

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
POLO 09

Rafael Lopes de Andrade Gomes

Ensino de Óptica Geométrica por meio de experimento com LDR e o Arduino: Uma proposta fundamentada na *Design-Based Research*

Rafael Lopes de Andrade Gomes

Ensino de Óptica Geométrica por meio de experimento com LDR e o Arduino: Uma proposta fundamentada na *Design-Based Research*

Dissertação apresentada ao Polo 9 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Dr. Lázaro Luis de Lima Sousa

Mossoró-RN
2026

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G633e Gomes, Rafael Lopes de Andrade.
Ensino de óptica geométrica por meio de
experimento com LDR e Arduino: Uma proposta
fundamentada na Design-Based Research / Rafael
Lopes de Andrade Gomes. - 2026.
91 f. : il.

Orientador: Lazaro Luis de Lima Sousa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
--Selecione um Curso ou Programa--, 2026.

1. Aprendizagem pela experiência. 2. Arduino.
3. Ensino de Física. 4. Experimentação. 5. Óptica
geométrica. I. Sousa, Lazaro Luis de Lima ,
orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

Rafael Lopes de Andrade Gomes

Ensino de Óptica Geométrica por meio de experimento com LDR e o Arduino: Uma proposta fundamentada na *Design-Based Research*

Dissertação apresentada ao Polo 9 do Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física. Área de concentração: Ensino de Física.

Aprovada em 27 de fevereiro de 2026.

BANCA EXAMINADORA

Dr. Lázaro Luis de Lima Sousa - Orientador
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dra. Luciana Angélica da Silva Nunes – Examinadora 1
Universidade Federal Rural do Semi-Árido

Dr. Igo Tôrres Lima – Examinadora 2
Universidade Federal do Maranhão

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor Dr. Carlos Chesman (UFRN) por toda esta jornada. Registro meu sincero respeito e agradecimento a ele, que, em diferentes momentos, me incentivou e encorajou a trilhar o caminho do mestrado.

Ao ingressar no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), tive a oportunidade de encontrar pessoas ímpares. Entre elas, destaco o professor Dr. Lázaro. Há muito que poderia ser dito sobre ele: sua percepção, que ultrapassa os limites da função acadêmica; sua presença atenta; e seu compromisso com a formação humana e intelectual dos estudantes. Em um curso no qual tanto se estima a formação de qualidade, Lázaro revela-se um pilar sólido e irrefutável na formação e no acolhimento dos discentes deste programa.

Assim, ao meu professor, orientador e amigo, Dr. Lázaro, deixo meu profundo agradecimento por esta trajetória no MNPEF, da qual você foi parte fundamental.

A todos que, de diferentes maneiras, compõem meu entorno e contribuíram para que este momento fosse possível, registro minha sincera gratidão.

Aos meus pais (*in memoriam*) e à minha família, com quem compartilho cada conquista: demos mais um passo adiante.

Este trabalho expressa aquilo em que genuinamente acredito sobre como deve ser o ensino de Física. Que ele represente não apenas uma conquista individual, mas também o reflexo de todos aqueles que caminharam comigo até aqui e que contribua significativamente para o ensino daqueles que buscam a aprendizagem pela experiência.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de financiamento 001.

RESUMO

O ensino de Física, especialmente no campo da Óptica Geométrica, apresenta desafios significativos no processo de ensino-aprendizagem no Ensino Básico, em razão do elevado grau de abstração dos conceitos envolvidos e da predominância de práticas pedagógicas centradas na transmissão de conteúdos e na resolução algorítmica de exercícios. Essas abordagens tendem a dificultar a compreensão dos fenômenos físicos e a atribuição de significado aos conceitos científicos pelos estudantes. Diante da diversidade de perfis presentes nas salas de aula, torna-se necessária a adoção de estratégias pedagógicas que ampliem as possibilidades de interação dos estudantes com os fenômenos naturais, favorecendo a investigação, a reflexão e a participação ativa no processo de aprendizagem. À luz da perspectiva educacional de John Dewey, compreende-se que a aprendizagem ocorre por meio da experiência, desde que acompanhada de processos reflexivos que possibilitem a reconstrução do pensamento. Com o intuito de contribuir para o enfrentamento desses desafios, foi desenvolvido um produto educacional denominado *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*, um leitor óptico baseado no uso de um sensor LDR (Light Dependent Resistor) e de um microcontrolador Arduino. O dispositivo foi concebido como uma ferramenta didática de caráter experimental e investigativo, possibilitando aos estudantes observar e analisar variações de intensidade luminosa em diferentes superfícies. O trabalho segue uma metodologia qualitativa, na qual a aplicação do produto educacional buscou promover situações de aprendizagem fundamentadas na experiência e na reflexão, permitindo que os estudantes confrontassem suas explicações iniciais com os resultados obtidos nas atividades experimentais. A análise dos dados foi realizada por meio da comparação entre pré-teste e pós-teste, evidenciando mudanças qualitativas nas formas de explicação dos fenômenos ópticos após a intervenção pedagógica. Os resultados indicam avanços na compreensão conceitual dos estudantes e apontam o potencial de práticas experimentais investigativas de baixo custo como estratégia pedagógica para o ensino de Óptica Geométrica no Ensino Básico.

Palavras-chave: aprendizagem pela experiência; Arduino; ensino de Física; experimentação investigativa; Óptica Geométrica.

ABSTRACT

Physics teaching, especially in the field of Geometrical Optics, presents significant challenges in the teaching–learning process in Basic Education due to the high level of abstraction of the concepts involved and the predominance of pedagogical practices centered on content transmission and algorithmic problem solving. These approaches tend to hinder students’ understanding of physical phenomena and the attribution of meaning to scientific concepts. Given the diversity of student profiles present in classrooms, it becomes necessary to adopt pedagogical strategies that expand the possibilities for students’ interaction with natural phenomena, fostering investigation, reflection, and active participation in the learning process. In light of the educational perspective of John Dewey, learning is understood to occur through experience, provided that it is accompanied by reflective processes that enable the reconstruction of thought. In order to contribute to addressing these challenges, an educational product called “*Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*” was developed, an optical reader based on the use of an LDR sensor (Light Dependent Resistor) and an Arduino microcontroller. The device was designed as an experimental and investigative teaching tool, enabling students to observe and analyze variations in light intensity on different surfaces. This study follows a qualitative methodology, in which the application of the educational product sought to promote learning situations grounded in experience and reflection, allowing students to confront their initial explanations with the results obtained from the experimental activities. Data analysis was carried out through the comparison between pre-test and post-test, revealing qualitative changes in the ways students explained optical phenomena after the pedagogical intervention. The results indicate advances in students’ conceptual understanding and highlight the potential of low-cost investigative experimental practices as a pedagogical strategy for teaching Geometrical Optics in Basic Education.

Keywords: learning through experience; Arduino; physics teaching; investigative experimentation; Geometrical Optics.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Descrição de uma onda eletromagnética no vácuo.....	22
Figura 2 - Espectro eletromagnético da luz para vários comprimentos de onda.....	22
Figura 3 - Ilustração da propriedade de reflexão da luz sobre um espelho	24
Figura 4 - Ilustrações de ondas ao passar de um meio 1 e um meio 2 nas situações em que ocorre transmissão, em (a); e em (b) sem transmissão	25
Figura 5 - Ilustração da propriedade de reflexão difusa da luz sobre uma superfície rugosa ..	27
Figura 6 - LDR de uso comum	28
Figura 7 - Arduino Uno.....	29
Figura 8 - John Dewey	32
Figura 9 - Fluxograma da dinâmica de aprendizagem de John Dewey	35
Figura 10 - Capa do produto educacional	41
Figura 11 - Experimento-base para o produto educacional.....	42
Figura 12 - A câmara escura do experimento-base para o produto educacional.....	44
Figura 13 - A câmara escura nas perspectivas laterais e suas dimensões	45
Figura 14 - (a) Mapa de ligação das conexões existentes do circuito utilizado; (b) Ilustração do circuito com as ligações	46
Figura 15 - Código-fonte inserido na IDE do Arduino	47
Figura 16 - Resumo dos ciclos interativos utilizados	48
Figura 17 - Aluno interagindo e experimentando como a câmara escura.....	49
Figura 18 - Alunos registrando as medidas.....	50
Figura 19 - Gráfico da compreensão conceitual dos estudantes.....	55
Figura 20: LDR de uso comum	76
Figura 21 - Arduino	78
Figura 22 - Ilustração do experimento-base	80
Figura 23 - A câmara escura do experimento-base.....	82
Figura 24 - A câmara escura do experimento-base e suas dimensões	83
Figura 25 - (a) Mapa de ligação do circuito; (b) Ilustração do circuito	85
Figura 26 - Código-fonte para a IDE do Arduino.....	86

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Instrumentos de coleta de dados	51
Quadro 2 - Tabela comparativa do pré-teste e pós-teste	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA.....	15
1.2	OBJETIVOS	16
1.2.1	OBJETIVO GERAL.....	16
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1	INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA LUZ.....	18
2.2	FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS E EPISTEMOLÓGICOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA	20
2.3	A REFLEXÃO DA LUZ	23
2.4	A COR, A ABSORÇÃO DA LUZ E A REFLEXÃO DIFUSA.....	26
2.5	SENSOR DE LUMINOSIDADE LDR ASSOCIADO AO ARDUINO: FUNDAMENTAÇÃO E APLICAÇÃO	27
3	TEORIA DA APRENDIZAGEM DE JOHN DEWEY.....	32
3.1	QUEM FOI JOHN DEWEY?	32
3.2	JOHN DEWEY E O APRENDER FAZENDO	34
3.3	A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA.....	36
3.4	APRENDIZAGEM COMO RECONSTRUÇÃO DA EXPERIÊNCIA: DESDOBRAMENTOS CONTEMPORÂNEOS E EVIDÊNCIAS PARA A ESCOLA	38
4	METODOLOGIA	40
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA DBR	40
4.2	DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	41
4.3	O EXPERIMENTO-BASE: A CÂMARA ESCURA	43
4.4	CICLOS INTERATIVOS DA PESQUISA E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	48
4.5	DESCRIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO	50
4.6	INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	53
5.1	ANÁLISES DO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE.....	53
5.2	A PERSPECTIVA DOCENTE PELA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	56

5.3	ARTICULAÇÃO COM O PRODUTO EDUCACIONAL	58
5.4	EVIDÊNCIAS DA APRENDIZAGEM CONCEITUAL	59
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
	REFERÊNCIAS	64
	APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL	67
	APÊNDICE B - PRÉ-TESTE DE ÓPTICA.....	90
	APÊNDICE C - PÓS-TESTE DE ÓPTICA.....	92

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física apresenta desafios recorrentes no contexto escolar, especialmente em razão do elevado grau de abstração que caracteriza muitos de seus conceitos. No campo da Óptica Geométrica, conteúdos como reflexão da luz, absorção, intensidade luminosa e interação da luz com diferentes superfícies exigem do estudante a compreensão de fenômenos que, embora presentes no cotidiano, não são diretamente perceptíveis em sua dinâmica física, o que frequentemente dificulta sua assimilação conceitual. Esse aspecto é amplamente discutido na literatura em Ensino de Ciências e não é de agora (Cachapuz et al., 2005; Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2011).

A aprendizagem de conceitos físicos, sobretudo na Educação Básica, constitui motivo de preocupação tanto para professores quanto para estudantes. Grasselli e Gardelli (2014) destacam que a assimilação de conteúdos de Física tende a ocorrer de forma problemática quando o ensino se concentra predominantemente na apresentação de formalismos matemáticos e na resolução de exercícios de fixação, prática ainda amplamente presente nos livros didáticos utilizados nas escolas. Nessa perspectiva, a matemática passa a ocupar papel central no processo educativo, muitas vezes deslocando o foco da compreensão física dos fenômenos.

Não é de hoje que a literatura em Ensino de Ciências tem reiterado críticas a esse modelo de ensino tradicional. Segundo Cachapuz et al. (2005), a centralidade excessiva atribuída à linguagem matemática contribui para a construção de uma visão empobrecida da ciência, compreendida pelos estudantes como um conjunto de técnicas operatórias desprovidas de significado conceitual e epistemológico. Tal abordagem favorece uma aprendizagem fragmentada, na qual o estudante se torna capaz de aplicar procedimentos algorítmicos sem compreender os pressupostos, os limites de validade e as implicações físicas dos modelos científicos utilizados.

De modo convergente, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) já ressaltavam que práticas pedagógicas baseadas predominantemente na transmissão de conteúdos e na repetição de exercícios comprometem a formação do conhecimento científico escolar. Para os autores, a ausência de problematização e de contextualização dos fenômenos contribui para que a matemática seja percebida como um fim em si mesma, e não como uma linguagem a serviço da compreensão da realidade física. Nessas condições, a aprendizagem tende a ocorrer de forma mecânica, dificultando a articulação entre conceitos científicos, situações do cotidiano e processos de investigação.

Gil Pérez et al. (2001) também criticavam a apresentação da ciência como um conjunto de fórmulas e resultados prontos, argumentando que tal abordagem limita o desenvolvimento de competências relacionadas à interpretação, à argumentação e à construção de explicações científicas. Quando o ensino privilegia exclusivamente a resolução de exercícios padronizados, o estudante passa a compreender a Física como um conhecimento acabado e inquestionável, afastando-se de sua natureza histórica, investigativa e socialmente construída.

No ensino de Óptica Geométrica, essas dificuldades tornam-se ainda mais evidentes. Em sala de aula, os estudantes frequentemente demonstram obstáculos para compreender como a luz se propaga, como interage com diferentes superfícies e de que forma tais interações podem ser descritas e quantificadas. Quando o aprendizado se restringe à exposição teórica, por meio de esquemas de raios luminosos ou representações gráficas, os fenômenos permanecem excessivamente abstratos, dificultando a construção de explicações mais consistentes.

Nesse cenário, a ausência de atividades experimentais investigativas pode estar relacionada, em parte, às exigências externas impostas às instituições escolares, como a busca por elevados índices de desempenho em avaliações externas, a exemplo do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) e dos vestibulares. Tal contexto favorece práticas pedagógicas voltadas prioritariamente para o treino resolutivo, em detrimento de experiências que estimulem a investigação, a curiosidade e o pensamento reflexivo.

Entretanto, conforme defendido por John Dewey (1933), a escola não deve limitar-se à transmissão de conteúdos previamente estabelecidos, mas constituir-se como um espaço de experiências reais, no qual o estudante possa agir, investigar, refletir e atribuir significado ao que aprende. Para o autor, aprender implica reconstruir a experiência por meio da reflexão, processo no qual ação e pensamento se articulam de forma indissociável.

Essa concepção é amplamente difundida no contexto educacional brasileiro por Anísio Teixeira (1957), ao afirmar que a escola deve transformar-se em um meio de vida real, no qual o aluno possa desenvolver propósitos, executá-los e integrar os resultados da aprendizagem à sua própria experiência. À luz dessa perspectiva, a experimentação no ensino de Física assume papel central, não como atividade meramente ilustrativa, mas como situação investigativa capaz de provocar questionamentos e desencadear o pensamento reflexivo. Ao interagir diretamente com os fenômenos físicos, o estudante é convidado a confrontar suas explicações iniciais, analisar resultados e reconstruir suas compreensões, aproximando-se progressivamente do conhecimento científico escolar.

Apesar do reconhecimento da importância da experimentação, muitas escolas brasileiras, especialmente em regiões socialmente vulneráveis, enfrentam limitações estruturais relacionadas à ausência de laboratórios equipados e à escassez de recursos financeiros. Contudo, tais condições não devem ser compreendidas como impeditivas à realização de práticas experimentais, uma vez que propostas de baixo custo e alta replicabilidade podem viabilizar experiências educativas significativas no cotidiano escolar.

Embora a ausência de laboratórios equipados e a escassez de recursos financeiros sejam frequentemente apontadas como entraves à realização de atividades experimentais nas escolas, estudos na área de Ensino de Ciências indicam que tais limitações não explicam, isoladamente, a baixa recorrência dessas práticas. Borges (2002) destacavam que, mesmo em instituições que dispõem de infraestrutura mínima, o laboratório tende a ser subutilizado, muitas vezes restrito a atividades demonstrativas ou pontuais.

De modo convergente, Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2011) argumentavam que a baixa inserção da experimentação no ensino também está relacionada a concepções pedagógicas tradicionais, nas quais o experimento assume caráter ilustrativo, desvinculado da problematização e da investigação. Além disso, pesquisas apontam que lacunas na formação inicial e continuada dos professores contribuem para a insegurança metodológica na condução de atividades experimentais investigativas (Araújo; Veit, 2019).

Nesse sentido, a baixa frequência da experimentação no ensino de Física deve ser compreendida como resultado de um conjunto de fatores estruturais, formativos e pedagógicos, o que reforça a necessidade de propostas didáticas que sejam acessíveis, orientadas metodologicamente e passíveis de aplicação em contextos escolares diversos.

Neste trabalho, o conhecimento científico escolar é compreendido como uma reconstrução teórica mediada por modelos, os quais não representam a realidade de forma absoluta, mas constituem instrumentos explicativos válidos dentro de determinados limites. Tal compreensão torna-se especialmente relevante no ensino da Óptica Geométrica, cuja abordagem baseia-se em modelos idealizados, como o de raios luminosos, exigindo do estudante a compreensão de seus pressupostos e condições de validade.

À luz das discussões apresentadas, desenvolveu-se um produto educacional: um leitor óptico baseado em sensor LDR (Light Dependent Resistor) e microcontrolador Arduino, concebido com o objetivo de possibilitar aos estudantes a investigação de fenômenos da Óptica Geométrica de maneira aplicada e interativa. O dispositivo permite a observação direta das variações de intensidade luminosa em diferentes superfícies, favorecendo a análise

comparativa, a discussão dos resultados e a reflexão sobre os princípios da reflexão e da absorção da luz.

Este trabalho tem como foco a descrição, o desenvolvimento e a aplicação do produto educacional produzido, fundamentando sua proposta na perspectiva da aprendizagem pela experiência defendida por John Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978). Busca-se, assim, proporcionar aos estudantes situações investigativas que integrem ação, observação e reflexão, contribuindo para a reconstrução da experiência e para uma compreensão mais elaborada dos conceitos de Óptica Geométrica.

1.1 JUSTIFICATIVA

A Física constitui uma área do conhecimento marcada por conceitos abstratos que, frequentemente, representam desafios à aprendizagem dos estudantes (Moreira, 2017). No ensino de Óptica Geométrica, conteúdos como reflexão da luz, absorção, intensidade luminosa e interação da luz com diferentes superfícies exigem elevado nível de abstração, o que dificulta sua compreensão quando abordados exclusivamente por meio de explicações teóricas, esquemas gráficos ou representações matemáticas (Salomão et al., 2023).

Tradicionalmente, o ensino desses conteúdos tem sido conduzido de forma predominantemente expositiva (Moreira, 2018), com forte apoio em livros didáticos, diagramas de raios luminosos e, em alguns casos, simuladores computacionais. Embora tais recursos possuam valor pedagógico, sua utilização isolada nem sempre favorece a compreensão efetiva dos fenômenos, sobretudo quando não oportuniza ao estudante a vivência concreta da situação física investigada.

Nesse contexto, a perspectiva educacional de John Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978) oferece importante contribuição para o ensino de Ciências ao defender que a aprendizagem ocorre a partir da experiência, desde que acompanhada por processos reflexivos. Para o autor, o conhecimento não resulta da simples transmissão de informações, mas da reconstrução da experiência por meio da investigação e da reflexão sobre a ação. Assim, situações educativas que envolvem experimentação, problematização e análise de resultados tornam-se fundamentais para a reconstrução do conhecimento científico escolar.

Entretanto, apesar do consenso quanto à importância da experimentação no ensino de Física, conforme apontam estudos na área de Ensino de Ciências (Borges, 2002; Araújo; Veit, 2019), muitas escolas brasileiras, especialmente aquelas localizadas em regiões do semiárido, enfrentam limitações estruturais, como a ausência de laboratórios equipados e a

escassez de recursos financeiros. Tais condições, contudo, não devem ser compreendidas como impeditivas ao desenvolvimento de práticas experimentais, uma vez que atividades investigativas podem ser realizadas com materiais de baixo custo e em espaços alternativos, conforme defendem diversos estudos na área de ensino de Ciências.

Nesse sentido, o desenvolvimento do leitor óptico baseado em sensor LDR e microcontrolador Arduino apresenta-se como uma alternativa viável, acessível e replicável para o ensino experimental de Óptica Geométrica. O dispositivo possibilita a observação direta da variação da intensidade luminosa em diferentes superfícies, permitindo que os estudantes investiguem, comparem resultados e reflitam sobre os fenômenos observados.

A proposta do *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* fundamenta-se na concepção de aprendizagem pela experiência defendida por Dewey, ao promover situações investigativas nas quais o estudante deixa de assumir um papel passivo e passa a atuar como agente do próprio processo de aprendizagem. Ao transformar a intensidade luminosa em dados numéricos visíveis, o dispositivo contribui para tornar fenômenos abstratos mais concretos, favorecendo a reflexão e a reconstrução do pensamento científico. Além disso, o uso do Arduino amplia o potencial pedagógico da proposta ao integrar conceitos de Física, tecnologia e investigação científica, promovendo a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes.

Dessa forma, o produto educacional desenvolvido atende aos objetivos do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), ao apresentar uma proposta didática validada, transferível e alinhada às demandas contemporâneas do ensino de Ciências.

1.2 OBJETIVOS

Diante desse cenário, marcado por limitações de infraestrutura física e pela escassez de laboratórios equipados em muitas escolas, e considerando o potencial pedagógico da experimentação mediada por tecnologias acessíveis, este trabalho tem como foco o desenvolvimento, a aplicação e a avaliação de um recurso didático experimental voltado ao estudo da luz por meio do uso de um sensor LDR acoplado a um microcontrolador Arduino.

1.2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional, denominado *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*, visando facilitar a compreensão e a investigação prática de conceitos de Óptica Geométrica por estudantes da Educação Básica.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Promover um ambiente propício para a alfabetização científica e tecnológica dos estudantes, introduzindo o uso do microcontrolador Arduino e de sensores LDR na coleta e no processamento de dados físicos.
- Avaliar a viabilidade, a eficácia e a replicabilidade do produto educacional como alternativa de baixo custo para a experimentação no ensino de Óptica.
- Analisar a contribuição do leitor LDR para a superação de concepções alternativas e para a apropriação dos conceitos de reflexão, absorção e intensidade luminosa.
- Propor e validar uma unidade didática com abordagem investigativa, fundamentada na aprendizagem pela experiência, que utilize o leitor LDR como ferramenta para o fomento da aprendizagem ativa e colaborativa em sala de aula.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo, será discutida a Óptica Geométrica, ramo da Física que estuda o comportamento da luz a partir do modelo de raios luminosos, permitindo descrever e prever fenômenos como a propagação retilínea da luz, a reflexão e a refração. Esse campo do conhecimento é fundamental para a compreensão do funcionamento de diversos dispositivos presentes no cotidiano, como espelhos, lentes, câmeras, óculos e instrumentos ópticos, além de constituir uma base importante para o desenvolvimento científico e tecnológico.

2.1 INTRODUÇÃO AO ESTUDO DA LUZ

A compreensão da natureza da luz passou por sucessivas reformulações ao longo da história da ciência e da tecnologia, acompanhando o desenvolvimento dos referenciais teóricos e dos aparatos experimentais no campo da Física e da Engenharia. Em seus estágios iniciais, a luz era concebida como um fluxo de partículas emitidas por corpos luminosos, concepção atribuída à tradição da Óptica Geométrica clássica e sistematizada por Isaac Newton em sua teoria corpuscular (Tipler; Mosca, 2009). Entretanto, no século XIX, as investigações de Young e Maxwell evidenciaram que fenômenos como a interferência e a difração, característicos de processos ondulatórios, somente poderiam ser explicados a partir da compreensão da luz como uma onda eletromagnética (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

No início do século XX, a explicação do efeito fotoelétrico instaurou uma ruptura nos modelos vigentes, uma vez que o fenômeno não podia ser adequadamente descrito apenas pelo modelo ondulatório. A interpretação proposta por Albert Einstein, ao atribuir à luz um caráter corpuscular constituído por pacotes discretos de energia denominados fótons, consolidou o princípio da dualidade onda-partícula (Serway; Jewett, 2020). Desse modo, na Física contemporânea, a luz é compreendida como uma radiação eletromagnética que, ao interagir com a matéria, manifesta propriedades quânticas, conforme estabelecido pelos fundamentos da Mecânica Quântica (Hewitt, 2015).

Assim, a natureza da luz não se reduz a um único modelo explicativo, razão pela qual se reconhece seu caráter dual, manifestando comportamentos ondulatórios ou corpusculares de acordo com o contexto fenomenológico analisado. Essa concepção integrada revela-se indispensável para a interpretação de processos ópticos, tecnológicos e astrofísicos, além de sustentar o papel central da luz na compreensão dos fenômenos naturais e no avanço científico contemporâneo.

A propagação retilínea da luz constitui um dos princípios estruturantes da Óptica Geométrica. Em meios homogêneos e transparentes, a luz propaga-se em linha reta, propriedade observável em fenômenos cotidianos, como a formação de sombras e o uso de feixes luminosos em dispositivos como lanternas e lasers (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Hewitt, 2015). Essa propriedade decorre do fato de que a luz se propaga a partir da fonte emissora em trajetórias radiais, distribuindo-se em todas as direções disponíveis no meio.

A modelagem da propagação por meio do conceito de raios luminosos possibilita simplificações geométricas e matemáticas fundamentais para a análise de sistemas ópticos, como espelhos e lentes (Tipler; Mosca, 2009). Embora a luz possa sofrer desvios ao atravessar interfaces entre meios distintos, em processos como reflexão, refração ou difração, o modelo da propagação retilínea mantém sua validade enquanto as propriedades ópticas do meio permanecem constantes. Tal modelo é amplamente empregado tanto no contexto didático quanto em aplicações tecnológicas, sendo essencial para o desenvolvimento de instrumentos ópticos, sistemas de imageamento, dispositivos sensores e tecnologias de comunicação óptica (Serway; Jewett, 2020).

A formação de sombras constitui uma evidência empírica direta da propagação retilínea da luz. Quando um objeto opaco é interposto entre uma fonte luminosa e um anteparo, ocorre o bloqueio parcial da radiação incidente, resultando na formação de regiões distintas de iluminação: sombra e penumbra (Hewitt, 2015). A sombra corresponde à região completamente desprovida de iluminação, na qual os raios provenientes da fonte são integralmente bloqueados pelo obstáculo. A penumbra, por sua vez, caracteriza-se como uma região parcialmente iluminada, decorrente da obstrução incompleta dos feixes luminosos, sendo típica de fontes extensas ou compostas por múltiplos pontos emissores (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Esses fenômenos podem ser observados tanto em situações cotidianas quanto em contextos experimentais didáticos, como na projeção de sombras sob a luz solar ou em atividades com fontes artificiais e obstáculos. A distinção entre sombra e penumbra é fundamental para a compreensão de fenômenos astronômicos, como eclipses solares e lunares, nos quais a geometria da propagação luminosa é determinante para a caracterização e a observação do evento (Tipler; Mosca, 2009).

Sob a perspectiva pedagógica, o estudo da formação de sombras contribui significativamente para o desenvolvimento de competências relacionadas à modelagem geométrica e à compreensão espacial dos fenômenos ópticos. Além disso, favorece a reconstrução do pensamento científico por meio da articulação entre observação empírica, experimentação e elaboração conceitual, especialmente em contextos de ensino investigativo (Araújo; Veit, 2019).

2.2 FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS E EPISTEMOLÓGICOS DA ÓPTICA GEOMÉTRICA

A Óptica Geométrica, ou simplesmente Óptica, constitui um dos campos mais antigos da Física, tendo desempenhado papel central na construção histórica do conhecimento científico acerca da luz. Ao longo de seu desenvolvimento, diferentes modelos teóricos foram propostos para descrever os fenômenos luminosos, destacando-se, entre eles, a óptica geométrica, cuja abordagem se baseia na representação da luz por meio de raios ideais.

Do ponto de vista contemporâneo, a Óptica Geométrica não é compreendida como uma teoria fundamental, mas como um modelo limite da óptica ondulatória e, em última instância, da teoria eletromagnética da luz. Tal modelo mostra-se válido quando o comprimento de onda da radiação é muito menor do que as dimensões características do sistema físico analisado (Born; Wolf, 1999).

Apesar de seu caráter aproximado, a Óptica Geométrica permanece amplamente utilizada tanto em aplicações tecnológicas quanto no ensino de Física, especialmente na Educação Básica. Nesse sentido, compreender seus fundamentos matemáticos, seus limites de validade e suas implicações epistemológicas torna-se essencial para uma abordagem didática conceitualmente consistente.

A consolidação da óptica moderna ocorreu a partir da formulação das equações de *Maxwell*, que unificaram eletricidade, magnetismo e óptica em um único arcabouço teórico (Halliday; Resnick; Walker, 2016). No vácuo, as equações de *Maxwell* no espaço em que não haja corrente ou carga são dadas pela Equação 1 (Lei de Gauss para Eletrostática), Equação 2 (Lei de *Faraday*), Equação 3 (Lei de Gauss para Magnetostática) e Equação 4 (Lei de Ampère), onde $\vec{E}$ é o campo elétrico, $\vec{B}$ é o campo magnético, μ_0 é a permeabilidade magnética, ϵ_0 é a permissividade elétrica e t é o tempo.

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \quad \text{Equação 1}$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad \text{Equação 2}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad \text{Equação 3}$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad \text{Equação 4}$$

A partir dessas equações, pode-se demonstrar que os campos elétrico e magnético satisfazem equações de onda. Aplicando o operador rotacional à equação de *Faraday* e utilizando identidades vetoriais é possível mostrar que tanto o campo elétrico quanto o magnético se comporta como uma onda, como mostra a Equação 5, com a velocidade da luz, c , dada pela Equação 6, estabelecendo de forma inequívoca sua natureza eletromagnética (Jackson, 1999).

$$\vec{\nabla}^2 \begin{Bmatrix} \vec{E} \\ \vec{B} \end{Bmatrix} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial}{\partial t} \begin{Bmatrix} \vec{E} \\ \vec{B} \end{Bmatrix} \quad \text{Equação 5}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad \text{Equação 6}$$

Como solução da Equação 5, tanto o campo elétrico quanto o magnético podem ser descritos na forma de ondas planas, dadas pela Equação 7 e Equação 8, respectivamente, pois são uniformes em todos os planos perpendiculares à direção de propagação na direção $\vec{r}$, onde $\vec{k}$ é o vetor de onda, ω é a frequência angular e δ é a fase. As amplitudes $\vec{E}_0$ e $\vec{B}_0$ estão relacionadas entre si pela derivação da Equação 4.

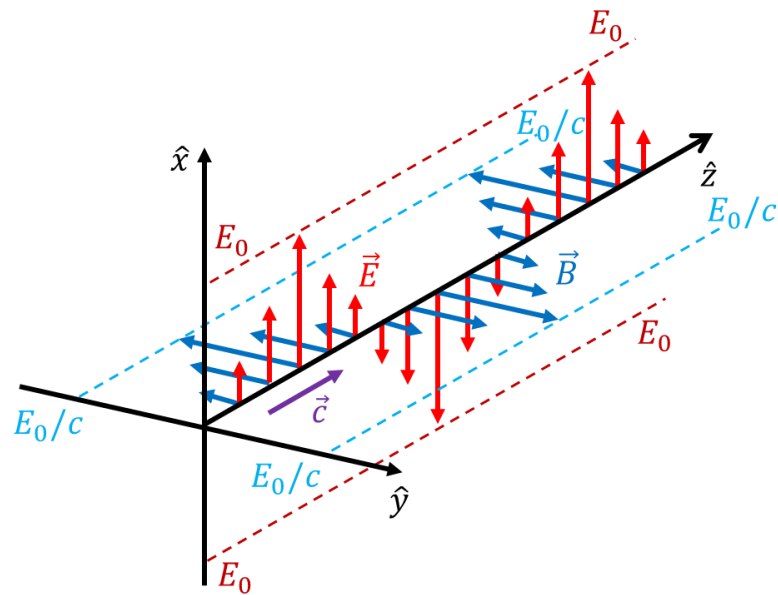
$$\vec{E}(z, t) = \vec{E}_0 \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta) \quad \text{Equação 7}$$

$$\vec{B}(z, t) = \vec{B}_0 \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta) = \frac{\vec{E}_0}{c} \exp i(\vec{k} \cdot \vec{r} - \omega t + \delta) \quad \text{Equação 8}$$

Uma onda eletromagnética é uma forma de propagação de energia que ocorre por meio de campos elétrico e magnético oscilantes, que se propagam no espaço mesmo na ausência de um meio material. Esses campos variam no tempo e estão orientados de forma perpendicular entre si e em relação à direção de propagação da onda. Advindo da Equação 7 e Equação 8, graficamente, é possível ilustrar uma onda eletromagnética conforme é mostrado na Figura 1, mostrando que a luz pode ser representada por uma composição de campos elétricos e magnéticos.

Esse tipo de onda, mostrada na Figura 1, transporta energia e informação e apresenta propriedades como comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação. No vácuo, todas as ondas eletromagnéticas se propagam com a mesma velocidade, aproximadamente 3×10^8 m/s, conhecida como velocidade da luz, c .

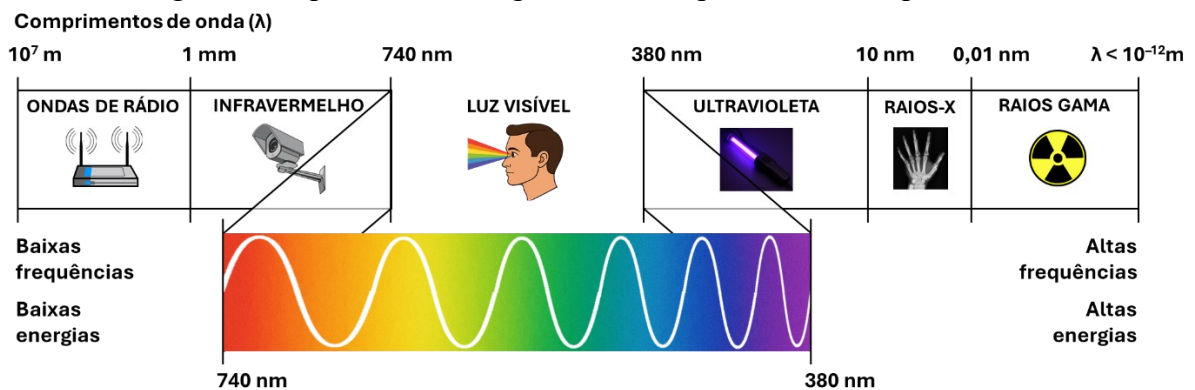
Figura 1 - Descrição de uma onda eletromagnética no vácuo



Fonte: autor

A luz visível é apenas uma pequena parte do espectro eletromagnético, que inclui também ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios X e raios gama. Por isso, compreender o que é uma onda eletromagnética é fundamental para entender fenômenos naturais e diversas aplicações tecnológicas, como telecomunicações, exames médicos e sistemas de transmissão de dados. A Figura 2 mostra o espectro de luz e suas delimitações em função do comprimento de onda, λ .

Figura 2 - Espectro eletromagnético da luz para vários comprimentos de onda



Fonte: autor

Na Educação Básica, a Óptica Geométrica costuma ser apresentada como uma descrição direta da luz, o que pode induzir a concepções realistas ingênuas. Tipler e Mosca (2009)

destacam a importância de explicitar o caráter modelar dessas representações, favorecendo a compreensão da ciência como um processo de construção teórica.

A discussão dos limites do modelo geométrico constitui, portanto, um elemento fundamental para a alfabetização científica e para o desenvolvimento de uma visão epistemologicamente adequada da Física. O estudo das propriedades da luz possibilita não apenas a compreensão científica desses fenômenos, mas também o desenvolvimento de aplicações tecnológicas em áreas como comunicação, medicina e energia, evidenciando sua relevância científica e social.

As propriedades da luz determinam como ela se propaga e interage com a matéria, permitindo explicar desde a formação de sombras e imagens até o funcionamento de instrumentos ópticos e dispositivos modernos. Entre essas propriedades, destacam-se a propagação retilínea em meios homogêneos, a reflexão, a refração e a absorção, que constituem a base para a compreensão de fenômenos ópticos no cotidiano.

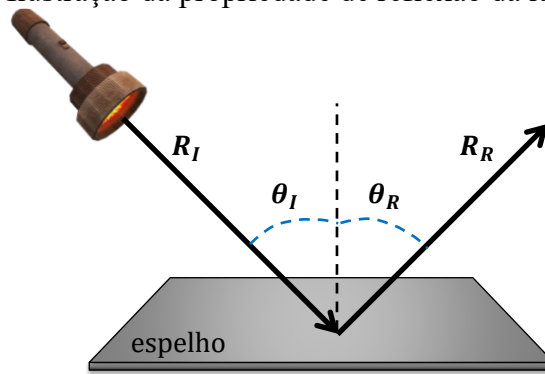
2.3 A REFLEXÃO DA LUZ

A reflexão da luz é um fenômeno óptico que ocorre quando um feixe luminoso incide sobre uma superfície e retorna ao meio de origem. Esse processo obedece a duas leis fundamentais: a primeira estabelece que o raio incidente, o raio refletido e a reta normal à superfície no ponto de incidência pertencem ao mesmo plano; a segunda afirma que o ângulo de reflexão é sempre igual ao ângulo de incidência, ambos medidos em relação à reta normal (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

A Figura 3 mostra um exemplo de um raio de luz proveniente de uma fonte luminosa que é refletido por uma superfície espelhada, onde R_I é o raio incidente com θ_I é o ângulo de incidência; e R_R é o raio refletido com θ_R é o ângulo de reflexão.

A reflexão pode ocorrer de maneira especular, quando a superfície é lisa e polida, resultando em raios refletidos com direções bem definidas, ou difusa, quando a superfície é irregular, espalhando a luz em várias direções e permitindo a observação dos objetos sob qualquer ângulo (Serway; Jewett, 2020). Além de ser essencial para o entendimento da formação de imagens em espelhos, o fenômeno da reflexão constitui a base de diversas aplicações tecnológicas, como retrovisores, scanners e sistemas ópticos de precisão (Tipler; Mosca, 2009).

Figura 3 - Ilustração da propriedade de reflexão da luz sobre um espelho



Fonte: autor

De maneira mais geral, quando uma onda incide obliquamente sobre uma interface, é possível estabelecer três afirmações fundamentais, consideradas leis da óptica geométrica. A primeira lei da óptica geométrica afirma que os vetores de onda incidente, refletido e transmitido pertencem a um mesmo plano, denominado plano de incidência.

A Figura 4(a) ilustra uma onda plana propagando-se do meio 1 para o meio 2, em que os índices I , R e T indicam, respectivamente, as ondas incidentes, refletida e transmitida. Os símbolos $\vec{E}$, $\vec{B}$ e $\vec{k}$ representam, respectivamente, os vetores campo elétrico, campo magnético e vetor de onda. A Equação 9 mostra a relação entre os módulos dos vetores de onda k_I , k_R e k_T , e os ângulos de incidência, refração e transmissão dados por, respectivamente, θ_I , θ_R e θ_T .

$$k_I \sin \theta_I = k_R \sin \theta_R = k_T \sin \theta_T \quad \text{Equação 9}$$

A 2ª lei da Óptica Geométrica afirma que o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão, também chamada de lei da reflexão, como mostra a Equação 10.

$$\theta_I = \theta_R \quad \text{Equação 10}$$

A 3ª lei da Óptica Geométrica indica a existência de uma relação entre o ângulo de incidência e o ângulo de transmissão que é relacionado ao meio que a onda viaja, conhecida como a lei da refração ou lei de *Snell*. Os meios 1 e 2 têm os índices de refração dados por n_1 e n_2 , respectivamente.

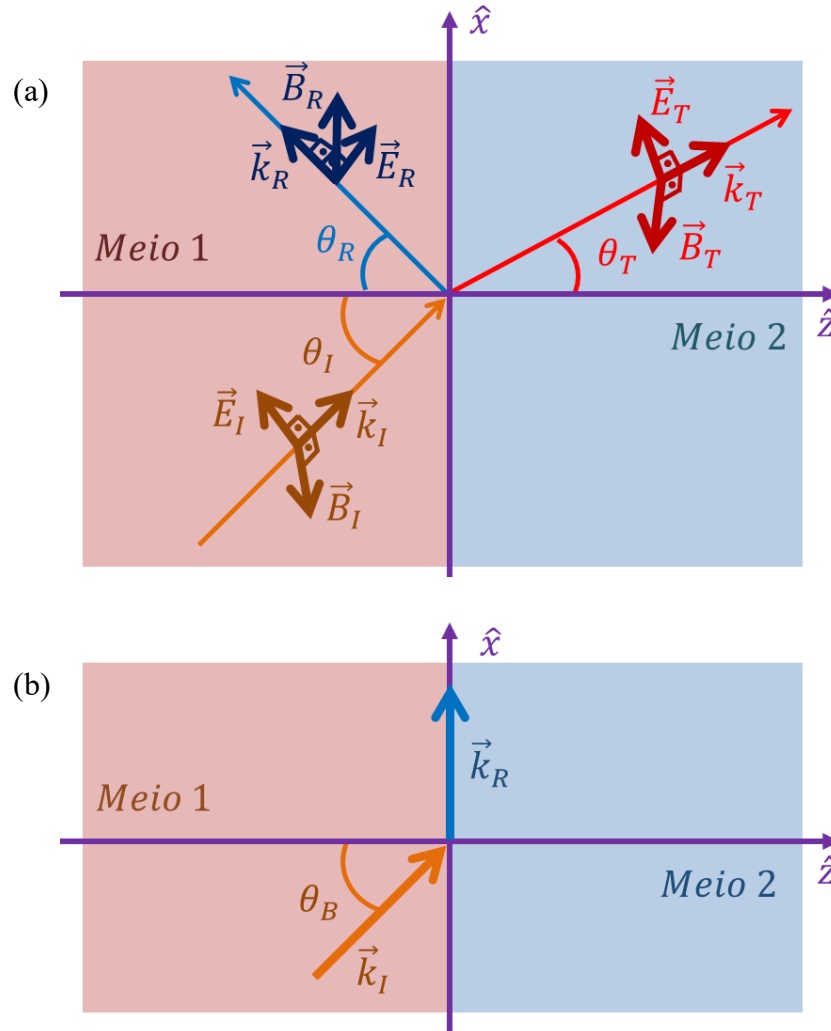
$$n_1 \sin \theta_I = n_2 \sin \theta_T \quad \text{Equação 11}$$

A Figura 4(b) mostra que existe um ângulo limite em que a reflexão é extinta, chamado de ângulo de *Brewster*, θ_B . Ele é determinado pela relação mostrada na Equação 12.

$$\tan \theta_B = \frac{n_2}{n_1}$$

Equação 12

Figura 4 - Ilustrações de ondas ao passar de um meio 1 e um meio 2 nas situações em que ocorre transmissão, em (a); e em (b) sem transmissão



Fonte: autor

A reflexão seletiva (Sestari; Da Silveira; De Oliveira Cruz, 2023) é um fenômeno óptico relacionado à forma como a luz interage com diferentes superfícies, sendo fundamental para a compreensão da percepção das cores. Quando a luz branca incide sobre um objeto, parte da radiação é absorvida e parte é refletida. A característica seletiva desse processo consiste no fato de que cada material possui a capacidade de refletir determinados comprimentos de onda e absorver outros, o que determina a cor percebida pelo observador.

Por exemplo, um objeto que reflete predominantemente a radiação correspondente ao comprimento de onda do vermelho será percebido como vermelho, pois essa faixa do espectro visível é a que chega aos olhos após a interação da luz com a superfície. Da mesma forma, um objeto branco reflete grande parte dos comprimentos de onda da luz incidente,

enquanto um objeto preto absorve a maior parte deles. A reflexão seletiva também está relacionada às propriedades microscópicas dos materiais e aos pigmentos presentes em sua composição, que interagem de maneira específica com a luz.

A compreensão desse fenômeno é essencial no estudo da óptica e possui aplicações em diversas áreas, como nas artes visuais, na indústria de tintas e revestimentos, no design, na fotografia e nas tecnologias de imagem, contribuindo para explicar como percebemos as cores no cotidiano.

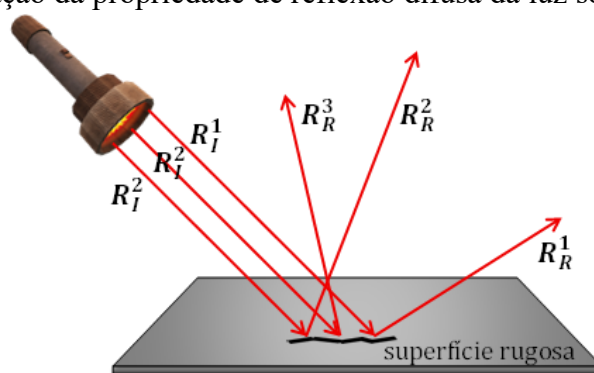
2.4 A COR, A ABSORÇÃO DA LUZ E A REFLEXÃO DIFUSA

A percepção de cor está diretamente associada à interação da radiação eletromagnética visível com a matéria e aos processos físicos de absorção, reflexão e espalhamento da luz (Sestari; Da Silveira; De Oliveira Cruz, 2023). Do ponto de vista da Física, a cor não é uma propriedade intrínseca do objeto, mas resulta do espectro de comprimentos de onda que ele reflete ou transmite após a incidência da luz branca, combinado à resposta fisiológica do sistema visual humano.

A absorção ocorre quando parte da energia da radiação incidente é convertida em outras formas de energia no material, geralmente em energia térmica, por meio de transições eletrônicas, vibrações moleculares ou excitações da rede cristalina. Em materiais opacos, os comprimentos de onda fortemente absorvidos deixam de contribuir para a luz refletida, enquanto aqueles pouco absorvidos predominam no espectro emergente, determinando a cor percebida. Por exemplo, um objeto que absorve preferencialmente radiação nas regiões do azul e do verde e reflete mais intensamente o vermelho tende a ser percebido como avermelhado.

A reflexão (Halliday; Resnick; Walker, 2016) pode ser classificada, de maneira geral, em especular e difusa. A reflexão especular ocorre em superfícies lisas em escala microscópica, nas quais a luz é refletida de acordo com a lei da reflexão, preservando a direcionalidade do feixe incidente, como mostrado na Figura 3. Já a reflexão difusa é característica de superfícies rugosas, cujas irregularidades, com dimensões comparáveis ao comprimento de onda da luz, provocam o espalhamento da radiação em múltiplas direções. A Figura 5 ilustra feixes luminosos incidentes, representados por R_I , com índices 1, 2 e 3, sendo refletidos em várias direções, com raios representados por R_R , cujos índices correspondem aos raios incidentes.

Figura 5 - Ilustração da propriedade de reflexão difusa da luz sobre uma superfície rugosa



Fonte: autor

A reflexão difusa é o mecanismo que permite a visualização da maioria dos objetos no cotidiano, pois possibilita que a luz refletida alcance o observador independentemente da posição da fonte luminosa (Rodrigues, 2022.).

A combinação entre absorção seletiva e reflexão difusa é fundamental para a constituição da cor dos objetos (Sestari; Da Silveira; De Oliveira Cruz, 2023). Superfícies com alta refletância difusa em uma faixa específica do espectro visível e maior absorção nas demais tendem a apresentar cores saturadas. Por outro lado, materiais que refletem difusamente grande parte do espectro visível de forma aproximadamente uniforme são percebidos como brancos, enquanto aqueles que absorvem intensamente ao longo de todo o espectro tendem a ser percebidos como pretos.

A compreensão desses fenômenos é essencial tanto para a Física básica quanto para aplicações tecnológicas e educacionais, como no desenvolvimento de materiais ópticos, na caracterização de pigmentos, em sensores ópticos e em estratégias didáticas que buscam articular conceitos de óptica com situações do cotidiano, favorecendo uma aprendizagem mais significativa.

2.5 SENSOR DE LUMINOSIDADE LDR ASSOCIADO AO ARDUINO: FUNDAMENTAÇÃO E APLICAÇÃO

O LDR, também conhecido como fotocélula ou resistor dependente de luz, é um componente eletrônico cuja resistência elétrica se altera conforme a intensidade de luz que incide sobre sua superfície (Boylestad; Nashelsky, 2012). Seu princípio de funcionamento baseia-se na fotocondutividade, característica de materiais semicondutores, como o sulfeto de cádmio (CdS) (Malvino; Bates, 2016). Em ambientes iluminados, sua resistência diminui, enquanto, em locais com pouca ou nenhuma luz, ela aumenta. Essa propriedade permite sua

utilização em diferentes aplicações, como sensores de luminosidade, sistemas automáticos de acionamento e atividades experimentais, especialmente no contexto do ensino de Física.

No ensino de Física, o uso de LDRs favorece o desenvolvimento de atividades investigativas e a coleta automática de dados, aproximando os estudantes de práticas contemporâneas de instrumentação científica e estreitando a relação entre teoria e prática (Araújo; Veit, 2019; Gil; Zuanon, 2014). Além de sua aplicação pedagógica, os LDRs são empregados em sistemas de automação, alarmes, luminárias inteligentes e dispositivos de economia de energia. A Figura 6 apresenta um modelo comum de LDR.

Figura 6 - LDR de uso comum



Fonte: <https://pixabay.com/>, acesso em janeiro de 2026

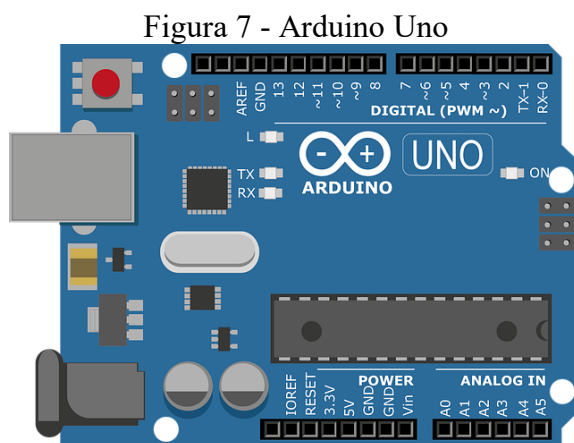
O LDR também conhecido como fotocélula ou resistor dependente de luz, é um componente eletrônico cuja resistência elétrica varia de acordo com a intensidade da luz incidente. Quando exposto à luz, sua resistência diminui, enquanto, em condições de baixa luminosidade, ela aumenta. Essa característica decorre do comportamento dos materiais semicondutores que compõem o sensor, tornando o LDR amplamente utilizado em circuitos de detecção luminosa, sistemas automáticos de iluminação e aplicações experimentais (Sedra; Smith, 2015; Horowitz; Hill, 2015).

No contexto educacional, o LDR apresenta-se como um sensor adequado para a construção de dispositivos experimentais simples, permitindo a investigação de fenômenos relacionados à intensidade luminosa e à interação da luz com diferentes superfícies, especialmente quando associado a plataformas de prototipagem, como o Arduino (Banzi; Shiloh, 2015). Nesse cenário pedagógico, o LDR oferece diversas contribuições, pois favorece a integração entre conteúdos de Física, de Matemática e de Eletrônica, estimula a aprendizagem baseada na prática e amplia o interesse dos estudantes ao aproximar os conceitos científicos de aplicações tecnológicas reais. Além disso, contribui para o desenvolvimento de habilidades como trabalho em grupo, resolução de problemas e pensamento crítico. Trata-se, portanto, de um recurso acessível e versátil, que fortalece o ensino de Física ao articular teoria e prática.

Ao ser incorporado a experimentos e atividades em sala de aula, o LDR possibilita experiências de aprendizagem mais significativas e conectadas à realidade dos estudantes. Sua utilização em conjunto com o Arduino amplia ainda mais as possibilidades didáticas,

permitindo a elaboração de projetos voltados à exploração de conceitos de Física e Eletrônica. Um exemplo consiste na montagem de um circuito capaz de analisar a intensidade luminosa associada a diferentes cores, utilizando LEDs de distintas tonalidades e um sensor de luz. Essa atividade possibilita discutir a relação entre frequência da luz, intensidade luminosa, espectro visível e propriedades dos semicondutores.

O Arduino (McRoberts, 2013) é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, amplamente utilizada no desenvolvimento de projetos que envolvem automação, controle e aquisição de dados. Sua arquitetura simples, aliada à facilidade de programação e ao baixo custo dos componentes, tem favorecido sua disseminação em contextos educacionais, especialmente no ensino de Ciências e de Física (Banzi; Shiloh, 2015). A Figura 7 apresenta o modelo Arduino Uno, um dos mais difundidos e facilmente encontrados no mercado.



Fonte: <https://pixabay.com/>, acesso em janeiro de 2026

No ensino de Física, o Arduino possibilita a construção de dispositivos experimentais que permitem a coleta e a análise de dados em tempo real, favorecendo a investigação de fenômenos físicos e a articulação entre conceitos teóricos e situações experimentais. Diversos estudos indicam que o uso dessa plataforma contribui para a ampliação das possibilidades metodológicas do professor, permitindo a realização de atividades experimentais mesmo em contextos escolares com infraestrutura limitada (Silva; Cavalcante, 2017; Monteiro et al., 2022).

Além disso, o emprego do Arduino em atividades didáticas favorece a abordagem interdisciplinar, integrando conceitos de Física, Eletrônica e Computação, e possibilita maior envolvimento dos estudantes na construção e no funcionamento dos dispositivos experimentais. Segundo Banzi e Shiloh (2015), a utilização de plataformas abertas no ensino estimula a

exploração, a experimentação e a adaptação dos projetos às necessidades educacionais específicas.

Dessa forma, o Arduino apresenta-se como uma ferramenta potencialmente relevante para o ensino de Física, ao permitir a implementação de propostas experimentais acessíveis, investigativas e alinhadas às demandas contemporâneas da educação científica (Monteiro et al., 2022).

A utilização de plataformas de prototipagem eletrônica, como o Arduino, associada a sensores de baixo custo, como o LDR, tem sido objeto de investigações recentes no ensino de Física (Monteiro et al., 2022). Essas propostas buscam ampliar o caráter investigativo das atividades experimentais, favorecendo a coleta sistemática de dados e a construção de explicações fundamentadas.

Plataformas de prototipagem, como o Arduino, consolidaram-se como recursos acessíveis para atividades experimentais e projetos *maker* em escolas. Estudos de revisão e relatos de intervenção mostram que o Arduino amplia a capacidade de implementação de experimentos com aquisição de dados, automação e controle, reduzindo barreiras logísticas e de custo (Silva; Cavalcante, 2017; Banzi; Shiloh, 2015). Em particular, usos bem-sucedidos do Arduino em contextos escolares consideram imprescindível a articulação entre o componente técnico, envolvendo hardware e software, e um desenho pedagógico claro que explore investigação e reflexão (Macedo; Silva, 2018).

Pesquisas recentes também têm buscado mapear o crescimento dessas abordagens na literatura educacional. Uma revisão de escopo apresentada nos Anais do XX Encontro de Pesquisa em Ensino de Física evidencia que o Arduino tem sido amplamente utilizado em propostas didáticas voltadas à motivação e ao engajamento discente, embora ainda existam lacunas no que se refere à articulação teórico-pedagógica e à avaliação empírica sistemática da aprendizagem em atividades investigativas (Chitolina; Sena dos Santos, 2024).

Jasmin e Djalal (2015) documentam estudos de caso em que o uso de LDRs em sala de aula facilitou a construção de relações quantitativas entre variáveis luminosas e possibilitou que os alunos realizassem análises gráficas e comparativas, atividades que favorecem a compreensão conceitual da Óptica em nível escolar.

Além disso, propostas específicas envolvendo a integração do LDR ao Arduino têm sido discutidas como possibilidade de ampliação da experimentação didática. Sousa et al. (2019) destacam que o uso do LDR como sensor em atividades escolares permite introduzir medições acessíveis e promover investigações experimentais relacionadas à interação entre luz e sistemas físicos, favorecendo a aproximação entre conceitos teóricos e observações empíricas.

Macedo e Silva (2018) demonstram ainda que a combinação entre Arduino e LDR possibilita o desenvolvimento de sequências experimentais replicáveis, com potencial para a análise de fenômenos como atenuação, reflexão e formação de sombras, contribuindo para propostas investigativas no ensino de Física.

Embora exista literatura que demonstre a viabilidade técnica e os benefícios didáticos do uso do Arduino e do LDR, observam-se lacunas importantes. Há poucas propostas que articulam explicitamente um referencial teórico de aprendizagem, como o de John Dewey, com uma sequência didática investigativa e replicável.

O Produto Educacional aqui proposto busca contribuir para o preenchimento dessas lacunas ao integrar um leitor óptico baseado em LDR acoplado ao Arduino para aquisição de dados, uma sequência didática estruturada como investigação, fundamentada em situações-problema, e um referencial teórico explícito ancorado na perspectiva de Dewey. Essa articulação entre dimensões técnicas e pedagógicas, aliada à avaliação empírica por meio de pré e pós-teste e à descrição detalhada das etapas, configura a principal contribuição deste trabalho para o estado da arte no ensino de Óptica Geométrica.

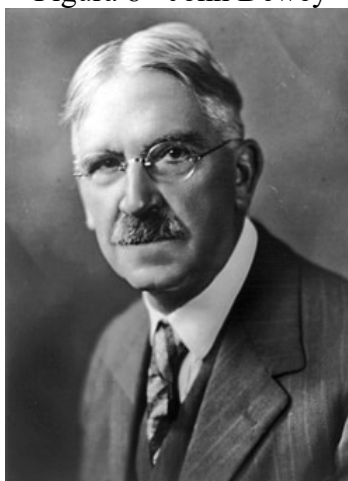
3 TEORIA DA APRENDIZAGEM DE JOHN DEWEY

Neste capítulo, será apresentada a teoria da aprendizagem de John Dewey, concebida para explicar como o conhecimento se constrói a partir da interação entre o sujeito e o meio, tendo a experiência e a reflexão como elementos centrais do processo educativo. Parte-se do pressuposto de que a aprendizagem não ocorre por simples transmissão de conteúdos, mas pela reconstrução contínua da experiência, mediada por situações problematizadoras que mobilizam o pensamento e a ação do estudante.

3.1 QUEM FOI JOHN DEWEY?

John Dewey (1859-1952) foi um filósofo, psicólogo e pedagogo norte-americano, considerado um dos principais representantes do pragmatismo e um dos pensadores mais influentes da educação moderna. Defendeu a ideia de que a educação deve estar centrada na experiência do estudante, na investigação e na resolução de problemas reais, compreendendo a escola como um espaço de formação democrática e participação social. A Figura 8 apresenta um registro de John Dewey.

Figura 8 - John Dewey



Fonte: <https://commons.wikimedia.org/>, acesso em janeiro de 2026

Para John Dewey, aprender não consiste em memorizar conteúdos, mas em reconstruir continuamente a experiência por meio da reflexão e da ação (Dewey, 1933; 1938; 1978). Suas contribuições influenciaram profundamente as teorias pedagógicas contemporâneas, especialmente aquelas voltadas às metodologias ativas, ao ensino investigativo e à aprendizagem significativa. Estudar a aprendizagem segundo John Dewey é fundamental, pois sua perspectiva oferece fundamentos teóricos consistentes para compreender

o processo educativo como uma experiência ativa, reflexiva e significativa, superando modelos tradicionais centrados na transmissão de conteúdo (Pereira et al.; 2009).

Ao conceber o estudante como sujeito ativo da aprendizagem e defender a investigação, a problematização e a experiência como princípios pedagógicos, Dewey contribuiu para a reconstrução de práticas educacionais mais coerentes com as demandas contemporâneas. Sua abordagem favorece o desenvolvimento do pensamento crítico, da autonomia intelectual e da articulação entre teoria e prática, aspectos essenciais ao ensino de Ciências e de Física, especialmente quando se busca promover aprendizagens contextualizadas e socialmente relevantes (Placides; Da Costa, 2021).

John Dewey desenvolveu uma obra extensa e influente (Dewey, 1933; 1938; 1978), com contribuições que ultrapassam o campo da educação e alcançam a filosofia, a psicologia e a teoria social. Seus trabalhos fundamentam-se no pragmatismo e no instrumentalismo, correntes que compreendem o conhecimento como resultado da interação entre sujeito e ambiente e valorizam as consequências práticas das ideias. Para Dewey, o pensamento humano não é um processo abstrato e isolado, mas uma ferramenta voltada à resolução de problemas concretos da vida cotidiana (Pereira et al.; 2009).

No campo educacional, destacou-se por defender uma pedagogia centrada na experiência, na investigação e na participação ativa do estudante. Em obras como *Democracy and Education* (1916) e *Experience and Education* (1938), argumentou que a escola deveria funcionar como um espaço de vida social, e não apenas como um local de transmissão de conteúdo. O currículo, segundo o autor, deveria articular-se às vivências dos estudantes, promovendo situações de aprendizagem baseadas em problemas reais e na reflexão sobre a prática.

Seus estudos também abordaram o papel do pensamento reflexivo na aprendizagem, entendido como um processo investigativo que envolve dúvida, formulação de hipóteses, experimentação e avaliação de consequências (Dewey, 1933; 1938; 1978). Essa concepção influenciou diretamente o desenvolvimento de abordagens pedagógicas como o ensino por investigação, a aprendizagem baseada em problemas e as metodologias ativas. Além disso, Dewey contribuiu para a compreensão da educação como prática democrática, defendendo que a escola deve formar cidadãos críticos, capazes de participar de forma consciente e responsável na sociedade (Placides; Da Costa, 2021).

De modo geral, os trabalhos de John Dewey permanecem atuais por oferecerem fundamentos teóricos sólidos para a construção de práticas pedagógicas inovadoras, reflexivas e socialmente comprometidas.

3.2 JOHN DEWEY E O APRENDER FAZENDO

John Dewey defende que a aprendizagem deve estar associada à experiência concreta, ao enfrentamento de problemas reais e ao desenvolvimento da investigação. Para o autor, o estudante aprende de modo mais significativo quando percebe propósito e funcionalidade no que estuda, pois o conhecimento se constrói a partir do engajamento em situações autênticas e em processos investigativos análogos à metodologia científica. Nessa perspectiva, a educação não se configura como mera transmissão de conteúdos, mas como um processo contínuo de reconstrução da experiência (Dewey, 1978).

O engajamento intelectual, segundo Dewey, depende do reconhecimento, pelo estudante, da utilidade e do sentido do conhecimento aprendido. A escola, portanto, deve constituir-se como um microssistema social que prepara o aluno para a vida por meio da participação ativa e da resolução de problemas presentes em seu cotidiano. Aprender não significa acumular informações, mas reorganizar experiências anteriores à luz de novas vivências, em um processo dinâmico no qual o conhecimento emerge da interação entre o sujeito e o ambiente (Placides; Da Costa, 2021).

Dewey também enfatiza que nem toda experiência é, por si só, educativa (Dewey, 1938). Uma experiência somente promove aprendizagem quando favorece a continuidade e o crescimento, ampliando a capacidade do estudante de compreender e atuar em novas situações. Experiências fragmentadas, mecânicas ou meramente repetitivas tendem a limitar o desenvolvimento intelectual. Dessa forma, o estudante assume o papel de sujeito ativo no processo educativo, enquanto o professor atua como mediador, responsável por organizar ambientes e situações que possibilitem experiências genuinamente educativas.

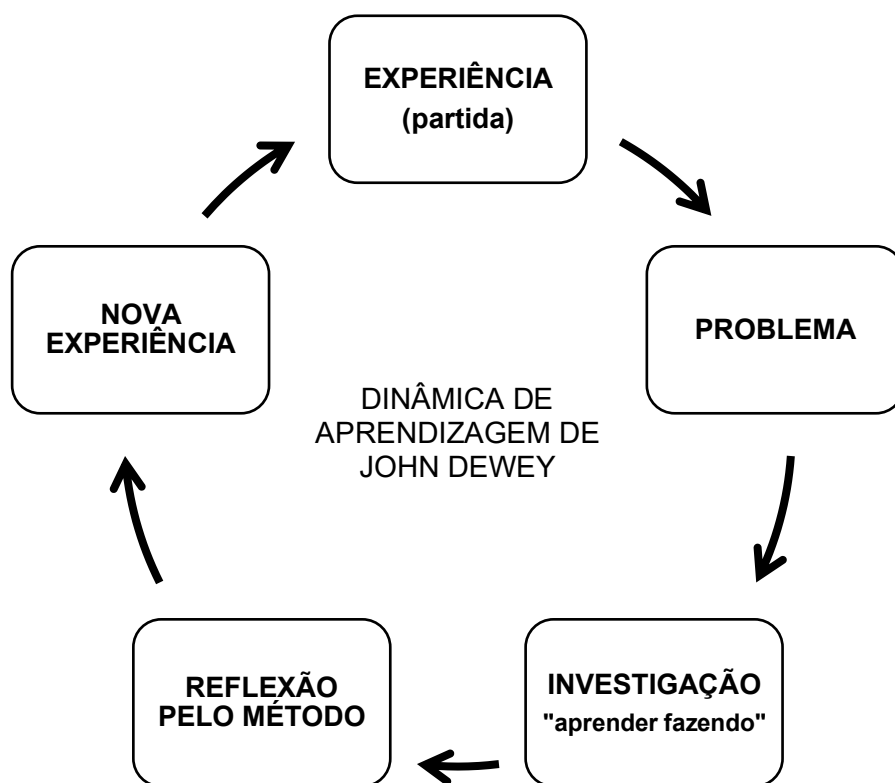
Elemento central da teoria de Dewey é o conceito de pensamento reflexivo (Dewey, 1933; 1938; 1978; Pereira et al.; 2009). Para o autor, o pensamento emerge quando o indivíduo se depara com uma situação problemática que rompe a rotina e exige investigação. A dúvida, a incerteza e o conflito cognitivo não constituem obstáculos à aprendizagem, mas condições necessárias para o desenvolvimento do pensamento. O pensamento reflexivo caracteriza-se por um movimento investigativo no qual o sujeito observa, formula hipóteses, testa possibilidades e analisa consequências. Esse processo transforma a experiência imediata em experiência compreendida, conferindo significado ao conhecimento. No contexto educacional, promover o pensamento reflexivo implica criar situações que suscitem questionamentos e estimulem o

estudante a buscar explicações para os fenômenos observados, superando respostas meramente intuitivas.

A noção de “aprender fazendo” constitui um dos pilares da pedagogia de Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978). Para o autor, a ação precede a compreensão teórica: é na interação prática com o mundo que emergem os problemas que impulsionam o pensamento. Contudo, o “aprender fazendo” não se reduz à simples execução de atividades práticas; trata-se de uma ação intencional, orientada pela investigação e pela reflexão. A prática, quando desprovida de problematização, torna-se mecânica e perde seu potencial educativo. No ensino de Ciências, essa perspectiva se concretiza em atividades experimentais investigativas, nas quais o estudante observa fenômenos, levanta hipóteses, testa ideias e discute resultados, construindo progressivamente explicações mais elaboradas.

O fluxograma da Figura 9 sintetiza a dinâmica do processo de aprendizagem proposta por John Dewey, evidenciando seu caráter contínuo, ativo e reflexivo e é baseado nos trabalhos defendidos por Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978).

Figura 9 - Fluxograma da dinâmica de aprendizagem de John Dewey



Fonte: autor

Segundo a Figura 9, o ponto de partida da dinâmica de aprendizagem de John Dewey é a experiência, entendida como a interação do indivíduo com o meio em situações

concretas do cotidiano. É a partir dessas vivências discentes que emergem situações que despertam interesse ou estranhamento. Quando o sujeito/discente se depara com algo que não consegue explicar ou resolver imediatamente, surge o problema, acompanhado de dúvida e curiosidade, elementos fundamentais para o início do processo de aprendizagem.

Diante do problema, inicia-se a etapa de investigação, na qual o estudante mobiliza conhecimentos prévios, formula hipóteses e realiza ações práticas na tentativa de compreender a situação. Esse momento está diretamente relacionado ao princípio do “aprender fazendo”, no qual a ação não é mecânica, mas orientada por um propósito investigativo.

Em seguida, ocorre a reflexão pelo método, etapa central no pensamento de Dewey. Nesse momento, o estudante analisa os resultados obtidos, confronta suas hipóteses com as evidências e reorganiza suas ideias. A reflexão permite atribuir significado à experiência vivida, transformando uma ação prática em conhecimento compreendido.

Por fim, esse processo conduz a uma nova experiência, agora enriquecida pelos conhecimentos construídos. Essa nova experiência não representa um ponto final, mas o reinício do ciclo, pois pode gerar novos problemas e novas investigações. Assim, a aprendizagem é concebida como um processo contínuo de reconstrução da experiência, no qual o sujeito aprende ao agir, investigar e refletir sobre o mundo que o cerca.

3.3 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE CIÊNCIAS E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA

A experimentação, no ensino de Ciências, pode ser compreendida como uma prática pedagógica que adquire sentido quando articulada à experiência vivenciada pelo estudante. Nessa perspectiva, a atividade experimental não se restringe à manipulação de materiais ou à verificação de resultados previamente conhecidos, mas constitui-se como parte de um processo investigativo no qual ação e reflexão se relacionam de forma indissociável. Tal compreensão dialoga diretamente com a concepção de aprendizagem proposta por John Dewey, segundo a qual o conhecimento emerge da reconstrução da experiência a partir da interação do sujeito com situações problematizadoras (Dewey, 1938).

No contexto escolar, entretanto, diversos estudos apontam que as atividades experimentais, quando conduzidas de forma mecânica e descontextualizada, tendem a perder seu potencial educativo, reduzindo-se a procedimentos ilustrativos ou demonstrativos (Delizoicov; Angotti; Pernambuco, 2011). Nessas situações, o experimento deixa de cumprir seu papel formativo, pois não favorece a investigação, a formulação de hipóteses ou a reflexão sobre os fenômenos observados.

Sob a perspectiva deweyana, a experimentação deve ser organizada a partir de situações-problema que mobilizem o interesse dos estudantes e provoquem a necessidade de investigar. Dewey (1938) destaca que a experiência educativa ocorre quando a atividade realizada conduz o estudante a refletir sobre as consequências de suas ações, possibilitando a reorganização de ideias e a construção de novos significados. Assim, o experimento escolar passa a ser entendido como meio para o desenvolvimento do pensamento reflexivo, e não como um fim em si mesmo.

No ensino de Física, essa abordagem mostra-se particularmente relevante, uma vez que muitos de seus conceitos apresentam elevado grau de abstração. A experimentação, quando fundamentada na aprendizagem pela experiência, possibilita ao estudante estabelecer relações entre observações empíricas e modelos explicativos, favorecendo a compreensão progressiva dos fenômenos físicos. Araújo e Veit (2019) ressaltam que atividades experimentais organizadas sob uma perspectiva investigativa contribuem para a participação ativa dos estudantes, promovendo a análise de dados, a argumentação e a elaboração de explicações fundamentadas.

Além disso, a experimentação pode contribuir para a atribuição de significado aos conceitos científicos quando articulada a momentos de discussão e sistematização. Marco Antonio Moreira (2006) destaca que a aprendizagem de conceitos científicos requer que as atividades experimentais estejam integradas a um contexto significativo, no qual o estudante possa relacionar os resultados obtidos com suas ideias iniciais e com o conhecimento científico escolar.

No âmbito da educação básica brasileira, documentos oficiais também enfatizam a importância de práticas experimentais que favoreçam a investigação e a reflexão. A Base Nacional Comum Curricular destaca a necessidade de desenvolver competências relacionadas à investigação científica, à análise de dados e à construção de argumentos baseados em evidências, reforçando a relevância de propostas experimentais que ultrapassem o caráter meramente demonstrativo (Brasil, 2018).

Dessa forma, a experimentação no ensino de Física, quando orientada pela perspectiva da aprendizagem pela experiência, constitui-se como uma estratégia pedagógica capaz de promover a investigação dos fenômenos físicos, a reflexão sobre os resultados obtidos e a construção de conhecimentos científicos no contexto escolar.

3.4 APRENDIZAGEM COMO RECONSTRUÇÃO DA EXPERIÊNCIA: DESDOBRAMENTOS CONTEMPORÂNEOS E EVIDÊNCIAS PARA A ESCOLA

A concepção de John Dewey de que a aprendizagem consiste na reconstrução da experiência permanece, na atualidade, como um eixo teórico privilegiado para estudos sobre ensino investigativo. Dewey (1938) afirma que a experiência se torna educativa quando há integração entre ação e reflexão. Trabalhos posteriores sistematizaram esse movimento e o operacionalizaram em ciclos experiencial-reflexivos. David Kolb (1984), por exemplo, estruturou um ciclo de aprendizagem experiencial composto por experiência concreta, reflexão, generalização conceitual e experimentação ativa, o qual tem sido amplamente utilizado como modelo empírico para projetar e avaliar intervenções pedagógicas baseadas em Dewey.

Revisões e estudos empíricos indicam que o efeito pedagógico dessa orientação depende de três condições mínimas: (a) a proposição clara de uma situação-problema que mobilize interesse e dúvida; (b) a organização de espaços para reflexão orientada sobre os resultados; e (c) a elaboração de sequências de atividades que promovam continuidade formativa (Bransford et al., 2000; Fenwick, 2001). Na prática, isso significa que experiências experimentais isoladas e sem sistematização raramente produzem mudanças conceituais duradouras.

Em síntese, a tradição de Dewey traduz-se, atualmente, em projetos didáticos que integram investigação, reflexão guiada e etapas de aplicação, constituindo uma arquitetura pedagógica que oferece condições favoráveis à reconstrução conceitual e à transferência do conhecimento, especialmente em temas de elevada abstração, como os da Óptica Geométrica.

O pensamento reflexivo, descrito por Dewey (1933) como o processo que se inicia diante da dúvida e se desenvolve por meio da formulação e do teste de hipóteses, aparece de forma consistente nas pesquisas como fator mediador entre atividade prática e aprendizagem conceitual. Garrison, Anderson e Archer (2000) demonstraram que ambientes que promovem investigação crítica e diálogo orientado elevam a qualidade da argumentação e a profundidade conceitual dos estudantes. Hofstein e Lunetta (2004), assim como Hodson (1998), evidenciam que laboratórios concebidos como espaços investigativos produzem ganhos superiores em compreensão conceitual quando comparados a práticas meramente demonstrativas.

No campo do ensino básico, pesquisas brasileiras, como as de Carvalho (2013) e Araújo e Veit (2019), confirmam que a estruturação de sequências didáticas organizadas em torno de problemas reais amplia a participação discente e melhora a qualidade das explicações produzidas, indicadores que são mensurados no pré e pós-teste deste estudo. Assim, o

pensamento reflexivo, desencadeado por situações-problema relevantes, funciona como um mecanismo explicativo para as mudanças conceituais observadas.

Dewey ressalta que uma experiência somente é educativa quando estabelece continuidade com experiências futuras; experiências fragmentadas podem até ocupar o tempo de aula, mas dificilmente promovem crescimento intelectual (Dewey, 1938). A literatura cognitiva e de aprendizagem, como a de Bransford et al. (2000), reforça essa perspectiva ao indicar que aprendizagens ancoradas em conhecimentos prévios e organizadas em sequências progressivas apresentam maior probabilidade de consolidação e aplicação em novas situações.

No projeto pedagógico que fundamenta este trabalho, a sequência de atividades com o leitor óptico, composto por LDR e Arduino, foi planejada para promover intencionalmente essa continuidade. Cada etapa introduz uma nova problematização, como intensidade luminosa, formação de imagens e sombras e relações geométricas, permitindo que o estudante reorganize suas concepções de forma progressiva e acumulativa, configuração que a literatura especializada indica como favorável à aprendizagem conceitual. Moreira (2006) destaca que essa progressão é essencial para a construção de significados no ensino de Ciências.

Ao sintetizar o estado da arte empírico, observa-se convergência em dois eixos principais. O primeiro refere-se à estrutura processual, na qual intervenções que articulam experiência, reflexão e generalização, organizadas em ciclos experiencial-reflexivos, tendem a produzir ganhos na compreensão conceitual e na transferibilidade do conhecimento (Kolb, 1984; Fenwick, 2001). O segundo eixo diz respeito à qualidade da investigação, evidenciando que experimentos escolares que incluem coleta de dados, análise e discussão coletiva ampliam a capacidade explicativa e o uso da linguagem científica pelos estudantes (Hofstein; Lunetta, 2004; Garrison et al., 2000; Araújo; Veit, 2019).

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de natureza qualitativa, com apoio de dados quantitativos, de caráter aplicado e intervencionista. O trabalho foi desenvolvido no âmbito do MNPEF e teve como foco o desenvolvimento, a aplicação e a análise de um Produto Educacional voltado ao ensino de Óptica Geométrica. A investigação foi realizada em contexto real de sala de aula, considerando as dinâmicas próprias do ambiente escolar e buscando compreender as transformações nas explicações dos estudantes a partir da vivência de uma experiência investigativa.

Nesse sentido, a pesquisa assumiu como pressuposto a aprendizagem pela experiência, conforme a perspectiva educacional de John Dewey, na qual o conhecimento emerge da interação entre ação, reflexão e reconstrução da experiência. Para atender aos objetivos propostos, adotou-se como estratégia metodológica central a abordagem Design-Based Research (DBR), por possibilitar a articulação entre teoria e prática e favorecer a análise de intervenções pedagógicas desenvolvidas no próprio ambiente educacional.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA DBR

A DBR caracteriza-se como uma abordagem metodológica voltada ao desenvolvimento, à aplicação e à análise de propostas educacionais em contextos reais de ensino. Diferentemente de métodos experimentais controlados, a DBR permite investigar processos educativos considerando suas complexidades, interações e especificidades, articulando, de forma simultânea, a produção de intervenções pedagógicas e a geração de conhecimento teórico sobre a aprendizagem (Brown, 1992; Collins, 1992).

Essa abordagem mostra-se particularmente adequada para pesquisas em ensino de Ciências, uma vez que possibilita a construção e o refinamento de produtos educacionais fundamentados teoricamente e validados por meio de ciclos iterativos de implementação e análise em sala de aula (Design-Based Research Collective, 2003; Wang; Hannafin, 2005). Nesse sentido, a DBR busca compreender não apenas se uma intervenção funciona, mas também como e por que ela produz determinados efeitos em contextos autênticos.

No contexto do MNPEF, a DBR atende à necessidade de produzir materiais didáticos transferíveis e replicáveis, analisando seus efeitos pedagógicos a partir da experiência vivenciada no ambiente escolar. Assim, o desenvolvimento do Produto Educacional ultrapassa a elaboração técnica do artefato, envolvendo também sua fundamentação pedagógica e sua adequação às condições reais de ensino (Plomp, 2013).

Neste trabalho, a DBR foi utilizada como estrutura metodológica para o desenvolvimento do Produto Educacional denominado *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*, bem como para a análise de sua aplicação junto aos estudantes, considerando as transformações observadas nas explicações dos fenômenos ópticos após a intervenção pedagógica. Dessa forma, o percurso metodológico adotado permitiu articular teoria, prática e reflexão investigativa, em consonância com os princípios de uma pesquisa orientada à melhoria das práticas educacionais.

4.2 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional desenvolvido neste trabalho intitula-se *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*. Trata-se de um dispositivo experimental de baixo custo, elaborado com a finalidade de contribuir para o ensino de Óptica Geométrica na Educação Básica, especialmente no que se refere à compreensão dos fenômenos de reflexão da luz e à relação entre cor, intensidade luminosa e percepção visual. A Figura 10 apresenta a capa do produto educacional, que se encontra detalhado no Apêndice A.

Figura 10 - Capa do produto educacional



Fonte: autor

O desenvolvimento do produto educacional fundamenta-se na necessidade de ampliar as possibilidades metodológicas no ensino de Física, considerando a diversidade de perfis sociais, culturais e cognitivos presentes nas salas de aula da Educação Básica. Nesse contexto, o uso de práticas experimentais investigativas configura-se como uma estratégia pedagógica capaz de favorecer a participação ativa dos estudantes no processo de reconstrução

do conhecimento, possibilitando a confrontação entre concepções espontâneas e explicações científicas.

O produto educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* foi concebido como uma ferramenta didática interativa, que permite aos estudantes observar, registrar e interpretar dados experimentais relacionados à reflexão da luz em superfícies coloridas, por meio do uso de sensores eletrônicos associados a um microcontrolador.

A Figura 11 apresenta uma ilustração do experimento que fundamenta o Produto Educacional. O dispositivo consiste em um sistema óptico-eletrônico montado no interior de uma estrutura fechada, semelhante a uma câmara escura, confeccionada em caixa de isopor revestida com tinta preta, com o objetivo de minimizar interferências luminosas e garantir maior controle das condições experimentais.

Figura 11 - Experimento-base para o produto educacional



Fonte: autor

O sistema ilustrado na Figura 11 é composto por LED branco, responsável pela emissão da luz incidente; sensor LDR, destinado à detecção da luz refletida; microcontrolador Arduino, que realiza o processamento dos sinais elétricos; display OLED, que apresenta os valores numéricos correspondentes à intensidade luminosa; anteparo interno para posicionamento de papéis coloridos padronizados; além de fios de conexão, resistores e fonte de alimentação.

O funcionamento do dispositivo baseia-se nos princípios da reflexão da luz e na variação da intensidade luminosa refletida por superfícies de diferentes cores. O LED emite um feixe luminoso que incide sobre o anteparo com um ângulo aproximado de 45° , sendo a luz refletida captada pelo sensor LDR, cuja resistência varia conforme a intensidade luminosa. O

sinal gerado é processado pelo Arduino e convertido em valores numéricos, exibidos no display OLED. A partir da comparação entre esses valores e as cores analisadas, os estudantes podem estabelecer relações entre absorção, reflexão e intensidade luminosa, favorecendo a compreensão dos fenômenos ópticos envolvidos.

Para a montagem do experimento-base são necessários os seguintes elementos:

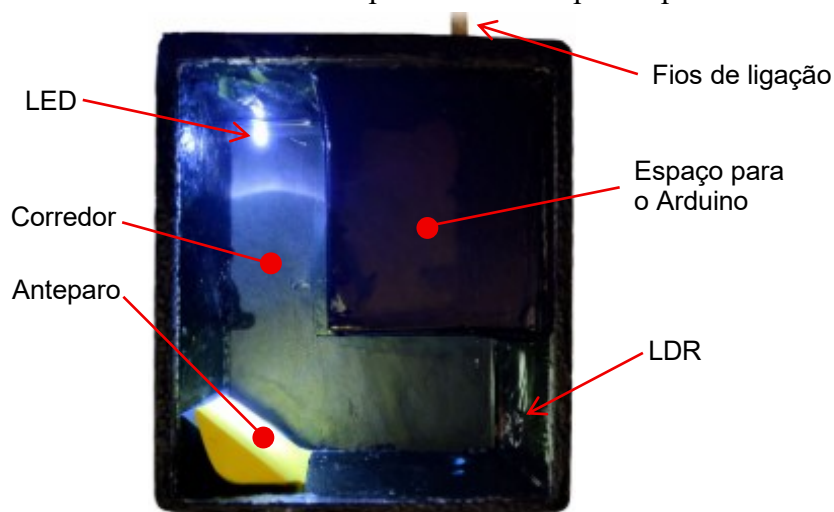
- Caixa de isopor 7,5 cm × 14,5 cm × 11,5 cm (nos padrões da Figura 11);
- LED branco de alto brilho de 5 mm ou 10 mm;
- LDR de 10mm;
- Microcontrolador Arduino UNO;
- Display OLED 0.96 com I2C integrado;
- Papéis coloridos padronizados;
- Fios de conexão;
- 2 resistores 1 kΩ.
- Fita adesiva;
- Fios de ligação;
- Estilete para corte de isopor;
- Tinta guache preta e pincel;

A escolha desses componentes deve-se à sua ampla disponibilidade, baixo custo e facilidade de manuseio, favorecendo a replicabilidade em diferentes contextos escolares. A caixa de isopor é construída a partir de folhas de isopor de 1,0 cm, cortada com estilete e colada as faces com cola de isopor.

4.3 O EXPERIMENTO-BASE: A CÂMARA ESCURA

O dispositivo experimental foi concebido como uma câmara fechada e escura, construída em material leve e opaco, especificamente poliestireno expandido, revestido internamente com tinta preta fosca. Essa configuração tem como finalidade minimizar interferências externas de luz, assegurando maior controle das condições experimentais. No interior da caixa, encontram-se integrados um sensor LDR conectado a um microcontrolador Arduino, um LED emissor e um display, possibilitando a leitura da variação da luminosidade incidente no sistema. A Figura 12 mostra a câmara escura produzida a partir do produto educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*.

Figura 12 - A câmara escura do experimento-base para o produto educacional



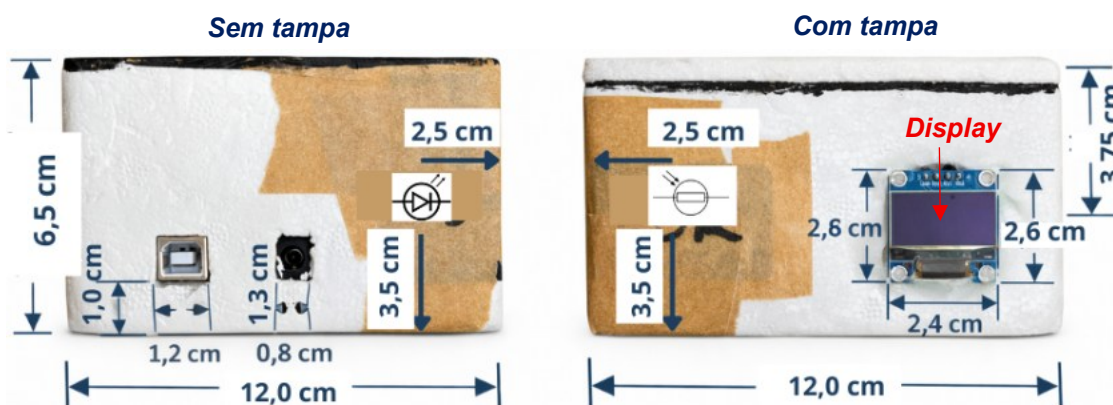
Fonte: autor

Como mostrado na Figura 12, a organização interna do dispositivo baseia-se em um corredor óptico em formato de “L”, projetado para otimizar a trajetória da luz e garantir que a maior parte captada pelo LDR venha da reflexão advinda do anteparo. Nessa configuração, o LED emissor é posicionado em uma das extremidades do corredor, enquanto o sensor LDR é instalado na extremidade perpendicular. No vértice do “L”, é inserido um anteparo refletor inclinado a 45°, cuja função é redirecionar o feixe luminoso emitido pelo LED em direção ao sensor. Essa disposição geométrica favorece o controle experimental e contribui para a obtenção de leituras mais consistentes da intensidade luminosa refletida.

A preparação da caixa constitui uma etapa essencial para o bom funcionamento do dispositivo. Toda a superfície interna deve ser pintada com tinta preta fosca, com o objetivo de reduzir as reflexões indesejadas. Em seguida, é necessário vedar a estrutura, evitando frestas ou qualquer possibilidade de entrada de luz externa. Após a aplicação da tinta, deve-se aguardar a secagem completa antes da instalação dos componentes eletrônicos. Esse procedimento permite que o sensor LDR responda em maior parte à luz emitida pelo LED no interior do sistema que é refletida pelo anteparo colorido.

A Figura 13 mostra a visão lateral da câmara escura e as dimensões da caixa, bem como as posições do LED, LDR e do display OLED, que deve ser instalado na parede superior lateral, permitindo leitura frontal pelo usuário sem a abertura da câmara escura. Deve-se usar o mesmo lado onde o Arduino está. Será necessário apenas um pequeno orifício para passagem dos fios que conectam ao display ao Arduino. Os cortes devem permitir encaixe justo do display, evitando folgas que permitam entrada de luz externa.

Figura 13 - A câmara escura nas perspectivas laterais e suas dimensões



Fonte: autor

A escolha desse tipo de câmara deve-se à sua fácil construção e à possibilidade de replicação em espaços escolares com escassez de recursos. Como as informações são exibidas no monitor serial, o que exige que o Arduino esteja conectado a um computador, e considerando que a proposta é desenvolver um experimento compacto, surgiu a ideia de incorporar um visor OLED à câmara.

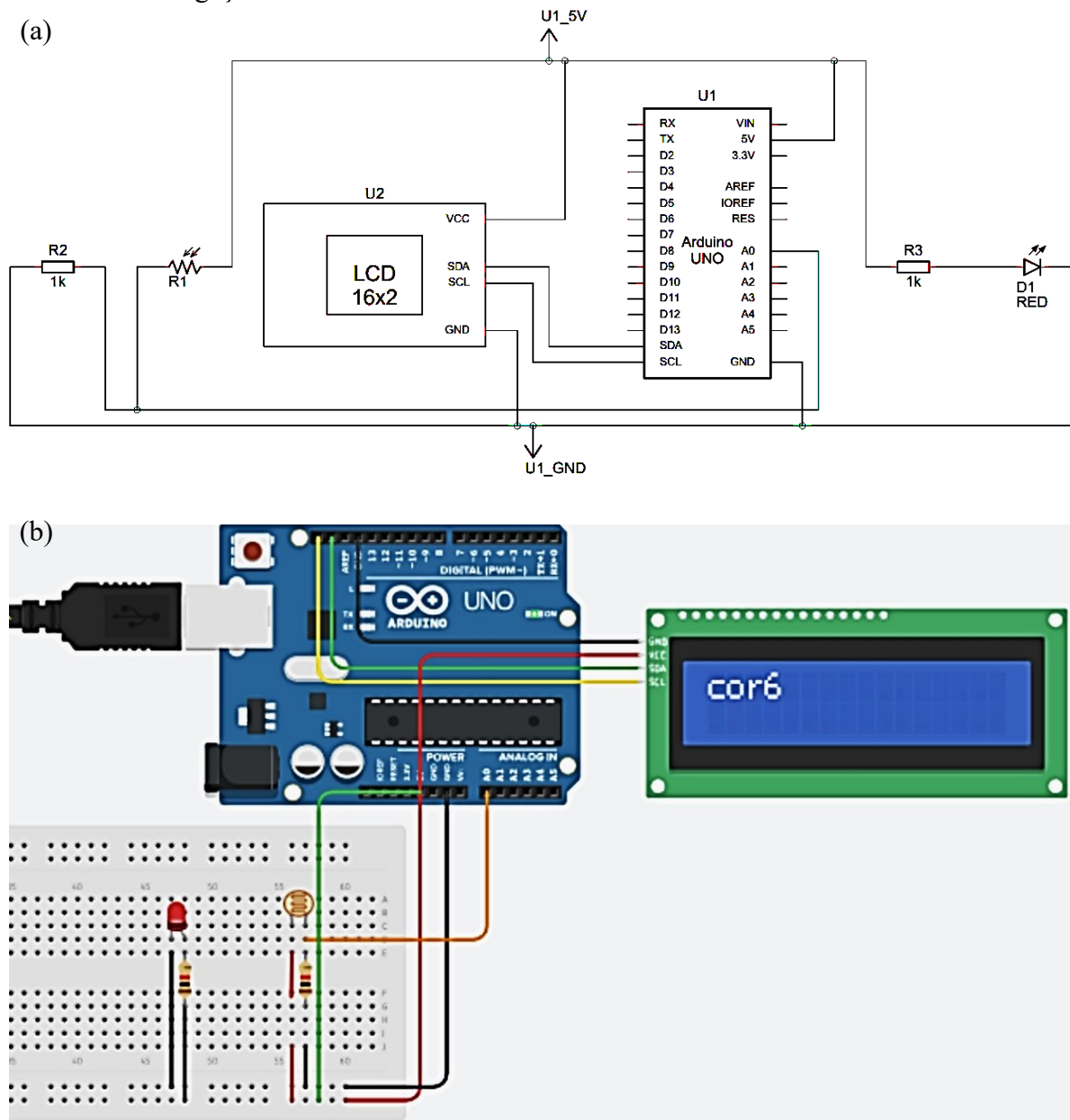
A Figura 14 mostra como configurou-se o circuito utilizado para estudo da luz refletida em duas perspectivas: (a) pela simbologia eletrônica; e (b) ilustração das ligações. Ele integra o Arduino, um sensor para leitura de luminosidade e um dispositivo de exibição, com resposta visual em tempo real. De forma geral, o circuito realiza a aquisição de dados analógicos, seu processamento digital pelo Arduino e a apresentação dos resultados tanto em um display quanto por meio de sinalização luminosa.

Analisando a Figura 14(a), o Arduino UNO (U1) é responsável pelo processamento dos dados e controle dos periféricos. A alimentação do circuito é feita por uma fonte de 5 V (U1_5V) do próprio Arduino, enquanto o retorno comum é estabelecido pelo GND (U1_GND). À esquerda da Figura 14(a), observa-se um sensor LDR, representado por R1. O LDR está associado ao resistor R2 (1 k Ω), formando um divisor de tensão. Esse arranjo converte a variação de resistência em uma variação de tensão elétrica, que pode ser interpretada pelo Arduino por meio de uma de suas entradas analógicas (utilizou-se A0).

No bloco central da Figura 14(a), há o display (U2) com interface I2C, conectado ao Arduino pelos pinos SDA e SCL. Esse tipo de comunicação reduz a quantidade de fios necessários e permite que o microcontrolador envie dados para exibição de forma eficiente. O display é utilizado para apresentar, em tempo real, os valores de luminosidade medidos ou informações derivadas desse sinal, como níveis qualitativos. À direita do circuito da Figura 14(a), encontra-se um LED (D1) associado a um resistor limitador de corrente (R3, de 1 k Ω).

Esse LED atua como um indicador visual simples, podendo ser acionado pelo Arduino com base em um limiar de luminosidade previamente definido. O resultado destas ligações é mostrado na Figura 14(b), que dá uma visão do que é esperado como circuito.

Figura 14 - (a) Mapa de ligação das conexões existentes do circuito utilizado; (b) Ilustração do circuito com as ligações



Fonte: autor

O circuito da Figura 14 tem o código-fonte da Figura 15 inserida na IDE do Arduino. Ela tem como finalidade realizar a leitura de um sinal analógico, proveniente de um sensor de luminosidade conectado ao pino A0, e exibir esse valor no display. Inicialmente, o sistema configura o pino de entrada e inicializa o display. Durante a execução contínua, o

programa lê o valor analógico (variando entre 0 e 1023) e utiliza essa própria leitura como tempo de atraso, fazendo com que o intervalo entre atualizações dependa da intensidade do sinal medido. Em seguida, o valor é exibido no display precedido do texto “cor”, embora, na prática, represente apenas a intensidade do sinal analógico. Após uma pausa, o display é limpo para a próxima leitura. Dessa forma, este código-fonte permite a visualização em tempo real das variações do sensor, ainda que com possíveis oscilações devido à dupla leitura do sinal e ao uso de atrasos dependentes da própria medida.

Figura 15 - Código-fonte inserido na IDE do Arduino

```
// C++ code
//
#include <Adafruit_LiquidCrystal.h>

Adafruit_LiquidCrystal lcd_1(0);

void setup()
{
    pinMode(A0, INPUT);
    lcd_1.begin(16, 2);
}

void loop()
{
    delay(analogRead(A0)); // Wait for analogRead(A0) millisecond(s)
    lcd_1.print("cor");
    lcd_1.print(analogRead(A0));
    delay(1000); // Wait for 1000 millisecond(s)
    lcd_1.clear();
}
```

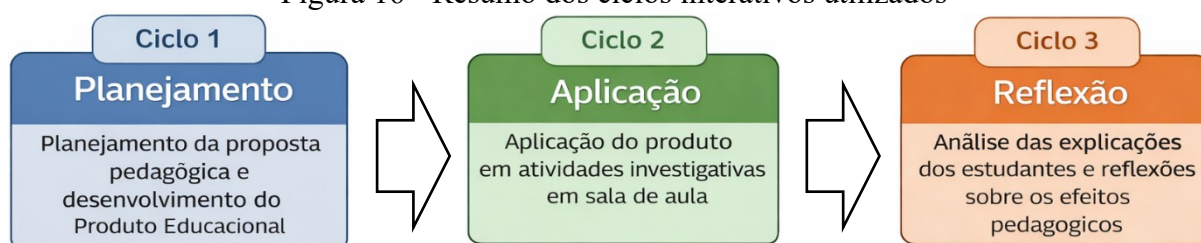
Fonte: autor

O experimento-base da câmara escura é um dispositivo didático de baixo custo, acessível e funcional, que articula conceitos fundamentais da Óptica, como reflexão da luz e interação com superfícies, com princípios de instrumentação eletrônica e aquisição de dados. A integração entre o sensor LDR, o microcontrolador Arduino e o display permite não apenas a observação qualitativa, mas também a quantificação da intensidade luminosa refletida, favorecendo uma abordagem investigativa no ensino de Ciências, estando pronto para aplicação em diferentes contextos educacionais.

4.4 CICLOS INTERATIVOS DA PESQUISA E APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A pesquisa foi organizada em ciclos de planejamento, aplicação e reflexão, conforme proposto por Tripp (2005) e Elliot (1991). Esses ciclos possibilitaram compreender o processo educativo como uma experiência contínua, na qual a prática pedagógica é constantemente analisada e ressignificada. A Figura 16 traz um fluxograma representativo da organização da pesquisa em três etapas interligadas. Esse processo não é linear, mas contínuo, pois cada ciclo retroalimenta o seguinte, permitindo ajustes e aperfeiçoamentos constantes na prática pedagógica.

Figura 16 - Resumo dos ciclos interativos utilizados



Fonte: autor

Desta forma, o primeiro ciclo (ciclo 1 da Figura 16) envolveu o planejamento da proposta pedagógica e o desenvolvimento do Produto Educacional, considerando os objetivos do ensino de Óptica Geométrica e as limitações estruturais do contexto escolar. O segundo ciclo (ciclo 2 da Figura 16) correspondeu à aplicação do produto em sala de aula, organizada em atividades investigativas realizadas em grupos, ao longo de duas aulas consecutivas. Durante essa etapa, os estudantes interagiram diretamente com experimento-base, realizando medições, comparações e discussões a partir dos dados obtidos.

O terceiro ciclo (ciclo 3 da Figura 16) consistiu na análise das explicações apresentadas pelos estudantes nos instrumentos avaliativos e nos registros observacionais, permitindo refletir sobre os efeitos da intervenção pedagógica e sobre as potencialidades do produto educacional. Esses ciclos não tiveram como finalidade apenas avaliar resultados, mas compreender a experiência educativa como um processo dinâmico, em consonância com a concepção de aprendizagem pela experiência proposta por John Dewey (Dewey, 1938).

Dito isso, a aplicação do produto educacional foi organizada em cinco etapas, estruturadas de modo a favorecer a articulação entre teoria, experimentação e análise reflexiva. A etapa inicial tem como objetivo apresentar os conceitos fundamentais da Óptica Geométrica necessários à compreensão do experimento. Nessa fase, são discutidos os princípios da reflexão

da luz, com ênfase na lei da reflexão, bem como a distinção entre fontes primárias e secundárias de luz. Além disso, são introduzidos os aspectos básicos de funcionamento do sensor LDR, destacando-se a relação entre intensidade luminosa e resistência elétrica, assim como uma apresentação geral do microcontrolador Arduino enquanto ferramenta de aquisição e processamento de dados experimentais. Essa abordagem busca fornecer subsídios conceituais mínimos para que os estudantes compreendam o fenômeno investigado antes da realização da atividade prática.

Na etapa seguinte, os estudantes realizam a montagem do sistema experimental em pequenos grupos, sob a orientação do professor. Essa atividade tem como finalidade promover o contato direto com os componentes do experimento e favorecer a compreensão do papel desempenhado por cada elemento do sistema. Durante a montagem, os alunos organizam a estrutura interna da caixa e posicionam o papel colorido que irá interagir com a luz no anteparo. Essa etapa contribui para o desenvolvimento da autonomia, da cooperação e da compreensão do caráter instrumental da experimentação científica. A Figura 17 apresenta os alunos interagindo com o experimento.

Figura 17 - Aluno interagindo e experimentando como a câmara escura

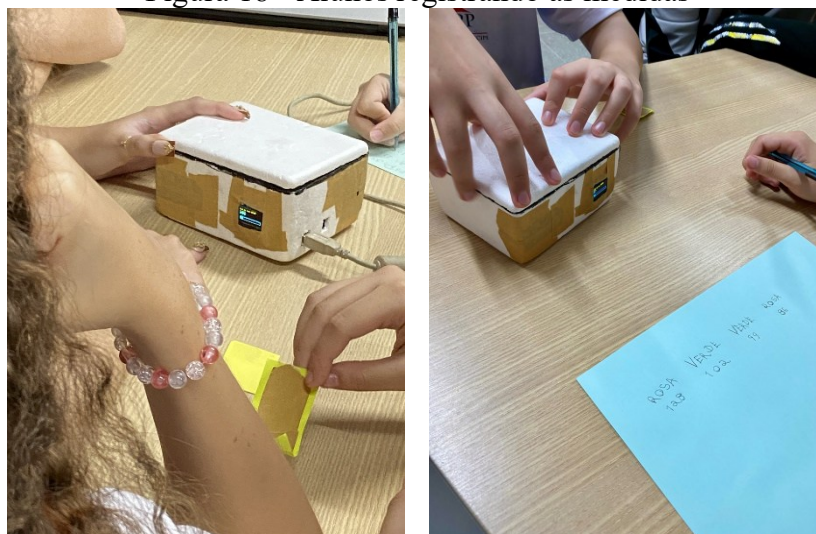


Fonte: autor

Com o sistema montado, procede-se à execução do experimento. Diferentes papéis coloridos são posicionados no anteparo, e as leituras de intensidade luminosa refletida são registradas por meio do display. Os estudantes são orientados a observar as variações nos valores apresentados, registrar os dados obtidos e comparar os resultados para diferentes cores. Essa etapa possibilita a identificação empírica de que superfícies distintas refletem a luz de maneira diferenciada.

Após a coleta dos dados, os estudantes realizam a análise dos resultados obtidos. Os valores registrados são organizados em tabelas e, quando pertinente, representados graficamente. A discussão coletiva busca promover a interpretação dos resultados, relacionando as variações observadas às propriedades ópticas das superfícies coloridas, bem como aos conceitos teóricos previamente estudados. Essa etapa favorece o desenvolvimento do raciocínio científico, ao incentivar a formulação de hipóteses, a comparação de resultados e a reconstrução de explicações fundamentadas. A Figura 18 apresenta os alunos registrando as medidas.

Figura 18 - Alunos registrando as medidas



Fonte: autor

Na etapa final, realiza-se uma discussão orientada pelo professor, com o objetivo de consolidar os conceitos trabalhados ao longo da atividade. Os estudantes são estimulados a refletir sobre o processo experimental, compartilhar suas percepções e relacionar os resultados obtidos a situações do cotidiano. Também são discutidas possíveis aplicações do dispositivo e sugestões de aprimoramento do experimento, reforçando o caráter investigativo e reflexivo da proposta.

4.5 DESCRIÇÃO DO PÚBLICO-ALVO

A pesquisa foi desenvolvida em uma instituição da rede privada de ensino, localizada no município de Mossoró/RN, com estudantes da Educação Básica. As atividades foram realizadas em sala de aula regular, o que reforça o caráter acessível e replicável da proposta. O ambiente escolar apresentava condições típicas do cotidiano educacional, possibilitando a aplicação do Produto Educacional em um contexto real de ensino, em consonância com os pressupostos da DBR.

Participaram da pesquisa 9 estudantes com idades entre 12 e 17 anos, organizados em grupos durante a realização das atividades experimentais. Os alunos não haviam tido contato prévio sistematizado com os conteúdos de Óptica Geométrica abordados, o que possibilitou identificar formas iniciais de interpretação dos fenômenos luminosos.

A presente pesquisa possui natureza educacional e foi desenvolvida no contexto regular das atividades pedagógicas da instituição, não envolvendo procedimentos invasivos nem riscos físicos ou psicológicos aos participantes. As atividades integraram o planejamento didático da disciplina, não havendo identificação dos estudantes nos instrumentos de coleta de dados ou na análise dos resultados. As informações foram utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos, garantindo-se o anonimato e a confidencialidade, em conformidade com os princípios éticos que regem a pesquisa em educação.

4.6 INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

Para a coleta dos dados, foram utilizados os instrumentos descritos no Quadro 1. Esses instrumentos possibilitaram a análise integrada das experiências vivenciadas pelos estudantes durante a intervenção pedagógica.

Quadro 1 - Instrumentos de coleta de dados

Instrumento	Descrição de execução
Pré-teste (Apêndice B)	Aplicado antes da intervenção pedagógica, com o objetivo de identificar as explicações iniciais dos estudantes acerca dos fenômenos da óptica geométrica
Pós-teste (Apêndice C)	Aplicado após a utilização do Produto Educacional, visando analisar transformações nas explicações dos estudantes após a vivência experimental
Registros observacionais	Anotações realizadas pelo professor durante a aplicação da atividade, considerando interações, questionamentos e comportamentos dos estudantes
Registros numéricos do experimento-base	Valores de intensidade luminosa obtidos durante a atividade experimental, utilizados como elemento de análise e comparação entre os grupos

Fonte: autor

O pré-teste, encontrado no Apêndice B, permitiu identificar as concepções iniciais dos estudantes, enquanto o pós-teste, no Apêndice C, possibilitou verificar mudanças em suas explicações após a intervenção pedagógica. Os registros observacionais contribuíram para a compreensão das interações e comportamentos durante as atividades, e os dados de intensidade luminosa obtidos com o experimento-base forneceram elementos quantitativos para a comparação entre os grupos, fortalecendo a análise dos resultados.

A análise quantitativa teve como objetivo descrever a distribuição das respostas dos estudantes nos instrumentos de pré-teste e pós-teste (Esser; Clement, 2023). Os dados foram organizados em tabelas e gráficos, possibilitando a visualização das frequências das categorias de explicação identificadas em cada momento da pesquisa. Essa abordagem permitiu observar variações na distribuição das explicações apresentadas pelos estudantes antes e após a intervenção pedagógica.

A análise qualitativa foi realizada com base na técnica de Análise de Conteúdo proposta por Bardin (2016). As respostas dos estudantes foram examinadas considerando os sentidos atribuídos aos fenômenos ópticos, possibilitando a identificação de categorias interpretativas. As explicações foram organizadas em categorias qualitativas, intuitiva, transicional e elaborada, definidas a partir da forma como os fenômenos foram interpretados pelos estudantes. A análise buscou compreender as transformações nas explicações apresentadas, considerando a experiência investigativa vivenciada durante a utilização do Produto Educacional. Essa abordagem possibilitou interpretar os dados à luz da perspectiva da aprendizagem pela experiência, conforme John Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978), priorizando a compreensão do processo educativo e não apenas os resultados.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e analisa os resultados obtidos a partir da aplicação do produto educacional e da intervenção pedagógica desenvolvida ao longo da pesquisa. A discussão fundamenta-se na articulação entre os dados coletados por meio dos diferentes instrumentos e o referencial teórico adotado, especialmente a perspectiva de aprendizagem de John Dewey. Busca-se, assim, interpretar as evidências produzidas, evidenciando as contribuições da proposta para a compreensão dos fenômenos da Óptica Geométrica e para o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais investigativas e significativas no ensino de Física.

A análise dos dados obtidos nesta pesquisa é orientada pela perspectiva da aprendizagem pela experiência, fundamentada em John Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978), e dialoga com evidências empíricas apresentadas na literatura educacional. Estudos que adotam abordagens investigativas baseadas na experiência indicam avanços na aprendizagem conceitual, no uso da linguagem científica e no desenvolvimento do pensamento reflexivo (Kolb, 1984; Carvalho, 2013; Araújo; Veit, 2019). Nesse sentido, os resultados apresentados a seguir são analisados à luz desses referenciais, considerando o contexto específico de aplicação do Produto Educacional com estudantes da Educação Básica, provenientes da rede privada de ensino, apresentando diferentes trajetórias escolares e experiências de aprendizagem. Todos os participantes autorizaram o uso de suas respostas para fins acadêmicos, conforme registrado nos instrumentos aplicados, respeitando os princípios éticos da pesquisa educacional.

5.1 ANÁLISES DO PRÉ-TESTE E PÓS-TESTE

A comparação entre os resultados do pré-teste e do pós-teste teve como objetivo analisar as transformações nas explicações dos estudantes acerca dos fenômenos da Óptica Geométrica, especialmente aqueles relacionados à propagação da luz, à reflexão, à formação de sombras e à interação da luz com diferentes superfícies. A análise tomou como ponto de partida as interpretações iniciais apresentadas pelos estudantes e as formas pelas quais essas explicações foram reconstruídas após a vivência das atividades experimentais com o experimento-base.

No pré-teste, observou-se a predominância de explicações fundamentadas na experiência cotidiana e na intuição imediata dos estudantes, caracterizadas por respostas pouco elaboradas e sem articulação explícita com os princípios físicos da Óptica Geométrica. A luz foi majoritariamente compreendida como uma condição prática necessária ao ato de enxergar,

associada ao simples fato de “ligar a lâmpada” ou “iluminar o ambiente”, e não como um fenômeno físico dotado de propriedades próprias, capaz de se propagar no espaço e de interagir com diferentes superfícies. Nesse contexto, as explicações revelaram uma compreensão funcional do fenômeno, restrita ao uso cotidiano da luz, sem o estabelecimento de relações causais entre o comportamento da radiação luminosa e os processos físicos envolvidos na visão. Tal característica evidencia formas iniciais de interpretação ainda fortemente vinculadas à experiência imediata e não submetidas a processos sistemáticos de reflexão. O Quadro 2 apresenta uma avaliação sistemática dos resultados do pré-teste e do pós-teste.

Quadro 2 - Tabela comparativa do pré-teste e pós-teste

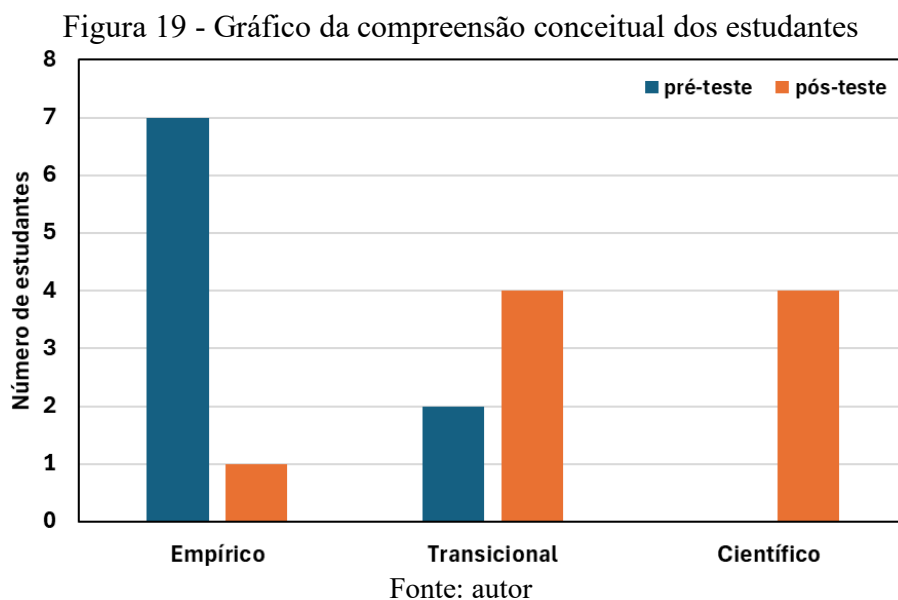
Eixo Avaliado	Pré-teste	Pós-teste	Indícios de Reconstrução da Experiência
Necessidade da luz para a visão	Respostas intuitivas: “ligar a luz”, “acender a lâmpada”, “porque o Sol ilumina”	Explicações envolvendo incidência e reflexão da luz	Transformação das explicações a partir da vivência experimental
Diferença entre superfícies claras e escuras	Explicações vagas e descritivas	Relação entre reflexão, absorção e intensidade luminosa	Ampliação da compreensão dos fenômenos observados
Formação das sombras	Associação ao movimento do Sol	Relação com o bloqueio da luz e sua trajetória	Reinterpretação do fenômeno com base na experiência
Identificação de fenômenos ópticos	Ausência de termos científicos	Uso do conceito de reflexão	Aproximação progressiva da linguagem científica escolar

Fonte: autor

A análise comparativa entre os resultados do pré-teste e do pós-teste evidencia mudanças significativas nas formas de compreensão dos estudantes acerca dos fenômenos da Óptica Geométrica. Na Figura 19 é mostrada, de forma quantitativa, a compreensão conceitual dos estudantes após a aplicação do Produto Educacional, classificados em empírico, transicional e científico (Bardin, 2016; Mendes; Miskulin, 2017). No resultado do pré-teste da Figura 19, predominou a categoria intuitiva, caracterizada por respostas centradas em expressões como “ligar a luz”, “acender a lâmpada” e “porque o Sol ilumina”. Essas explicações revelam interpretações fortemente apoiadas na experiência imediata, sem articulação explícita com os princípios físicos envolvidos. Poucos estudantes apresentaram explicações classificadas como transicionais, e não foram identificadas explicações elaboradas nesse momento inicial, o que evidencia o caráter diagnóstico do instrumento aplicado.

No pós-teste, observou-se uma redução significativa das explicações classificadas como intuitivas e um aumento expressivo das categorias transicional e elaborada, indicando uma transformação na forma como os estudantes passaram a interpretar os fenômenos ópticos

após a vivência das atividades experimentais. Parte dos estudantes passou a empregar termos como reflexão, intensidade luminosa e absorção, evidenciando a incorporação progressiva da linguagem científica escolar a partir da experiência investigativa.



O aumento da categoria transicional na Figura 19 revela que os estudantes passaram a articular elementos da linguagem cotidiana com conceitos científicos, ainda que de forma parcial. Esse resultado sugere um movimento intermediário no processo de aprendizagem, no qual os alunos começam a reorganizar suas concepções iniciais à luz dos conhecimentos trabalhados (Dewey, 1938). O dado mais expressivo refere-se à categoria científica. Esse avanço indica que um número considerável de estudantes passou a utilizar conceitos físicos de maneira mais adequada, demonstrando maior compreensão dos fenômenos estudados. Em conjunto, esses resultados apontam para a efetividade da intervenção pedagógica e do uso do produto educacional, evidenciando um deslocamento progressivo das explicações empíricas para formas mais elaboradas e cientificamente fundamentadas.

No pós-teste, observou-se uma transformação qualitativa nas explicações elaboradas pelos estudantes, evidenciada pelo uso mais frequente da linguagem científica escolar e por tentativas mais consistentes de interpretação causal dos fenômenos ópticos analisados. Diferentemente do momento inicial, a luz passou a ser compreendida não apenas como condição funcional para a visão, mas como um fenômeno que se propaga, incide sobre os objetos e sofre reflexão, possibilitando sua detecção tanto por sensores quanto pelo sistema visual humano. As respostas indicaram maior preocupação em explicar os fenômenos

observados a partir das situações vivenciadas durante as atividades experimentais, ainda que, em alguns casos, de forma parcial ou com pequenas imprecisões conceituais.

Termos como reflexão, intensidade luminosa e absorção passaram a integrar o discurso dos estudantes, sinalizando uma ampliação das formas de interpretação dos fenômenos à luz da experiência investigativa. No que se refere à formação das sombras, constatou-se uma mudança significativa na compreensão do fenômeno, uma vez que parte expressiva dos estudantes passou a relacioná-lo ao bloqueio da luz por objetos opacos, reconhecendo a importância do percurso da luz no espaço. Essa alteração evidencia que as explicações deixaram de se apoiar exclusivamente em observações externas e passaram a considerar a interação entre a luz e os objetos presentes em seu trajeto.

De modo geral, as respostas do pós-teste indicam um processo de reconstrução da experiência, no qual explicações iniciais foram reinterpretadas a partir da reflexão sobre as situações experimentais vivenciadas. Essa transformação sugere que a intervenção pedagógica favoreceu a atribuição de novos sentidos aos fenômenos estudados, aproximando os estudantes de formas mais elaboradas de compreensão da Óptica Geométrica. A evolução qualitativa das explicações apresentadas pelos estudantes, marcada pela redução de respostas intuitivas e pela ampliação do uso da linguagem científica escolar, encontra respaldo em pesquisas que analisam práticas investigativas fundamentadas na experiência. Garrison, Anderson e Archer (2000) observaram que ambientes educacionais que privilegiam a investigação e a reflexão favorecem o desenvolvimento do pensamento crítico e da argumentação científica. Esses aspectos também se manifestaram nos dados analisados neste trabalho.

Os avanços observados entre o pré-teste e o pós-teste dialogam com resultados apontados em estudos que investigaram propostas pedagógicas fundamentadas na aprendizagem pela experiência. Kolb (1984) destaca que ciclos de aprendizagem baseados na experiência favorecem a reconstrução conceitual e a transferência do conhecimento para novas situações. De forma semelhante, Carvalho (2013) e Araújo e Veit (2019) identificaram melhorias na compreensão conceitual de estudantes envolvidos em atividades investigativas, resultados que se aproximam daqueles observados nesta pesquisa.

5.2 A PERSPECTIVA DOCENTE PELA APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Os resultados obtidos indicam que a intervenção pedagógica promoveu transformações significativas na forma como os estudantes passaram a interpretar os fenômenos ópticos investigados, especialmente no que se refere às relações entre luz, reflexão e formação

de sombras. No pré-teste, as explicações apresentadas mostraram-se fortemente ancoradas na experiência cotidiana imediata, evidenciando interpretações intuitivas e pouco articuladas com os princípios físicos da Óptica Geométrica. A luz era compreendida predominantemente como um elemento funcional do cotidiano, associada ao ato de iluminar ambientes, sem que fossem estabelecidas relações causais com sua propagação ou interação com os objetos.

Após a realização das atividades experimentais investigativas, observou-se uma transformação qualitativa nas explicações elaboradas pelos estudantes. Essa mudança foi evidenciada pela incorporação progressiva da linguagem científica escolar e pela tentativa de estabelecer relações explicativas entre os fenômenos observados durante a experimentação. Embora algumas respostas ainda apresentassem imprecisões, tais manifestações foram compreendidas como parte do processo reflexivo desencadeado pela experiência, e não como equívocos isolados.

Essa articulação entre o Produto Educacional e a prática docente reforça a concepção de ensino investigativo defendida por Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978), na qual o professor atua como mediador da experiência, organizando situações que favoreçam a reflexão e a construção de significados. À luz da perspectiva educacional de John Dewey, essas transformações podem ser interpretadas como resultado da reconstrução da experiência. Para o autor, a aprendizagem ocorre quando o sujeito, diante de uma situação problemática, é levado a refletir sobre suas ações e a reinterpretar suas explicações anteriores. Nesse sentido, a atividade experimental produzida a partir do produto educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* configurou-se como uma experiência educativa, ao provocar questionamentos, estimular a investigação e favorecer a reflexão sobre os fenômenos ópticos observados.

O confronto entre as explicações iniciais e os resultados obtidos durante a experimentação possibilitou que os estudantes revisassem suas interpretações, ampliando sua compreensão dos fenômenos analisados. Esse processo não ocorreu de forma imediata ou homogênea, mas desenvolveu-se gradualmente, à medida que os estudantes refletiam sobre as situações vivenciadas, característica central da pedagogia da experiência defendida por Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978). Assim, os resultados indicam que a aprendizagem não se deu pela simples transmissão de informações, mas pela interação entre ação, observação e reflexão. As mudanças identificadas entre o pré-teste e o pós-teste revelam que os estudantes passaram a atribuir novos significados aos fenômenos ópticos, aproximando-se de explicações mais elaboradas a partir da vivência experimental.

5.3 ARTICULAÇÃO COM O PRODUTO EDUCACIONAL

Os resultados obtidos nesta pesquisa evidenciam que o produto educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*, desenvolvido como um leitor óptico baseado em sensor LDR e microcontrolador Arduino, articulado a uma sequência didática investigativa constitui uma estratégia pedagógica relevante para o ensino de Óptica Geométrica na Educação Básica. A proposta não se limitou à introdução de um recurso tecnológico em sala de aula, mas foi concebida como uma experiência educativa estruturada em situações-problema, com potencial para mobilizar a investigação e o pensamento reflexivo dos estudantes.

Conforme discutido anteriormente, a teoria da aprendizagem de John Dewey compreende o conhecimento como resultado da reconstrução contínua da experiência, mediada pela reflexão sobre as consequências das ações realizadas (Dewey, 1933; 1938; 1978). Nesse sentido, o Produto Educacional foi planejado para favorecer a interação ativa dos estudantes com fenômenos ópticos, promovendo a observação sistemática, a formulação de hipóteses e a busca por explicações fundamentadas a partir dos dados obtidos experimentalmente.

Durante a aplicação da sequência didática, o dispositivo experimental funcionou como mediador da investigação, permitindo que os estudantes explorassem variações de intensidade luminosa e refletissem sobre a interação da luz com diferentes superfícies. Dessa forma, o Produto não assumiu um caráter meramente ilustrativo ou demonstrativo, mas configurou-se como elemento desencadeador de questionamentos e reorganizações conceituais, em consonância com a perspectiva deweyana de aprendizagem experiencial.

A comparação entre o pré-teste e o pós-teste indica que a utilização do Produto Educacional contribuiu para avanços na qualidade das explicações apresentadas pelos estudantes, com redução de respostas intuitivas e ampliação de interpretações transicionais e científicas. Esses resultados sugerem que a proposta favoreceu a incorporação progressiva da linguagem científica escolar e a construção de relações causais mais consistentes sobre os fenômenos investigados.

Tais evidências dialogam com pesquisas que apontam que atividades experimentais organizadas sob uma perspectiva investigativa promovem maior engajamento discente, desenvolvimento do pensamento reflexivo e aprendizagem conceitual mais sólida (Hofstein; Lunetta, 2004; Carvalho, 2013; Araújo; Veit, 2019). Assim, o Produto Educacional desenvolvido neste trabalho insere-se no conjunto de propostas contemporâneas que utilizam tecnologias acessíveis para viabilizar práticas investigativas no ensino de Física, especialmente em contextos escolares com limitações estruturais.

Além disso, a proposta apresenta potencial de replicabilidade, uma vez que combina baixo custo, simplicidade de montagem e aplicabilidade direta em conteúdos curriculares do Ensino Médio. Desse modo, o Produto Educacional contribui não apenas como recurso experimental, mas como estratégia didática teoricamente fundamentada, capaz de promover aprendizagens mais significativas e alinhadas às competências investigativas preconizadas pela Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2018).

Dessa forma, os resultados analisados neste capítulo reforçam que o Produto Educacional não constitui apenas um artefato tecnológico, mas uma proposta pedagógica estruturada, cuja eficácia se manifesta na evolução conceitual observada e na ampliação da participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem, conforme defendido pela teoria da aprendizagem de John Dewey.

5.4 EVIDÊNCIAS DA APRENDIZAGEM CONCEITUAL

Após a realização da intervenção pedagógica, observou-se avanço qualitativo nas explicações elaboradas pelos estudantes, expresso pela redução do nível intuitivo e pelo aumento dos níveis transicional e científico de compreensão. As respostas do pós-teste indicaram maior esforço em estabelecer relações causais entre os fenômenos observados, bem como a incorporação progressiva da linguagem científica escolar, ainda que com diferentes graus de elaboração.

Essa evolução pode ser compreendida à luz da perspectiva educacional de John Dewey, segundo a qual a aprendizagem ocorre a partir da experiência vivida, desde que acompanhada por processos reflexivos. Para o autor, não é a experiência em si que promove a aprendizagem, mas a reflexão que permite reconstruí-la e atribuir-lhe significado (Dewey, 1938). Nesse sentido, a atividade experimental desenvolvida neste trabalho constituiu uma experiência educativa, na medida em que provocou situações-problema capazes de mobilizar o pensamento dos estudantes e orientar a investigação.

O experimento investigativo atuou como elemento desencadeador do pensamento reflexivo, permitindo que os estudantes confrontassem suas concepções iniciais com os resultados observados. Esse confronto favoreceu a reorganização das explicações anteriormente sustentadas apenas pela intuição, conduzindo à elaboração de interpretações progressivamente mais fundamentadas. Assim, o processo de aprendizagem não se configurou como simples assimilação de informações, mas como reconstrução da experiência a partir da interação entre ação, observação e reflexão.

De acordo com Dewey, o conhecimento emerge quando o sujeito é levado a investigar uma situação problemática e a buscar explicações para compreendê-la. Os resultados do pós-teste indicam que esse movimento investigativo esteve presente, uma vez que os estudantes passaram a mobilizar conceitos como reflexão da luz, intensidade luminosa e interação da luz com diferentes superfícies, demonstrando avanço na qualidade explicativa de suas respostas.

Além disso, a mudança observada na compreensão da formação das sombras reforça o papel da experiência investigativa como promotora de aprendizagem. No pré-teste, a sombra era frequentemente explicada por fatores externos, como o movimento do Sol ou a passagem do tempo. No pós-teste, parte significativa dos estudantes passou a associá-la à obstrução da luz por objetos opacos, indicando que a experiência experimental possibilitou uma reinterpretação do fenômeno, conforme defendido por Dewey ao tratar da continuidade da experiência educativa (Dewey, 1938).

Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que a proposta pedagógica favoreceu a aprendizagem ao integrar ação e reflexão, elementos centrais da pedagogia de Dewey. A atividade experimental não assumiu caráter meramente ilustrativo, mas constituiu-se como uma situação investigativa capaz de promover o pensamento crítico e a reconstrução de significados pelos estudantes.

Esses achados dialogam diretamente com a síntese apresentada no Capítulo 3, na qual se evidenciou que intervenções fundamentadas em ciclos de experiência, reflexão e sistematização tendem a produzir ganhos de compreensão conceitual e maior capacidade explicativa (Kolb, 1984; Fenwick, 2001). Do mesmo modo, pesquisas em ensino de Ciências indicam que experimentos escolares estruturados como investigação, com coleta de dados, análise e discussão orientada, contribuem para o desenvolvimento da linguagem científica e para a elaboração de explicações mais consistentes (Hofstein; Lunetta, 2004; Garrison; Anderson; Archer, 2000; Araújo; Veit, 2019).

Conclui-se, portanto, que a intervenção pedagógica analisada promoveu condições favoráveis à aprendizagem dos conteúdos de Óptica Geométrica, ao possibilitar que os estudantes reconstruíssem suas experiências por meio da investigação e da reflexão orientada. Os avanços identificados entre o pré-teste e o pós-teste corroboram a concepção de John Dewey de que o conhecimento se desenvolve quando o sujeito participa ativamente do processo de aprendizagem, enfrentando problemas reais e refletindo sobre suas próprias ações.

A comparação entre os instrumentos avaliativos também demonstra que a proposta pedagógica contribuiu para a evolução conceitual dos estudantes, favorecendo o

desenvolvimento da linguagem científica escolar e a compreensão progressiva dos fenômenos ópticos. Observou-se ainda que a disposição dos estudantes para responder ao pós-teste mostrou-se mais confiante quando comparada a momentos avaliativos realizados após metodologias tradicionais. Assim, os resultados reforçam a relevância de práticas investigativas no ensino de Física e evidenciam o potencial do Produto Educacional como estratégia didática replicável em outros contextos educacionais, em consonância com as competências e habilidades preconizadas pela BNCC (BRASIL, 2018).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo investigar possibilidades pedagógicas para o ensino de Óptica Geométrica por meio do desenvolvimento e da aplicação de um produto educacional de baixo custo, denominado *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*, fundamentado na perspectiva da aprendizagem pela experiência de John Dewey. A proposta buscou enfrentar dificuldades recorrentes no ensino de Física, especialmente aquelas relacionadas ao caráter abstrato dos fenômenos ópticos e à predominância de abordagens excessivamente teóricas, propondo uma alternativa centrada na experimentação e na investigação.

Os resultados iniciais, obtidos a partir do pré-teste, evidenciaram que os estudantes apresentavam explicações predominantemente intuitivas, baseadas na experiência cotidiana e com pouca articulação com conceitos científicos formais. Esse diagnóstico reforçou a necessidade de estratégias didáticas que possibilitem a vivência concreta dos fenômenos, favorecendo processos de reflexão e reorganização conceitual, conforme defendido por abordagens pedagógicas investigativas.

A aplicação do *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino*, organizada em atividades colaborativas e investigativas, promoveu um ambiente de aprendizagem dinâmico, no qual os estudantes puderam coletar dados, comparar resultados e construir interpretações. Nesse contexto, o professor atuou como mediador do processo, incentivando a observação, o questionamento e o diálogo. Essa dinâmica possibilitou uma interação direta com os fenômenos ópticos, configurando uma experiência educativa significativa, em consonância com a perspectiva de Dewey.

A comparação entre o pré-teste e o pós-teste revelou avanços qualitativos nas explicações dos estudantes, com maior uso da linguagem científica e estabelecimento de relações mais consistentes entre os conceitos de luz, reflexão e intensidade luminosa. O *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* destacou-se como um mediador eficaz do processo investigativo, ao transformar fenômenos abstratos em dados observáveis, aproximando os estudantes do método científico escolar e promovendo maior engajamento e participação ativa.

Por fim, conclui-se que o produto educacional apresenta grande potencial pedagógico, destacando-se por seu baixo custo, simplicidade e possibilidade de replicação em diferentes contextos escolares. Além de contribuir para a aprendizagem de Óptica Geométrica, a proposta abre perspectivas para sua aplicação em outros conteúdos da Física, incentivando práticas investigativas e o desenvolvimento do pensamento crítico. Assim, o trabalho reforça a

importância da experimentação como elemento central na construção de uma aprendizagem significativa, crítica e alinhada às demandas contemporâneas da educação científica.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Ives Solano; VEIT, Eliane Angela. Ensino por investigação em Física: fundamentos e possibilidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 41, n. 1, e20180104, 2019.
- BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. **Getting started with Arduino**. 3. ed. Sebastopol: Maker Media, 2015.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de Ciências. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291–313, 2002.
- BORN, Max; WOLF, Emil. **Principles of optics: electromagnetic theory of propagation, interference and diffraction of light**. 7. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1999.
- BRANSFORD, John D. et al. **How people learn: brain, mind, experience, and school**. Washington: National Academy Press, 2000.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: Ministério da Educação, 2018.
- CACHAPUZ, Antônio; PRAIA, João; JORGE, Manuela. **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005.
- CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensinar ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013.
- CHITOLINA, Diogo; SENA DOS SANTOS, Paulo José. Uma revisão de escopo sobre a relação entre motivação estudantil e o uso do Arduino no ensino da Física. In: **ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA (EPEF)**, 20., 2024, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Física, 2024. Disponível em: <https://www.sisgeenco.com.br/anais/epf/2024/arquivos/T0003-1.pdf>. Acesso em: jan. 2026.
- DELIZOICOV, Demétrio; ANGOTTI, José André; PERNAMBUCO, Marta Maria. **Ensino de Ciências: fundamentos e métodos**. 4. ed. São Paulo: Cortez, 2011.
- DEWEY, John. **Como pensamos**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.
- DEWEY, John. **Experience and education**. New York: Macmillan, 1938.
- DEWEY, John. **How we think**. Boston: D. C. Heath, 1933.
- ESSER, Larissa; CLEMENT, Luiz. O uso do instrumento de pré e pós teste na Abordagem Temática: identificando aspectos relativos à apropriação conceitual. **Ensino e Tecnologia em Revista**, v. 7, n. 3, p. 894-907, 2023.
- FENWICK, Tara. **Experiential learning: a theoretical critique from five perspectives**. Columbus: ERIC Clearinghouse, 2001.

GARRISON, D. Randy; ANDERSON, Terry; ARCHER, Walter. Critical inquiry in a text-based environment. **The Internet and Higher Education**, v. 2, n. 2–3, p. 87–105, 2000.

GIL PÉREZ, Daniel et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125–153, 2001.

GRASSELLI, Erasmo Carlos; GARDELLI, Daniel. O ensino da física pela experimentação no ensino médio: da teoria à prática. **Cadernos PDE**, v. 1, n. 1, p. 1-21, 2014.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física: óptica e física moderna**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HODSON, Derek. **Teaching and learning science: towards a personalized approach**. Buckingham: Open University Press, 1998.

HOFSTEIN, Avi; LUNETTA, Vincent N. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, Hoboken, v. 88, n. 1, p. 28–54, 2004.

HOROWITZ, Paul; HILL, Winfield. **The art of electronics**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2015.

JACKSON, John David. **Classical electrodynamics**. 3. ed. New York: Wiley, 1999.

JASMIN, A. P.; DJALAL, A. H. Use of Light Dependent Resistor (LDR) for measuring light intensity in a physics classroom: a case study. **Journal of Physics Education**, v. 30, n. 3, p. 23–28, 2015.

KOLB, David A. **Experiential learning: experience as the source of learning and development**. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1984.

MACEDO, Fábio Ferreira; SILVA, Marcos Rogério. Integração da eletrônica no ensino de Ciências: proposta de experimentação com Arduino e sensores de luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 1–10, 2018.

MALVINO, Albert Paul; BATES, David. **Eletrônica**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2016.

MCROBERTS, Michael. **Beginning arduino**. Apress, 2013.

MENDES, Rosana Maria; MISKULIN, Rosana Giaretta Sguerra. A análise de conteúdo como uma metodologia. **Cadernos de pesquisa**, v. 47, n. 165, p. 1044-1066, 2017.

MONTEIRO, Jeirla Alves et al. Arduino no Ensino de Física: uma Revisão Sistemática de Literatura de 2011 a 2021. **Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, v. 18, n. 40, p. 2, 2022.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa, ensino de Ciências e experimentação. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 11, n. 2, p. 1–25, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do professor de física**, v. 1, n. 1, p. 1-13, 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.

PEREIRA, Eliana Alves et al. A contribuição de John Dewey para a Educação. **Revista Eletrônica de Educação**, v. 3, n. 1, p. 154-161, 2009.

PLACIDES, Fernando Mariano; DA COSTA, Jose Wilson. John Dewey e a aprendizagem como experiência. **Revista Apotheke**, v. 7, n. 2, 2021.

RODRIGUES, Clóves Gonçalves. Uma proposta de material didático para o ensino dos conceitos fundamentais da óptica geométrica. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, 2022.

SALOMÃO, Francisco Carlos Carneiro et al. Metodologias ativas para ensino de óptica geométrica. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 18, n. 4, p. 853-865, 2023.

SEDRA, Adel S.; SMITH, Kenneth C. **Microelectronic circuits**. 7. ed. New York: Oxford University Press, 2015.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JUNIOR, John W. **Física para cientistas e engenheiros**. 9. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2020.

SESTARI, João Pedro Valiante; DA SILVEIRA, Pedro Valverde; DE OLIVEIRA CRUZ, Frederico Alan. Qual é a cor? Uma proposta para abordagem da reflexão seletiva e do daltonismo. **A Física na Escola**, v. 21, p. 230012-1-230012-9, 2023.

SILVA, J. B.; CAVALCANTE, M. A. O uso do Arduino no ensino de Física: possibilidades e desafios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 4, e4402, 2017.

SOUSA, Lázaro Luis de Lima et al. O uso do LDR como sensor de posição com o Arduino para o ensino de Física. In: ATENA EDITORA. **Pesquisa em Ensino de Física**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. p. 99–108. DOI: 10.22533/at.ed.09819280310.

TEIXEIRA, Anísio; CASSIM, Marisa Barbar. **Educação não é privilégio**. J. Olympio, 1957.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

APÊNDICE A - PRODUTO EDUCACIONAL

Este produto educacional foi desenvolvido com o objetivo de contribuir para a melhoria do ensino de Física, por meio de uma abordagem investigativa, experimental e contextualizada. Fundamentado em pressupostos teóricos que valorizam a aprendizagem ativa e significativa, o material propõe a articulação entre teoria e prática, incentivando o protagonismo dos estudantes na construção do conhecimento. Trata-se de um recurso de baixo custo e fácil aplicação, pensado para atender às demandas da educação básica e favorecer a inclusão de diferentes perfis de aprendizagem. Ao integrar atividades experimentais, orientações didáticas e possibilidades de adaptação, o produto busca apoiar o trabalho docente, promovendo maior engajamento dos alunos e contribuindo para a compreensão de conceitos científicos de forma mais concreta e significativa.



MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

Produto educacional

OLHO LDR

ESTUDANDO AS CORES COM O

ARDUINO

Rafael L. de A. Gomes

Lázaro L. de L. Sousa
(orientador)

Mossoró-RN, outubro de 2024

Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino

Produto Educacional

Rafael Lopes de Andrade Gomes & Lázaro Luis de Lima Sousa

Autores

Este é um produto educacional derivado de pesquisas em Ensino de Física e propõe o uso de um experimento para auxiliar a compreensão sobre a reflexão da luz e o estudo das cores, aplicando conceitos científicos aprendidos em sala de aula. Todos os direitos estão reservados aos seus autores, e por isso é proibida qualquer venda, comercialização, reprodução física ou eletrônica sem autorização prévia.

INSTITUTO DE ENSINO: Universidade Federal Rural do Semi-Árido**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO:** Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, polo 9, Mossoró-RN**ÁREA DE CONHECIMENTO:** Educação**TÍTULO DO PRODUTO EDUCACIONAL:** *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino***PÚBLICO-ALVO:** Alunos Ensino Básico.**AUTORES:** Rafael Lopes de Andrade Gomes & Lázaro Luis de Lima Sousa (orientador)**DATA:** 16/10/2024

Este Produto Educacional está disponível no site <https://mnpes.ufersa.edu.br/>

Mossoró-RN, outubro de 2024

Sumário

A1.	RESUMO.....	71
A2.	APRESENTAÇÃO	72
A3.	JUSTIFICATIVA.....	73
A4.	OBJETIVOS	74
A5.	PÚBLICO-ALVO	75
A6.	EXPERIMENTO-BASE.....	76
A6.1.	LDR (Light Dependent Resistor)	76
A6.2.	O Arduino como recurso educacional no ensino de Física.....	79
A6.3.	Materiais Utilizados.....	80
A6.4.	Montagem do experimento-base	82
A7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	88

A1. RESUMO

O ensino de Física, com foco neste trabalho na Óptica Geométrica, enfrenta desafios na transmissão de conceitos abstratos aos alunos. Como destaca John Dewey: “A escola tem que se transformar em um meio real, de experiências reais e de vida real. Só aí a criança poderá, sem deslocções artificiais, criar seus propósitos, pô-los em execução, aprender por meio deles e integrar os resultados de sua aprendizagem em sua própria vida.” Com o objetivo de contribuir para o enfrentamento desse obstáculo, foi desenvolvido um produto educacional inovador: um leitor óptico utilizando um LDR (Light Dependent Resistor) e um Arduino. Esse dispositivo foi projetado como uma ferramenta de aprendizagem prática e interativa em Óptica Geométrica, pautada em uma abordagem reflexiva, na qual os estudantes são incentivados a confrontar seus conhecimentos prévios com aqueles adquiridos após a aplicação do sistema. Nessa perspectiva, reforça-se ainda que “A experiência educativa é, pois, essa experiência inteligente em que participa o pensamento, através do qual se vêm a perceber relações e continuidades antes não percebidas” (A Pedagogia de J. Dewey, Anísio Teixeira).

A2. APRESENTAÇÃO

Este Produto Educacional foi desenvolvido no âmbito do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e integra uma proposta didática voltada ao ensino de Óptica Geométrica, por meio de atividades experimentais investigativas com o uso de um sensor LDR associado a um microcontrolador Arduino.

A proposta fundamenta-se na perspectiva da aprendizagem pela experiência, conforme defendido por John Dewey, segundo a qual o conhecimento é construído a partir da interação do sujeito com situações reais de investigação. Nessa concepção, aprender envolve a realização de ações, a observação de fenômenos e a reflexão sobre os resultados obtidos, possibilitando a atribuição de significado aos conceitos estudados.

O Produto Educacional foi organizado de modo a favorecer a vivência de situações-problema relacionadas a fenômenos da Óptica Geométrica, como a reflexão da luz, a absorção e a variação da intensidade luminosa em diferentes superfícies. Ao interagir com o dispositivo experimental, os estudantes são incentivados a levantar hipóteses, realizar medições, analisar dados e discutir coletivamente suas interpretações.

Nesse contexto, o papel do professor consiste na organização intencional das atividades, orientando o processo investigativo e promovendo momentos de reflexão que possibilitem a reconstrução das experiências vivenciadas. As atividades propostas buscam estimular a participação ativa dos estudantes, o diálogo e a análise crítica dos resultados, favorecendo a compreensão dos fenômenos físicos abordados.

Dessa forma, o Produto Educacional Olho LDR apresenta-se como uma proposta acessível e investigativa, alinhada aos princípios da aprendizagem pela experiência e voltada à promoção de práticas experimentais significativas no ensino de Física.

A3. JUSTIFICATIVA

O ensino de Óptica Geométrica apresenta desafios relacionados à abstração dos conceitos e à dificuldade dos estudantes em compreender fenômenos como reflexão, absorção da luz e variação da intensidade luminosa apenas por meio de explicações teóricas. Em muitos contextos escolares, a ausência de recursos experimentais acessíveis também limita a realização de atividades práticas que favoreçam a investigação desses fenômenos.

Diante desse cenário, o desenvolvimento do Produto Educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* justifica-se pela necessidade de oferecer ao professor um recurso didático simples, de baixo custo e facilmente replicável, capaz de viabilizar práticas experimentais investigativas no ensino de Física. O dispositivo permite a observação direta da intensidade luminosa refletida por diferentes superfícies, favorecendo a análise dos resultados e a discussão dos conceitos envolvidos.

A organização das atividades presentes neste Produto Educacional fundamenta-se nos seguintes pressupostos pedagógicos, inspirados na perspectiva educacional de John Dewey (Dewey, 1933; 1938; 1978):

- **Aprendizagem pela experiência:** os conceitos físicos são abordados a partir da vivência de situações experimentais, nas quais o estudante observa os fenômenos e reflete sobre os resultados obtidos.
- **Pensamento reflexivo:** as atividades buscam provocar questionamentos e análises que contribuam para o desenvolvimento do pensamento investigativo.
- **Situações-problema:** os experimentos partem de questões orientadoras que estimulam a investigação e evitam a realização mecânica de procedimentos.
- **Reconstrução da experiência:** os resultados obtidos favorecem a revisão das explicações iniciais, permitindo a elaboração de compreensões progressivamente mais consistentes.
- **Participação ativa:** o envolvimento dos estudantes nas atividades experimentais constitui elemento central do processo de aprendizagem.

Esses pressupostos orientam a proposta didática apresentada, compreendendo o ensino de Física como um processo ativo e reflexivo, no qual a experimentação desempenha papel fundamental. Assim, o produto busca contribuir para a realização de experiências educativas mais significativas, ampliando as possibilidades metodológicas do professor e promovendo maior participação dos estudantes no processo de aprendizagem.

A4. OBJETIVOS

O Produto Educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* tem como objetivo geral favorecer a aprendizagem de conceitos de Óptica Geométrica por meio de atividades experimentais investigativas, fundamentadas na aprendizagem pela experiência.

Como objetivos específicos, busca-se:

- Possibilitar aos estudantes a realização de atividades experimentais voltadas à observação de fenômenos ópticos;
- Estimular a análise e a interpretação dos resultados obtidos durante os experimentos;
- Favorecer a compreensão dos conceitos de reflexão da luz, absorção e intensidade luminosa;
- Incentivar a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem;
- Contribuir para o desenvolvimento do pensamento reflexivo no estudo da Óptica Geométrica.

A5. PÚBLICO-ALVO

O Produto Educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* destina-se a estudantes da Educação Básica, preferencialmente das séries em que são abordados os conteúdos de Óptica Geométrica, conforme previsto nos documentos curriculares. A proposta pode ser aplicada em turmas regulares, em atividades desenvolvidas em sala de aula, laboratório escolar ou outros espaços pedagógicos disponíveis, desde que sejam garantidas condições adequadas para a realização das atividades experimentais e para a discussão coletiva dos resultados. O material foi elaborado de modo a possibilitar sua utilização por professores de Física da Educação Básica, podendo ser adaptado conforme o contexto escolar, o tempo disponível e as características da turma.

A6. EXPERIMENTO-BASE

Esta seção apresenta o procedimento de montagem do protótipo experimental desenvolvido neste trabalho, constituído por uma caixa de Óptica Geométrica, com geometria interna em formato de corredor em “L”, contendo um emissor luminoso (LED), um sensor dependente de luz (LDR), um anteparo refletor e um sistema eletrônico de leitura e exibição de dados em display OLED.

O manual tem como finalidade possibilitar a reprodução do dispositivo por outros docentes e estudantes, garantindo a padronização na construção e o funcionamento adequado do sistema.

A6.1. LDR (Light Dependent Resistor)

O LDR (*Light Dependent Resistor*), também conhecido como fotocélula ou resistor dependente de luz, é um componente eletrônico cuja resistência elétrica varia de acordo com a intensidade da luz incidente. Quando exposto à luz, sua resistência diminui; em condições de baixa luminosidade, por sua vez, a resistência aumenta. Essa característica decorre do comportamento dos materiais semicondutores que compõem o sensor, o que torna o LDR amplamente utilizado em circuitos de detecção luminosa, sistemas automáticos de iluminação e aplicações experimentais (Sedra; Smith, 2015; Horowitz; Hill, 2015). A Figura 20 apresenta um LDR de uso comum.

Figura 20: LDR de uso comum



Fonte: <https://pixabay.com/>

O funcionamento do LDR está associado ao efeito fotocondutivo, fenômeno característico de materiais semicondutores no qual a incidência de luz provoca o aumento do número de portadores de carga livres, reduzindo a resistência elétrica do material. Nesse processo, a energia luminosa incidente promove elétrons a estados de maior mobilidade na estrutura do semicondutor, aumentando sua condutividade elétrica (Sedra; Smith, 2015; Horowitz; Hill, 2015).

Do ponto de vista didático, o LDR constitui um recurso experimental adequado para a abordagem de conceitos fundamentais da Física, como resistência elétrica, condutividade e propriedades dos materiais semicondutores. A variação da resistência em função da intensidade luminosa permite explorar, de forma concreta, a influência de fatores externos sobre o comportamento elétrico dos materiais, favorecendo a compreensão de grandezas físicas frequentemente tratadas de modo abstrato no Ensino Médio.

Além disso, o uso do LDR possibilita discutir a interação entre energia luminosa e energia elétrica, evidenciando como a incidência de luz pode produzir alterações mensuráveis em circuitos elétricos. Embora o LDR não opere segundo o efeito fotoelétrico externo, seu funcionamento pode ser utilizado como ponto de partida para a introdução e contextualização de fenômenos relacionados à interação entre luz e matéria, contribuindo para a compreensão progressiva de conceitos associados à Física Moderna, como aqueles que fundamentam a mecânica quântica (Tipler; Llewellyn, 2012).

Sob uma perspectiva pedagógica alinhada à aprendizagem pela experiência, o emprego do LDR em atividades experimentais permite que os estudantes investiguem relações entre variáveis físicas, formulem hipóteses e analisem resultados a partir de situações concretas. Esse tipo de abordagem favorece a articulação entre ação e reflexão, contribuindo para a construção de significados a partir da experiência vivenciada.

No contexto escolar, o LDR pode ser aplicado em diferentes propostas experimentais, tais como a construção de medidores de intensidade luminosa, circuitos automáticos de iluminação, estudos gráficos da variação da resistência em função da luminosidade e discussões relacionadas ao uso eficiente da energia e à sustentabilidade. Essas aplicações ampliam as possibilidades metodológicas do professor e contribuem para a contextualização dos conteúdos de Física no cotidiano dos estudantes.

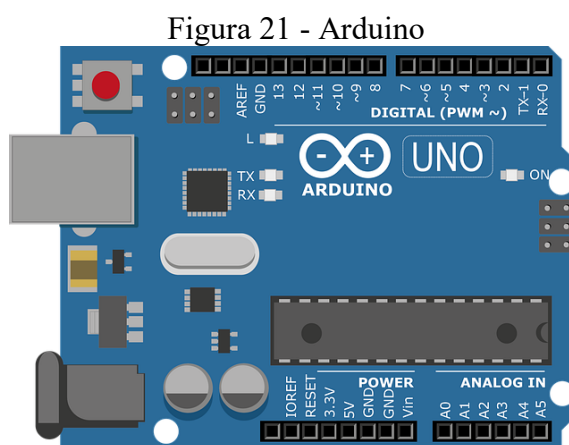
Em aulas de Física, o LDR oferece diversas vantagens pedagógicas, como a interdisciplinaridade, ao integrar conceitos de Física, Matemática e Eletrônica, o aprendizado prático, promovendo a reconstrução do conhecimento a partir da experiência direta; o engajamento, ao aumentar o interesse dos estudantes por meio da conexão com aplicações tecnológicas; e o desenvolvimento de habilidades, como o trabalho em equipe, a resolução de problemas e o pensamento crítico.

No contexto educacional, o LDR apresenta-se como um sensor adequado para a construção de dispositivos experimentais simples, permitindo a investigação de fenômenos relacionados à intensidade luminosa e à interação da luz com diferentes superfícies,

especialmente quando associado a plataformas de prototipagem, como o Arduino (Banzi; Shiloh, 2015).

O uso do LDR em combinação com o Arduino possibilita a criação de projetos práticos e didáticos para explorar conceitos de Física e Eletrônica. Um exemplo é a construção de um circuito capaz de verificar a intensidade luminosa em função das cores, utilizando um sensor de luz e LEDs de diferentes tonalidades. Esse experimento permite compreender como a intensidade luminosa varia conforme a frequência da luz emitida, abordando temas como ondas eletromagnéticas, espectro visível e propriedades de semicondutores.

O Arduino (McRoberts, 2013.) é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, amplamente utilizada no desenvolvimento de projetos que combinam hardware e software. Criado na Itália em 2005, foi inicialmente concebido como uma ferramenta acessível para estudantes e profissionais interessados em explorar eletrônica e programação. Sua versatilidade e simplicidade contribuíram para sua ampla adoção em projetos educacionais, experimentos científicos, automação doméstica e aplicações industriais. A Figura 21 apresenta o Arduino Uno, uma das versões mais difundidas e facilmente encontradas no mercado.



Fonte: <https://pixabay.com/>

O uso do Arduino no ensino é relevante por possibilitar a integração entre teoria e prática, permitindo que os estudantes construam, programem e testem dispositivos de forma concreta. Essa abordagem favorece a aprendizagem ativa, estimula o pensamento crítico e a resolução de problemas, além de promover a interdisciplinaridade. Ao aproximar os conteúdos escolares de aplicações reais, o Arduino contribui para tornar o processo de ensino mais significativo e motivador.

A6.2. O Arduino como recurso educacional no ensino de Física

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto, amplamente utilizada no desenvolvimento de projetos que envolvem automação, controle e aquisição de dados. Sua arquitetura simples, aliada à facilidade de programação e ao baixo custo dos componentes, tem favorecido sua disseminação em contextos educacionais, especialmente no ensino de Ciências e de Física (Banzi; Shiloh, 2015).

No ensino de Física, o Arduino possibilita a construção de dispositivos experimentais que permitem a coleta e a análise de dados em tempo real, favorecendo a investigação de fenômenos físicos e a articulação entre conceitos teóricos e situações experimentais. Diversos estudos indicam que o uso dessa plataforma contribui para a ampliação das possibilidades metodológicas do professor, permitindo a realização de atividades experimentais mesmo em contextos escolares com infraestrutura limitada (Silva; Cavalcante, 2017).

Além disso, o emprego do Arduino em atividades didáticas favorece a abordagem interdisciplinar, integrando conceitos de Física, Eletrônica e Computação, e possibilita maior envolvimento dos estudantes na construção e no funcionamento dos dispositivos experimentais. Segundo Banzi e Shiloh (2015), a utilização de plataformas abertas no ensino estimula a exploração, a experimentação e a adaptação dos projetos às necessidades educacionais específicas.

Dessa forma, o Arduino apresenta-se como uma ferramenta potencialmente relevante para o ensino de Física, ao permitir a implementação de propostas experimentais acessíveis, investigativas e alinhadas às demandas contemporâneas da educação científica. No contexto educacional, oferece uma oportunidade significativa de aprendizagem prática, ao possibilitar que os estudantes articulem teoria e prática. Além disso, facilita o ensino de conceitos fundamentais de eletrônica, como circuitos elétricos, sensores e atuadores, ao mesmo tempo em que desenvolve habilidades em programação, pensamento crítico, resolução de problemas e trabalho em equipe.

Outro fator que contribui para a popularidade do Arduino é sua vasta comunidade global de usuários, que produz tutoriais, projetos compartilhados, bibliotecas de código e soluções para problemas comuns. Esse ecossistema favorece o aprendizado e o desenvolvimento de novos projetos, tornando a plataforma acessível inclusive para iniciantes. Assim, o Arduino não se limita a uma ferramenta de prototipagem, mas configura-se como um

meio de aproximação entre a eletrônica e a criatividade, incentivando a inovação e a exploração tecnológica.

A6.3. Materiais Utilizados

O Produto Educacional *Olho LDR: Estudando as cores com o Arduino* consiste em um sistema experimental desenvolvido a partir da utilização de um sensor LDR associado a um microcontrolador Arduino, montado no interior de uma estrutura física fechada que possibilita o controle da incidência luminosa., focado no experimento-base.

A estrutura do experimento-base foi confeccionada em uma caixa de isopor revestida internamente com tinta preta, com dimensões aproximadas de 7,5 cm de altura, 14,5 cm de comprimento e 11,5 cm de largura. Esse revestimento tem como finalidade minimizar interferências luminosas externas e internas, assegurando maior controle das condições experimentais.

A Figura 22 apresenta uma representação do experimento-base que fundamenta este Produto Educacional. O dispositivo é constituído por um sistema óptico-eletrônico instalado no interior de uma estrutura fechada, semelhante a uma câmara escura, construída a partir de uma caixa de isopor revestida com tinta preta. Essa configuração tem como finalidade reduzir interferências luminosas externas e assegurar maior controle das condições experimentais.

Figura 22 - Ilustração do experimento-base



Fonte: autor

O sistema da Figura 22, em sua essência, é composto por um LED branco, responsável pela emissão da luz incidente; um sensor LDR, destinado à detecção da luz

refletida; um microcontrolador Arduino, utilizado para o processamento dos sinais elétricos; um display OLED para a leitura dos valores numéricos; um anteparo interno para o posicionamento das superfícies analisadas; além de resistores, fios de conexão e uma fonte de alimentação.

O funcionamento do dispositivo baseia-se na emissão de luz pelo LED, que incide sobre a superfície posicionada no anteparo interno com ângulo aproximado de 45°. A luz refletida é captada pelo sensor LDR, cuja resistência elétrica varia de acordo com a intensidade luminosa incidente. Essa variação é convertida em sinal elétrico e enviada ao microcontrolador Arduino, que realiza a leitura analógica e apresenta os valores correspondentes no display OLED.

Os valores exibidos representam a intensidade relativa da luz refletida, permitindo a comparação entre diferentes superfícies analisadas sob as mesmas condições experimentais.

Para a construção do experimento-base em sua forma completa são necessários os seguintes elementos:

- Caixa de isopor 7,5cm x 14,5cm x 11,5cm.
- LED branco de alto brilho de 5mm ou 10mm. Responsável pela emissão da luz incidente;
- Sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) de 10mm. Destinado à detecção da luz refletida;
- Microcontrolador Arduino UNO. Utilizado para o processamento dos sinais elétricos provenientes do sensor;
- Display OLED 0.96 com I2C integrado. Responsável pela apresentação dos valores numéricos correspondentes à intensidade luminosa detectada;
- Anteparo interno para posicionamento de papéis coloridos padronizados;
- Fios de conexão.
- Cabo para impressora A/B. Serve para programação e alimentação elétrica;
- 2 resistores 1,0 kΩ.
- Fita adesiva;
- Papel guache preto;
- Cola branca.

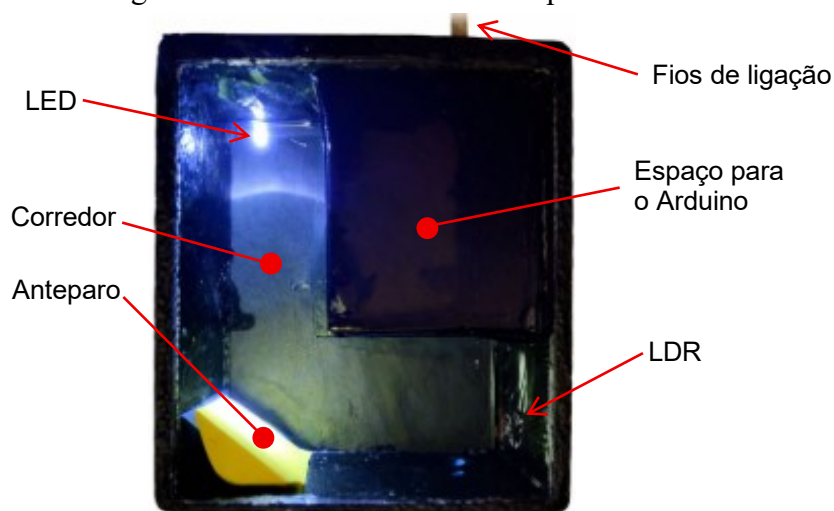
A escolha desses componentes deve-se à sua ampla disponibilidade, baixo custo e facilidade de manuseio, o que favorece a replicabilidade do produto em diferentes contextos escolares.

A6.4. Montagem do experimento-base

O dispositivo consiste em uma caixa fechada, construída em material leve e opaco (poliestireno expandido, revestido internamente com tinta preta fosca), de modo a minimizar interferências externas de luz. No interior da câmara, estão posicionados um sensor LDR, um microcontrolador Arduino, um LED e um display, permitindo a leitura da variação da luminosidade incidente.

Internamente, há um corredor óptico em formato de “L”, no qual o LED emissor encontra-se em uma extremidade do corredor; e o sensor LDR está posicionado na extremidade perpendicular. No vértice do “L”, é disposto um anteparo refletor a 45°, responsável por redirecionar o feixe luminoso do LED até o LDR. Essa configuração possibilita maior controle experimental e favorece a obtenção de leituras mais consistentes da intensidade luminosa refletida. A Figura 23 mostra a câmara escura do experimento-base com detalhes.

Figura 23 - A câmara escura do experimento-base



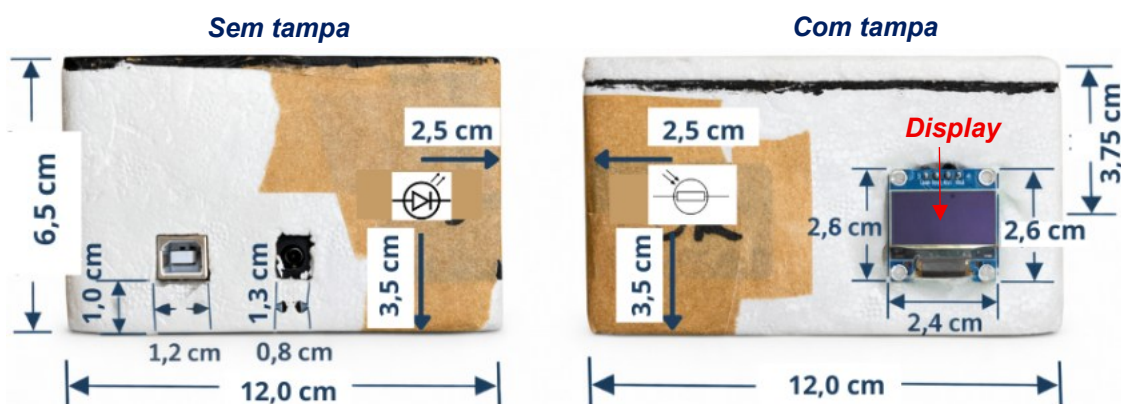
Fonte: autor

A preparação da caixa da Figura 23 constitui a etapa inicial da montagem do dispositivo e tem como finalidade garantir condições adequadas para o controle da luz no interior do sistema. Para isso, toda a parte interna da caixa deve ser pintada com tinta preta fosca, assegurando que não existam frestas ou aberturas para evitar a luz externa. Após a pintura, é necessário aguardar a secagem completa antes da instalação dos componentes. Esse procedimento é fundamental para garantir que o sensor LDR responda exclusivamente à luz emitida pelo LED no interior do sistema.

Em seguida, realiza-se a construção do corredor óptico em formato de “L” no interior da caixa. Essa estrutura pode ser obtida por meio da instalação de divisórias internas ou pela própria construção do compartimento destinado ao Arduino, com dimensões aproximadas de 8 cm × 6,4 cm × 5,0 cm, utilizando cartolina ou papel guache preto. As superfícies internas devem ser mantidas na cor preta, a fim de evitar reflexões indesejadas. No vértice do “L”, deve-se instalar um anteparo plano de papel guache, com dimensões de aproximadamente 4 cm × 5 cm, posicionado a 45° em relação às paredes laterais. Esse anteparo tem a função de redirecionar o feixe luminoso emitido pelo LED em direção ao sensor LDR, devendo estar firmemente fixado para evitar desalinhamentos durante o uso.

A instalação do LED e do LDR deve ser realizada nas extremidades perpendiculares do corredor óptico, de modo que o sensor receba apenas a luz refletida pelo anteparo, conforme apresentado na Figura 19. Esse arranjo assegura que a variação luminosa medida seja resultado do percurso óptico controlado, evitando interferências de fontes externas de iluminação. A Figura 24 apresenta uma vista lateral da câmara escura, indicando as dimensões da caixa e a disposição dos componentes, como o LED, o LDR e o display OLED. Este último deve ser instalado na região superior lateral da estrutura, preferencialmente no mesmo lado em que se encontra o Arduino, de modo a permitir a leitura frontal pelo usuário sem a necessidade de abrir a câmara escura. Para sua instalação, é necessário realizar apenas um pequeno orifício destinado à passagem dos fios de conexão entre o display e o Arduino. Além disso, os cortes devem ser feitos de forma precisa, garantindo um encaixe adequado do display e evitando folgas que possibilitem a entrada de luz externa.

Figura 24 - A câmara escura do experimente-base e suas dimensões



Fonte: autor

Para a integração dos componentes eletrônicos, é necessário realizar cortes externos na caixa. A abertura destinada à entrada USB e à fonte de alimentação deve ser feita na parede lateral do sistema, seguindo medidas padronizadas: para a entrada USB, recomenda-se uma

posição a 1,0 cm acima da base inferior externa da caixa e a 2,0 cm da lateral esquerda; para a entrada de energia, a abertura deve ser feita a 1,3 cm da base inferior e a 5,3 cm da lateral esquerda (Figura 24).

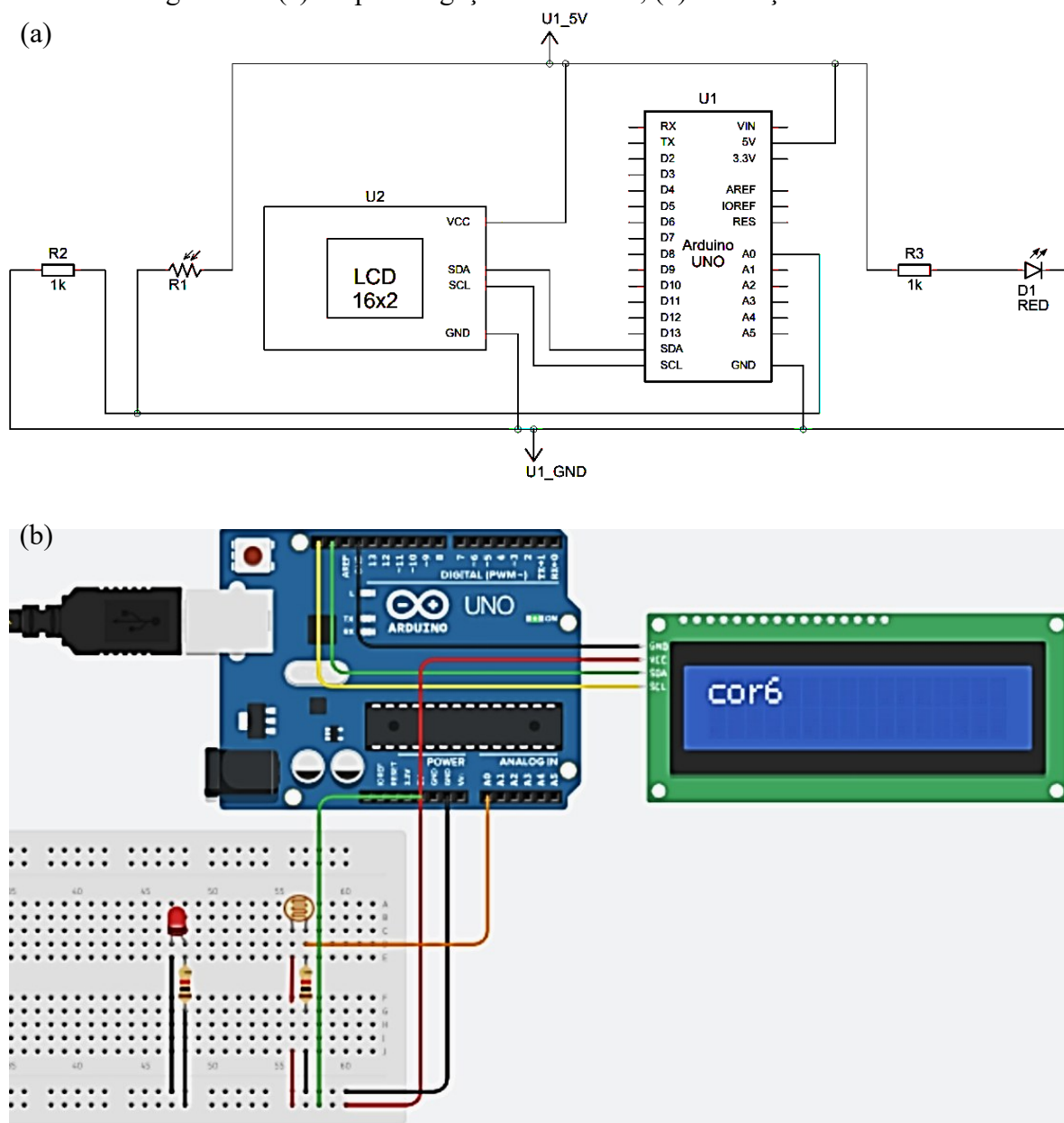
O display OLED deve ser instalado na parte superior lateral da caixa, preferencialmente no mesmo lado em que se encontra o Arduino, permitindo a leitura frontal pelo usuário. Para isso, deve-se realizar um pequeno orifício de aproximadamente 1,0 cm × 0,4 cm para a passagem dos fios de conexão, posicionado a 4,5 cm da base inferior externa e a 4,0 cm da lateral direita. O encaixe do display deve ser ajustado de modo a evitar folgas que possibilitem a entrada de luz externa.

Por fim, após a inserção do LED, do LDR e do anteparo, o Arduino deve ser posicionado em local protegido no interior da caixa. Os cabos devem ser organizados de forma a não obstruir o corredor óptico, e todos os componentes devem ser devidamente fixados com cola quente ou fita dupla-face, garantindo estabilidade e bom funcionamento do sistema.

A escolha da caixa utilizada na construção do dispositivo deve-se, principalmente, à sua facilidade de aquisição, podendo ser encontrada em papelarias, bem como à redução da necessidade de mão de obra e de habilidades manuais mais complexas para a montagem da câmara escura. Inicialmente, a leitura dos dados seria realizada por meio do *serial monitor*, o que exigiria a conexão do Arduino a um computador. No entanto, considerando a proposta de desenvolver um experimento compacto e autônomo, optou-se pela utilização de um display OLED acoplado ao sistema, permitindo a visualização direta dos dados.

No bloco central da Figura 25(a), encontra-se o display (U2) com interface I2C, conectado ao Arduino por meio dos pinos SDA e SCL. Esse tipo de comunicação reduz a quantidade de conexões necessárias e permite que o microcontrolador envie dados para exibição de forma eficiente. O display é utilizado para apresentar, em tempo real, os valores de luminosidade medidos ou informações derivadas desse sinal, como níveis qualitativos. À direita do circuito representado na Figura 25(a), observa-se um LED (D1) associado a um resistor limitador de corrente (R3, de 1 k Ω). Esse LED atua como um indicador visual simples, podendo ser acionado pelo Arduino com base em um limiar de luminosidade previamente definido. O resultado dessas conexões é apresentado na Figura 25(b), que ilustra uma visão geral do circuito esperado após a montagem.

Figura 25 - (a) Mapa de ligação do circuito; (b) Ilustração do circuito



Fonte: autor

O circuito apresentado na Figura 25(a) utiliza o código-fonte mostrado na Figura 26, implementado na IDE do Arduino. Esse código tem como objetivo realizar a leitura de um sinal analógico proveniente de um sensor de luminosidade conectado ao pino A0 e exibir o valor obtido em um display. Inicialmente, o sistema configura o pino de entrada e inicializa o display. Durante a execução contínua, o programa realiza a leitura do valor analógico, que varia entre 0 e 1023, e emprega esse próprio valor como tempo de atraso, fazendo com que o intervalo entre as atualizações dependa da intensidade do sinal medido. Em seguida, o valor é exibido no display, precedido pelo texto “cor”, embora, na prática, represente apenas a intensidade do sinal analógico. Após um breve intervalo, o display é limpo para a próxima leitura. Assim, esse

código possibilita a visualização em tempo real das variações do sensor, ainda que possam ocorrer oscilações decorrentes da dupla leitura do sinal e do uso de atrasos dependentes da própria medida.

Figura 26 - Código-fonte para a IDE do Arduino

```
// C++ code
//
#include <Adafruit_LiquidCrystal.h>

Adafruit_LiquidCrystal lcd_1(0);

void setup()
{
    pinMode(A0, INPUT);
    lcd_1.begin(16, 2);
}

void loop()
{
    delay(analogRead(A0)); // Wait for analogRead(A0) millisecond(s)
    lcd_1.print("cor");
    lcd_1.print(analogRead(A0));
    delay(1000); // Wait for 1000 millisecond(s)
    lcd_1.clear();
}
```

Fonte: autor

Após a montagem do sistema, deve-se realizar um teste final para verificar seu funcionamento. Inicialmente, conecta-se à alimentação via USB e observa-se se o LED emite luz corretamente. Em seguida, é necessário confirmar se o display OLED apresenta valores coerentes com a luminosidade incidente. Recomenda-se também realizar testes com variações experimentais, como o bloqueio parcial do feixe luminoso ou a alteração do anteparo refletor. Caso o sensor responda adequadamente às variações de luz, o sistema estará apto para uso didático.

Durante o funcionamento, o LED emite luz em direção à superfície posicionada no interior da caixa. A luz refletida retorna ao sensor LDR, provocando variações em sua resistência elétrica. O microcontrolador Arduino realiza a leitura dessa variação por meio de uma entrada analógica, convertendo o sinal elétrico em valores numéricos que são exibidos no

display do sistema. Esses valores representam a intensidade relativa da luz refletida, possibilitando a comparação entre diferentes superfícies analisadas.

No procedimento experimental, recomenda-se posicionar diferentes superfícies, especialmente de cores variadas, no interior da caixa, mantendo constantes as demais condições do experimento. Após o posicionamento de cada material, deve-se registrar os valores apresentados no display em uma tabela. A repetição do procedimento para diferentes superfícies permite comparar os resultados obtidos e identificar variações na intensidade luminosa refletida, favorecendo a análise dos fenômenos ópticos envolvidos.

O experimento-base da câmara escura é um dispositivo didático de baixo custo, acessível e funcional, que articula conceitos fundamentais da Óptica, como reflexão da luz e interação com superfícies, com princípios de instrumentação eletrônica e aquisição de dados. A integração entre o sensor LDR, o microcontrolador Arduino e o display permite não apenas a observação qualitativa, mas também a quantificação da intensidade luminosa refletida, favorecendo uma abordagem investigativa no ensino de Ciências, estando pronto para aplicação em diferentes contextos educacionais.

A7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAFRUIT LEARNING SYSTEM. **Light dependent resistor (LDR) tutorial**. Disponível em: <https://learn.adafruit.com>. Acesso em: jan. 2026.

ARDUINO. **Arduino IDE: software de programação**. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/software>. Acesso em: jan. 2026.

BANZI, Massimo; SHILOH, Michael. **Getting started with Arduino**. 3. ed. Sebastopol: Maker Media, 2015.

CHITOLINA, Diogo; SENA DOS SANTOS, Paulo José. Uma revisão de escopo sobre a relação entre motivação estudantil e o uso do Arduino no ensino da Física. In: **ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA (EPEF)**, 20., 2024, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Física, 2024. Disponível em: <https://www.sisgeenco.com.br/anais/epf/2024/arquivos/T0003-1.pdf>. Acesso em: jan. 2026.

FRIEDL, Michael. **Arduino: guia completo para iniciantes**. Rio de Janeiro: Alta Books, 2016.

FRITZING. **Fritzing: ferramenta para criação de diagramas eletrônicos**. Disponível em: <https://fritzing.org>. Acesso em: jan. 2026.

JASMIN, A. P.; DJALAL, A. H. Use of Light Dependent Resistor (LDR) for measuring light intensity in a physics classroom: a case study. **Journal of Physics Education**, v. 30, n. 3, p. 23–28, 2015.

KHAN ACADEMY. **Teoria da luz e eletrônica**. Disponível em: <https://www.khanacademy.org>. Acesso em: jan. 2026.

MACEDO, Fábio Ferreira; SILVA, Marcos Rogério. Integração da eletrônica no ensino de Ciências: proposta de experimentação com Arduino e sensores de luz. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 40, n. 2, p. 1–10, 2018.

MCROBERTS, Michael. **Beginning arduino**. Apress, 2013.

MONK, Simon. **Arduino for beginners: a practical introduction to Arduino programming**. Birmingham: Packt Publishing, 2014.

SHAW, Alan. **Practical electronics for inventors**. New York: McGraw-Hill Education, 2017.

SILVA, J. B.; CAVALCANTE, M. A. O uso do Arduino no ensino de Física: possibilidades e desafios. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 39, n. 4, e4402, 2017.

SOUSA, Lázaro Luis de Lima et al. O uso do LDR como sensor de posição com o Arduino para o ensino de Física. In: ATENA EDITORA. **Pesquisa em Ensino de Física**. Ponta Grossa: Atena Editora, 2019. DOI: 10.22533/at.ed.09819280310.

SPARKFUN ELECTRONICS. **Using the LDR light sensor**. Disponível em: <https://learn.sparkfun.com/tutorials>. Acesso em: jan. 2026.

APÊNDICE B - PRÉ-TESTE DE ÓPTICA

Este questionário tem como objetivo compreender como você percebe os fenômenos relacionados à luz, à visão e às sombras, a partir de sua experiência cotidiana, ou seja, explorar a visão de mundo dos estudantes participantes. Responda de forma livre e sincera; não há respostas certas ou erradas, apenas a sua maneira de ver o mundo.

Nome: _____

Idade: _____ Rede de ensino: ☐ Pública ☐ Privada

P1. Você estudou toda sua vida em:

- () Escola privada;
- () Escola pública;
- () Pública e privada.

P2. Você se lembra de alguma situação marcante em que a luz ou a escuridão tenha mudado o jeito como você viu ou sentiu algo? Conte como foi.

P3. Imagine que você está em um quarto escuro. O que precisaria acontecer para você começar a enxergar os objetos ao seu redor? Por quê?

P4. Você já reparou nas sombras que aparecem em diferentes momentos do dia? O que você acha que faz essas sombras surgirem e mudarem de lugar ou forma?

P5. Óculos, lanternas, espelhos e janelas estão presentes em muitos momentos do nosso dia. Escolha um desses objetos e explique como você acredita que ele funciona em relação à luz ou à visão.

P6. Esta atividade tem como objetivo fazer um levantamento dos seus conhecimentos prévios sobre a luz e seu comportamento. Você está de acordo em permitir a análise de suas respostas em banco de dados para aprimoramento do ensino de Física proposto pelo professor Rafael Lopes com seu produto educacional para o Mestrado Nacional em Ensino de Física?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.

APÊNDICE C - PÓS-TESTE DE ÓPTICA

Este questionário tem como objetivo compreender como você percebe os fenômenos relacionados à luz, à visão e às sombras, a partir de sua experiência cotidiana. Responda de forma livre e sincera. Não há respostas certas ou erradas, apenas a sua maneira de ver o mundo.

Nome: _____

P1. Se a luz do LED do Olho LDR incide em uma cor, conseguimos "ver" o post-it. Explique o processo que permite ao sensor LDR detectar essa cor.

P2. No experimento-base, por que o sensor detecta valores numéricos (intensidade) diferentes para o cartão branco e o cartão preto?

P3. Se você colocasse o LDR de forma inadequada, a sombra do LDR poderia cobrir o feixe de luz refletido. Como o princípio da propagação da luz explica a formação dessa sombra?

P4. Qual fenômeno óptico (reflexão, refração ou absorção) foi o principal foco do experimento-base? Dê um exemplo prático de outro instrumento que usa esse mesmo fenômeno.

P5. Esta atividade tem como objetivo fazer um levantamento dos seus conhecimentos prévios sobre a luz e seu comportamento. Você está de acordo em permitir a análise de suas respostas em banco de dados para aprimoramento do ensino de Física proposto pelo professor Rafael Lopes com seu produto educacional para o Mestrado Nacional em Ensino de Física?

- ☐ Sim.
- ☐ Não.