

## **A UTILIZAÇÃO DE UM ESTEREOSCÓPIO PARA A PRODUÇÃO DE IMAGENS 3D: UMA FERRAMENTA DE ENSINO DA POLARIZAÇÃO DA LUZ EM UMA ABORDAGEM SOCIOCULTURAL PARA O ENSINO MÉDIO**

*The use of a stereoscope to produce of 3D images: A teaching tool for the polarization of light in a sociocultural approach for high school*

**Carlos Adriano da Conceição Cardoso** [adriano.carlos@ufma.br]

**Clenilton Costa dos Santos** [clenilton.cs@ufma.br]

**Edson Firmino Viana de Carvalho** [edson.carvalho@ufma.br]

*Departamento de Física, Universidade Federal do Maranhão*

*Avenida dos Portugueses, 1966, Cidade Universitária, CEP 65080-805 – São Luís – Maranhão*

**Cláudio Rejane da Silva Dantas** [claudio.dantas@urca.br]

*Universidade Regional do Cariri*

*Avenida Leão Sampaio, 170, CEP 63041-235 – Juazeiro do Norte – Ceará*

*Recebido em: 02/08/2023*

*Aceito em: 01/05/2024*

### **Resumo**

Este trabalho trata de uma proposta pedagógica que possibilita o ensino do fenômeno da polarização da luz para estudantes do ensino médio através do uso de um estereoscópio confeccionado com materiais de fácil aquisição para exibição de imagens tridimensionais. O processo de investigação da aprendizagem está fundamentado na teoria sociocultural de Lev Vygotski, principalmente na valorização das interações socioculturais entre os educandos para apoiar o desenvolvimento de funções mentais superiores. Como aspecto metodológico, fundamentamo-nos nas etapas da Situação de Estudo (SE). A pesquisa de intervenção foi implementada em uma turma de 35 alunos da terceira série do ensino médio regular de uma escola da rede pública de ensino localizada na cidade de São Luís, no Maranhão. Nossa fonte direta de coleta de dados foi o professor/pesquisador, as observações dos participantes durante as etapas da SE, registros em notas de campo e questionários. A investigação revela que a proposta despertou o interesse dos alunos, proporcionou maior interação e engajamento no contexto de aquisição das aprendizagens e agregou significado ao conceito abstrato sobre a natureza da luz, especificamente no entendimento do fenômeno de polarização da luz.

**Palavras-chave:** Ensino de Física; Situação de Estudo; Polarização da Luz.

### **Abstract**

This study presents an educational proposal that enables teaching the phenomenon of light polarization to high school students through a stereoscope made with easily accessible materials for displaying three-dimensional images. The process of learning investigation is based on Lev Vygotsky's sociocultural theory, particularly emphasizing the value of sociocultural interactions among students to support the development of higher mental functions. As a methodological aspect, we rely on the Study Situation (SS) stages. The intervention research was implemented in a class of 35 students in the third year of regular high school at a public school in São Luís, Maranhão. Our direct data collection sources were the teacher/researcher, participant observations during the SS stages, field notes, and questionnaires. The investigation reveals that the proposal sparked the students' interest, fostered more significant interaction and engagement in the learning acquisition context, and provided meaningful insights into the abstract concept of the nature of light, specifically in understanding the phenomenon of light polarization.

**Keywords:** Physics Teaching; Study Situation; Light Polarization.

## INTRODUÇÃO

A polarização da luz pode ser tratada como uma manifestação espontânea da natureza e ocorre, por exemplo, quando a luz do Sol é espalhada pela atmosfera terrestre ou refletida na superfície de um lago, em uma lâmina de vidro ou em qualquer outra superfície não condutora. A descoberta e o entendimento dessa propriedade típica da luz resultaram em aplicações importantes no campo da medicina, biologia, engenharia, artes visuais, designer e outros (Zílio, 2000). Trata-se, portanto, de algo que, em muitos aspectos, faz parte do cotidiano dos estudantes, mas que não tem sido abordado em sala de aula com a devida relevância.

Nos livros didáticos de Física, de acordo com experiência de docência do primeiro autor, fenômenos como a reflexão, absorção, refração e interferência são tratados com uma abordagem adequada quanto aos aspectos conceituais, matemáticos e práticos, inclusive com várias sugestões de experimentos. Todavia, o estudo da polarização, que também é um fenômeno intrinsecamente ligado à natureza ondulatória da luz, não tem sido recepcionado com a mesma intensidade e muitas vezes desconsiderado na estruturação do ensino.

Em uma breve revisão de literatura considerando artigos publicados entre os anos de 1991 e 2019 (usando descritores como polarização, luz polarizada, birrefringência, atividade óptica, reflexão da luz, espalhamento e lei de Malus) foi possível encontrar as seguintes categorias: (I) relaciona a polarização da luz com situações recorrentes do dia a dia; (II) faz uso de tecnologias digitais; (III) faz uso de instrumentos específicos de laboratório; e (IV) traz uma abordagem compatível para estudantes de nível médio. Dentre estas publicações, constatou-se que somente 6 (seis) delas (Colombo, 1991; Londrina, 1998; Ortiz, Laburú & Silva, 2010; Ribeiro & Verdeaux, 2012; Santos *et al.*, 2016; Soga, Toledo & Muramatsu, 2017) adotam uma abordagem mais "estimulante", para alunos menos interessados no estudo da Física, ao contextualizarem o estudo da polarização com situações concretas do dia a dia dos estudantes.

Ribeiro & Verdeaux (2012) destacam, por meio de uma revisão, que as propostas que enfocam a abordagem experimental para apoiar o estudo da ótica no período de 2001 a 2009 apresentaram um crescimento surpreendente de 276% em relação ao período de 1992 a 2000. Esses autores revelam que os principais tópicos discutidos na literatura são: natureza da luz, reflexão, refração, difração, interferência, polarização e dispersão. Para eles há uma grande lacuna em relação ao tratamento dos três últimos tópicos, sendo que a polarização figura como o último no ranking com apenas quatro publicações entre 1992 e 2010. Tal lacuna também foi observada por Carneiro & Ribeiro (2016) ao indicarem que a polarização da luz pode ser considerada como um campo fértil de pesquisa tendo em vista a existência de poucos trabalhos que tratam do ensino deste fenômeno. O fato desse conteúdo ser pouco abordado na Educação Básica justifica ter se tornado um campo fértil para pesquisas sobre alternativas que associem de forma mais direta a relação entre esse conteúdo às experiências diárias dos estudantes.

Para Vieira & Aguiar (2015) a luz polarizada é utilizada para os mais variados fins e seus benefícios estão presentes no dia a dia das pessoas por meio da popularização da tecnologia através de diversos eletrônicos portáteis e da indústria do entretenimento. Eles afirmam ainda que "os polaroides (polarizadores) são de grande importância na pesquisa em Física e em usos mais cotidianos como na fotografia, nas telas de LCD e na projeção de filmes 3D" (p. 04).

O objetivo deste artigo é apresentar o desenvolvimento das aprendizagens de estudantes do ensino médio sobre o conceito da polarização da luz no estudo da ótica usando como recurso didático alternativo um estereoscópio construído com materiais acessíveis (baratos) para apoiar a visualização de imagens tridimensionais. Este instrumento permite que professores e alunos produzam e visualizem imagens tridimensionais por meio da luz polarizada, se constituindo, em nossa opinião, como elemento motivador que foi validado por meio de uma sequência de ensino em situações reais de sala de aula. Como ponto de partida para elaboração do experimento problematizamos acerca de

quais recursos costumam explorar propriedades da visão e que pode despertar a curiosidade nas pessoas. Feito isso, verifica-se que na escola não é diferente, pois experimentos e demonstrações que envolvem sensações visuais atraem os estudantes e estimulam a busca por explicações. Para a construção do experimento (estereoscópio), fez-se uso de objetos e instrumentos de fácil acesso e de materiais simples (alguns deles provenientes de descarte) a fim de contornar o problema da inexistência ou inoperância, em muitas escolas, de laboratórios, computadores e acesso à internet.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O marco teórico escolhido para nortear nossa prática, quanto a interpretação analítica dos dados e, principalmente, na questão da valorização das interações entre os sujeitos, e para apoiar o desenvolvimento das aprendizagens, está ancorado na teoria sociocultural de Vygotski (2009).

Essa teoria é construída sob uma perspectiva na qual o desenvolvimento do indivíduo é um processo construído pelas interações que ele estabelece no contexto histórico e cultural em que está inserido (Vygotsky; Luria & Leontiev, 2010). Pois, é na atividade prática desencadeada pela coletividade que o indivíduo se aproveita da linguagem e dos objetos físicos disponíveis em sua cultura, promovendo assim seu desenvolvimento, dando ênfase aos conhecimentos histórico-cultural, conhecimentos produzidos e já existentes em seu cotidiano (Coelho & Pisoni, 2012). Tal que, Vygotski a classifica em dois grupos a maneira como o indivíduo adquire conhecimentos: aqueles adquiridos da experiência pessoal, concreta e cotidiana caracterizados por observações, manipulações e vivências diretas, chamados de “conceitos espontâneos” e aqueles adquiridos em sala de aula, sistemáticos, formais e não diretamente acessíveis à observação ou ação imediata, chamados de “conceitos científicos” (Coelho & Pisoni, 2012).

O professor tem um papel de destaque na concepção vygotskiana de ensino-aprendizagem por ser aquele que possui os conhecimentos e habilidades que os alunos devem “imitar” para avançar no campo das suas potencialidades intelectuais. Cabe a ele orientar o aluno quanto aos aspectos que devem ser observados em uma dada atividade, quanto a análise dos resultados, bem como o caminho a se seguir para solucionar um problema. Porém, para que o professor promova o diálogo e crie situações em que o aluno possa expor aquilo que sabe, torna-se imprescindível que conheça o aluno, suas descobertas, hipóteses, crenças, opiniões. Assim, os registros e as observações são fundamentais, tanto para o planejamento e objetivo quanto para a avaliação (Coelho & Pisoni, 2012).

A Física como ciência está inteiramente relacionada à experiência. Portanto, a realização de experimentos que reproduzam fenômenos ou processos (naturais ou tecnológicos) presentes no dia a dia dos alunos e cujo entendimento tenha alguma utilidade prática e, se possível, imediata, proporciona que o aprendizado seja mais problematizado e relacionado com o meio externo do indivíduo, como sugere a teoria cultural e interacionista de Vygotski. Pois, a formação dos conceitos científicos é um processo dinâmico que resgata a revisão contínua das teorias à luz das evidências, o que lhe caracteriza como um processo complexo que ocorre ao longo do desenvolvimento do pensamento científico.

## METODOLOGIA

Esta pesquisa é, do ponto de vista da problemática, qualitativa. Pois, segundo Silva & Menezes (2005), envolve um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não se pode traduzir em valores numéricos. Sendo que sua proposta de ensino remete a uma Situação de Estudo (SE) associada a uma sequência de aprendizagem. A SE foi implementada em uma turma de 35 alunos da terceira série do ensino médio regular de uma escola da rede pública localizada na cidade de São Luís, capital do Maranhão, durante o segundo semestre de 2019.

Para analisar o desenvolvimento da prática pedagógica em sala de aula bem como o desempenho dos estudantes durante as etapas de aplicação da sequência de aprendizagem, utilizamos os seguintes instrumentos: as gravações das aulas (em áudio), as atividades práticas e as avaliações individuais (escrita e subjetiva) (com consentimento por meio do termo livre e esclarecido assinados pelos responsáveis).

A gravação em áudio das discussões fomentadas auxiliou na análise das interações estabelecidas entre os sujeitos envolvidos durante a realização das tarefas bem como na evolução conceitual adquirida pelos estudantes. Já as atividades práticas valorizaram o engajamento dos participantes. Enquanto as questões da avaliação individual buscaram explorar a capacidade dos estudantes de conceituar e descrever processos de polarização da luz fazendo uso de termos específicos, evidenciando por meio de esquemas representativos (figuras e/ou desenhos) o entendimento acerca dos modelos físicos abordados a fim de averiguar a capacidade de explicarem novas situações a partir dos conhecimentos adquiridos.

## SEQUÊNCIA DE ENSINO BASEADA EM SITUAÇÕES DE ESTUDOS

Uma situação de estudo (SE) é uma abordagem pedagógica que visa promover a aprendizagem por meio da exploração de situações ou problemas autênticos. Nesse contexto, os alunos são desafiados a enfrentar uma situação complexa, realista e contextualizada, que requer a aplicação de conhecimentos, habilidades e estratégias para sua resolução (Halmenschlager, Stuaní & Souza, 2009).

A vivência e as relações que o aluno estabelece com seu meio são importantes na construção do conhecimento, pois possibilita a formação das funções psicológicas superiores (Maldaner & Zanon, 2001). Sendo assim, a SE contempla os conteúdos escolares a partir da vivência dos estudantes, contribuindo para o desenvolvimento dos conceitos de modo mais significativo, rompendo com a forma linear e tradicional do ensino. Busca-se, com a referida proposta, contemplar um ensino contextualizado, inter e transdisciplinar, com foco em uma ‘situação concreta’, complexa, que professores e estudantes buscam compreender de forma ampla (Sangiogo *et al.*, 2013). A SE segue uma dinâmica específica sistematizada em três etapas de acordo com a Tabela 1.

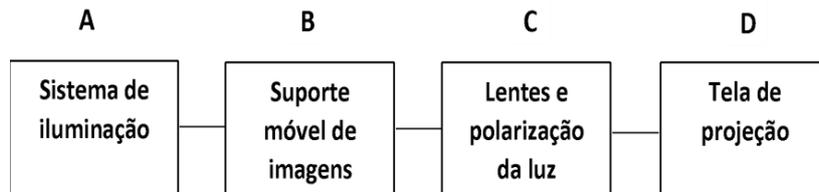
**Tabela 1.** Etapas de uma Situação de Estudo.

Etapas		Ações
1.	Problematização	Levantar o entendimento que os alunos têm sobre o tema proposto evidenciando a necessidade de novos conhecimentos.
2.	Primeira elaboração	Realização de atividades que envolvam mais aprofundamento acerca da situação ou problema apresentado na etapa de problematização. Busca-se construir um estudo sistematizado dos conhecimentos apresentados na etapa de problematização.
3.	Função de elaboração e compreensão textual	Os estudantes se depararam com situações-problema não relacionadas explicitamente àquelas apresentadas na etapa da problematização, mas que o entendimento se dá a partir do mesmo leque de conhecimentos oriundos das discussões motivada pela situação inicial. Nessa etapa deve ocorrer o domínio de uma nova linguagem onde o estudante terá uma compreensão conceitual científica sobre todos os aspectos abordados na SE.

Fonte: autoria própria

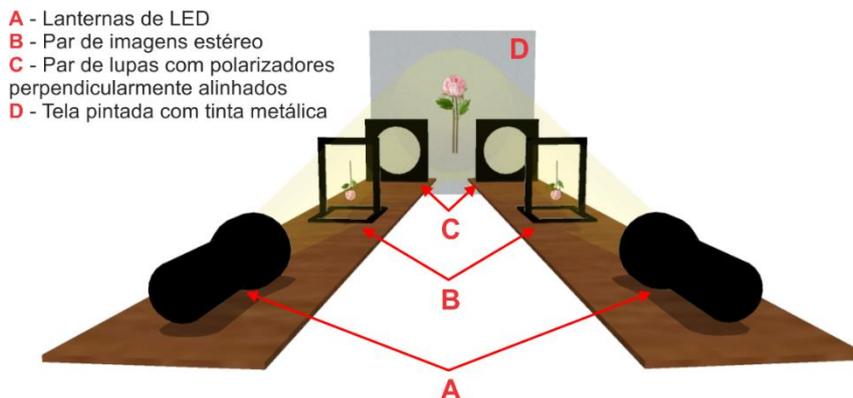
As imagens tridimensionais utilizadas são produzidas através da técnica da estereoscopia, isto é, pela sobreposição de duas imagens planas de um mesmo objeto e ligeiramente distintas devido a diferença de enquadramento, o que provoca a sensação de profundidade. A visão estereoscópica advém da natureza óptica de nossa fisiologia, pelo fato de possuímos dois olhos voltados para a mesma direção e separados um do outro por uma distância média de 6,5 cm. As duas imagens, uma de cada olho, cada uma processada por um lado do nosso cérebro, forma uma imagem final única (Maschio, 2008).

O estereoscópio que construímos faz uso de um par de imagens estáticas em vez de uma sucessão contínua de imagens (vídeo). Os materiais utilizados foram: lanternas, lupas, palitos de picolé, papel, cola de isopor. A montagem do estereoscópio pode ser dividida em 4 blocos (Figura 1).



**Figura 1** – Diagrama em blocos do estereoscópio por luz polarizada.  
Fonte: autoria própria

Os dispositivos integrantes dos blocos A, B e C mostrados na Figura 1 devem ser colocados sobre uma base plana que permita um bom alinhamento entre eles. A Figura 2 mostra o posicionamento de cada componente do estereoscópio.



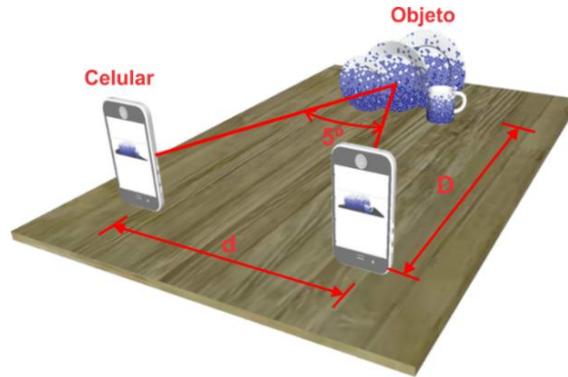
**Figura 2** – Representação do estereoscópio por luz polarizada.  
Fonte: autoria própria

No esquema do experimento mostrado na Figura 2, temos que a fonte de luz (A) necessária para cada uma das imagens do par estéreo é proveniente de duas lanternas. Os suportes móveis em formato de moldura (B) têm a função de acomodar o par de imagens estereoscópicas e foram confeccionadas com palitos de picolé. Ressalta-se que as imagens devem ser colocadas invertidas no suporte, pois as lupas são lentes convergentes e farão projeções invertidas dessas imagens na tela. Para ampliação e projeção das imagens utilizamos um par de lupas (C) que são fixadas em uma estrutura de isopor e recobertas com cartolina. Películas polarizadoras removidas de monitores de computadores, notebook e/ou tablets danificados podem ser fixadas às lentes com seus eixos de polarização dispostos em um ângulo de aproximadamente  $90^\circ$ . Utilizamos duas bases retangulares planas (que podem ser de compensado ou MDF) que servem de suporte para acomodação das lentes polarizadas, das imagens e da fonte de luz. O par de imagens estereoscópicas é projetado em uma superfície capaz de manter a polarização da luz incidente, caso contrário o efeito 3D não poderá ser percebido. Para conseguir uma tela de projeção (D) com essa característica, recomendamos a pintura de uma das faces de uma folha de MDF com tinta (spray) de pigmentos metálicos.

O par de imagens estéreo foi obtida de fotografias tiradas por celular e corresponde a duas fotos em pontos ligeiramente distintos do mesmo objeto ou paisagem. O afastamento da câmera entre a primeira e a segunda fotografia é determinado pela equação abaixo:

$$d = 2Dt\text{g}(2,5^\circ),$$

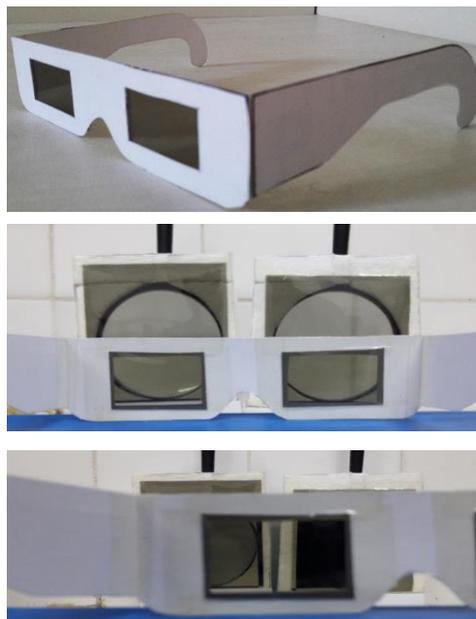
em que  $d$  é a distância entre os celulares e  $D$  a distância deles para o objeto, conforme pode ser visto na Figura 3.



**Figura 3** – Esquema do posicionamento da câmera e objeto.  
Fonte: autoria própria

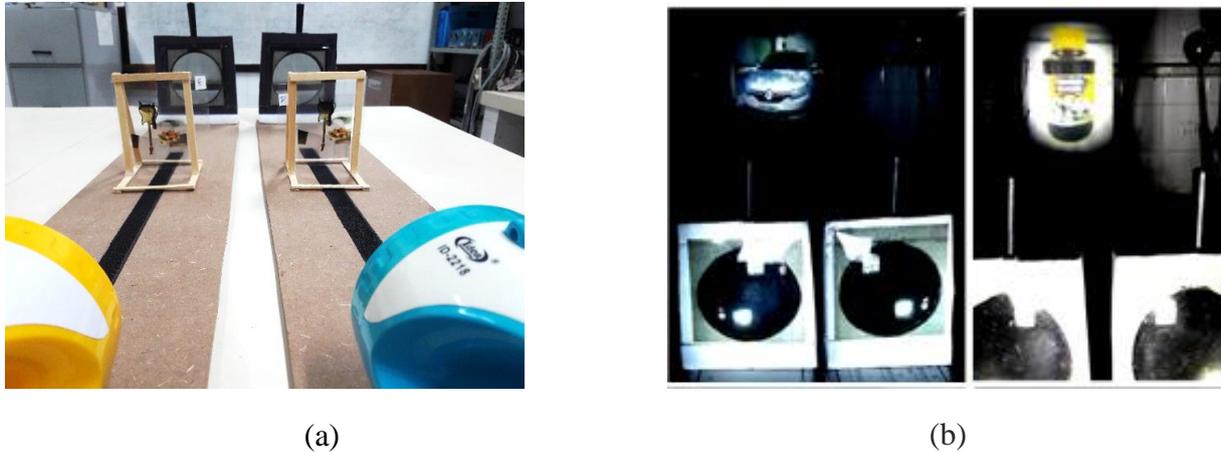
Para garantir a correta variação angular entre uma fotografia e outra, construímos um suporte com escala graduada em milímetros. O suporte foi confeccionado com isopor e recoberto com cartolina. As imagens a serem exibidas foram impressas em transparências e depois recortas e colocadas nos suportes móveis. Os detalhes desses instrumentos estão em Cardoso (2019).

Para a confecção dos óculos 3D fizemos a colagem dos moldes em papelão de caixas de sapatos e similares, recortamos e fixamos películas polarizadoras nos dois lados dos óculos de forma que cada lado ficou com o eixo de polarização paralelo ao eixo de polarização da película fixada à uma das lupas e perpendicular ao eixo de polarização da película fixada à outra lupa. O resultado pode ser visto na Figura 4.



**Figura 4** – Imagens dos óculos 3D.  
Fonte: autoria própria

Após a colocação de cada imagem no respectivo suporte, procede-se com os ajustes, em que se liga uma das lanternas e focalizada a imagem na tela de projeção. Em seguida se liga a outra lanterna para projetar a segunda imagem que forma o par estéreo. Deve-se ter as duas imagens focalizadas com as mesmas dimensões, porém é necessário deixar uma pequena variação horizontal para que o efeito tridimensional aconteça. Ao realizar todos os ajustes, a imagem projetada será vista em profundidade com o auxílio dos óculos 3D. A Figura 5 (a) mostra o estereoscópio montado sobre uma bancada e a Figura 5 (b) mostra fotos tiradas das imagens na tela de projeção.



**Figura 5** – (a) Estereoscópio ajustado para projetar a imagem. (b) Imagens projetadas.  
Fonte: autoria própria

As atividades que compõem a SE foram planejadas para que os estudantes pudessem aprender sobre a polarização da luz a partir da discussão dos processos e princípios físicos envolvidos na produção de imagens e filmes 3D. Além dos conceitos atinentes à polarização da luz, assuntos como visão binocular, campo de visão, estereoscopia e trigonometria também foram abordados buscando oferecer um estudo contextualizado e interdisciplinar. A sequência de ensino é composta de seis aulas e esquematicamente está resumida na Tabela 2. Por conta do tempo reduzido, recomenda-se, em sua aplicação, que os estudantes não sejam orientados a construir o estereoscópio e nem os óculos 3D – o aparato deve ser apresentado pronto. Entretanto, pode-se incentivar que participem de uma oficina de produção de suas próprias imagens.

**Tabela 2.** Esquema desenvolvido para aplicação da SE: como funciona o cinema 3D.

<b>Problematização (Aula 1 e 2)</b>	<b>Primeira elaboração (Aula 3 e 4)</b>	<b>Função de elaboração e compreensão textual (Aula 5 e 6)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresentação da SE;</li> <li>• Indagações sobre imagens tridimensionais;</li> <li>• Explicação dos princípios da visão estereoscópica;</li> <li>• Apresentação da polarização da luz como o princípio físico utilizado no cinema 3D.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conhecer as primeiras observações e explicações acerca do fenômeno;</li> <li>• Entender o significado físico de polarizar uma onda;</li> <li>• Estudar os processos pelos quais a luz pode ser polarizada;</li> <li>• Compreender o processo de produção de imagens</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oficina: projeção de imagens 3D;</li> <li>• Avaliação;</li> <li>• Empregar adequadamente os conceitos e termos científicos relacionados ao tema de estudo;</li> <li>• Explicar novas situações a partir dos</li> </ul>

	3D pela técnica de polarização da luz.	conhecimentos adequados.
--	----------------------------------------	--------------------------

Fonte: autoria própria

As duas primeiras aulas que compõem a primeira etapa da sequência de ensino são definidas como problematização, na qual os estudantes são postos diante de um problema vivenciado por eles cujo entendimento formal ainda não possuem, mas que conhecem podendo assim tecer comentários. A partir da discussão, da interação com os colegas e da mediação do professor, no decorrer das demais etapas, os estudantes são conduzidos a compreender o problema de acordo com os conceitos relacionados.

## APLICAÇÃO E ANÁLISE DA PRÁTICA PEDAGÓGICA

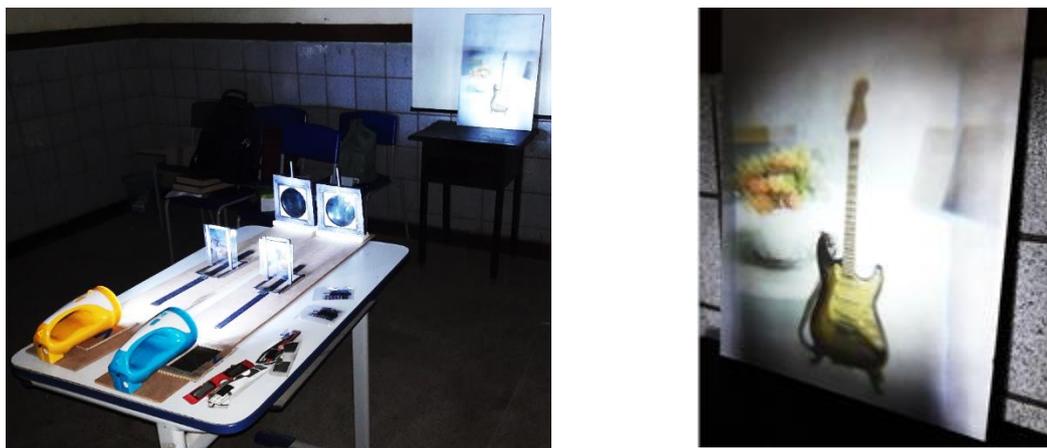
Logo na primeira aula exibiu-se imagens de desenhos anamórficos<sup>1</sup>, imagens 3D, imagens anáglifas<sup>2</sup> e imagens de um dispositivo que utiliza a combinação de dois espelhos côncavos para projetar a imagem tridimensional de um objeto. O propósito do uso dessas imagens foi provocar a discussão do conteúdo através de perguntas problematizadoras, dentre as quais: Como as imagens mostradas puderam apresentar o efeito tridimensional? Qual a principal diferença ao olhar para as imagens com e sem os óculos (azul e vermelho)? O significado do termo 3D e em que uma imagem 3D difere de uma 2D?

Durante a discussão, alguns estudantes levantaram a perspectiva de que nossa visão é limitada ao 2D e que o 3D só pode ser experimentado com a ajuda de dispositivos tecnológicos. Embora compreendessem o significado da sigla 3D, amplamente utilizada no mundo do entretenimento, não estavam cientes de sua relação com nossas sensações visuais e os sistemas de coordenadas espaciais. Essa lacuna de conhecimento revelou a necessidade de introduzir novos conceitos e repensar as experiências que eles tinham sobre o assunto. Ficou claro que uma abordagem mais abrangente e esclarecedora é fundamental para que possam apreciar plenamente a dimensão 3D em nossa percepção visual e contexto espacial. Tanto esta como as demais respostas dos alunos evidenciaram a necessidade da introdução de novos conceitos e a ressignificação das experiências que eles traziam sobre o conteúdo.

Na segunda aula utilizamos o estereoscópio, já construído, para exibir imagens tridimensionais. Enquanto se realizava os ajustes das imagens, os estudantes faziam perguntas a respeito dos materiais e acessórios do aparato experimental, o que demonstra estarem curiosos. Após os ajustes, fez-se com que todos os alunos visualizassem com os óculos 3D a imagem apresentada na Figura 6.

<sup>1</sup> Representações artísticas que são distorcidas de tal forma que, quando vistas a partir de um ângulo específico ou com o uso de um dispositivo adequado, revelam uma imagem clara e coerente

<sup>2</sup> Imagem tridimensional (3D) que cria a ilusão de profundidade quando vistas com óculos anaglíficos, que possuem lentes de cores diferentes (normalmente uma vermelha e outra ciano ou verde)



**Figura 6** – Imagem projetada pelo estereoscópio.  
Fonte: autoria própria

Durante a exibição da imagem, explicou-se aos estudantes a função de cada componente do aparato experimental e reforçou-se a importância das películas polarizadoras utilizadas para recobrir as lupas e confeccionar as lentes dos óculos. Ao final da aula se enfatizou que a polarização é um fenômeno ondulatório associado exclusivamente às ondas eletromagnéticas.

Para as aulas 3 e 4, que compõem a segunda etapa da SE, definida como etapa da primeira elaboração, foi feita a organização e sistematização das ideias e conceitos levantados na etapa anterior. Apresentou-se também aos estudantes as propriedades óticas do mineral calcita, as primeiras explicações para o fenômeno da polarização e o embate entre os modelos ondulatório e corpuscular da luz. Além disso, explicou-se o significado físico de polarizar uma onda eletromagnética e os processos pelos quais a luz pode ser polarizada.

Em seguida foi explicado sobre como e por que parte das ondas são absorvidas em filmes polarizadores, na qual foi trazido para sala de aula um filme polarizador, retirado de um monitor inutilizado, para que se percebesse o bloqueio da luz e entendessem o processo de polarização por reflexão, além de orientá-los a identificar os eixos de absorção e de transmissão de um polarizador. Após a compreensão destes conceitos, a aula seguiu com a explicação de como a polarização da luz pode ser utilizada para a projeção de filmes 3D. A aula foi finalizada com a distribuição dos alunos em equipes, em que foi entregue para cada equipe um guia (material impresso) contendo indicação de materiais, instrumentos e procedimentos para que os alunos pudessem produzir imagens estereoscópicas.

As aulas 5 e 6 fazem parte da terceira etapa da SE, denominada função de elaboração e compreensão conceitual, na qual realizamos uma oficina para produção e projeção de imagens tridimensionais. Disponibilizamos um estereoscópio e alguns acessórios para auxiliar nos ajustes das imagens como fita adesiva, tesoura, marcadores e papel. Essa atividade proporcionou que os alunos aprendessem o conteúdo a partir da realização de uma atividade prática, motivando-os a buscarem o entendimento dos conceitos envolvidos e favorecendo a troca de experiências. A projeção das imagens causou animação na turma. Pois, foi perceptível o entusiasmo dos estudantes ao verem o resultado de seus trabalhos.

Quanto a apropriação do conhecimento, ficou evidente que os alunos ainda não estavam habituados com as palavras e termos específicos da linguagem científica, vez ou outra utilizavam palavras de outros contextos para explicar determinados aspectos relacionados ao objeto de estudo, tais como: *“a onda vai passar na vertical”*; *“se elas caminharem na mesma direção...”*; *“e essas ondas batendo aqui...”*. Contudo, a gesticulação e uso de acessórios, deixava claro a representação mental e as ideias que tinham sobre o assunto. Mesmo assim, destaca-se o esforço e a evolução dos estudantes quanto a esse aspecto nas falas a seguir:

- “*A onda fica absorvida aqui.*” (Referência a absorção das ondas pelo polarizador);
- “*... de um lado é horizontal e do outro lado é vertical.*” (Referência aos eixos de polarização);
- “*As ondas não polarizadas vêm aleatórias...*” (Referência a uma fonte de luz não polarizada).

Essa dificuldade dos estudantes em utilizar a linguagem técnica apropriada para se expressarem indica que ainda não desenvolveram completamente em suas estruturas mentais a associação entre essas novas palavras (ou palavras conhecidas com outros significados) e o objeto ou fato que elas representam. Essa habilidade será alcançada à medida que as palavras e os conceitos, até então recém apresentados, se tornarem cada vez mais frequente. Segundo Vygotski, aprendizado e desenvolvimento, apesar de estarem articulados entre si, são processos diferentes, visto que, existe uma relação dialética em que a aprendizagem influencia o desenvolvimento, assim como o desenvolvimento influencia a aprendizagem. De acordo com Vygotski (2009):

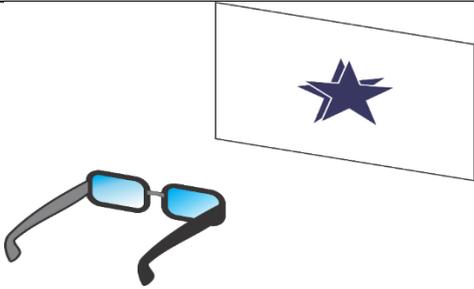
[...] a aprendizagem não é, em si mesma, desenvolvimento, mas uma correta organização da aprendizagem da criança conduz ao desenvolvimento mental, ativa todo um grupo de processos de desenvolvimento, e esta ativação não poderia produzir-se sem a aprendizagem. Por isso, a aprendizagem é um momento intrinsecamente necessário e universal para que se desenvolvam na criança essas características humanas não-naturais, mas formadas historicamente (p. 115).

Assim, o papel do professor enquanto mediador do conhecimento é organizar e orientar os conteúdos a fim de facilitar a aprendizagem que, por sua vez, levará o sujeito ao desenvolvimento das funções psicológicas superiores (memória, atenção, pensamento, consciência).

Como parte da avaliação da aprendizagem frente a SE, os alunos foram submetidos a um teste com 7 (sete) questões subjetivas (veja Quadro 1) a fim de verificar a compreensão deles quanto aos conceitos estudados e quanto a capacidade de utilizarem esses conceitos na solução de outras situações-problemas.

**Quadro 1** – Teste de verificação da aprendizagem.

<b>Questões</b>	
Q1	A luz visível pode ser entendida como um tipo de onda eletromagnética que resulta do movimento de elétrons em átomos que receberam determinadas “doses” de energia. Uma fonte comum de luz possui uma quantidade enorme de elétrons que vibram de forma desorganizada e aleatória. De acordo com o que você aprendeu o que significa polarizar a luz?
Q2	Existem algumas técnicas pelas quais é possível "imitar" a percepção tridimensional que temos naturalmente do mundo à nossa volta e fazer com que imagens e/ou vídeos pareçam mais “realistas”. Uma das formas de se conseguir essa ilusão de ótica é obter duas imagens em ângulos diferentes de um objeto ou paisagem, projetá-las em uma tela e depois fazer com que cada olho veja, simultaneamente, apenas uma das imagens. O cinema 3D utiliza o fenômeno da polarização para fazer a separação das imagens. Utilizando o esquema abaixo, desenhe como deve se propagar a luz de cada imagem que “sai” da tela de projeção e como devem estar orientados os eixos de polarização das lentes dos óculos 3D.

	
Q3	<p>Os monitores de computadores, <i>notebook</i>, as telas de TV's, <i>tablets</i>, celulares e similares, transmitem imagens com luz polarizada. Se você olhar para um desses monitores através de uma película polarizadora (ou óculos de sol) e começar a fazer um giro na película, irá perceber que em uma determinada posição a imagem que vem do monitor é nítida e em outra a imagem praticamente desaparece. Explique ou descreva (com desenhos) por que isso ocorre.</p>
Q4	<p>A luz pode ser polarizada por meio de alguns processos naturais: birrefringência, espalhamento, reflexão e absorção. Descreva como ocorre a polarização em pelo menos dois desses processos.</p>
Q5	<p>Os fotógrafos profissionais utilizam filtros polarizadores em suas câmeras para melhorar a qualidade das imagens, obtendo cores mais nítidas e contrastantes. É possível girar o filtro até que se atinja a qualidade desejada. Isso é possível quando a luz dos objetos presentes na cena incide parcialmente polarizada na lente da câmera. Quais processos de polarização você identifica nessa situação?</p>
Q6	<p>A figura abaixo representa a luz de um laser polarizada em um plano vertical. Desenhe linhas retas indicando como devem estar orientadas as grades absorvedoras (longas cadeias de hidrocarbonetos) de um polaroide colocado à frente do laser para que a luz seja transmitida (1) e não transmitida (2).</p> 
Q7	<p>Os óculos de sol (com lentes polarizadas) eliminam boa parte dos reflexos da luz em objetos e superfícies evitando ofuscamento. Nestes óculos, os eixos de polarização das duas lentes são dispostos na mesma direção. O que aconteceria caso um colega seu fosse ao cinema e colocasse óculos de sol para assistir um filme 3D?</p>

Fonte: autoria própria

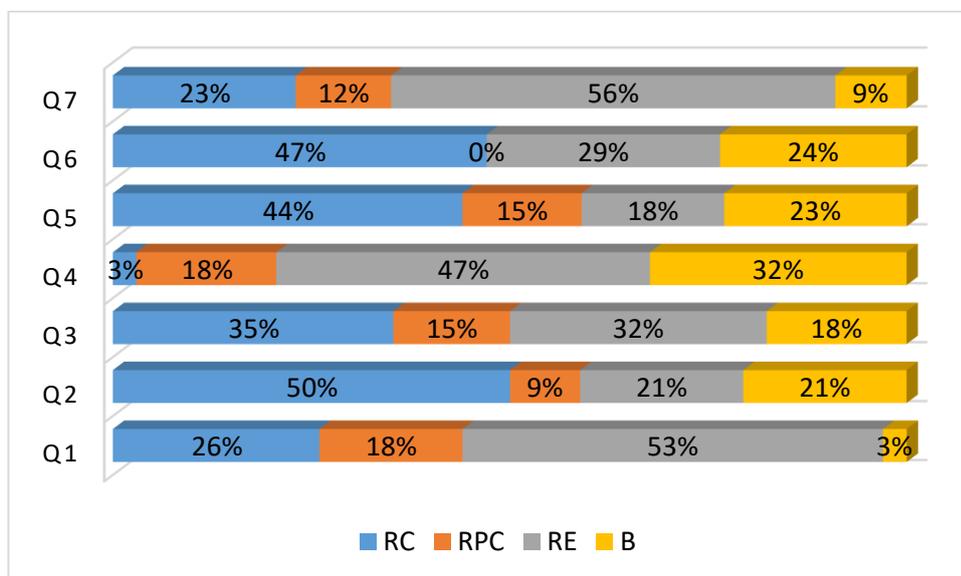
Os critérios definidos e adotados nesta pesquisa para categorizar as respostas dos alunos estão apresentados no Quadro 2, em que as respostas parcialmente corretas (RPC) indicam um entendimento introdutório do conceito abordado que poderá ser aperfeiçoado à medida que os estudantes se depararem com outras situações nas quais estejam presentes.

**Quadro 2** – Critérios de classificação das respostas do teste avaliativo.

<b>Categorias</b>	<b>Critérios de classificação</b>
Resposta Correta (RC)	Apresenta conceitos e/ou representações que respondem adequadamente o problema proposto.
Resposta Parcialmente Correta (RPC)	Apresenta o conceito central relacionado a solução do problema, porém não indica corretamente as proposições necessárias ao pleno entendimento da situação apresentada.
Resposta Errada (RE)	Demonstra não possuir conhecimento sobre o assunto ou a não compreensão do enunciado da questão, apresentando uma resposta completamente alheia à situação proposta.
Branco (B)	Deixou o questionamento sem resposta.

Fonte: autoria própria

Todos os 34 estudantes da turma participaram do teste. No gráfico da Figura 7 temos o desempenho da turma no teste avaliativo em termos percentuais.

**Figura 7** – Desempenho dos estudantes no teste avaliativo.

Fonte: autoria própria

Para as sete questões propostas no teste, a questão 2 foi a que apresentou o melhor resultado. Acreditamos que o fato da questão recepcionar os principais conceitos e ideias diretamente relacionados ao tema da SE tenha contribuído para esse resultado. Somado a isso, tem-se que a utilização de desenhos como forma de apresentação das respostas também deve ter contribuído, visto que, a representação por meio de figuras e/ou desenhos elimina o risco de se transmitir uma ideia diferente da que realmente se tem sobre determinado assunto. Nessa questão um total de 20 alunos, que corresponde a 59% da turma, apresentou esquemas que indicam entendimento dos conceitos básicos que a questão aborda. Na Figura 8 destacamos as respostas por meio de representação de desenhos de dois estudantes para a questão 2.



**Figura 8** – Resposta à segunda questão.

Fonte: autoria própria

Em geral, nas respostas dos alunos, constatamos deficiência na escrita para expressar conceitos e ideias. Questões que solicitavam definir, explicar ou comentar (questões 1, 3, 4 e 7) apresentaram um percentual de acertos menor em comparação àquelas que solicitavam representações esquemáticas ou simplesmente alguma classificação (questões 2, 5 e 6). Notamos também que as questões com melhores índices<sup>3</sup> foram aquelas relacionadas às situações trabalhadas especificamente no contexto da SE como, por exemplo, os processos de polarização por reflexão e absorção. Por sua vez, questões que objetivavam averiguar a possibilidade de utilização dos conhecimentos adquiridos para explicar novas situações (questões 3 e 7) apresentaram bons resultados, porém em percentuais menos expressivos. Entendemos que, com o tempo, os estudantes poderiam associar outras situações do cotidiano aos fenômenos estudados e conseguiriam entendê-los utilizando os conceitos científicos abordados.

Outro aspecto relevante se refere a dificuldade dos estudantes em trazer para a realidade concreta o significado dos signos e dos símbolos utilizados principalmente em ciências da natureza, o que retarda o aprendizado e requer do professor a organização de atividades em que os alunos possam exercitar a linguagem e o raciocínio, conduzindo-os ao desenvolvimento de processos psicológicos mais elaborados que facilitarão a apropriação dos conhecimentos científicos.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os resultados obtidos, mesmo diante de todos os fatores que interferem no ensino e na aprendizagem escolar (por exemplo, poucas aulas de Física, ênfase conteudista e ensino mecânico voltado para a realização de exames) mostram que a aplicação da Sequência de Ensino baseada numa SE proposta foi positiva principalmente por provocar o interesse dos estudantes para o estudo de conceitos fundamentais da ótica (a polarização da luz). Em nossa análise constatamos que houve apropriação dos principais conceitos científicos relacionados ao tema discutido e que boa parte dos estudantes conseguiu explicar novas situações a partir da generalização dos conhecimentos adquiridos. Os erros conceituais cometidos mostraram que para a completa compreensão do conteúdo se faz necessário a discussão de mais problemas que envolvam os conceitos estudados. A aprendizagem de determinado assunto é um processo que se inicia com a exposição. O aperfeiçoamento, por sua vez, só ocorre quando o sujeito desenvolve as estruturas mentais necessárias para seu alcance.

<sup>3</sup> A soma do percentual de respostas corretas com o percentual de respostas parcialmente define o índice de desempenho dos estudantes em cada questão.

A proposta de ensinar sobre a polarização da luz a partir da discussão da tecnologia 3D gerou expectativa, uma vez que se trata de algo conhecido dos estudantes e sobre a qual poderiam expor suas concepções. O contato com o estereoscópio foi significativo, pois os estudantes acreditavam que só era possível obter imagens tridimensionais com o auxílio de programas, aplicativos ou computação gráfica. A visualização de imagens nesse formato a partir de um equipamento construído com materiais simples, frequentemente utilizados para outros fins, causou surpresa e gerou muitas indagações. Aproveitando a curiosidade, desafiamos os alunos a aprender sobre os princípios físicos envolvidos na tecnologia 3D para que eles mesmos pudessem produzir imagens tridimensionais.

Os resultados obtidos indicam que é possível ensinar sobre a polarização da luz no ensino médio utilizando o estereoscópio desenvolvido no presente trabalho a partir de uma Situação de Ensino ancorada na teoria sociocultural de Vygotski. Ressaltamos o interesse que o conteúdo despertou de imediato nos estudantes e o engajamento deles nas atividades propostas. Acreditamos que a realização de atividades nas quais o aluno possa conhecer, entender e participar das etapas e dos processos envolvidos, propicia o estabelecimento de uma relação de afetividade com o objeto de estudo tornando o aprendizado mais prazeroso por agregar valores que vão além da mera sequência de um roteiro ou manipulação de números e aproxima mais o ambiente escolar da investigação e do fazer científico.

## REFERÊNCIAS

- Cardoso, C. A. C. (2019). *Construção de um estereoscópio: uma proposta para o ensino da polarização da luz no ensino médio*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Rede - Ensino de Física em Rede Nacional/CCET (Universidade Federal do Maranhão). Acesso em: 29. mar., 2023, <https://tedebc.ufma.br/jspui/bitstream/tede/3061/2/CarlosCardoso.pdf>
- Carneiro, J. L. P., & Ribeiro, M. H. da S. (2016). A reflexão da luz nos periódicos de Ensino de Física: evidenciando tendências e carências de pesquisa a partir de uma revisão bibliográfica. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33(2), 355–398.
- Coelho, L., & Pisoni, S. (2012). Vygotsky: sua teoria e a influência na educação. *Revista e-Ped – FACOS/CNE Osório*. 2, 144–152. Acesso em: 30. mar. 2023. [http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/e-ped/agosto\\_2012/pdf/vygotsky\\_-\\_sua\\_teor%C3%ADa\\_e\\_a\\_influ%C3%ADncia\\_na\\_educacao.pdf](http://facos.edu.br/publicacoes/revistas/e-ped/agosto_2012/pdf/vygotsky_-_sua_teor%C3%ADa_e_a_influ%C3%ADncia_na_educacao.pdf).
- Colombo, E. (1991). Polarização da luz: uma proposta de experiências simples. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 8(1), 280–296.
- Halmenschlager, K. R; Stuaní, G. M. & Souza, C. A. (2009). *A Situação de Estudo e a investigação temática como possibilidades de formação continuada*. In: Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis. Anais... Florianópolis, p. 1-12.
- Laburú, C. E., Simão, A. M., & Urbano, A. A. (1998). Mexendo com polaróides e mostradores de cristais líquidos (o ensino da física contemporânea, tendo como pano de fundo a física do cotidiano). *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 15(2), 192–205.
- Maldaner, O. A. & Zanon, L. B. (2011). Situação de Estudo: uma organização do ensino que extrapola a formação disciplinar em ciências. *Espaço da Escola*, 41, 45–60.
- Maschio, A. V. (2008). *A Estereoscopia: investigação de processos de aquisição, edição e exibição de imagens estereoscópicas em movimento*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Design (Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Arquitetura, Artes e

Comunicação), Acesso em: 29. mar. 2023, <https://www.faac.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/Design/Dissertacoes/alexandre.pdf>.

- Ortiz, A. J., Laburú, C. E., & da Silva, O. H. M. (2010). Proposta simples para o experimento de espalhamento Rayleigh. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27(3), 599–608.
- Ribeiro, J. L. P., & Verdeaux, M. F. S. (2012). Atividades experimentais no ensino de óptica: uma revisão. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 34(4), 4403.
- Sangiogo, F. A., Halmenschlager, K. R., Hunsche, S., & Maldaner, O. A. (2013). Pressupostos epistemológicos que balizam a Situação de Estudo: algumas implicações ao processo de ensino e à formação docente. *Ciência & Educação*, 19(1), 35–54.
- Santos, M. A. C. dos, Passos, M. M., Arruda, S. M., & Visconini, R. C. (2016). Geração de imagens animadas GIF com o Mathematica®: Simulações didáticas de ondas eletromagnéticas e polarização da luz. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 38(1), 1502.
- Silva, E. L. da, & Menezes, E. M. (2005). Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 138 p. Acesso em: 26 jan. 2023. [https://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024\\_Metodologia\\_de\\_pesquisa\\_e\\_elaboracao\\_d\\_e\\_teses\\_e\\_dissertacoes1.pdf](https://tccbiblio.paginas.ufsc.br/files/2010/09/024_Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_d_e_teses_e_dissertacoes1.pdf).
- Soga, D., Toledo, S. P., & Muramatsu, M. (2017). Receitas doces e coloridas: Demonstrações com luz polarizada. *Física na Escola*, 15(1), 45–50.
- Vieira, L. P., & Aguiar, C. E. (2009). *Verificação da lei de Malus com um Smartphone*. In: Aguiar, C. E. (ed.) XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física – ES, Vitória: 2009. Anais... Vitória, 2009. p. 1-7.
- Vygotski, L. S. (2009). *A construção do pensamento e da linguagem*. Tradução Paulo Bezerra. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes.
- Vigotsky, L. S., Luria, A. R., & Leontiev, A. N. (2010). *Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem*. Trad. Maria da Pena Villalobos. 11. Ed. São Paulo: Ícone editora.
- Zílio, S. C. (2000). *Óptica moderna: fundamentos e aplicações*. 3. ed., vol.4. São Paulo: Renovarum Ltda.