexandre de Oliveira Martins
Tese de doutorado da UNESP/Bauru	2013	Mindware semiótico-comunicativo: campos conceituais no ensino de Física para deficientes visuais utilizando uma interface cérebro-computador	Edval Rodrigues de Viveiros
Dissertação de mestrado da PUC-MG	2014	Uma abordagem para o ensino de Física a alunos deficientes visuais: "um olhar diferente para o espelho"	Maurisete Fernando Ferreira

Fonte: Autoria própria (2022).

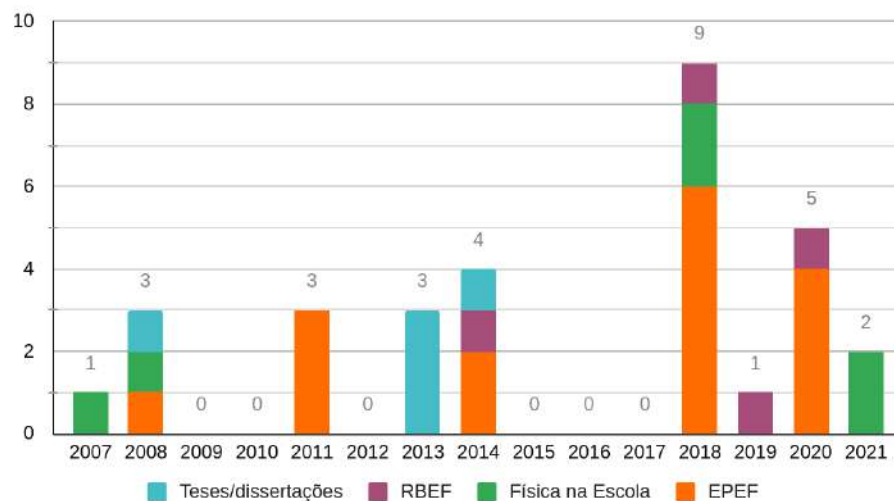
Gráfico 1 – Origem dos trabalhos selecionados sobre ensino de Física para alunos cegos.



Fonte: Autoria própria (2022).

O Gráfico 2 mostra a quantidade de trabalhos por ano e evidencia a não regularidade de publicações. É perceptível a quantidade maior no ano de 2018. Em parte, isso pode ser reflexo de uma mudança muito positiva que ocorreu no EPEF: as sessões de comunicações orais são divididas em diversas temáticas e, a partir do ano de 2018, uma sessão especial foi incluída no evento: “Equidade, Inclusão, Diversidade, Estudos Culturais e Ensino de Física”, como mostra a Figura 20.

Gráfico 2 – Anos de publicação dos trabalhos selecionados sobre ensino de Física para alunos cegos.



Fonte: Autoria própria (2022).

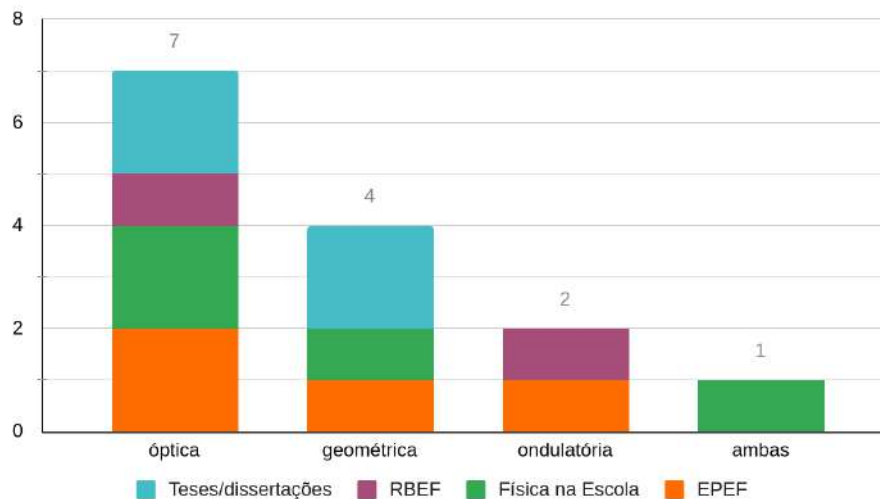
Como os trabalhos selecionados têm diversos temas (mecânica, eletromagnetismo, termodinâmica e astronomia, por exemplo), foi investigado quantos deles abordavam o ensino de óptica para alunos cegos e, além disso, se o tema era óptica geométrica - cujos conteúdos são, em geral, os princípios da propagação da luz, reflexão, refração, espelhos planos e esféricos, lentes e sistemas ópticos - ou óptica ondulatória - que interpreta a luz visível como parte do espectro eletromagnético, e estuda fenômenos como interferência, difração e polarização. No Gráfico 3, tem-se os resultados desta investigação.

Figura 20 – Print do site do EPEF, mostrando a sessão de comunicações orais sobre inclusão.

XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física	
27 a 31 de agosto de 2018, Campos do Jordão, SP	
28/08/2018 - Comunicações Orais (08:30-10:35)	
CO-04 EQUIDADE, INCLUSÃO, DIVERSIDADE E ESTUDOS CULTURAIS E O ENSINO DE FÍSICA	
Coordenador(a): Eder Pires de Camargo Sala Platanos	
08:30-08:55	POSSIBILIDADES E REFLEXÕES SOBRE O ENSINO DE CORES PARA ESTUDANTES CEGOS: PERCEPÇÕES DE LICENCIANDOS DO IFPR CAMPUS PARANAGUÁ <i>Laureta Isretiani da Silva Teles, Caroline Dorada Pereira Poreta</i>
08:55-09:20	OS DISCURSOS DE PROFESSORES DE FÍSICA ACERCA DE SUAS ALUNAS CEGAS <i>Marcia Ribeiro da Silva, Eder Pires de Camargo</i>
09:20-09:45	Ouvir e sentir estrelas: Astronomia para pessoas com deficiência visual <i>Márcia Moreira Nunes, Giovanna Lins Guerson Costa, Guilherme de Souza Fernandes, Nicolly Cristina Lima Costa</i>
09:45-10:10	A INCLUSÃO DE ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL EM CURSOS DE GRADUAÇÃO EM FÍSICA: ALGUMAS DIFICULDADES E CONTRIBUIÇÕES DO ATENDIMENTO EDUCACIONAL ESPECIALIZADO <i>Marcia Ribeiro da Silva, Eder Pires de Camargo</i>
10:10-10:35	ENSINO DE FÍSICA ATRAVÉS DA PATINAÇÃO ARTÍSTICA PARA ALUNOS COM DEFICIÊNCIA VISUAL <i>Lucas dos Santos Quintanilha, Maria da Conceição de Almeida Barbosa-Lima</i>

Fonte: Autoria própria (2022).

Gráfico 3 – Quantidade de trabalhos com o tema “óptica”.



Fonte: Autoria própria (2022).

Com a investigação da presença das categorias e subcategorias definidas na Figura 19, foi possível traçar uma organização lógica do assunto (o estabelecimento do plano definitivo de assunto, conforme Gil (2002)). Segundo Bardin (2016), a categorização tem duas etapas: o inventário, que significa repartir os elementos para análise, e a classificação, que consiste em “repartir os elementos, e portanto, procurar ou impor certa organização às mensagens” (BARDIN, 2016, p.148).

Ao fazer o inventário e a classificação, percebeu-se que nem todos os trabalhos selecionados contemplam as categorias de análise. No Quadro 5 são apresentados os títulos dos trabalhos que se encaixam em pelo menos uma delas. O Gráfico 4 mostra a quantidade de trabalhos em cada categoria.

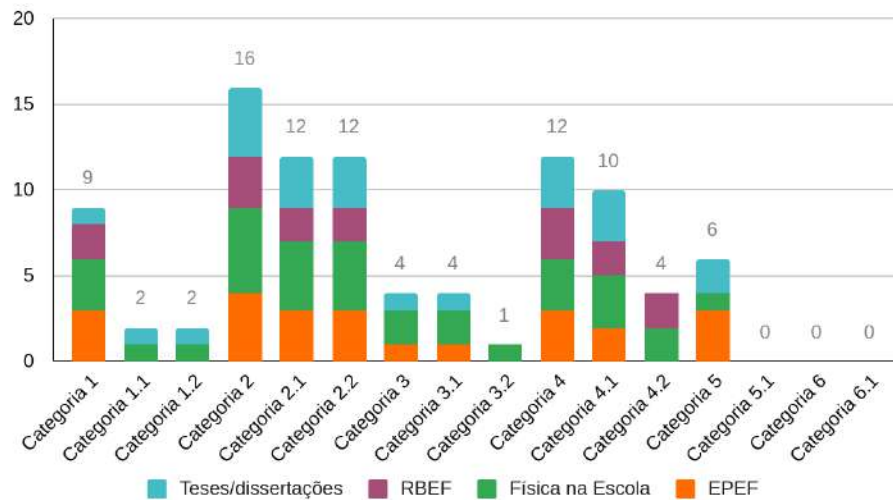
Quadro 5 – Trabalhos que se encaixam em pelo menos uma categoria de análise.

Trabalho	Categorias
Ensino da Lei de Lenz adaptado para a deficiência visual: um experimento com circuito oscilador	1
Do Braille ao computador: tecnologias inclusivas associadas aos alunos deficientes visuais	5
Ouvir e sentir estrelas: astronomia para pessoas com deficiência visual	1, 2, 2.1, 2.2, 3, 3.1, 4, 4.1
Desenvolvimento, aplicação e análise de atividades de ensino de óptica para alunos cegos e com baixa visão	2, 2.1, 2.2, 4, 4.1
Os discursos dos professores de Física acerca de suas alunas cegas	5
Ensino de Física através da patinação artística para alunos com deficiência visual	2, 2.1, 2.2, 5
Reflexões sobre o ensino de Física investigativo para pessoas com deficiência visual	5
A utilização de tecnologias assistivas na realização de tarefa com alunos cegos	1, 2, 4
É possível ensinar física para alunos cegos ou com pouca visão? Proposta de atividades que enfocam o conceito de aceleração	1, 2, 2.1, 2.2, 3, 3.1, 3.2, 4, 4.1, 4.2
Como ensinar óptica para alunos cegos e de baixa visão?	2, 2.1, 2.2, 4, 4.1, 4.2
Material pedagógico inclusivo: trabalhando com maquetes táteis visuais do modelo geocêntrico e do heliocêntrico	2, 2.1, 2.2
Preparação de material tátil-visual torna o ensino de conceitos de óptica acessível para pessoas com deficiência visual - Exposição "Luz ao alcance das mãos"	1, 2, 2.1, 2.2, 3, 3.1, 4, 4.1, 5
Construção de um experimento para ensino-aprendizagem da primeira lei de Ohm para estudantes com deficiência visual	1, 1.1, 1.2
Tecnologia tátil-visual para o ensino de associação de capacitores e resistores	2
Ciclos de aprendizagem no ensino de física para deficientes visuais	2, 2.1, 2.2, 4, 4.1, 4.2
Audiotermômetro: um termômetro para a inclusão de estudantes com deficiência visual	1
Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio	1, 2, 2.1, 2.2, 4, 4.1, 4.2
Construção de uma Maquete do Sistema Solar com Controle de Temperatura para Alunos com Deficiência Visual	2, 4
O ensino de corrente elétrica a alunos com deficiência visual	1, 1.1, 1.2, 2, 2.1, 2.2, 3, 3.1, 4, 4.1, 5
Ensino de Física para deficientes visuais: materialização de figuras do livro didático	2, 2.1, 2.2, 4, 4.1
Representação de figuras do livro didático de Física: uma proposta para a melhoria da autonomia dos estudantes cegos	2, 5
Uma abordagem para o ensino de Física a alunos deficientes visuais: "um olhar diferente para o espelho"	2, 2.1, 2.2, 4, 4.1

Fonte: Autoria própria (2022).

Esta amostra, apresentada do Quadro 5, é menor, sendo composta por 22 trabalhos. Pode-se notar uma diminuição significativa no número de trabalhos provenientes do EPEF, pois eles abordaram vários temas sobre o ensino de Física para deficientes visuais, e as categorias impostas selecionam apenas trabalhos que contenham propostas de materiais e sequência didáticas. Outra coisa interessante é que, apesar de terem sido selecionadas apenas quatro dissertações, estes trabalhos contemplam várias categorias, pois são bem extensos.

Gráfico 4 – Quantidade de trabalhos sobre ensino de física para alunos cegos, por categoria de análise.



Fonte: Autoria própria (2022).

Por fim, o texto foi redigido, analisando os trabalhos, seguindo a ordem das categorias. Esta análise se encontra no Capítulo 4.

3.2 Proposta de produto educacional

O produto educacional proposto é um conjunto de atividades composto de oito artefatos táteis para o ensino de óptica ondulatória para alunos cegos e de uma sequência didática composta por quatro aulas, onde os artefatos táteis podem ser utilizados para compreensão do funcionamento e das implicações do experimento da dupla fenda.

3.2.1 Conjunto didático tátil de óptica ondulatória

A aprendizagem através do tato é muito positiva para alunos cegos e, portanto, livros didáticos e ilustrações não são os melhores materiais para a sequência didática proposta neste trabalho. Optou-se por construir um material didático tátil, composto por uma série de artefatos que evocam conteúdos importantes no estudo da óptica ondulatória.

Os materiais utilizados para a construção são de baixo custo e fáceis de serem adquiridos, como arames, lã, miçangas, Acetato Vinil de Etileno (EVA), entre outros. A lista completa de materiais utilizados, bem como seus preços, se encontra no Apêndice A do trabalho.

A base de todos os artefatos é o papelão, pois este material pode ser adquirido facilmente e, na maior parte das vezes, sem custo algum. Sobre pedaços retangulares de papelão, primeiramente foram feitas a lápis todas as marcações de ondas, eixos, entre outros. Em seguida, foram utilizados palitos de churrasco com a ponta coberta por EVA para representar eixos. Para representar ondas e frentes de ondas, foram usados lã, arames, fios, fitas, miçangas e cola alto relevo, cobrindo as marcações feitas a lápis. As fontes pontuais de luz estão representadas

por miçangas e todas as medidas relevantes estão indicadas por uma corrente de bolinhas, que possibilita contagem para uma noção quantitativa de distâncias. Foram adicionadas também indicações em Braille sobre conceitos e grandezas físicas, segundo as orientações de Brasil (2018b).

Os roteiros com o passo a passo detalhado da construção de cada artefato estão disponíveis no Apêndice B. Seguindo os cuidados sobre construção e escolha de materiais didáticos da subseção 2.2.1 do capítulo 2, alguns aspectos dos artefatos contruídos se destacam:

- O uso de diferentes texturas e espessuras para representar diferentes ondas. Para um aluno vidente, bastaria usar diferentes cores, mas para um aluno cego é importante destacar o contraste entre texturas para que ele possa distinguir representações diferentes.
- O tamanho dos artefatos não pode ser muito pequeno ou muito grande, pois isso dificultaria o entendimento do que está sendo representado. Por isso, foi escolhido um tamanho médio, de 30 cm x 30 cm para a maioria dos artefatos, possibilitando que o aluno cego possa tatear o material com as duas mãos, sem perder detalhes importantes e sem perder a noção do todo.
- Como as medidas são importantes na Física, foi escolhida uma corrente de bolinhas para indicar distâncias relevantes, como amplitude, comprimento de onda, distância entre anteparos e etc. Com a contagem das bolinhas é possível inclusive fazer cálculos referentes a tais distâncias. Também é possível estabelecer uma escala, relacionando um determinado número de bolinhas a uma medida em *cm*, por exemplo.

O Quadro 6 lista os artefatos táteis propostos.

Quadro 6 – Lista de artefatos táteis.

Artefato	Conceitos trabalhados
Artefato 1	Características das ondas (comprimento de onda, amplitude)
Artefato 2	Onda eletromagnética
Artefato 3	Espectro eletromagnético
Artefato 4	Ondas em fase e fora de fase
Artefato 5	Interferências construtiva e destrutiva
Artefato 6	Fonte pontual e frente de onda
Artefato 7	Experimento de Young
Artefato 8	Experimento de Young (frentes de onda)

Fonte: Autoria própria (2022).

3.2.2 Sequência didática

A sequência de aulas proposta trabalha conteúdos importantes para o entendimento da óptica ondulatória, culminando no experimento de Young, como mostra o Quadro 7.

Quadro 7 – Aulas que compõem a sequência didática.

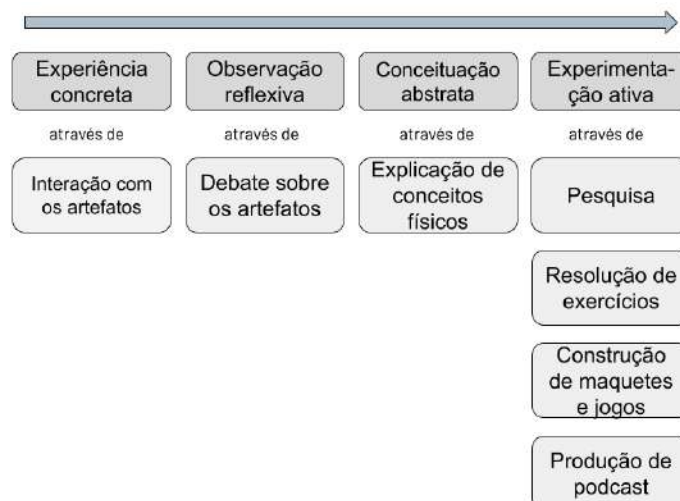
Aula	Tema	Conteúdos
Aula 1	Ondas eletromagnéticas e suas características	Definição e características das ondas; espectro eletromagnético e exemplos cotidianos
Aula 2	Fase e interferência	Fase e diferença de fase; tipos de interferência
Aula 3	Fontes e frentes de onda	Fontes pontuais e lineares; frentes de onda
Aula 4	Experimento de Young	Aspectos históricos e importância; conceitos da óptica ondulatória envolvidos no experimento

Fonte: Autoria própria (2022).

Os encaminhamentos metodológicos de cada aula foram pensados com base no ciclo de aprendizagem de Kolb, composto pelas etapas Experiência Concreta, Observação Reflexiva, Conceituação Abstrata, Experimentação Ativa, conforme já visto no capítulo de Referencial Teórico.

Na primeira etapa, Experiência Concreta, os alunos, tanto videntes quanto cegos, deverão interagir (ver e/ou tocar) com os artefatos táteis, mesmo ainda sem dominar os conhecimentos científicos que eles representam. Na fase de Observação Reflexiva, os alunos deverão refletir e debater sobre as características do artefato, guiados por perguntas feitas pelo professor. Em seguida, na Conceituação Abstrata é que o professor explicará os conceitos físicos com base no material tátil, fazendo associações entre o conhecimento formal e o que os alunos perceberam nas etapas anteriores. A última etapa (Experimentação Ativa) é a fase de transformação da experiência, do agir. Portanto, nesta fase os alunos deverão ser incentivados a resolver questões, fazer pesquisas, construir algo novo, apresentar trabalhos, etc. O esquema da Figura 21 mostra a sequência de etapas e atividades que podem ser realizadas nas aulas.

Figura 21 – Sequência de etapas para cada aula.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os planos de aula referentes à sequência didática proposta estão disponíveis no Apêndice C do trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Trabalhos sobre ensino de Física para alunos cegos

Conforme visto no Capítulo 3, 22 trabalhos sobre ensino de Física para alunos cegos integram as categorias de análise propostas na Figura 19.

Sobre as propostas de materiais sonoros e táteis (Categorias 1, 1.1, 1.2, 2, 2.1, 2.2) destacam-se vários trabalhos.

Borges, Silva e Santos (2008) propõem uma adaptação do experimento sobre a Lei de Lenz, que geralmente é realizado com um galvanômetro: a sugestão é utilizar um alto-falante para que os alunos percebam a variação da corrente elétrica através da variação na frequência do som emitido. Esta proposta exige adquirir alguns materiais como resistores, capacitores, diodo e o próprio alto-falante para a montagem do circuito oscilador, o que pode ser um tanto trabalhoso. A vantagem, conforme destacam os autores, é que o galvanômetro sonoro pode ser utilizado juntamente com o galvanômetro analógico, possibilitando uma aula inclusiva para alunos cegos e também para alunos surdos.

Em uma proposta similar de “experimento sonoro”, Castro, Leite e Martins (2021) discorrem sobre a construção de um experimento sonoro sobre a primeira lei de Ohm, que faz uso de um buzzer num circuito simples. “A intensidade sonora é relacionada com o valor da resistência, ou seja, numa resistência com maior valor, o som é fraco, e numa resistência com menor valor, o som é forte. Esse resultado mostra que a intensidade da corrente elétrica é inversamente proporcional ao valor da resistência do circuito” (CASTRO; LEITE; MARTINS, 2021, p.31).

Cordova *et al.* (2018) também incentivam o uso da audição para a inclusão dos alunos com deficiência visual ao desenvolverem um audiotermômetro, dispositivo baseado em uma placa de Arduino e um MP3 *shield player*. Este audiotermômetro está programado para ler a faixa entre -10°C e 110°C , com passo de $0,5^{\circ}\text{C}$ e pode ser utilizado em experimentos de termologia e calorimetria.

Outros trabalhos têm propostas de materiais sonoros em conjunto com materiais táteis para compor um conjunto de atividades. Nunes *et al.* (2018) indicam uma série de atividades sobre astronomia, começando com um áudio do poema “Via Láctea” de Olavo Bilac como introdução aos artefatos táteis sobre os planetas do sistema solar, a Via Láctea e as estações do ano. Algo que chama a atenção neste trabalho em específico é que ele foi realizado por três alunos do Ensino Médio e sua professora orientadora. Já Praça e Gobara (2020) utilizaram com uma aluna cega uma série de áudios sobre o tema “dia e noite” juntamente com a linha Braille (um *hardware* que custa por volta de quinze mil reais e que transforma a informação da tela de um computador em escrita Braille) para a realização de exercícios.

Destacam-se também dois trabalhos da revista Física na Escola: Camargo (2007) sugere uma sequência de três atividades para o estudo da aceleração e Buzzá *et al.* (2018) propõem vários materiais táteis-visuais para uma feira de ciências sobre óptica intitulada exposição

"luz ao alcance das mãos". Nos dois casos, os materiais didáticos são simples de serem confeccionados, utilizam, por exemplo, um bloco de madeira e uma superfície áspera para relacionar o atrito a aceleração de um corpo (CAMARGO, 2007) e fios, EVA e outros materiais com relevos e texturas diferentes para compor representações de fenômenos tanto da óptica geométrica quanto da ondulatória (BUZZÁ *et al.*, 2018). No primeiro trabalho, a proposta é utilizar um áudio de uma possível colisão entre um carro e um trem para discutir questões sobre aceleração. Já no segundo, áudios explicativos acompanham todas as maquetes e representações da exposição.

Silveira, Barthem e Santos (2019) também têm uma proposta para ensinar ondulatória usando materiais táteis-visuais e sonoros tanto para alunos com deficiência auditiva quanto visual. Um dos produtos educacionais utiliza *buzzers* de sons distintos e LEDs coloridos para calcular a distância de um obstáculo até o aparelho. O funcionamento do experimento é explicado pelos autores:

O dispositivo possui dois tambores cilíndricos, sendo um o emissor e o outro o receptor, que correspondem a um alto-falante e a um microfone, respectivamente. Ao ser programado e alimentado, o componente emissor envia pulsos sonoros para o ambiente. Assemelhando-se a um sonar, quando esse pulso encontra um obstáculo, dentro dos limites de funcionamento, é refletido de volta para o sensor. O componente receptor consegue captá-lo e o sistema calcula o tempo decorrido entre a emissão e recepção deste sinal. Sabendo o tempo entre a emissão e reflexão e a velocidade de propagação do som no meio, no caso o ar, pode ser determinada a distância em que o obstáculo se encontra do sensor. (SILVEIRA; BARTHEM; SANTOS, 2019, p.5).

Evangelista (2008) adota, em sua sequência didática, materiais cotidianos como peças de chuveiro elétrico, rádio, tomada e interruptor para ensinar corrente elétrica a alguns alunos com deficiência visual. Uma outra atividade interessante proposta pelo autor é a representação de corrente elétrica a nível atômico com um tubo e grãos de milho (representando os elétrons livres). Este artefato é tanto tátil quanto sonoro, pois os grãos se movimentam dentro do tubo. Os alunos também fazem atividades com circuitos, relacionando a emissão sonora de *buzzers* e rádios a diferentes propriedades e leis físicas.

A questão do tato é valorizada por muitos trabalhos, tanto que algumas propostas se baseiam inteiramente em materiais táteis e a categoria com maior número de trabalhos é justamente a Categoria 2. Veraszto *et al.* (2018), por exemplo, propõem o uso de maquetes com diferentes texturas para o ensino de conceitos iniciais da óptica geométrica, como reflexão, refração e absorção de luz, materiais transparentes, translúcidos e opacos, e câmara escura. Ferreira (2014) propõe maquetes feitas com barbantes para o ensino de: trajetória da luz em meios opacos, translúcidos e transparentes, formação de sombra e penumbra em eclipses, e formação de imagem em espelho plano. Estes trabalhos lembram o de Camargo *et al.* (2008), em que são construídos sete artefatos táteis sobre óptica geométrica. Além da descrição de como confeccionar os materiais, os autores dão sugestões de como conduzir atividades com os

alunos cegos e videntes e ressaltam que “fenômenos ópticos são constituídos de vários significados (históricos, filosóficos, tecnológicos, sociais, ligados às idéias não visuais como energia térmica, etc), e esses significados podem ser comunicados aos alunos cegos” (CAMARGO *et al.*, 2008, p.20).

Azevedo e Santos (2014) também apresentam uma sequência didática sobre óptica, porém com o uso de laser, isopor e alfinetes para que os estudantes com deficiência visual possam perceber a propagação retilínea da luz:

Sobre a bancada, o professor pode colocar um isopor. O aluno é capaz de identificar o ponto no qual a luz do laser sensibiliza a sua pele. Com o auxílio de um alfinete, o aluno fixa o alfinete no isopor e repetindo este processo várias vezes ele pode verificar que os alfinetes que ele fixou estão alinhados sobre uma mesma linha reta. (AZEVEDO; SANTOS, 2014, p.5).

Já Quintalha e Barbosa-Lima (2018) constroem modelos tridimensionais de *biscuit* para representar o salto Axel, muito popular na patinação artística, como motivação para o ensino de temas da mecânica, como momento de inércia e centro de massa. Esta proposta se destaca entre os trabalhos anteriores pela possibilidade de um ensino de Física não apenas inclusivo, como também interdisciplinar.

Stein, Santo e Junior (2021) descrevem quebra-cabeças tridimensionais de circuitos, feitos em impressora 3D. As peças representam capacitores e resistores, que podem ser combinados de diferentes formas para montar associações em paralelo, em série e mistas, o que torna o material bastante versátil. Apesar disso, impressoras 3D não são equipamentos de fácil aquisição pelo custo elevado.

Na área de Física Moderna, Manske (2013) cria representações táteis de figuras típicas de livros didáticos, sobre o efeito fotoelétrico e do modelo atômico. Este tema é muito relevante, pois, segundo o autor, através da análise de trabalhos publicados nessa área concluiu-se que não existem materiais de apoio ao livro didático para alunos cegos (MANSKE, 2013). Porém, uma dissertação do mesmo ano propõe um glossário com símbolos para a representação de figuras em Braille (MARTINS, 2013), justamente para servir como apoio ao livro didático. Estes símbolos foram feitos com impressoras do tipo embosser.

Sobre o ensino de astronomia, tem-se o trabalho de Azevedo, Schramm e Souza (2018), que apresentam um material tátil sobre modelos geocêntrico e heliocêntrico, com o Sol representado por uma lâmpada, e o trabalho de Almeida *et al.* (2020), que propõem uma maquete do sistema solar com pastilhas *Peltier*, que fazem o controle de temperatura, à medida que se aproxima do Sol. Algo muito inovador destes dois trabalhos é que eles investem no uso do tato não considerando apenas a sensação provocada por diferentes texturas, mas também por diferentes temperaturas.

Não são todos os trabalhos sobre materiais sonoros e táteis que aplicam estes materiais em sequências didáticas ou estabelecem uma estratégia de ensino diferenciada para a utilização deles, por isso pode-se notar uma diminuição no número de trabalhos nas Categorias 3,

3.1, 3.2, 4, 4.1 e 4.2. Alguns trabalhos aplicam os materiais produzidos em apenas uma aula ou nem chegam a aplicá-los. As duas estratégias de ensino diferenciadas que constam nesta amostra são: o ciclo de Karplus (AZEVEDO; SANTOS, 2014) e a teoria da objetivação (TO) (PLAÇA; GOBARA, 2020).

Os trabalhos que têm fundamentação em Vygotsky (Categoria 5) citam a questão da interação social (QUINTALHA; BARBOSA-LIMA, 2018), a relação entre linguagem e pensamento (QUINTALHA; BARBOSA-LIMA, 2018) e a compensação social da cegueira (EVANGELISTA, 2008; CARVALHO *et al.*, 2011; MARTINS, 2013; CAMARGO *et al.*, 2008; BUZZÁ *et al.*, 2018; ALVES; BARBOSA-LIMA; VIANNA, 2020). Apesar disso, nenhum foca na teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal (Categoria 5.1). Ademais, nenhuma das produções se baseia na teoria da aprendizagem experiencial de Kolb (Categorias 6 e 6.1), o que é compreensível, já que as obras de Kolb são encontradas em inglês e não são tão populares em estudos pedagógicos. Já as ideias de Vygotsky estão quase sempre presentes no currículo da formação inicial de professores.

4.2 Proposta de materiais inclusivos e sequência didática sobre o experimento de Young

A seguir são descritos os materiais didáticos adaptados e seu uso durante a sequência didática proposta. A apresentação dos artefatos táteis aos alunos cegos deve ser feita pelo professor, em um primeiro momento, conduzindo as mãos do aluno pelo artefato, especialmente as pontas dos dedos indicadores, que são muito utilizados na leitura em Braille. O estudante deve explorar as representações formadas por uma textura de cada vez e, depois, pode tatear o artefato livremente para obter uma informação do todo. Com o passar das aulas, inclusive os outros alunos podem ajudar o estudante cego neste processo, mas o auxílio inicial deverá sempre partir do professor.

A Figura 22 apresenta um esquema da primeira aula. Esta aula inicial irá trabalhar o tema “Características das ondas eletromagnéticas” e terá duração de 1 hora-aula (aproximadamente 50 minutos). As etapas da aula seguem a terminologia adotada por Kolb em seu ciclo de aprendizagem experiencial. Conforme o esquema da aula 1, na etapa de Experiência Concreta acontecerá a interação dos alunos com os artefatos 1, 2 e 3 (características das ondas, onda eletromagnética, espectro eletromagnético). Estes artefatos são mostrados nas Figuras 24, 23 e 25.

No artefato 1, foram utilizados materiais com texturas diferentes para distinguir os eixos e a onda. A corrente de bolinhas marca grandezas importantes, como comprimento de onda e amplitude e pode ser utilizada inclusive como referência para exercícios com cálculos.

No artefato 2, as texturas diferentes dos arames e setas de EVA utilizados para representar os vetores e amplitude dos campos elétrico e magnético permite facilmente a diferenciação entre eles. Os eixos x , y e z também foram confeccionados com material diferente do utilizado

nos campos. A tridimensionalidade do material possibilita uma compreensão melhor sobre a direção perpendicular da propagação da onda em relação aos campos.

No artefato 3, o comprimento de onda muda ao longo do artefato, possibilitando a discussão sobre frequências no espectro eletromagnético e a equação fundamental da ondulatória.

Em seguida, na Observação Reflexiva, o professor deverá propor perguntas para um debate sobre os artefatos. Sobre as características táteis dos artefatos, o professor pode perguntar sobre as texturas e os materiais que os alunos estão percebendo. Depois, pode questionar se eles observam padrões ou repetições no que tocam.

Como existem indicações em português e Braille nos artefatos, pode-se perguntar também sobre o que estes conceitos ou siglas querem dizer. Por fim, os alunos devem debater se existem semelhanças e relações entre os artefatos.

Na fase de Conceituação Abstrata acontecerá a explicação do professor sobre campo elétrico e magnético; onda eletromagnética; crista; vale; comprimento de onda; frequência; amplitude; e espectro eletromagnético.

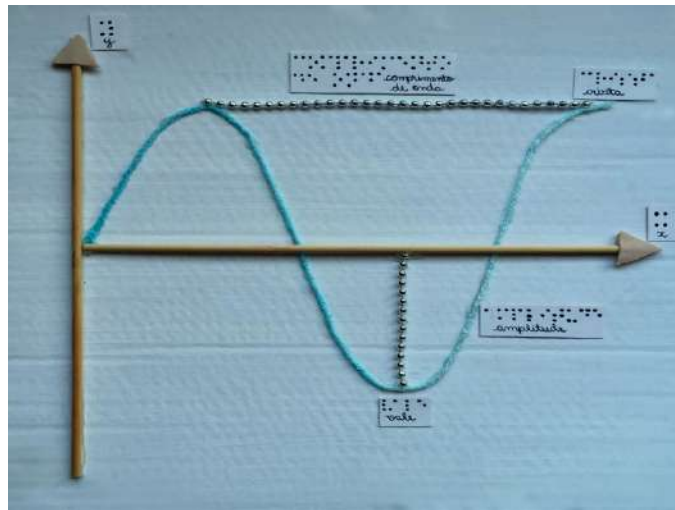
A proposta da última etapa do ciclo, a Experimentação Ativa, é a realização de pesquisa em grupos sobre as radiações presentes em nosso cotidiano. Assim, os alunos entenderão melhor o espectro eletromagnético e, especialmente, irão entender que muitas das radiações importantes para diversos fins não são visíveis.

Figura 22 – Esquema da aula 1.



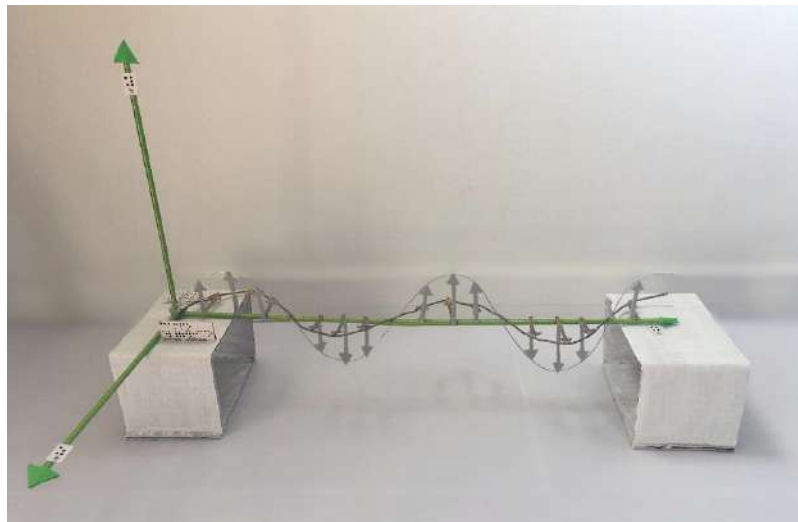
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 23 – Artefato 1 - Características das ondas.



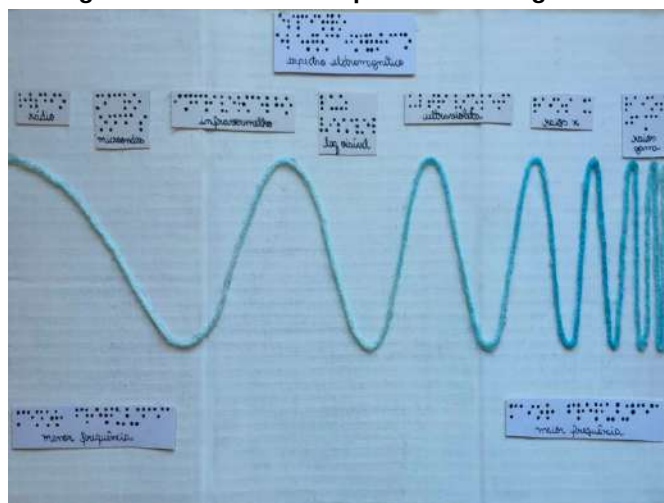
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 24 – Artefato 2 - Onda eletromagnética.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 25 – Artefato 3 - Espectro eletromagnético.



Fonte: Autoria própria (2022).

Um esquema da próxima aula é apresentado pela Figura 26.

Figura 26 – Esquema da aula 2.



Fonte: Autoria própria (2022).

Esta aula será sobre o tema “Fase e interferência” e terá duração de 1 hora-aula. Iniciará com a interação com os artefatos 4 e 5 (ondas em fase e fora de fase, interferência construtiva e destrutiva) na fase de Experiência Concreta. Estes artefatos são mostrados nas Figuras 27 e 28.

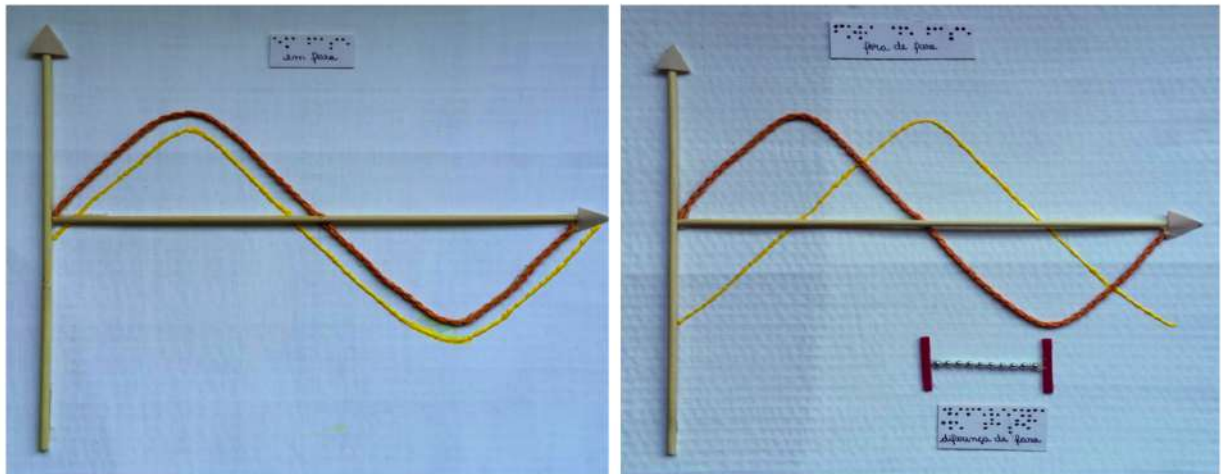
Os artefatos 4 e 5 foram confeccionados com texturas contrastantes para representar ondas distintas: a onda de miçangas é mais áspera que a onda de lã, por exemplo. Em ambos os artefatos também foi utilizada a corrente de bolinhas para possibilitar a medida de distâncias relevantes. No caso do artefato 5, deve-se incentivar os alunos a contar as bolinhas para identificar a amplitude das ondas e verificar a amplitude da onda resultante no caso de uma interferência construtiva e uma destrutiva.

Na Observação Reflexiva, o professor deverá novamente questionar os alunos sobre o que eles percebem em termos de texturas e materiais e sobre o que está escrito neles. Depois, pode perguntar: Qual a diferença entre as ondas do artefato 4? O que acontece com as ondas quando se somam no artefato 5? Qual a relação entre os dois artefatos?

Em seguida, virá a explicação do professor sobre ondas em fase e fora de fase; e interferência construtiva, mista e destrutiva, na etapa de Conceituação Abstrata.

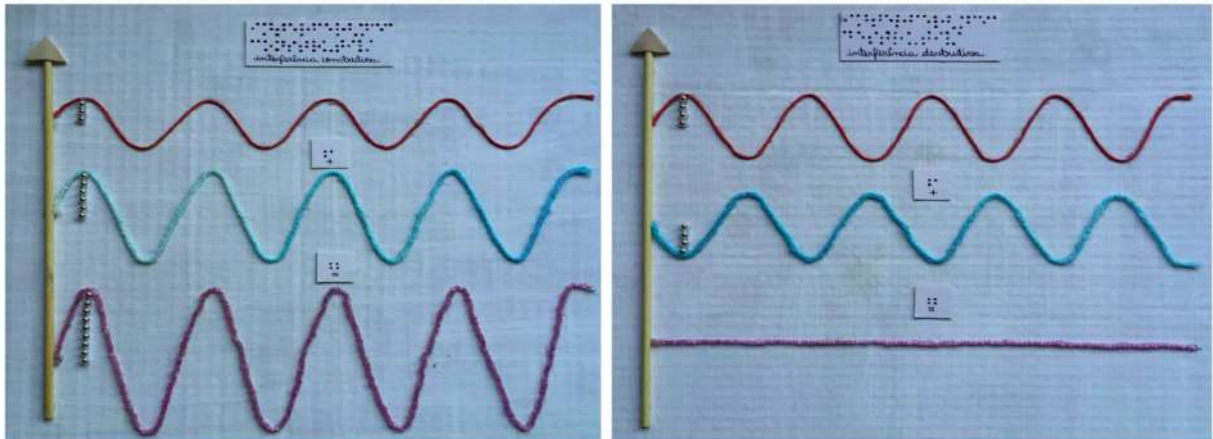
Na última fase, a Experimentação Ativa, a proposta é construir, em grupos, um jogo (pode ser um quebra-cabeça, um jogo de cartas, um caça-palavras, etc) sobre fase e interferência. O professor deverá oferecer os materiais necessários. Logo após, os grupos podem revezar os jogos para revisar o conteúdo.

Figura 27 – Artefato 4 - Ondas em fase e fora de fase.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 28 – Artefato 5 - Interferência construtiva e destrutiva.



Fonte: Autoria própria (2022).

Na Figura 29, tem-se um esquema da aula 3. Esta aula tem como objetivo o aprendizado sobre frentes de onda e também durará 1 hora-aula.

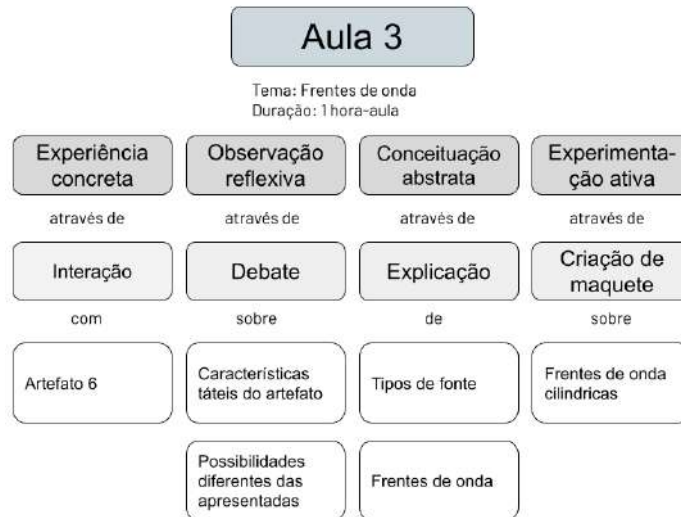
Primeiramente, os alunos vão interagir com o artefato 6, apresentado na Figura 30, visto de cima e de lado. Neste artefato, as ondas feitas de arame facilitam a compreensão tridimensional do fenômeno. O fio marca as frentes de onda, conectando as cristas das ondas provenientes da fonte (representada pela miçanga). Este artefato pode ser comparado com o artefato 2, pois a corrente de bolinhas indica em ambos a distância entre as cristas, ou seja, o comprimento de onda.

Na Observação Reflexiva, o professor pode incentivar os alunos a identificarem a parte da onda marcada pelo fio (cristas) e o que ele representa (frentes de onda). Outras características e materiais do artefato podem ser problematizadas também, como a miçanga no centro. Sobre isso, uma das questões pode ser: se ela tivesse outra forma, que não de esfera, a distribuição de ondas seria diferente? Isto vai encorajar os alunos a pensarem sobre outras possibilidades, que não estão representadas no artefato.

Na fase de Conceituação Abstrata, serão explicados os tipos de fontes luminosas e sua relação com as frentes de onda. É preciso que o professor esclareça que as frentes de onda não são linhas, e sim planos.

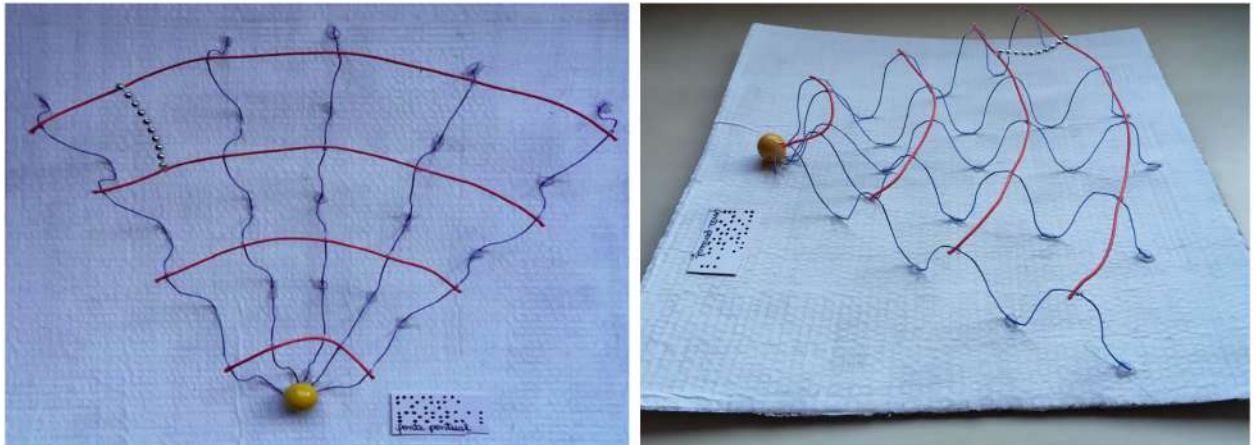
Para finalizar a aula, a proposta de Experimentação Ativa é a construção de maquetes representando frentes de onda cilíndricas. O professor deverá disponibilizar os materiais para os alunos trabalharem.

Figura 29 – Esquema da aula 3.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 30 – Artefato 6 - Fonte pontual e frente de onda (visto de cima e de lado).

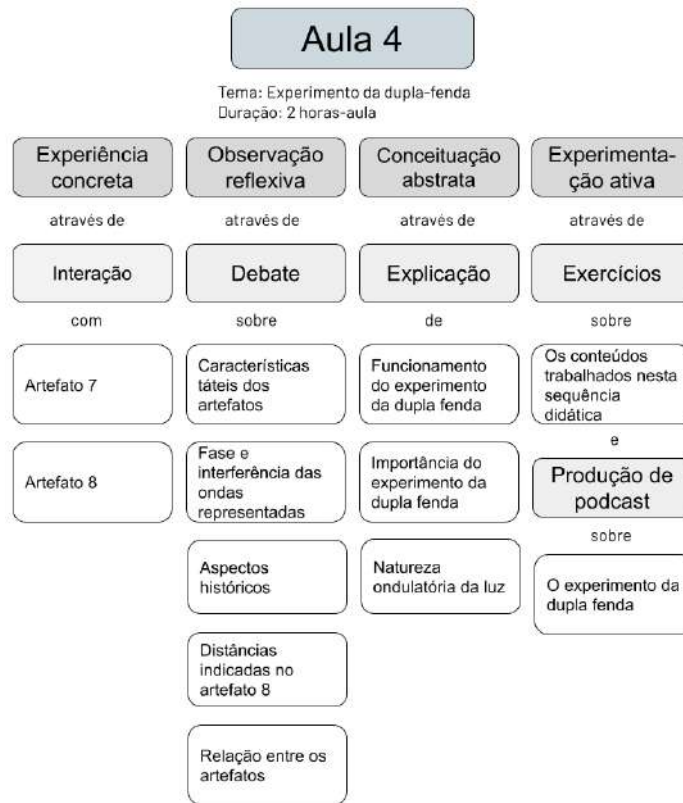


Fonte: Autoria própria (2022).

A última aula seguirá o esquema apresentado na Figura 31. Esta aula fecha a sequência didática ao trabalhar o tema “Experimento da dupla-fenda” e foi pensada para ser mais longa que as demais, com duração de 2 horas-aula.

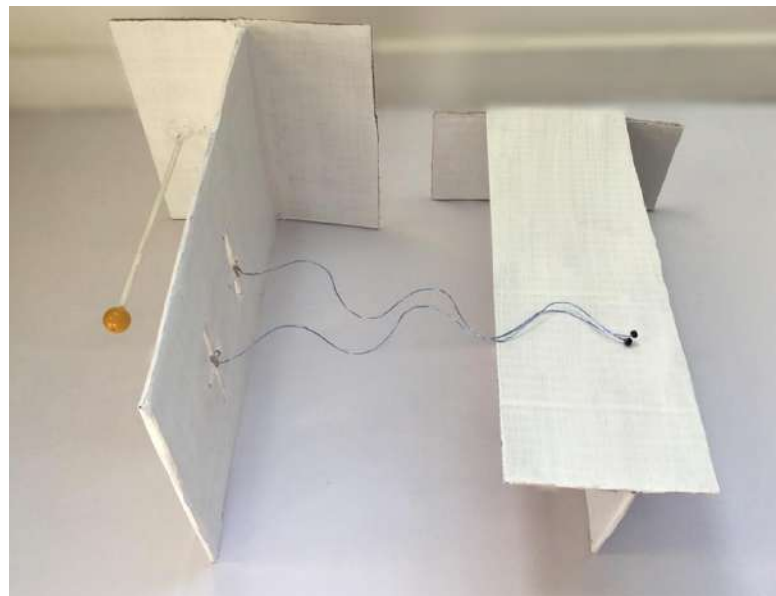
A Experiência Concreta será a interação com os artefatos 7 e 8, exibidos nas Figuras 32, 33 e 34.

Figura 31 – Esquema da aula 4.



Fonte: Autoria própria (2022).

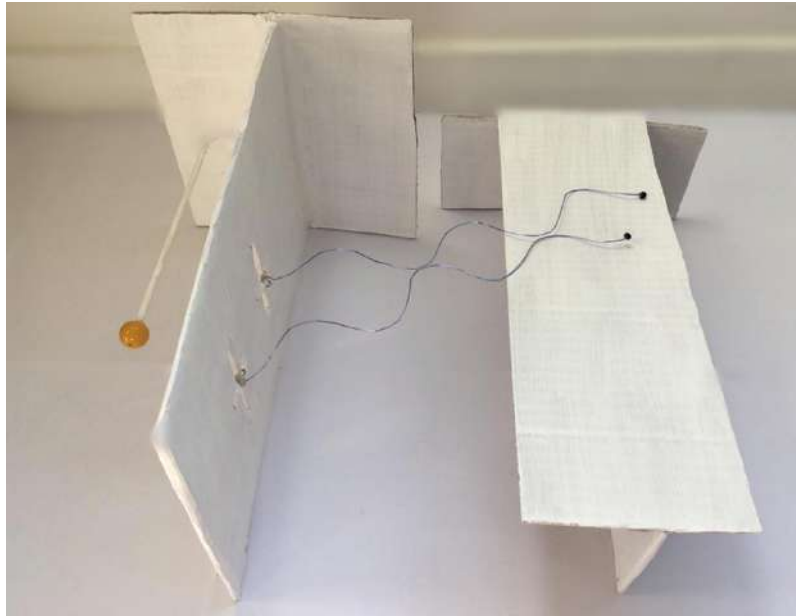
Figura 32 – Artefato 7 - Experimento de Young, em interferência construtiva.



Fonte: Autoria própria (2022).

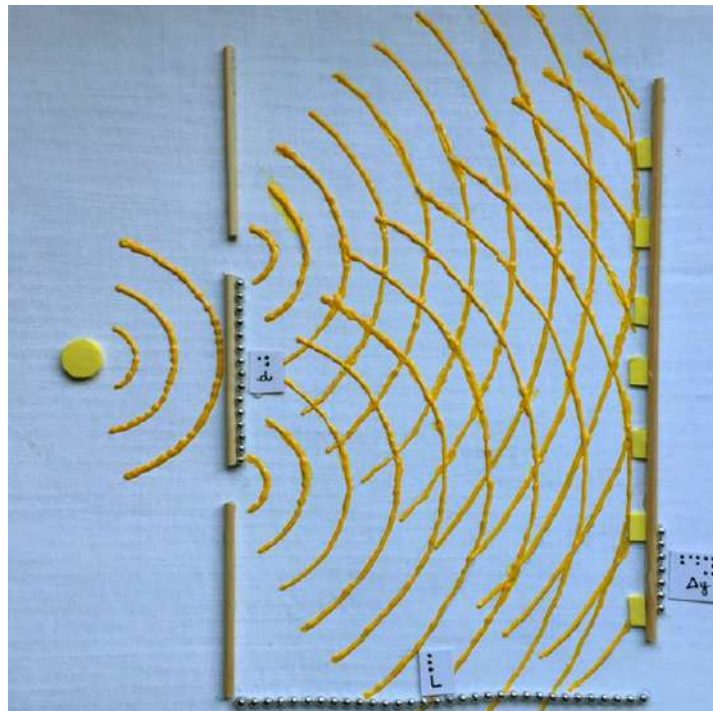
O artefato 7 é um sistema móvel: as ondas de arame podem ser movidas em diferentes direções, caracterizando assim os caminhos distintos que as ondas podem fazer até o anteparo. As miçangas na pontas das ondas podem ser utilizadas como referência para identificar se ocorreu uma interferência construtiva ou destrutiva.

Figura 33 – Artefato 7 - Experimento de Young, em interferência destrutiva.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 34 – Artefato 8 - Experimento de Young (frentes de onda)



Fonte: Autoria própria (2022).

Como neste artefato não é possível identificar o padrão de interferência, a função do artefato 8 é complementar a explicação, enfatizando as frentes de onda, o padrão de interferência no último anteparo, e as marcações de distâncias importantes para os cálculos sobre o experimento de Young, como a distância entre as fendas, entre os anteparos e entre os máximos.

Existem muitas coisas a serem questionadas sobre os artefatos na fase de Observação Reflexiva: as características táteis (Onde se encontra a fonte luminosa? Quantas fendas existem

no primeiro anteparo? Qual a função delas?); a diferença de fase entre as ondas e a interferência produzida (As ondas estão em fase ou fora de fase quando saem das fendas? E próximo ao anteparo? As ondas interferem destrutiva ou construtivamente? Isso depende de como você movimenta as ondas? Por quê?); aspectos históricos (O que você acha que esse experimento prova? Será que ele foi importante para a história da ciência? O que ele diz sobre a natureza da luz?); as distâncias indicadas no artefato 8; e a relação entre os dois artefatos.

Na etapa de Conceituação Abstrata, tem-se a explicação do professor sobre histórico do experimento de Young, seu funcionamento e consequências, sempre fazendo relações com conceitos trabalhados em aulas anteriores.

Por último, na Experimentação Ativa, propõe-se a realização de exercícios sobre todos os conteúdos trabalhados nesta sequência didática e a produção, em grupo, de um podcast sobre o experimento de Young.

4.3 O ciclo de Kolb e a ZDP na sequência didática proposta

No capítulo de Referencial Teórico, foi comentado que é possível estabelecer uma aproximação entre as concepções de Kolb e Vygotsky. Conforme enfatizado na seção anterior, o papel de cada uma das etapas do ciclo de Kolb durante as aulas é muito importante. Veremos a seguir que o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal também é essencial na proposta apresentada.

Nas obras de Kolb há menção a Vygotsky e à Zona de Desenvolvimento Proximal, e para Pimentel (2007, p. 162), a relação entre este conceito e a teoria de Kolb é que “a cada nova situação de aprendizagem há múltiplas zonas de desenvolvimento em processo e, de igual modo, há níveis distintos de consciência”.

A partir disto, propôs-se aqui que, entre a primeira etapa do ciclo de aprendizagem experiencial (Experiência Concreta - vivenciar uma circunstância) e a última (Experimentação Ativa - agir sobre uma circunstância), há uma (ou mais de uma) ZDP.

A fase de Experiência Concreta pode ser caracterizada como uma zona de desenvolvimento real, ou seja, aquilo que alguém é capaz de fazer sem ajuda, as habilidades atuais de um aluno. A última etapa do ciclo de Kolb caracteriza a zona de desenvolvimento potencial, onde estão as habilidades a serem alcançadas. Entretanto, entre experienciar certa situação e transformá-la, há uma janela: a oportunidade de desenvolver competências, como refletir e pensar - etapas intermediárias no ciclo de aprendizagem experiencial -, com a mediação de instrumentos, signos e de outras pessoas. Por isso, as etapas de Observação Reflexiva e Conceituação Abstrata são essenciais.

Todo esse processo é importante na educação inclusiva, em especial para o ensino de Física para alunos cegos, pois eles precisam experienciar, através de outros sentidos os conceitos e esquemas que normalmente são visuais, e somente depois de analisar e entender tal conhecimento, poderão agir sobre ele, construindo maquetes e jogos e resolvendo exercícios,

por exemplo. Conforme (KOLB, 2015, p. 175), “o conhecimento não existe apenas em livros, fórmulas matemáticas e sistemas filosóficos; ele requer aprendizes ativos para interagir, interpretar e elaborar esses simbolismos”.

A relação aqui proposta entre o ciclo de Kolb e a ZDP é ilustrada na Figura 35. A sequência de aulas e as atividades propostas em cada uma têm o objetivo de atingir o aprendizado máximo do aluno cego, considerando esta relação.

Figura 35 – Relação entre o ciclo de Kolb e a ZDP.



Fonte: Autoria própria (2022).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A importância da educação inclusiva é inegável. Porém, apesar de ser garantida por lei, ainda não é plenamente realizada nas escolas. Existem muitos fatores que contribuem para este cenário, entre eles, segundo Ferreira (2014), está a carência na formação de professores no que diz respeito à educação especial. Muitos estudantes de licenciatura e professores em diferentes períodos de suas carreiras não se sentem preparados para lecionar em turmas inclusivas (COSTA; NEVES; BARONE, 2006; TAVARES; SANTOS; FREITAS, 2016). Para superar esse tipo de dificuldade, é importante a compreensão sobre o processo de ensino-aprendizagem de alunos com deficiência. Conforme Wille *et al.* (2021),

destaca-se que a formação inicial na licenciatura consiste em um espaço essencial para a aprendizagem das teorias e das práticas docentes e possibilita que os futuros professores tenham oportunidades de vivenciar diferentes perspectivas de atuação em sala de aula (WILLE *et al.*, 2021, p.2272).

Neste sentido, a proposta deste trabalho foi pensada como uma forma de auxiliar professores e futuros professores em suas práticas e contribuir para a educação inclusiva. A Física, especialmente na área de óptica, faz uso de inúmeras representações e esquemas visuais para explicar seus fenômenos, e isso pode causar uma barreira na aprendizagem de alunos com deficiência visual. É preciso, portanto, explorar outros sentidos, como o tato, e para isso, o objetivo geral do trabalho foi o desenvolvimento de um conjunto de atividades educacionais sobre óptica ondulatória com a utilização de artefatos táteis, a fim de incluir alunos cegos que estejam cursando o ensino médio.

O cumprimento deste objetivo geral se deu através do alcance dos objetivos específicos. Primeiramente, através de uma revisão bibliográfica e estudo inspirado na análise de conteúdo (BARDIN, 2016), foram categorizadas propostas de ensino para alunos com deficiência visual. Vinte e dois trabalhos de diferentes origens (revistas de ensino, dissertações, trabalhos apresentados em evento) se encaixaram nas categorias definidas *a priori*. Foi possível verificar que existem materiais didáticos sonoros e táteis para o ensino de diferentes áreas da Física, além de propostas de sequência didática com o uso de tais materiais. Muitos trabalhos trazem as concepções de Lev Vygotsky sobre processo de ensino aprendizagem, o que é um ponto em comum com a fundamentação teórica adotada neste trabalho, mas nenhum citava a Zona de Desenvolvimento Proximal. Além disso, a teoria da aprendizagem experiencial de Kolb não apareceu em nenhuma das produções. Uma outra lacuna percebida foi a quantidade pequena de trabalhos sobre ensino de óptica para alunos com deficiência visual.

Após esta análise, foi proposto um conjunto didático de óptica ondulatória composto de 8 artefatos táteis e uma sequência didática, considerando preposições de Vygotsky (1991), Vygotsky (1997) e Kolb (2015), em específico a teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal e o ciclo de aprendizagem de Kolb. Os oito artefatos táteis foram elaborados com materiais baratos e fáceis de adquirir, como lã, fios, arames, papelão e palitos de madeira. Os artefatos enfati-

zam diferentes texturas para que o aluno cego possa compreender as representações sobre onda eletromagnética, partes da onda, espectro eletromagnético, diferença de fase, interferência, frentes de onda e, finalmente, o experimento de Young. Esses materiais também podem ser muito positivos para os alunos videntes, por serem mais interativos que ilustrações de livros didáticos, por exemplo.

Na sequência didática composta por quatro aulas, os materiais táteis devem ser usados e, em cada uma, devem acontecer as quatro etapas do ciclo de Kolb: Experiência Concreta, Observação Reflexiva, Conceituação Abstrata e Experimentação Ativa.

Ao longo das aulas, o professor deve guiar o aluno cego na utilização dos artefatos, tomando cuidado para não limitar a liberdade dele ao explorar os materiais e também considerando as experiências prévias e concepções espontâneas deste aluno, pois “ao colocar o aluno como protagonista no processo ensino-aprendizagem, o docente leva em conta a realidade do estudante, ou seja, o que ele já sabe” (WILLE *et al.*, 2021, p. 2273).

Pode-se concluir que os artefatos táteis sobre óptica ondulatória adaptados para alunos do ensino médio com deficiência visual podem trazer contribuições como:

- maior possibilidade de compreensão de conceitos abstratos e concretos associados a representações visuais;
- maior autonomia para os alunos cegos;
- maior interação entre alunos cegos e videntes;
- estímulo do tato, tanto de alunos cegos quanto videntes;
- mais segurança para o professor ao lecionar em uma turma inclusiva.

Enfatiza-se a importância de pesquisas sobre materiais didáticos adaptados, como os apresentados neste trabalho. Espera-se que estes artefatos possam servir de inspiração para a construção de outras possibilidades, com outros tipos de base em vez do papelão, por exemplo. Bases de madeira podem ser mais firmes e resistentes; placas magnéticas ou bases revestidas com velcro possibilitam o deslocamento de componentes (e a inclusão de novos componentes), tornando o artefato mais diversificado e interativo. A produção e uso deste tipo de material, não somente para a disciplina de Física, deve ser incentivada tanto na formação inicial quanto na formação continuada, pois eles são essenciais para uma educação realmente inclusiva.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. *et al.* Construção de uma maquete do sistema solar com controle de temperatura para alunos com deficiência visual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 4, p. 1–7, 2020. ISSN 1806-9126.
- ALVES, B. C.; BARBOSA-LIMA, M. C.; VIANNA, M. D. Reflexões sobre o ensino de física investigativo para pessoas com deficiência visual. In: **XVIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Florianópolis: [s.n.], 2020.
- AZEVEDO, A.; SANTOS, A. Ciclos de aprendizagem no ensino de física para deficientes visuais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 4, p. 1–6, 2014. ISSN 1806-9126.
- AZEVEDO, S.; SCHRAMM, D.; SOUZA, M. Material pedagógico inclusivo: trabalhando com maquetes táteis visuais do modelo geocêntrico e do heliocêntrico. **Física na Escola**, v. 16, n. 1, p. 30–34, 2018. ISSN 1983-6430.
- BANDEIRA, D. **Materiais Didáticos**. Curitiba: IESDE, 2009. 448 p.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016. 277 p.
- BORGES, J.; SILVA, E. S.; SANTOS, Z. Ensino da lei de Lenz adaptado para a deficiência visual: um experimento com circuito oscilador. In: **XI ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Curitiba: [s.n.], 2008.
- BRANCO, E. P.; ZANATTA, S. C. BNCC e reforma do ensino médio: implicações no ensino de ciências e na formação do professor. **Insignare Scientia**, v. 4, n. 3, p. 58–77, 2021. ISSN 2595-4520.
- BRASIL. **Declaração de Salamanca: Sobre Princípios, Políticas e Práticas na Área das Necessidades Educativas Especiais**. Brasília: MEC, 1994. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/seesp/arquivos/pdf/salamanca.pdf>. Acesso em: 28 junho 2022.
- BRASIL. Lei nº 9.394, de 20 de dezembro 1996. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 1996. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm. Acesso em: 26 maio 2022.
- BRASIL. **Alunos cegos e com baixa visão: orientações curriculares**. Brasília: MEC, 2008. Disponível em: <http://www.deficienciavisual.pt/x-txt-aba-OrientacoesCurricularesCegosBxV.pdf>. Acesso em: 26 maio 2022.
- BRASIL. Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Institui a Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 2015. ISSN 1677-7042. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 26 maio 2022.
- BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Senado Federal, 2016. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 26 maio 2022.

BRASIL. **Grafia Braille para a Língua Portuguesa**. Brasília: Ministério da Educação. Secretaria de Educação Continuada, Alfabetização, Diversidade e Inclusão, 2018. 95 p. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/docman/dezembro-2018-pdf/104041-anexo-grafia-braille-para-lingua-portuguesa/file>. Acesso em: 27 maio 2022.

BUZZÁ, H. *et al.* Preparação de material tátil-visual torna o ensino dos conceitos de óptica acessível para pessoas com deficiência visual - exposição "luz ao alcance das mãos". **Física na Escola**, v. 16, n. 1, p. 36–42, 2018. ISSN 1983-6430.

CAMARGO, E. P. É possível ensinar física para alunos cegos ou com baixa visão? proposta de atividades de ensino de física que enfocam o conceito de aceleração. **Física na Escola**, v. 8, n. 1, p. 30–34, 2007. ISSN 1983-6430.

CAMARGO, E. P. **Saberes docentes para a inclusão do aluno com deficiência visual em aulas de física**. São Paulo: Editora UNESP, 2012. 277 p.

CAMARGO, E. P. *et al.* Como ensinar óptica para alunos cegos e com baixa visão. **Física na Escola**, v. 9, n. 1, p. 20–25, 2008. ISSN 1983-6430.

CARVALHO, J. C. *et al.* Do braille ao computador: tecnologias inclusivas associadas aos alunos deficientes visuais. In: **XIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Foz do Iguaçu: [s.n.], 2011.

CASTRO, G.; LEITE, G.; MARTINS, J. Construção de um experimento para ensino-aprendizagem da primeira lei de Ohm para estudantes com deficiência visual. **Física na Escola**, v. 19, n. 1, p. 28–31, 2021. ISSN 1983-6430.

CASTRO, G. A. M. *et al.* Desafios para o professor de ciências e matemática revelados pelo estudo da bncc do ensino médio. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, v. 15, n. 2, p. 01–32, 2020. ISSN 1981-1322.

CORDOVA, H. P. *et al.* Audietermômetro: um termômetro para a inclusão de estudantes com deficiência visual. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 2, p. 1–4, 2018. ISSN 1806-9126.

COSTA, L. G.; NEVES, M. C. D.; BARONE, D. A. C. O ensino de física para deficientes visuais a partir de uma perspectiva fenomenológica. **Ciência & Educação**, v. 12, n. 2, p. 143–153, 2006. ISSN 1980-850X.

DARRIGOL, O. **A History of Optics: from greek antiquity to the nineteenth century**. New York: Oxford University Press, 2012. 287 p.

DUARTE, C. H. **Detecção Óptica da Eficiência Quântica da Fotossíntese**. abr. 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, abr. 2003.

EVANGELISTA, F. L. **O ensino de corrente elétrica a alunos com deficiência visual**. out. 2008. 210 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, out. 2008.

FERREIRA, M. F. **Uma abordagem para o ensino de física a alunos deficientes visuais: “um olhar diferente para o espelho”**. abr. 2014. 81 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, abr. 2014.

FINO, C. N. Vygotsky e a zona de desenvolvimento proximal (zdp): três implicações pedagógicas. **Revista Portuguesa de Educação**, v. 14, n. 2, p. 273–291, 2001. ISSN 2183-0452.

FRANCO, L. G.; MUNFORD, D. Reflexões sobre a base nacional comum curricular: Um olhar da área de ciências da natureza. **Revista Horizontes**, v. 36, n. 1, p. 158 – 170, 2018. ISSN 2317-109X.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2002. 175 p.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de física, volume 4: óptica e física moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HETCH, E. **Óptica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2002. 790 p.

HEWITT, P. G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015. 794 p.

IBGE. Censo demográfico 2010. 2010. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/snig/v1/?loc=0&cat=-1,-2,-3,128&ind=4647>. Acesso em: 26 maio 2022.

KOLB, A.; KOLB, D. A. Eight important things to know about the experiential learning cycle. **The Australian Educational Leader**, v. 40, p. 8–14, 2018.

KOLB, D. A. **Experiential learning: Experience as the source of learning and development**. New Jersey: Pearson Education, 2015. 390 p.

MANSKE, N. **Ensino de Física para deficientes visuais: materialização de figuras do livro didático**. ago. 2013. 85 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, ago. 2013.

MARTINS, A. O. **Representação de figuras do livro didático de Física: uma proposta para a melhoria da autonomia dos estudantes cegos**. abr. 2013. 90 p. Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, abr. 2013.

MEC. **Instituto Benjamin Constant oferece cursos sobre a visão**.

2015. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/ultimas-noticias/202-264937351/21060-instituto-benjamin-constant-oferece-cursos-sobre-a-visao>. Acesso em: 29 junho 2022.

MONTGOMERY, L. M. **Anne da Ilha**. Jandira, SP: Ciranda Cultural, 2020. 256 p.

NUNES, M. M. *et al.* Ouvir e sentir estrelas: astronomia para pessoas com deficiência visual. In: **XVII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Campos de Jordão: [s.n.], 2018.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 4: ótica, relatividade, física quântica**. São Paulo: Blücher, 2014. 360 p.

PILETTI, N.; ROSSATO, M. R. **Psicologia da aprendizagem: da teoria do condicionamento ao construtivismo**. São Paulo: Contexto, 2012. 176 p.

PIMENTEL, A. A teoria da aprendizagem experiencial como alicerce de estudos sobre desenvolvimento profissional. **Estudos de Psicologia**, v. 12, n. 2, p. 159–168, 2007. ISSN 1982-0275.

- PLAÇA, J.; GOBARA, S. A utilização de tecnologias assistivas na realização de tarefa com alunos cegos. In: **XVIII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Florianópolis: [s.n.], 2020.
- QUINTALHA, L.; BARBOSA-LIMA, M. Ensino de física através da patinação artística para alunos com deficiência visual. In: **XVII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Campos de Jordão: [s.n.], 2018.
- ROSA, P. R. S. **Uma Introdução à Pesquisa Qualitativa em Ensino de Ciências**. Campo Grande: [s.n.], 2013. 171 p.
- SCHINATO, L. C. S.; STRIEDER, D. M. O ensino de ciências na perspectiva da educação inclusiva e a importância dos recursos didáticos. **Temas em Educação**, v. 29, n. 2, p. 23–41, 2020. ISSN 2359-7003.
- SILVA, J. L.; TUNDISI, J. G. (Coord.) **Projeto de Ciência para o Brasil**. Rio de Janeiro: Editora UNESP, 2018. 400 p.
- SILVEIRA, M.; BARTHEM, R.; SANTOS, A. Proposta didático experimental para o ensino inclusivo de ondas no ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 1, p. 1–10, 2019. ISSN 1806-9126.
- STEIN, C.; SANTO, A. V.; JUNIOR, M. S. Tecnologia tátil-visual para o ensino de associação de capacitores e resistores. **Física na Escola**, v. 19, n. 2, p. 123–126, 2021. ISSN 1983-6430.
- TAVARES, L. M. F. L.; SANTOS, L. M. M. d.; FREITAS, M. N. C. A educação inclusiva: um estudo sobre a formação docente. **Revista Brasileira de Educação Especial**, v. 22, n. 4, p. 527–542, 2016. ISSN 1980-5470.
- VERASZTO, E. V. *et al.* Desenvolvimento, aplicação e análise de atividades de ensino de óptica para alunos cegos e com baixa visão. In: **XVII ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA**. Campos de Jordão: [s.n.], 2018.
- YVGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo, SP: Livraria Martins Fontes Editora Ltda., 1991. 96 p.
- YVGOTSKY, L. S. **Obras escogidas V: Fundamentos de defectología**. España: Visor, 1997. 73 p.
- WILLE, A. *et al.* Ensino de física centrado no aluno: uma experiência de licenciandos do PIBID/UTFPR. **Tecné, Episteme e Didaxis: TED**, extra, p. 2272–2276, 2021. ISSN 2323-0126.
- YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. A. **Física IV: Sears e Zemansky: ótica e física moderna**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2002. 534 p.
- YOUNG, T. II The Bakerian Lecture. On the Theory of Light and Colours. **Philosophical Transactions**, p. 12–48, 1801.
- YOUNG, T. **A Course of Lectures on Natural Philosophy and the Mechanical Arts**. London: [s.n.], 1807. 882 p. Printed for Joseph Johnson, St. Paul's Church Yard by William Savage, Bedford Bury.
- ZABALA, A. **A prática educativa: como ensinar**. Porto Alegre: Penso, 2014. 224 p.

**APÊNDICE A – Lista de materiais para confecção do conjunto didático
tátil de óptica ondulatória**

Abaixo encontra-se a lista de materiais para construção dos artefatos táteis. As compras foram realizadas em janeiro de 2022. Alguns materiais eu já tinha em casa, então pesquisei o preço médio.

Quadro 8 – Lista de materiais para confecção dos artefatos táteis.

Quantidade	Material	Preço individual	Onde encontrar
14	Pedaços de papelão (2 de 44 cm x 9 cm; 6 de 30cm x 30 cm; 1 de 42 cm x 24 cm; 1 de 29 cm x 17 cm; 1 de 17 cm x 17 cm; 1 de 17 cm x 8 cm; 2 de 31 cm x 8 cm)	R\$0,00	Supermercados (é só pedir)
2	Cola colorida (alto relevo)	R\$ 3,50	Papelarias, lojas de variedades, lojas de artesanato
1	Fita fina (10m x 4mm)	R\$ 2,30	Lojas de artesanato, lojas de embalagens, armarinhos
2	Miçangas grandes redondas	R\$ 0,35	Lojas de artesanato (para bijuterias)
1	Corrente de bolinhas	R\$ 1,30	Lojas de artesanato, armarinhos
1	Pacote de palitos de churrasco	R\$ 2,99	Lojas de variedades, lojas de embalagens
1	Rolo de arame liso	R\$ 1,09	Lojas de artesanato
1	Arame revestido com fio (1m)	R\$ 2,00	Lojas de artesanato, armarinhos
1	Fita trançada (1m)	R\$ 1,00	Lojas de artesanato, armarinhos
1	Pistola de cola quente	R\$ 15,53	Lojas de variedades, lojas de artesanato
3	Tubos de cola quente	R\$ 2,25	Lojas de variedades, lojas de artesanato
1	Novelo de lã	R\$ 4,19	Armarinhos
1	Fio tipo cordão encerado (10m)	R\$ 3,00	Lojas de artesanato, armarinhos
1	Pacote de miçangas pequenas (tipo vidrilho) 20g	R\$ 2,40	Lojas de artesanato (para bijuterias)
1	Linha de costura	R\$ 2,49	Armarinhos
4	Folhas de EVA (cores diferentes)	R\$ 5,90	Papelarias, lojas de variedades
1	Lápis	R\$ 0,85	Papelarias, lojas de variedades, supermercados
1	Borracha	R\$ 2,10	Papelarias, lojas de variedades, supermercados
1	Régua	R\$ 2,90	Papelarias, lojas de variedades, supermercados
1	Tesoura	R\$ 4,80	Papelarias, lojas de variedades, supermercados
1	Fita adesiva transparente (12 mm x 30 m)	R\$ 4,60	Papelarias, lojas de variedades, supermercados
3	Caixas de sabonete/cosméticos	R\$ 0,00	Se você tiver guardado. Também pode substituir por um papel mais grosso que o sulfite.
(opcional) 1	Tinta guache branca 250 ml	R\$ 7,99	Papelarias, lojas de variedades
(opcional) 1	Pincel chato n° 20	R\$ 6,99	Papelarias, lojas de variedades

Fonte: Autoria própria (2022).

TOTAL: R\$ 87,19 (ou R\$ 102,17 com os opcionais)

**APÊNDICE B – Tutorial para a construção do conjunto didático tátil de
óptica ondulatória**

Abaixo encontra-se um tutorial com os materiais e a instruções de confecção de cada artefato. Nas Figuras 36 a 38, encontram-se alguns símbolos em Braille, necessários para a sinalização dos artefatos.

Figura 36 – Alfabeto em Braille e letras com diacríticos.

1 – Alfabeto

a b c d e f g h i j k l m
 n o p q r s t u v w x y z

2 – Letras com diacríticos

Vogais	a	e	i	o	u
Acento agudo	á	é	í	ó	ú
Acento grave	à	–	–	–	–
Acento circunflexo	â	ê	–	ô	–
Til	ã	–	–	õ	–

Fonte: Retirado de (BRASIL, 2018b, p.23).

Figura 37 – Alguns símbolos matemáticos.

+	sinal de adição (mais)
-	sinal de subtração (menos)
x	sinal de multiplicação (vezes, multiplicado por)
÷ : /	sinal de divisão (dividido por)
=	sinal de igualdade (é igual a)

Fonte: Retirado de (BRASIL, 2018b, p.25).

Figura 38 – Alfabeto grego em Braille.

nome da letra	minúsculas		maiúsculas		nome da letra	minúsculas		maiúsculas	
	letra	braille	letra	braille		letra	braille	letra	braille
alfa	α		A		ni ou nu	ν		N	
beta	β		B		csi	ξ		Ξ	
gama	γ		Γ		omicron	ο		O	
delta	δ		Δ		pi	π		Π	
épsilon	ε		E		rô	ρ		P	
zeta	ζ		Z		sigma	σ		Σ	
eta	η		H		tau	τ		T	
teta	θ		Θ		úpsilon	υ		Υ	
iota	ι		I		fi	φ		Φ	
kapa	κ		K		chi	χ		X	
lambda	λ		Λ		psi	ψ		Ψ	
mi ou mu	μ		M		ômega	ω		Ω	

Fonte: Retirado de (BRASIL, 2018b, p.80).

Artefato 1 - Características das ondas

Materiais:

- Lã
- Corrente de bolinhas
- EVA
- 2 palitos de churrasco
- Tesoura
- Cola quente
- Lápis
- Borracha
- Régua
- Cola alto relevo
- Papel de caixa de sabonete/cosméticos
- 1 pedaço de papelão (medidas: 30 cm x 30 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções:

1. Opcional: Pinte de branco o pedaço de papelão.
2. Com o lápis, a régua e a borracha, faça marcações no papelão para marcar onde ficarão os eixos x e y. Desenhe a onda com a amplitude desejada.
3. Cole a lã por cima da marcação da onda feita a lápis, com a cola quente.
4. Corte dois triângulos de EVA (lados: aproximadamente 2 cm) para representar as extremidades dos eixos. Cole-as para esconder as pontas dos palitos. Com a cola quente, cole os eixos nas marcações que você fez.
5. Use a corrente de bolinhas para marcar distâncias importantes na onda: amplitude e comprimento de onda.
6. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: “eixo x”, “eixo y”, “amplitude”, “comprimento de onda”, “vale”, “crista”. Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille. Cole as sinalizações no artefato.

Artefato 2 - Onda eletromagnética

Materiais:

- Arame liso
- Arame revestido com fio
- 4 palitos de churrasco
- Tesoura
- Fita adesiva
- Fita
- EVA (três cores/texturas diferentes)
- Cola quente
- Cola alto relevo
- Papel de caixa de sabonete/cosméticos
- 2 pedaços de papelão (medidas: 44 cm x 9 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções:

1. Corte a ponta de um dos palitos de churrasco. Com a cola quente, una um palito a outro. Você pode fixar melhor passando a fita adesiva em volta dos dois palitos. Agora você tem três eixos: um maior (feito de dois palitos) e dois menores (os dois palitos restantes).

2. Una, com a cola quente, os três eixos de forma ortogonal. Com a fita, envolva os eixos. Além disso, corte seis triângulos de EVA (lados: aproximadamente 2 cm) para representar as extremidades dos eixos. Cole dois a dois para esconder as pontas dos palitos.

3. Agora que os eixos estão prontos, os campos magnético e elétrico podem ser adicionados. Faça uma onda com o arame liso, curvando-o com a mão. Repita o processo com o arame revestido com fio. Cole as ondas no eixo maior, perpendicularmente uma à outra.

4. Com as outras duas cores/texturas, corte setas para indicar a direção dos campos magnético e elétrico. Com a cola quente, cole as setas nas ondas de arame.

5. Com os dois pedaços de papelão faça suportes para os eixos. Basta dobrar em quatro partes, formando um paralelepípedo. Opcional: Pinte de branco os pedaços de papelão.

6. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: “x”, “y”, “z”, “campo magnético”, “campo elétrico”. Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille. Cole as sinalizações no artefato.

Artefato 3 - Espectro eletromagnético

Materiais:

- Lã
- EVA
- Tesoura
- Cola quente
- Lápis
- Borracha
- Régua
- Cola alto relevo
- Papel de caixa de sabonete/cosméticos
- 1 pedaço de papelão (medidas: 42 cm x 24 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções: 1. Opcional: Pinte de branco o pedaço de papelão.

2. Com o lápis, a régua e a borracha, desenhe a onda mudando a frequência (começando com uma frequência menor e terminando com uma frequência maior).

3. Cole a lã por cima da marcação da onda feita a lápis, com a cola quente.

4. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: “rádio”, “microondas”, “infravermelho”, “luz visível”, “ultravioleta”, “raios X”, “raios gama”, “maior frequência”, “menor frequência”, “espectro eletromagnético”. Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille. Cole as sinalizações no artefato.

Artefato 4 - Ondas em fase e fora de fase

Materiais:

- Fita trançada
- EVA
- Tesoura
- Cola quente
- Lápis
- Borracha

- Régua
- 2 colas alto relevo
- 4 palitos de churrasco
- Papel de caixa de sabonete/cosméticos
- 2 pedaços de papelão (medidas: 30 cm x 30 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções:

1. Opcional: Pinte de branco os pedaços de papelão. Com o lápis, a régua e a borracha, faça marcações nos papelões para marcar onde ficarão os eixos. Em um dos papelões, desenhe duas ondas em fase. No outro, desenhe duas ondas fora de fase.

2. Cole a fita trançada por cima da marcação de uma das ondas, com a cola quente. Repita no outro papelão. Passe a cola alto relevo por cima da marcação da outra onda. Repita no outro papelão.

3. Corte dois triângulos de EVA (lados: aproximadamente 2 cm) para representar as extremidades dos eixos. Cole-as para esconder as pontas dos palitos. Com a cola quente, cole os eixos nas marcações que você fez.

4. Com o EVA e a corrente de bolinhas marque a diferença de fase das ondas do segundo pedaço de papelão.

5. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: “em fase”, “fora de fase”, “diferença de fase”. Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille. Cole no artefato.

Artefato 5 - Interferências construtiva e destrutiva

Materiais:

- Fita tipo fio encerado
- Lã
- EVA de cores diferentes
- Linha de costura (pode substituir por elástico de fazer bijuteria)
- Miçangas tipo vidrilho
- Tesoura
- Cola quente
- Lápis

- Borracha
- Régua
- Cola alto relevo
- 2 palitos de churrasco
- Papel de caixa de sabonete/cosméticos
- 2 pedaços de papelão (medidas: 30 cm x 30 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções:

1. Opcional: Pinte de branco os pedaços de papelão.
2. Com o lápis, a régua e a borracha, faça marcações nos papelões para marcar onde ficará o eixo y. Em um dos papelões, desenhe duas ondas em fase (uma abaixo da outra) com a amplitude que desejar. Desenhe também a onda resultante desta interferência construtiva. No outro papelão, repita o processo, mas para ondas totalmente fora de fase, cuja soma resultará em uma interferência destrutiva.
3. Cole a fita tipo fio encerado por cima da marcação de uma das ondas, com a cola quente. Repita no outro papelão. Cole a lâ por cima da marcação da outra onda. Repita no outro papelão.
4. Meça a quantidade de linha de costura que você precisará para a onda resultante nos dois casos. Corte a linha e vá passando as miçangas ao longo dela, até atingir o tamanho necessário. Dica: Você pode passar as miçangas com o auxílio de uma agulha, se quiser.
5. Cole a linha com miçangas por cima da marcação da onda resultante, com a cola quente. Repita no outro papelão. Corte dois triângulos de EVA (lados: aproximadamente 2 cm) para representar as setas dos eixos. Cole-as para esconder as pontas dos palitos. Com a cola quente, cole os eixos y nas marcações que você fez.
6. Com a corrente de bolinhas marque a amplitude das ondas, lembrando que a última deverá ser a soma das duas outras.
7. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: “interferência construtiva” e “interferência destrutiva”. Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille. Cole no artefato.

Artefato 6 - Fonte pontual e frente de onda

Materiais:

- Fita tipo fio encerado
- Arame liso

- 1 miçanga grande
- Tesoura
- Cola quente
- Lápis
- Borracha
- 1 pedaço de papelão (medidas: 30 cm x 30 cm)
- Cola alto relevo
- Papel de caixa de sabonete/cosméticos
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções:

1. Opcional: Pinte de branco o pedaço de papelão.
2. Corte cinco pedaços iguais do arame e vá torcendo cada pedaço para que fiquem com o formato de onda. Todas as cinco ondas de arame devem ser o mais parecidas possível, com a mesma amplitude e comprimento de onda.
3. Com o lápis e a borracha, faça marcações nos papelões para indicar onde ficará a miçanga, que representa a fonte pontual de luz, e onde ficarão as ondas emanadas pela fonte.
4. Com a cola quente, cole a miçanga e os arames segundo as marcações que você fez.
5. Agora cole a fita tipo fio encerado, unindo as cristas das ondas, para representar as frentes de onda.
6. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: “fonte pontual”. Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille. Cole no artefato.

Artefato 7 - Representação do experimento de Young

Materiais:

- Arame liso
- 1 miçanga grande
- 2 miçangas pequenas
- 1 palito de churrasco
- EVA
- Tesoura
- Cola quente

- 5 pedaços de papelão (medidas: 1 de 29 cm x 17 cm; 1 de 17 cm x 17 cm; 1 de 17 cm x 8 cm; 2 de 31 cm x 8 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

1. Opcional: Pinte de branco os pedaços de papelão e o palito de churrasco.

2. Com a tesoura, faça duas fendas no papelão de 29 cm x 17 cm. Use o papelão de 17 cm x 17 cm para fazer a base. Cole os pedaços de 31 cm x 8 cm perpendicularmente um ao outro. A base lateral será o pedaço de 17 cm x 8 cm.

3. Corte dois pedaços do arame e vá torcendo cada pedaço de forma que fique com o formato de onda. As ondas de arame devem ser o mais parecidas possível, com a mesma amplitude e comprimento de onda. Faça também dois aros pequenos de arame e cole numa das extremidades das ondas. Na outra extremidade, cole a miçanga pequena.

4. Em frente ao anteparo com fendas, cole o palito na base. Cole a miçanga na ponta do palito. A miçanga deve ficar na altura entre as fendas.

5. No centro das fendas, cole um pequeno pedaço de arame na vertical, com o aro de arame passando através dele. Isso vai prender as ondas nas fendas, mas ainda será possível movimentá-las em diferentes direções.

Artefato 8 - Representação do experimento de Young (frentes de onda)

Materiais:

- 2 palitos de churrasco
- EVA
- Corrente de bolinhas
- 2 colas relevo
- Tesoura
- Cola quente
- Lápis
- Borracha
- Régua
- Faca ou estilete
- 1 pedaço de papelão (medidas: 30 cm x 30 cm)
- Opcional: tinta branca e pincel

Instruções:

1. Opcional: Pinte de branco o pedaço de papelão. Corte com a faca ou estilete um dos palitos de churrasco em três partes iguais.

2. Com o lápis, a régua e a borracha, faça marcações no papelão para marcar onde ficarão os anteparos (o primeiro terá duas fendas) e a fonte pontual. Desenhe também as frentes de onda vindas das fendas do primeiro anteparo. Corte um círculo de EVA para representar a fonte de luz. Cole-a na posição marcada.

3. Com a cola quente, cole os anteparos nas marcações que você fez.

4. Passe a cola relevo por cima das marcações das frentes de onda.

5. Observe onde as frentes de onda se encontram na região do segundo anteparo. Corte o EVA em pequenos retângulos. Cole-os para representar as interferências construtivas. Cole a corrente de bolinhas para indicar as distâncias: entre os anteparos (L), entre dois máximos (Δy) e entre as fendas (d).

6. Corte o papel de embalagem de sabonete/cosméticos e escreva em português e em Braille: " L ", " Δy " e " d ". Use a cola relevo para fazer a escrita em Braille.

As fotos de todos os artefatos táteis foram apresentadas na seção 4.2 nas Figuras 24, 23, 25, 27, 28, 30, 32, 33 e 34.

APÊNDICE C – Planos de aula para a sequência didática

Abaixo, encontram-se os planos de aula para a sequência didática sobre óptica ondulatória.

Quadro 9 – Aula 1

<p>Material(is) didático(s) inclusivo(s): Artefato 1 - Onda eletromagnética (campos elétrico e magnético) Artefato 2 - Características das ondas (frequência, comprimento de onda, amplitude) Artefato 3 - Espectro eletromagnético</p>
<p>Tema(s) da aula: Ondas eletromagnéticas e suas características</p>
<p>Objetivo(s) da aula: Introduzir conceitos básicos sobre ondas eletromagnéticas para que os alunos entendam a natureza ondulatória da luz e possam compreender melhor os conteúdos das aulas seguintes.</p>
<p>Conteúdo(s) da aula: Definição e características das ondas eletromagnéticas; Frequência e comprimento de onda; Espectro eletromagnético e exemplos cotidianos.</p>
<p>Estruturação da aula: Experiência Concreta: interação com os artefatos. Observação Reflexiva: discussão sobre aspectos dos artefatos. Conceituação Abstrata: definição e explicação de conceitos: campo elétrico e magnético; onda eletromagnética; crista; vale; comprimento de onda; frequência; velocidade da luz; amplitude; e espectro eletromagnético. Experimentação Ativa: pesquisa sobre radiações no cotidiano.</p>

Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 10 – Aula 2

<p>Material(is) didático(s) inclusivo(s): Artefato 4 - Ondas em fase e fora de fase Artefato 5 - Interferências construtiva e destrutiva</p>
<p>Tema(s) da aula: Fase e interferência</p>
<p>Objetivo(s) da aula: Trabalhar os conceitos de fase, interferência construtiva (total e parcial) e destrutiva para que os alunos possam compreender o experimento de Young nas próximas aulas.</p>
<p>Conteúdo(s) da aula: Fase; Interferência.</p>
<p>Estruturação da aula: Experiência Concreta: interação com os artefatos. Observação Reflexiva: discussão sobre aspectos dos artefatos. Conceituação Abstrata: definição e explicação de conceitos: fase, diferença de fase, interferência construtiva, mista e destrutiva. Experimentação Ativa: criação de jogo sobre fase e interferência.</p>

Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 11 – Aula 3

Material(is) didático(s) inclusivo(s): Artefato 6 - Fonte pontual e frente de onda
Tema(s) da aula: Fontes e frentes de onda
Objetivo(s) da aula: Estabelecer as diferenças entre frentes de onda produzidas por fontes pontuais e lineares para que os alunos possam compreender a função das fendas no experimento de Young.
Conteúdo(s) da aula: Fontes pontuais e lineares; Frentes de onda.
Estruturação da aula: Experiência Concreta: interação com os artefatos. Observação Reflexiva: discussão sobre aspectos dos artefatos. Conceituação Abstrata: definição e explicação de conceitos: fontes pontuais e lineares, frentes de onda. Experimentação Ativa: criação de maquete sobre frentes de onda cilíndricas.

Fonte: Autoria própria (2022).

Quadro 12 – Aula 4

Material(is) didático(s) inclusivo(s): Artefato 7 - Representação do experimento de Young Artefato 8 - Representação do experimento de Young (frentes de onda)
Tema(s) da aula: Experimento de Young
Objetivo(s) da aula: Mostrar uma representação tátil do experimento de Young para que os alunos entendam seu funcionamento e implicações.
Conteúdo(s) da aula: Aspectos históricos do experimento de Young; Conceitos da óptica ondulatória envolvidos no experimento; Conclusões do experimento de Young e seu impacto na ciência.
Estruturação da aula: Experiência Concreta: interação com os artefatos. Observação Reflexiva: discussão sobre aspectos dos artefatos. Conceituação Abstrata: definição e explicação do funcionamento e implicações do experimento da dupla fenda; discussão sobre a natureza da luz. Experimentação Ativa: realização de exercícios sobre todos os conteúdos trabalhados e produção de podcast sobre o experimento de Young.

Fonte: Autoria própria (2022).