



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE SALINÓPOLIS**  
**FACULDADE DE FÍSICA**  
**LICENCIATURA EM FÍSICA**



Faculdade de Física  
UFPA - Campus Salinópolis

**DOUGLAS LEITE DA SILVA**

**LABORATÓRIOS ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DE FÍSICA:  
UM MAPEAMENTO BIBLIOGRÁFICO COM ÊNFASE EM ÓPTICA E FÍSICA  
MODERNA**

**SALINÓPOLIS**

**2025**

**DOUGLAS LEITE DA SILVA**

**LABORATÓRIOS ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DE FÍSICA:  
UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA COM ÊNFASE EM ÓPTICA E  
FÍSICA MODERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física do Campus Universitário de Salinópolis da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Licenciado(a) em Física.

Orientador: Prof. Dr. Cledson Santana Lopes Gonçalves.

**SALINÓPOLIS**

**2025**

**DOUGLAS LEITE DA SILVA**

**LABORATÓRIOS ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DE FÍSICA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA COM ÊNFASE EM ÓPTICA E FÍSICA MODERNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Física do Campus Universitário de Salinópolis da Universidade Federal do Pará, para obtenção do título de Licenciado(a) em Física.

Orientador: Prof. Dr. Cledson Santana Lopes Gonçalves.

Data de Aprovação: 21 de julho de 2025

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **CLEDSON SANTANA LOPES GONCALVES**  
Data: 20/08/2025 16:04:04-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dr. Cledson Santana Lopes Gonçalves (Orientador)**  
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente  
 **DANIANA DE COSTA**  
Data: 20/08/2025 16:15:56-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dra. Daniana de Costa (Membro)**  
Universidade Federal do Pará

Documento assinado digitalmente  
 **LILIA CRISTINA DOS SANTOS DINIZ ALVES**  
Data: 21/08/2025 08:22:45-0300  
Verifique em <https://validar.it.gov.br>

---

**Dra. Lília Cristina dos Santos Diniz Alves (Membro)**  
Universidade Federal do Pará

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**  
**Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

S586l Silva, Douglas Leite da.  
Laboratórios alternativos de baixo custo no ensino de física: um mapeamento bibliográfico com ênfase em óptica e física moderna / Douglas Leite da Silva. — 2025.  
57 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Cledson Santana Lopes Goncalves  
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Salinópolis, Curso de Licenciatura em Física, Salinópolis, 2025.

1. Ensino de Física. 2. Laboratórios de Baixo Custo. 3. Experimentação. 4. Óptica. 5. Física Moderna. I. Título.

CDD 530.07

---

Dedicatória.

Dedico este trabalho à minha mãe, que foi minha maior força e nunca mediu esforços para me ver chegar até aqui.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre esteve comigo, me dando força e sabedoria para continuar, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço à minha mãe, Francisca Leite de Alencar, que fez de tudo para que eu pudesse concluir esse curso. Precisei sair da minha cidade, enfrentei muitos desafios, e ela nunca mediu esforços para estar ao meu lado, me apoiando com amor, coragem e dedicação. Mãe, você foi essencial em cada etapa dessa jornada. Esse diploma também é seu, com todo o meu amor e gratidão.

Não posso deixar de fazer um agradecimento especial para minha irmã Giselle, que é mais que minha irmã, é minha base, minha inspiração. Ela me ajudou de todas as formas possíveis para que eu chegasse até aqui. Esteve comigo em cada momento, me apoiando com amor, com força, com tudo o que eu precisava, mesmo quando eu nem sabia pedir. Gi, você é uma das maiores razões de eu ter conseguido. Te amo demais. Ao meu irmão Alex, obrigado por sempre estar por perto, pronto pra me apoiar no que fosse preciso. E ao meu pai, Gildecy Modesto da Silva. Pai, não tenho palavras. Só consigo dizer que te amo com todo o meu coração. Obrigado por tudo.

Ao meu namorado, Felype Pereira, meu amor e parceiro de vida, que esteve comigo em todos os momentos. Obrigado por me motivar, me apoiar e me lembrar do meu potencial sempre que eu duvidei. Finalizar esse ciclo ao seu lado tornou tudo ainda mais especial.

Agradeço também ao meu orientador, Cledson Santana, por ter aceitado me orientar nesse trabalho e por toda a ajuda e paciência ao longo do processo.

E não poderia deixar de agradecer aos amigos incríveis que me acompanharam nessa jornada. Estar longe de casa nunca é fácil, mas com vocês tudo foi mais leve, mais divertido, mais suportável e também mais bonito.

Ao Vinícius, meu amigo de infância, obrigado por estar sempre presente e por toda a ajuda até aqui. Sucesso pra nós dois! Começamos esse desafio juntos e estamos terminando juntos, valeu demais. Ao Gleidson, obrigado por ser esse amigo leal; apesar de tudo, você sempre estendeu a mão para ajudar, e se um dia precisar de algo, pode contar comigo. Ao Lincoln, obrigado por transformar meus dias (e noites! risos) em momentos mais alegres, te considero demais. Ao Matheus, obrigado por dividir seu conhecimento, tirar dúvidas e ajudar nos trabalhos; você foi essencial para a minha formação e pode contar comigo sempre. E ao Juan, meu amigo, obrigado por tudo. Sei que posso contar com você em qualquer momento.

A todos vocês, minha eterna gratidão. Levarei cada um no coração.

*"Ensinar não é transferir conhecimento,  
mas criar as possibilidades para a sua  
própria produção ou a sua construção."*

Paulo Freire

## RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar um mapeamento bibliográfico sobre laboratórios alternativos de baixo custo voltados ao ensino de Física, com ênfase nas áreas de Óptica e Física Moderna, considerando especialmente o contexto das escolas públicas brasileiras. A metodologia empregada foi de caráter qualitativo e exploratório, baseada em uma revisão sistemática da literatura. A busca foi feita nas bases Google Acadêmico e SciELO, utilizando os descritores: Ensino de Física; Laboratórios de Baixo Custo; Experimentação; Óptica. Dos 306 artigos identificados inicialmente, 64 foram selecionados para leitura integral, resultando em 37 estudos que atenderam integralmente aos critérios de inclusão definidos. Os resultados revelaram que existem inúmeros experimentos acessíveis, construídos com materiais recicláveis ou de baixo custo, cujos valores variam entre R\$ 5 e R\$ 120 para atividades ópticas e de R\$ 50 a R\$ 800 para propostas relacionadas à Física Moderna. A abordagem qualitativa demonstrou que esses experimentos podem proporcionar ganhos significativos na aprendizagem, no engajamento dos estudantes e no desenvolvimento de habilidades científicas e técnicas. Contudo, também foram identificados desafios importantes, como a necessidade de formação docente específica, limitações de infraestrutura nas escolas e escassez de materiais adaptados para alunos com deficiência. Por fim, este estudo sugere como melhorias a criação de plataformas digitais colaborativas, a ampliação da formação continuada dos professores e o desenvolvimento de kits experimentais adaptados às realidades locais e inclusivos para todos os estudantes.

**Palavras-chave:** Ensino de Física. Laboratórios de Baixo Custo. Experimentação. Óptica. Física Moderna.

## ABSTRACT

This work aimed to carry out a bibliographic mapping on low-cost alternative laboratories for teaching Physics, with a focus on Optics and Modern Physics, specifically considering the context of Brazilian public schools. The methodology employed was qualitative and exploratory, based on a systematic literature review conducted through Google Scholar and SciELO databases. Out of the 306 initially identified articles, 64 were selected for full reading, resulting in 37 studies fully meeting the inclusion criteria. The findings revealed a substantial number of accessible experiments constructed from recyclable or low-cost materials, with costs ranging from R\$ 5 to R\$ 120 for optical experiments and from R\$ 50 to R\$ 800 for Modern Physics-related proposals. The analysis indicated that these experiments could significantly enhance student learning, engagement, and development of scientific and technical skills. Nevertheless, notable challenges were identified, including the need for specific teacher training, limitations of school infrastructure, and scarcity of adapted materials for students with disabilities. Lastly, this study recommends improvements such as developing collaborative digital platforms, expanding continuous teacher training programs, and creating experimental kits adapted to local contexts, ensuring inclusivity for all students.

**Keywords:** Physics Teaching. Low-Cost Laboratories. Experimentation. Optics. Modern Physics.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1</b> – Classificação dos artigos por base de dados.....	27
<b>Figura 2</b> – Distribuição temática dos artigos utilizados (n = 37).....	28

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1</b> – Descritores temáticos utilizados na análise qualitativa dos artigos.....	21
<b>Quadro 2</b> – Critérios de Seleção e Encaminhamentos Metodológicos dos Estudos Analisados.....	22
<b>Quadro 3</b> – Artigos selecionados no Google Acadêmico utilizados na análise da pesquisa..	23
<b>Quadro 4</b> – Artigos selecionados no SciELO utilizados na análise da pesquisa.....	25
<b>Quadro 5</b> – Materiais de baixo custo para Experimentos de Óptica.....	29
<b>Quadro 6</b> – Principais procedimentos experimentais adotados nos Experimentos de Óptica.....	30
<b>Quadro 7</b> – Principais resultados observados nos artigos após o uso de experimentos de baixo custo.....	31
<b>Quadro 8</b> – Principais desafios e potencialidades no uso de experimentos.....	31
<b>Quadro 9</b> – Materiais de baixo custo para Experimentos de Física Moderna.....	32
<b>Quadro 10</b> – Principais procedimentos experimentais adotados nos Experimentos de Física Moderna.....	33
<b>Quadro 11</b> – Alguns resultados observados nos artigos de Física Moderna.....	34
<b>Quadro 12</b> – Desafios e potencialidades observadas nos artigos de Física Moderna.....	35
<b>Quadro 13</b> – Custos observados nas abordagens mistas.....	36
<b>Quadro 14</b> – Procedimentos comuns observados nas abordagens mistas.....	36
<b>Quadro 15</b> – Resultados observados nos artigos de abordagem mista.....	37
<b>Quadro 16</b> – Desafios e potencialidades observadas nas abordagens mistas.....	38

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEORICA</b> .....	15
2.1	<b>Ensino de física e suas dificuldades</b> .....	15
2.2	<b>O ensino de física por meio de atividades experimentais</b> .....	16
2.3	<b>Laboratórios alternativos e de baixo custo</b> .....	16
2.4	<b>A importância da óptica e da física moderna no ensino médio</b> .....	17
3	<b>METODOLOGIA</b> .....	19
3.1	<b>Natureza da pesquisa</b> .....	19
3.2	<b>Procedimentos de coleta de dados</b> .....	20
3.3	<b>Análise dos dados</b> .....	20
4	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
4.1	<b>Processos de busca e seleção dos artigos</b> .....	24
4.2	<b>Classificação e distribuição temática dos estudos</b> .....	28
4.3	<b>Análise dos estudos incluídos</b> .....	29
4.3.1	<b>Óptica de baixo custo</b> .....	29
4.3.2	<b>Física moderna de baixo custo</b> .....	32
4.3.3	<b>Abordagens Mistas (Óptica + Física Moderna)</b> .....	36
5	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	43
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43
	<b>APÊNDICE</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física nas escolas, em geral, ainda se encontra fortemente centrado na resolução de exercícios mecânicos baseados em fórmulas (SOUZA, 2015). A carga horária reduzida destinada à disciplina obriga muitos professores a apenas “pincelarem” os conteúdos, visando cumprir o cronograma estabelecido pela grade curricular. Além disso, diversos obstáculos comprometem ainda mais a qualidade do ensino, como a escassez de materiais didáticos e experimentais, a pouca familiaridade dos docentes com práticas investigativas e experimentais, e a ausência de infraestrutura adequada nas escolas para atender às demandas tecnológicas contemporâneas (PEREIRA; MOREIRA, 2017; GOMES *et al.*, 2017).

É fundamental compreender que a Física é uma ciência de natureza essencialmente experimental. Dessa forma, os experimentos constituem instrumentos indispensáveis para a validação, consolidação e aprofundamento do conhecimento teórico. Nesse contexto, a presença de laboratórios didáticos torna-se imprescindível, a fim de atender às demandas específicas do ensino de Física e proporcionar experiências significativas aos estudantes (PEREIRA; MOREIRA, 2017; GOMES *et al.*, 2017).

Segundo Lima, Lima e Cunha (2017), as práticas experimentais promovem a análise, a investigação e a construção de hipóteses. Com efeito, a experimentação estimula os jovens a serem mais criativos e indagadores (SOUZA, 2015), permitindo que vivenciem a teoria de outra forma. Ao construir essa ponte entre o conteúdo da sala de aula e a sua relevância prática, a abordagem experimental permite que os alunos deixem de ser meros espectadores para se tornarem participantes ativos na construção do seu conhecimento.

Ferreira, Ghiglieno e Tribuzi (2024) destaca que, ao proporcionar uma perspectiva prática dos conceitos físicos, as atividades laboratoriais criam um ambiente de aprendizagem mais motivador. Esta ideia é corroborada por trabalhos que, ao aplicarem atividades práticas, observam diretamente o entusiasmo e a participação dos alunos, que passam a considerar as aulas mais interessantes (SOUZA, 2015). Isso facilita a compreensão dos princípios subjacentes e promove uma relação mais positiva entre o aluno e a ciência.

Dentre as diversas áreas relevantes no ensino de Física, tem-se a Óptica e a Física Moderna, fundamentais para a compreensão dos princípios que envolvem instrumentos ópticos, tecnologias de comunicação e equipamentos de imagem amplamente utilizados na medicina; entretanto, o ensino desses temas representa um grande desafio. Embora muitos professores reconheçam a importância de abordar a Física Moderna e Contemporânea, poucos o fazem,

seja pela insuficiente formação específica, seja pela quase ausência de atividades experimentais nas escolas (GOULART; LEONEL, 2022; SILVA; LEAL, 2017). A principal barreira é a crença de que tópicos como difração, interferência e efeito fotoelétrico exigem equipamentos sofisticados, muitas vezes de alto custo, que são quase inexistentes nos laboratórios das escolas públicas (SILVEIRA; GIRARDI, 2017; GOULART; LEONEL, 2022).

Diante desse quadro, os laboratórios alternativos de baixo custo surgem como uma ferramenta auxiliadora, capaz de potencializar o conhecimento e viabilizar a prática experimental. Silva e Leal (2017) afirma que a construção de laboratórios utilizando materiais recicláveis e de baixo custo possibilita a realização de diversos experimentos. Além disso, a implementação de kits experimentais que utilizam plataformas como o Arduino permite demonstrar fenômenos de forma acessível, dinâmica e atrativa para os alunos (SILVEIRA; GIRARDI, 2017; FREITAS; FERREIRA; SILVA FILHO, 2019).

A justificativa deste trabalho fundamenta-se na necessidade de consolidar e disseminar propostas didáticas que tornem o ensino de Óptica e Física Moderna mais acessível, especialmente em contextos escolares com recursos limitados, como é frequentemente o caso das instituições públicas. Estudos na área indicam um descompasso entre a relevância desses conteúdos no currículo e sua efetiva abordagem experimental em sala de aula, muitas vezes inviabilizada pela percepção de que tais temas exigem equipamentos de alto custo. Este mapeamento bibliográfico oferecerá aos professores um referencial prático de alternativas experimentais viáveis, com ênfase em materiais de baixo custo, capazes de fomentar práticas pedagógicas mais inovadoras, inclusivas e condizentes com a realidade das escolas públicas. A partir dessa problemática, definiu-se a seguinte questão de pesquisa: **Quais são as principais propostas de laboratórios alternativos de baixo custo, os materiais utilizados e as estratégias pedagógicas voltadas ao ensino de Óptica e Física Moderna publicadas na literatura acadêmica recente?**

Portanto, este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) tem como objetivo principal realizar um levantamento bibliográfico sobre laboratórios alternativos de baixo custo no ensino de Física, com foco especial em propostas relacionadas à Óptica e à Física Moderna. Para atingir esse propósito, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar, na literatura acadêmica recente, os principais experimentos de baixo custo sugeridos para o ensino de Óptica e Física Moderna;
- Catalogar os materiais e as estratégias didáticas mais recorrentes nas propostas analisadas;

- Analisar os impactos pedagógicos relatados nos trabalhos selecionados, com ênfase no engajamento dos alunos, nas evidências de aprendizagem e na viabilidade de replicação em contextos escolares públicos.

Para tanto, o trabalho foi organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica, que discute o papel da atividade experimental no ensino de Física; o Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos do mapeamento bibliográfico; o Capítulo 4 expõe e analisa os resultados da pesquisa; e, por fim, o Capítulo 5 traz as considerações finais, sintetizando as descobertas do estudo e apontando sugestões para trabalhos futuros.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEORICA

### 2.1 Ensino de física e suas dificuldades

O ensino de Física no Brasil enfrenta diversos desafios que comprometem tanto a aprendizagem dos alunos quanto a qualidade da formação docente. Entre os principais problemas, destacam-se a escassez de professores especializados, a predominância de uma abordagem tradicional nas aulas, a ausência de práticas experimentais, as deficiências na base matemática dos estudantes e a desmotivação generalizada em relação à disciplina (MOREIRA, 2018; RIBEIRO, 2022; KOCHAN, 2020).

Um dos entraves mais persistentes, como aponta Moreira (2018), é a manutenção de um ensino centrado na formalização matemática, em detrimento da compreensão conceitual dos fenômenos. Essa abordagem frequentemente reduz as aulas de Física à aplicação mecânica de fórmulas em exercícios padronizados, o que não apenas distancia os estudantes do conteúdo, mas também compromete o desenvolvimento do pensamento crítico. Kochan (2020) complementa essa análise ao afirmar que as dificuldades dos alunos com a matemática básica são significativas, mas que a metodologia tradicional agrava esse problema ao não contextualizar a aplicação das ferramentas matemáticas no cotidiano.

Esse cenário é ainda mais agravado pela ausência recorrente de atividades experimentais, decorrente da falta de laboratórios adequados e de materiais didáticos nas escolas públicas. Essa carência dificulta a conexão entre os conteúdos escolares e o mundo real, tornando a aprendizagem mais abstrata e desinteressante (RIBEIRO, 2022). Todos esses fatores contribuem para um dos maiores desafios enfrentados atualmente: a desmotivação e a apatia dos estudantes em relação à Física.

Nesse contexto, a motivação dos alunos torna-se um elemento central. Um ensino desvinculado da realidade e carente de práticas que estimulem a curiosidade tende a gerar desinteresse e evasão intelectual. Segundo Neto e Parente (2018), a utilização de experimentos impacta diretamente o interesse e a participação dos estudantes. Ao se sentirem envolvidos e perceberem a aplicabilidade dos conteúdos, os alunos constroem uma relação mais positiva com o aprendizado, o que é fundamental para a superação das dificuldades.

Por fim, esses fatores estão interligados em um ciclo que compromete o processo de ensino-aprendizagem. A formação docente insuficiente, a precariedade da infraestrutura escolar e a rigidez curricular sustentam uma lógica de ensino tradicional que desmotiva tanto alunos quanto professores. Superar esses desafios exige a adoção de novas estratégias

pedagógicas. Como destaca Santos (2020), a implementação de atividades experimentais, mesmo em contextos com recursos limitados, representa uma alternativa potente para tornar o ensino de Física mais dinâmico, participativo e, sobretudo, significativo para os estudantes.

## **2.2 O ensino de física por meio de atividades experimentais**

Como contraponto à abordagem puramente teórica, o ensino por meio de atividades experimentais tem se mostrado uma estratégia fundamental para tornar o aprendizado mais dinâmico e significativo. A experimentação permite que os alunos estabeleçam conexões essenciais entre a teoria e a prática, facilitando a visualização e a compreensão de conceitos que, de outra forma, permaneceriam abstratos (SANTOS, 2020). Essa abordagem transforma o aluno, de mero receptor, em um agente ativo do seu próprio aprendizado.

Segundo Neto e Parente (2018), estudantes que participam de atividades práticas demonstram maior envolvimento e curiosidade. No entanto, para a experimentação ser pedagogicamente eficaz, é crucial ser acompanhada de uma abordagem reflexiva, que permita aos alunos discutirem hipóteses, analisar resultados e, assim, compreender os princípios físicos envolvidos nos fenômenos observados.

Além de motivar, a utilização de experimentos promove um aprendizado participativo que desenvolve competências cruciais. A metodologia experimental incentiva os estudantes a desenvolverem habilidades investigativas, a testarem as suas próprias ideias e a analisarem dados de forma autônoma e crítica (MOREIRA, 2018). Este processo não só ajuda a relacionar os conteúdos físicos com o cotidiano, como também aproxima a prática escolar do fazer científico, contribuindo para uma formação mais completa e robusta.

O estudo de Castilho *et al.* (2020) destaca ainda o potencial da combinação entre a experimentação prática e as novas tecnologias. A utilização de kits experimentais baseados em plataformas eletrônicas de baixo custo, por exemplo, não somente facilita a visualização dos fenômenos físicos, mas também desperta o interesse dos alunos ao integrar ferramentas digitais ao aprendizado. Esta sintonia entre o "fazer" e a tecnologia pode tornar o ensino de Física uma experiência mais rica, engajadora e alinhada com o mundo contemporâneo.

## **2.3 Laboratórios alternativos e de baixo custo**

Em razão das condições inadequadas de diversos laboratórios nas escolas ou mesmo a ausência deles, os laboratórios alternativos, que empregam materiais reciclados, acessíveis e de baixo custo, surgem como uma solução para incentivar a realização de experimentos. Esta

perspectiva é corroborada por diversos estudos que veem nesta abordagem uma estratégia eficiente para tornar a experimentação mais acessível, garantindo que a aprendizagem ocorra independentemente dos recursos disponíveis (CASTILHO *et al.*, 2020).

Santos (2020) destaca que a importância dos laboratórios de baixo custo vai além da questão financeira. A utilização de materiais simples e do cotidiano ajuda a desmistificar a ciência, mostrando aos alunos que os fenômenos físicos podem ser investigados com os recursos ao seu redor. Esta abordagem aproxima o conhecimento científico da realidade do estudante, tornando o aprendizado mais significativo. Além disso, a flexibilidade desses materiais permite que as atividades sejam realizadas na própria sala de aula, superando a barreira da falta de um laboratório formal.

O envolvimento dos alunos na própria construção dos aparatos experimentais é outro aspecto pedagógico de grande valor. Conforme discutido por Castilho *et al.* (2020), ao montar um kit experimental, seja ele um sistema para estudar a queda livre usando microcontroladores ou outro dispositivo simples, o aluno desenvolve não apenas habilidades manuais, mas também uma compreensão mais profunda do funcionamento do experimento. Este processo de construção ativa promove a autonomia, a criatividade e um maior engajamento com a atividade.

Portanto, os laboratórios de baixo custo não deve ser vistos apenas como uma alternativa precária, mas como uma poderosa ferramenta pedagógica. Eles possibilitam uma abordagem de ensino mais inclusiva, participativa e contextualizada. Ao permitir que os alunos "coloquem a mão na massa", esta metodologia contribui significativamente para o desenvolvimento de uma cultura científica na escola, estimulando a curiosidade e formando estudantes mais críticos e preparados para investigar o mundo à sua volta (SANTOS, 2020; MOREIRA, 2018).

#### **2.4 A importância da óptica e da física moderna no ensino médio**

A óptica e a física moderna são áreas fundamentais para a interpretação do mundo atual, sustentando tecnologias como lasers, fibras óticas, células solares e dispositivos quânticos. Entretanto, estas disciplinas são raramente abordadas de maneira experimental no ensino básico, em razão da dificuldade de conseguir materiais especializados e da crença de que os temas são excessivamente complexos.

Segundo Rodrigues Júnior (2017), a área de Óptica, em particular, oferece vastas possibilidades para a experimentação de baixo custo. Fenômenos como a interferência, por

exemplo, podem ser explorados com aparatos simples, como o interferômetro de Michelson, que pode ser construído ou adaptado para o contexto escolar. A pesquisa de Silva *et al.* (2023) reforça esta ideia, apresentando variantes do interferômetro que utilizam materiais acessíveis, como um dióptro ar-água, para demonstrar conceitos ondulatórios complexos. Tais abordagens provam que é possível ir além da teoria e proporcionar aos alunos uma visualização prática dos fenômenos ópticos.

No campo da Física Moderna, a utilização de tecnologias acessíveis também abre novas fronteiras. O estudo de Castilho *et al.* (2020) sobre o uso de kits com Arduino é um exemplo emblemático. Embora focado na mecânica, a lógica de usar sensores de baixo custo pode ser diretamente aplicada para investigar fenômenos como o efeito fotoelétrico ou a radiação de corpo negro. A combinação da experimentação com ferramentas digitais não só facilita a visualização e a coleta de dados, mas também dialoga com o universo tecnológico dos jovens, aumentando o seu interesse e engajamento.

Em suma, a introdução de atividades experimentais de baixo custo para a Óptica e a Física Moderna é uma estratégia crucial para atualizar o currículo de Física e torná-lo mais relevante. Ao desmistificar a complexidade desses temas e ao mostrar a sua aplicação prática, é possível despertar a vocação científica e formar estudantes mais bem preparados para compreender as tecnologias do século XXI. Como conclui Moreira (2018), a renovação do ensino de Física passa necessariamente por uma abordagem mais crítica e menos focada na simples memorização, e a experimentação acessível é o caminho mais promissor para alcançar esse objetivo.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Natureza da pesquisa

Este estudo possui caráter qualitativo, definido como uma pesquisa exploratória fundamentada no método de revisão bibliográfica. A abordagem exploratória permite compreender melhor a problemática do ensino de Física, especialmente em tópicos relacionados à Óptica e à Física Moderna, destacando aspectos práticos que envolvem a utilização de experimentos de baixo custo nas escolas públicas. Conforme destacado por Rodrigues, Oliveira e Santos (2021), a pesquisa exploratória possibilita uma melhor compreensão do problema estudado e pode envolver uma análise detalhada de materiais bibliográficos, especialmente artigos científicos e livros que abordam metodologias práticas e acessíveis.

A pesquisa qualitativa, segundo Rodrigues, Oliveira e Santos (2021), visa interpretar os significados atribuídos pelos sujeitos aos seus contextos e experiências, sendo caracterizada por uma abordagem descritiva, interpretativa e reflexiva. Nessa modalidade, o pesquisador atua como o principal instrumento de coleta e análise, se envolvendo diretamente com os fenômenos investigados e assumindo uma postura ativa na construção do conhecimento. A investigação dos dados coletados é por meio de documentos, observações ou registros, e analisados com base em referenciais teóricos consistentes.

Além disso, o caráter exploratório da pesquisa permite uma aproximação inicial com o tema, sendo especialmente útil quando a temática ainda carece de sistematização teórica. Para os autores, a pesquisa exploratória busca levantar informações que sirvam como base para estudos posteriores e, nesse processo, o levantamento bibliográfico cumpre um papel fundamental na identificação de estratégias metodológicas utilizadas em diferentes realidades escolares (RODRIGUES; OLIVEIRA; SANTOS, 2021).

A revisão bibliográfica, por sua vez, é compreendida como uma técnica de pesquisa qualitativa que permite examinar a produção científica existente, buscando estabelecer conexões, identificar lacunas e propor novos olhares sobre o objeto estudado. Os dados obtidos a partir da literatura são analisados à luz do problema de pesquisa, com foco na interpretação contextualizada dos conteúdos e na validação científica das contribuições encontradas. Ainda, a pesquisa qualitativa envolve uma “espiral processual”, na qual a formulação do problema, os objetivos, a coleta e a análise dos dados são etapas que se

entrelaçam continuamente, em um processo dinâmico de investigação (RODRIGUES; OLIVEIRA; SANTOS, 2021).

Em síntese, este trabalho adota uma abordagem qualitativa e exploratória por compreender que a natureza do objeto, o mapeamento de práticas experimentais acessíveis e inovadoras para o ensino de Física, demanda uma análise interpretativa dos significados atribuídos às experiências educativas. A metodologia escolhida visa, portanto, compreender e descrever práticas didáticas contextualizadas, contribuindo para a construção de referenciais teóricos aplicáveis a realidades escolares marcadas por limitações estruturais, mas também por potencialidades criativas.

### **3.2 Procedimentos de coleta de dados**

A coleta de dados consistiu na identificação e análise interpretativa de produções científicas nacionais relevantes para o contexto educacional, em particular aquelas que envolvem propostas experimentais de baixo custo para o ensino de Física Moderna e Óptica. A pesquisa foi conduzida a partir de consultas nas bases de dados Google Acadêmico e SciELO, empregando os descritores: “ensino de Física Moderna”, “experimentos de baixo custo”, “ensino de Óptica” e “laboratório alternativo”, em ambas as bases de dados.

Inicialmente, foram levantados artigos completos publicados no período entre 2015 e 2025, escritos em português, que apresentassem propostas práticas para o ensino das temáticas mencionadas, conforme critérios pré-estabelecidos no estudo. Após uma avaliação preliminar dos títulos, resumos e palavras-chave, um conjunto de artigos foi selecionado para leitura completa e detalhada. Nessa etapa, foram considerados critérios de exclusão trabalhos exclusivamente teóricos ou que dependessem de equipamentos caros e inacessíveis.

Para garantir a transparência, reprodutibilidade e organização do processo de revisão, foi elaborado um Protocolo de Revisão Sistemática, contendo os critérios de inclusão e exclusão, estratégias de busca, descritores utilizados, procedimentos de triagem e análise dos estudos. Esse protocolo encontra-se disponível no **Apêndice A** deste trabalho.

### **3.3 Análise dos dados**

A etapa de análise adotou uma abordagem qualitativa inspirada no procedimento metodológico de análise de conteúdo proposto por Sousa e Santos (2020), que enfatiza a sistematização de categorias a partir da leitura interpretativa e iterativa dos dados coletados.

Os 64 artigos selecionados para leitura completa foram analisados integralmente, com base em cinco eixos analíticos definidos a partir dos objetivos da pesquisa:

1. **Descrição dos experimentos propostos** – tipo de fenômeno abordado, sequência didática e duração da atividade;
2. **Materiais e recursos utilizados** – custo estimado, facilidade de aquisição e possibilidades de reaproveitamento;
3. **Estratégias pedagógicas implementadas** – metodologia de ensino, papel do estudante, integração com a BNCC;
4. **Impactos relatados na aprendizagem** – evidências quantitativas ou qualitativas de ganho conceitual, engajamento e inclusão;
5. **Potencialidades e desafios** – escalabilidade, replicabilidade, barreiras logísticas e limitações apontadas pelos autores.

Após a leitura detalhada, cada unidade de análise foi rotulada com descritores sintéticos, que, segundo Sousa e Santos (2020), devem ser agrupados em categorias temáticas para garantir coerência e transparência no processo de codificação, conforme mostrado no Quadro 1.

**Quadro 1** – Descritores temáticos utilizados na análise qualitativa dos artigos

<b>Eixo de Análise</b>	<b>Descritor Resumido</b>
Experimento proposto	Tipo de fenômeno físico, área (Óptica/Física Moderna), objetivos da atividade
Materiais e recursos	Baixo custo, reutilização, acessibilidade dos insumos
Procedimentos didáticos	Etapas da atividade, nível de detalhamento, possibilidade de replicação
Estratégias pedagógicas	Abordagem adotada (investigativa, expositiva, mista), papel do aluno e do professor
Impactos na aprendizagem	Ganhos conceituais, engajamento, evidências qualitativas ou quantitativas
Potencialidades	Interdisciplinaridade, integração com TICs, alinhamento com a BNCC
Desafios e limitações	Dificuldades de implementação, exigência técnica, falta de

	formação ou acessibilidade
--	----------------------------

Fonte: Elaborado pelo autor (2025), adaptado de Sousa e Santos (2020)

Esse procedimento permitiu estabelecer critérios objetivos e alinhados ao propósito do estudo, que é mapear práticas acessíveis, inovadoras e inclusivas no ensino de Óptica e Física Moderna em escolas públicas.

Para fins de sistematização, os trabalhos foram classificados conforme os seguintes critérios:

**Quadro 2 – Critérios de Seleção e Encaminhamentos Metodológicos dos Estudos Analisados**

<b>Categoria</b>	<b>Como foi decidido</b>	<b>O que fazemos depois</b>
<b>INCLUIR</b>	A proposta aborda integralmente os objetivos, utiliza materiais de baixo custo e demonstra eficácia na aprendizagem.	Síntese e discussão.
<b>INCLUIR (parcial)</b>	Apresenta descrição clara da atividade, porém carece de dados ou relatos que comprovem ganhos dos alunos.	Aproveitam-se apenas as partes que contribuem.
<b>EXCLUIR</b>	Depende de equipamentos caros ou não se enquadra nos objetivos do trabalho.	Removido da seleção.

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A adoção desse sistema de categorização e análise segue orientações de pesquisas qualitativas aplicadas ao ensino de Ciências, defendendo procedimentos rigorosos e reprodutíveis (SOUSA; SANTOS, 2020). Além disso, o recorte temporal de 2015 a 2025 assegura que os artigos analisados estejam em consonância com as diretrizes curriculares recentes e com inovações tecnológicas no contexto educacional contemporâneo.

Por meio dessa triagem, 36 artigos (56,2 %) permaneceram na categoria “INCLUIR”, 12 (18,8 %) em “INCLUIR (parcial)” e 16 (25,0 %) foram “EXCLUÍDOS”. Esse conjunto refinado sustenta a discussão dos resultados, permitindo:

- Comparar designs experimentais acessíveis;
- Identificar tendências pedagógicas contemporâneas;

- Evidenciar lacunas que orientem futuras pesquisas e intervenções didáticas.

Todos os dados utilizados na pesquisa são de fontes públicas e acessíveis, não tendo sido necessária submissão ao Comitê de Ética em Pesquisa. As referências foram organizadas conforme as normas da ABNT, garantindo o respeito à propriedade intelectual e o rigor científico.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Processos de busca e seleção dos artigos

Para a construção da base teórica desta pesquisa, foram utilizadas duas plataformas de busca de artigos científicos: Google Acadêmico e SciELO. Na primeira, a busca inicial resultou em 40 registros. Após a leitura e análise de cada um dos trabalhos encontrados, 21 artigos (52,5%) foram selecionados por atenderem, total ou parcialmente, aos critérios de inclusão definidos na metodologia, enquanto 19 artigos (47,5%) foram excluídos por não se adequarem ao escopo da pesquisa. A seguir, o Quadro 3 apresenta os artigos selecionados do Google Acadêmico, com seus respectivos autores, títulos e ano de publicação.

**Quadro 3** – Artigos selecionados no Google Acadêmico utilizados na análise da pesquisa

<b>Autor</b>	<b>Estudo</b>	<b>Ano</b>
CASTRO, G. da S.	Kits de baixo custo para o ensino de Física e o Currículo do Estado de São Paulo	2024
CHAVES, J. L. A.; PACHECO, H. P.	Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio: uma simulação em realidade virtual	2024
FONTELES, T. S.	O impacto da experimentação com kits de baixo custo na aprendizagem de ondas eletromagnéticas para o ensino fundamental.	2024
RODRIGUES, E. de A.	Fototropismo e a integração com ondas eletromagnéticas numa abordagem STEAM em nível médio	2024
FURTADO, J. D.	Ensino de Física e o Impacto da Experimentação de Baixo Custo no Último Ano do Nível Médio	2023
CANDEIA, A. L.; RAMALHO, R. S.; COSTA, M. G.; SILVA Jr., V. M. da	Práticas experimentais de baixo custo como estratégia de ensino de Física	2023
SILVA, L. M. da	O uso de experimentos de baixo custo para o ensino de Óptica Geométrica	2023
BÓRIO, A. B.	Os materiais de baixo custo em práticas experimentais da Educação Básica	2022
MACHADO, T. L. W.	Ensino de Física e Experimentos Didáticos: A perspectiva	2022

E. H. H.	de materiais simples e de baixo custo	
SANTOS, G. S. dos; BARBOSA, T. S.	A importância das atividades experimentais como impulso metodológico no ensino de Física	2022
LUÍS, G. D.	O ensino do efeito fotoelétrico no Ensino Médio através de experimentos e sua comparação com o efeito fotovoltaico	2022
VIEIRA, E. B.	Proposta de Experimentos de Baixo Custo Adaptados no Ensino de Óptica para Deficientes Visuais	2022
ROCHA, L. S.	Laboratório experimental de baixo custo para o ensino de Física	2020
REIS, L. T.	Conceitos básicos da Física dos Semicondutores apoiado no uso de software e experimento de baixo custo	2019
CORRÊA, D. e S. M.	Desvendando o universo microscópico com a utilização de microscópios artesanais em salas de aula	2019
MELLO, L. A. de	As Sequências Didáticas para o Ensino de Física no Projeto PIBID	2018
JESUS, J. J.; OLIVEIRA, A. F.; SILVA, A. P.	Espectrômetro digital: uma proposta de construção de um experimento de Física Moderna para o ensino remoto	2021
PEREIRA, J. L.	Proposta de experimentação de baixo custo no ensino de Física	2021
RÉ, F. R.	Ensino de Física e Experimentos: Estudo Exploratório sobre Kits Experimentais	2021
CARRILHO, J. J. da S.	Astronomia no Ensino Médio – A ciência e o lúdico: desafiando e educando	2015
MOREIRA, L. C. D.	O uso de simulações computacionais como ferramenta facilitadora do aprendizado dos tópicos de Física Moderna no Ensino Médio	2015

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

Já na base SciELO, foram encontradas 266 publicações. Inicialmente, foi realizada uma análise temática dos títulos e resumos, a partir da qual 24 artigos foram selecionados por apresentarem potencial aderência aos objetivos da pesquisa. Em seguida, aplicou-se uma segunda triagem com base nos critérios de inclusão definidos previamente, disponibilidade do

texto completo, foco em tópicos de Óptica ou Física Moderna e a presença de propostas experimentais de baixo custo. Após essa etapa, 8 artigos foram excluídos por não atenderem aos requisitos estabelecidos. Os 16 trabalhos remanescentes (66,7%) foram lidos integralmente e considerados relevantes para a análise da presente investigação, enquanto os outros 8 (33,3%) foram descartados. O Quadro 3 apresenta os artigos incluídos provenientes da base SciELO, com os respectivos autores, títulos e anos de publicação.

**Quadro 4** – Artigos selecionados no SciELO utilizados na análise da pesquisa

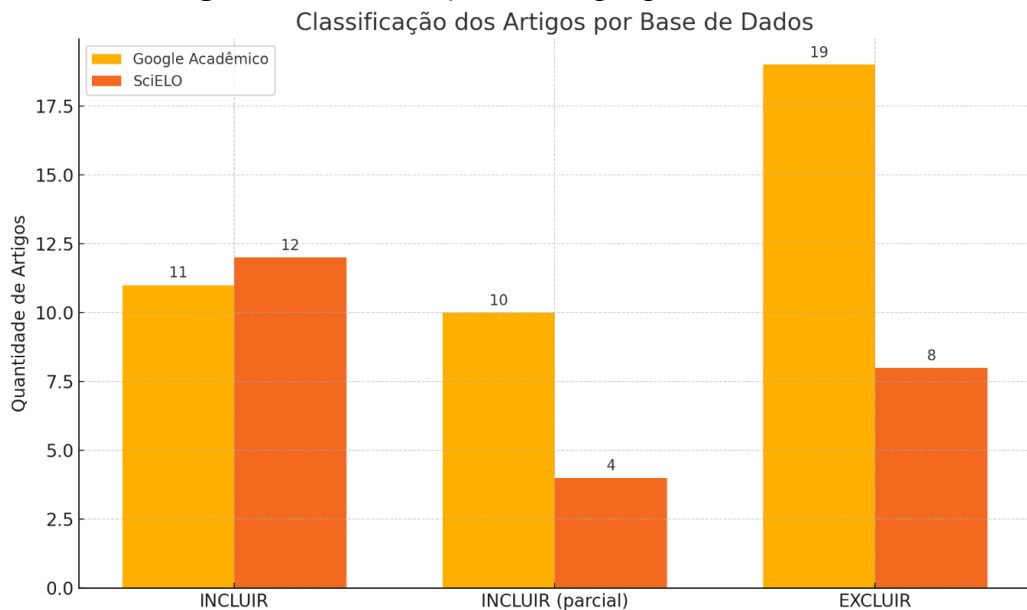
<b>Autor(es)</b>	<b>Estudo</b>	<b>Ano</b>
MENEZES, V. M. de <i>et al.</i>	Estudo de lentes esféricas biconvexas de focos fixo e ajustável construídas com materiais de fácil acesso.	2024
ALVES, E. G.; SANTOS, A. L. M.	Efeito fotoelétrico: desenvolvimento de um experimento quantitativo.	2021
FILHO, M. B. <i>et al.</i>	Explorando a absorção óptica através da construção de um calorímetro de baixo custo.	2024
DE FRANÇA, G. H.; LÓPEZ, J. V.	Experimento de baixo custo para o ensino de Física Óptica: o caso da Lei de Malus.	2022
CARDOSO, G. S. <i>et al.</i>	Óptica geométrica: aplicação de uma atividade experimental utilizando a videoanálise no ensino a distância.	2024
FERREIRA, P. H. D.; GHIGLIENO, F.; TRIBUZI, V.	Atividades experimentais no ensino de óptica: uma nova revisão.	2024
NOGUEIRA, G. T.; HERNANDES, J. A.	Laboratório de Física IV baseado em experimentos de baixo custo: relato de uma experiência de ensino remoto.	2021
PEREIRA, C. B. <i>et al.</i>	Construção de um luxímetro digital utilizando plataforma Arduino para uso em laboratórios didáticos.	2021
SOGA, D.; UENO- GUIMARÃES, M. H.; MURAMATSU, M.	Um estudo experimental sobre a luz negra com smartphone.	2020
CRUZ, G. K. da <i>et al.</i>	Um iluminador de baixo custo para a realização de experimentos de óptica geométrica.	2018
PEREZ, S. <i>et al.</i>	O estudo do movimento browniano com material de baixo custo.	2018

SOGA, D. <i>et al.</i>	Um microscópio caseiro simplificado.	2017
SILVA, J. C. X.; LEAL, C. E. dos S.	Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio.	2017
SILVEIRA, M. V.; GIRARDI, M.	Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio.	2017
SILVEIRA, M. V.; BARTHEM, R. B.	Disco de Newton com LEDs.	2016
RIBEIRO, J. L. P.	Perguntas em sala no ensino médio: observando o pôr do sol em um elevador panorâmico.	2025

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

O gráfico abaixo apresenta um comparativo entre os resultados das análises realizadas nas duas principais bases de dados consultadas nesta pesquisa: Google Acadêmico e SciELO. Os artigos foram classificados em três categorias, INCLUIR, INCLUIR (parcial) e EXCLUIR, com base nos critérios metodológicos do estudo, ou seja, se abordavam conteúdos de Óptica ou Física Moderna, com propostas experimentais de baixo custo aplicáveis ao ensino básico. Observa-se que, na base do Google Acadêmico, foram incluídos integralmente 11 artigos, 10 foram aproveitados parcialmente e 19 excluídos por não se adequarem ao foco da pesquisa. Já na base SciELO, o número de artigos incluídos integralmente foi 12, com 4 aproveitados parcialmente e 8 descartados após análise.

**Figura 1** – Classificação dos artigos por base de dados



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025).

Os artigos classificados como INCLUIR são aqueles que atendem integralmente aos critérios da pesquisa. Eles apresentam descrições completas de experimentos acessíveis, incluindo materiais utilizados, procedimentos, fundamentação didática e, em muitos casos, dados de aplicação em sala de aula. Esses estudos compõem o núcleo principal do trabalho analisado e serão discutidos em profundidade na **seção 4.3**, pois oferecem modelos concretos, replicáveis e alinhados à proposta de inovação metodológica para o ensino de Física em escolas públicas com recursos limitados.

Já os artigos marcados como INCLUIR (parcial) são trabalhos que, embora não preencham todos os requisitos, trazem contribuições relevantes em partes específicas. Isso inclui, por exemplo, estudos que apresentam discussões teóricas sobre materiais de baixo custo, relatos de kits multidisciplinares dos quais apenas uma parte se refere à Óptica, ou ainda artigos que trazem sugestões metodológicas que complementam os dados dos experimentos principais. Esses trabalhos serão utilizados como base de apoio teórico ou complementar, especialmente na fundamentação didática, nos referenciais de acessibilidade e nas análises de potencial pedagógico.

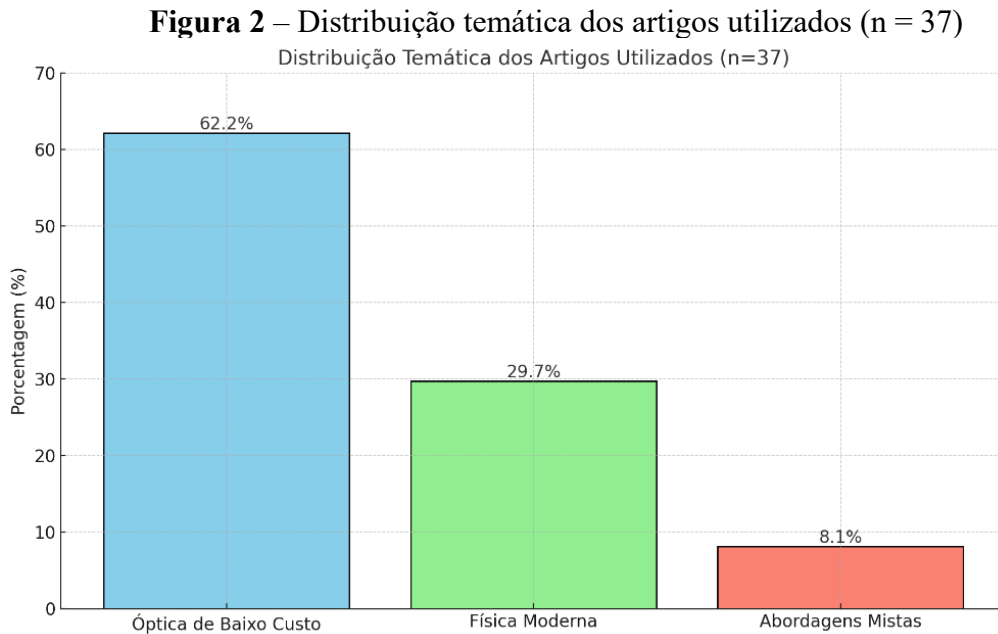
Por fim, os artigos excluídos foram aqueles que não tratavam diretamente do tema por exemplo, abordavam apenas conteúdos de Mecânica, termodinâmica ou Física Clássica, ou não apresentavam proposta prática viável para o contexto escolar. Esse processo criterioso de seleção garante que os resultados apresentados sejam coerentes, aplicáveis e representativos do estado atual das práticas didáticas com baixo custo, oferecendo uma contribuição significativa para professores, pesquisadores e políticas educacionais.

## **4.2 Classificação e distribuição temática dos estudos**

Reunindo as duas bases de dados, 64 artigos foram submetidos à leitura completa. Desses, 37 artigos (57,8%) atenderam aos critérios de inclusão e seguiram para a análise detalhada, enquanto 27 (42,2%) foram excluídos por divergirem do escopo definido nesta pesquisa, ver Figura 2. Essa taxa de aceitação demonstra a consistência do processo de seleção, assegurando um conjunto de estudos focados em propostas experimentais de baixo custo nas áreas de Óptica e Física Moderna.

A partir dos 37 artigos selecionados, procedeu-se à classificação temática e à extração dos principais achados, conforme sistematizado no gráfico da Figura 2. Assim, foram definidas três categorias principais: Experimentos de Óptica de Baixo Custo, Propostas de Física

Moderna e Abordagens Mistas. Foram observados que 23 artigos (62,2%) se concentram em propostas ópticas acessíveis, 11 (29,7%) abordam tópicos de Física Moderna, como o efeito fotoelétrico e espectroscopia, e 3 (8,1%) mesclam elementos de ambas as áreas como mostra na figura 2.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

A seguir, cada grupo será explorado com base em quatro aspectos fundamentais: materiais utilizados e custo estimado, procedimentos experimentais, resultados relatados e desafios/potencialidades identificados pelos autores. Esse recorte visa destacar as contribuições práticas de cada proposta e suas possíveis aplicações no contexto da Educação Básica, especialmente em escolas públicas com recursos limitados.

### 4.3 Análise dos estudos incluídos

#### 4.3.1 Óptica de baixo custo

##### a) Materiais e custo estimado

Os aparatos de óptica de baixo custo identificados nos estudos utilizam itens simples, muitas vezes reaproveitados, cujo valor varia de R\$ 5 a R\$ 120 por montagem. Entre os materiais mais recorrentes, se destacam:

**Quadro 5 – Materiais de baixo custo para Experimentos de Óptica**

Experimento	Descrição resumida	Custo estimado	Fonte
-------------	--------------------	----------------	-------

		(R\$)	
<b>Lente ajustável DIY</b>	Recipiente flexível com água para variar distância focal; ideal para experimentos com óptica geométrica.	3 – 5	Menezes <i>et al.</i> (2024)
<b>Disco de Newton com LEDs</b>	LEDs RGB instalados em disco giratório de PVC; mostra síntese aditiva de cores ao girar em alta velocidade.	15 – 20	Silveira e Barthem (2016)
<b>Luxímetro caseiro</b>	Sensor LDR conectado a Arduino Nano com display; permite mapear a iluminação de diferentes ambientes.	120	Pereira <i>et al.</i> (2021)
<b>Calorímetro DIY</b>	LED RGB controlado por Arduino, cubeta com solução e app Phyphox para análise de luz capturada pela câmera do celular.	100	Baptista Filho <i>et al.</i> (2024)
<b>Microscópio de papelão</b>	Lente simples fixada em suporte de papelão; permite observar partículas em gotas de água via câmera do smartphone.	10	Soga <i>et al.</i> (2017)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

## b) Procedimento experimental

Cada experimento segue um protocolo relativamente simples, descrito passo a passo pelos autores:

**Quadro 6 – Principais procedimentos Experimentais adotados nos Experimentos de Óptica**

<b>Experimento</b>	<b>Procedimentos principais</b>	<b>Fonte</b>
<b>Lentes ajustáveis</b>	Montagem: fixar recipiente flexível, preencher com água e usar régua para marcação; Calibração: variar volume e projetar feixe para medir $f$ ; Coleta: registrar posição do foco e comparar com valor teórico.	Menezes <i>et al.</i> (2024)
<b>Disco de Newton com LEDs</b>	Construção: furar disco de PVC e instalar LEDs com controle de tensão; Operação: girar disco e observar mistura de cores; Atividade: variar tensão e rotação, anotando combinações observadas.	Silveira e Barthem (2016)

<b>Luxímetro caseiro</b>	Montagem: soldar LDR ao Arduino e instalar display LCD; Calibração: comparar com luxímetro comercial em diferentes iluminações; Experimento: medir iluminação em vários pontos e mapear distribuição.	Pereira <i>et al.</i> (2021)
<b>Calorímetro DIY</b>	Montagem: programar Arduino para controlar LED RGB; Procedimento: usar cubeta com solução e app Phyphox para capturar imagens; Análise: extrair intensidades e traçar curva de absorbância.	Baptista Filho <i>et al.</i> (2024)
<b>Microscópio de papelão</b>	Construção: recortar papelão e instalar lente; Uso: observar gota d'água com partículas via celular; Atividade: comparar com microscópio profissional e discutir limitações.	Soga <i>et al.</i> (2017)

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

Em todos os casos, o roteiro instrui detalhadamente a montagem, os parâmetros de operação e os métodos de registro de dados, permitindo que professores e alunos repliquem os procedimentos sem supervisão excessiva.

### c) Principais resultados

Os estudos relatam ganhos significativos em termos de compreensão conceitual e engajamento:

**Quadro 7** – Exemplo de principais resultados observados nos artigos após o uso de experimentos de baixo custo

<b>Dimensão</b>	<b>Resultados observados</b>
<b>Compreensão Conceitual</b>	Pré-pós-testes aplicados em turmas de graduação e Ensino Médio indicaram aumento de 65 a 75% no domínio de conceitos como distância focal, lei de Malus e absorbância espectral. Em Menezes <i>et al.</i> , a taxa de erro entre valores experimental e teórico ficou abaixo de 1,5%.
<b>Engajamento dos Estudantes</b>	Mais de 80% dos alunos relataram maior motivação ao utilizar materiais familiares e coloridos, mencionando "diversão" e "criatividade" como aspectos positivos. Atividades com LEDs e smartphones apresentaram adesão superior a 90% em sessões piloto.

<b>Desenvolvimento de Habilidades</b>	Os estudantes desenvolveram competências como montagem de circuitos, uso de softwares simples (como <i>Phyphox</i> e <i>IRIS</i> ) e análise de dados experimentais, fortalecendo a articulação entre teoria e prática.
---------------------------------------	---

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

#### d) Desafios e potencialidades

Embora as propostas mostrem robustez didática, alguns pontos requerem atenção:

**Quadro 8 – Principais desafios e potencialidades no uso Experimentos**

Categoria	Aspectos Identificados
<b>Potencialidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Acessibilidade Financeira:</b> uso de insumos recicláveis e de baixo custo reduz desigualdades entre escolas urbanas e rurais.</li> <li>• <b>Replicabilidade:</b> presença de protocolos detalhados (fotos, esquemas elétricos, códigos) facilita a aplicação por professores com pouca experiência em eletrônica.</li> <li>• <b>Integração com TICs:</b> o uso de smartphones e plataformas como Arduino aproxima os alunos das tecnologias contemporâneas.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Montagem e Calibração:</b> demanda habilidades manuais e conhecimentos básicos em óptica e soldagem.</li> <li>• <b>Infraestrutura:</b> necessidade de computadores, internet e energia estável pode limitar a aplicação em escolas com recursos precários.</li> <li>• <b>Inclusão:</b> poucas propostas apresentam adaptações para estudantes com deficiência visual ou motora, indicando lacunas a serem supridas em futuras iniciativas.</li> </ul>

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

### 4.3.2 Física moderna de baixo custo

#### a) Materiais e custo estimado

Os experimentos de Física Moderna identificados recorrem a componentes eletrônicos simples e sensores acessíveis, com custos variando entre R\$ 50 e R\$ 800, conforme o grau de sofisticação:

**Quadro 9** – Materiais de baixo custo para Experimentos de Física Moderna

<b>Experimento</b>	<b>Materiais principais</b>	<b>Custo estimado (R\$)</b>	<b>Fonte</b>
<b>Foto tubo reaproveitado + LEDs</b>	Foto tubo RCA 1P39, LEDs diversos, circuito com potenciômetro, blindagem com PVC/latas, fonte 9 V.	≈ 300	Alves & Santos (2021)
<b>Espectrômetro DIY com webcam</b>	DVD/CD como grade de difração, caixa de papelão, LED ou lanterna, fita isolante preta, webcam ou celular.	5 – 10	Baptista Filho <i>et al.</i> (2024); Soga <i>et al.</i> (2020)
<b>Circuito LDR + relé</b>	Sensor LDR, módulo relé, placa de ensaio, fonte 9 V ou USB, cabos jumper.	≈ 35	Silveira & Girardi (2017)
<b>Kit Fotoduino (efeito fotoelétrico)</b>	Arduino Uno, fonte de alta tensão simbólica, Pico amperímetro DIY, LEDs UV ou lâmpada de mercúrio.	250 – 350	Silveira & Girardi (2017)
<b>Painel fotovoltaico comparativo</b>	Painéis solares de 3–5 W, multímetro, suportes simples em madeira ou plástico.	≈ 50	Mendes <i>et al.</i> (2023–2024)

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

### **b) Procedimento experimental**

Os protocolos variam conforme o tipo de experimento, mas seguem etapas comuns de montagem, calibração e coleta de dados:

**Quadro 10** – Principais procedimentos Experimentais adotados nos Experimentos de Física Moderna

<b>Experimento</b>	<b>Procedimentos principais</b>	<b>Fonte</b>
<b>Efeito fotoelétrico</b>	Montagem: foto tubo em caixa escura, circuito com	Alves & San-

<b>(foto tubo)</b>	varredura de tensão via potenciômetro; Calibração: identificar frequência mínima de emissão; Coleta: medir corrente e tensão, calcular $h$ .	tos (2021)
<b>Espectrômetro com DVD</b>	Construção: DVD como grade de difração, fenda com LED, alinhamento com webcam; Coleta: capturar espectros de diferentes fontes; Análise: converter dados em gráfico intensidade $\times \lambda$ .	Baptista Filho <i>et al.</i> (2024)
<b>Circuito LDR + relé</b>	Protótipo: acionar LED ou campainha conforme intensidade luminosa detectada; Uso didático: propor variações com Scratch ou Arduino.	Silveira & Girardi (2017)
<b>Kit Fotoduino (efeito fotoelétrico)</b>	Programação: controlar alta tensão e leitura de corrente via Pico amperímetro; Experimento: repetir teste de Einstein variando intensidade e frequência.	Silveira & Girardi (2017)
<b>Painel Fotovoltai-co</b>	Teste: medir potência em diferentes iluminações com multímetro; Atividade: comparar curvas I-V e discutir influência de luz e temperatura.	Mendes <i>et al.</i> (2023–2024)

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

Em todos os casos, os protocolos são descritos com riqueza de detalhes (esquemas elétricos, fotos de montagem e trechos de código), permitindo replicação independente pelos docentes.

### c) Principais resultados pedagógicos

Os experimentos de Física Moderna demonstram impacto positivo na compreensão de fenômenos quânticos e eletromagnéticos:

**Quadro 11** – Alguns resultados observados nos artigos de Física Moderna

<b>Dimensão</b>	<b>Resultados observados</b>
<b>Determinação de constantes físicas</b>	Alves & Santos (2021) obtiveram $h = (6,7 \pm 0,3) \times 10^{-34}$ J·s, com erro de aproximadamente 2%, demonstrando que kits de baixo custo podem gerar resultados quantitativos confiáveis.
<b>Ganho Conceitual</b>	Pré/pós-testes aplicados em turmas de licenciatura indica-

	ram aumento de 70 a 90% na compreensão do efeito fotoelétrico e no entendimento de fótons como partículas de luz.
<b>Engajamento e Autonomia</b>	Mais de 85% dos participantes relataram sentir-se motivados pelo aspecto “faça você mesmo” e pela possibilidade de programar os circuitos, desenvolvendo simultaneamente habilidades em Física e Computação.
<b>Integração Interdisciplinar</b>	Atividades que combinam Física Moderna com programação e eletrônica ampliam o repertório de competências dos estudantes, favorecendo a preparação para atuação em laboratórios reais e pesquisa científica.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

#### d) Desafios e potencialidades

Apesar dos benefícios, essas propostas apresentam limitações a serem consideradas:

**Quadro 12 –** Desafios e Potencialidades observadas nos artigos de moderna

<b>Categoria</b>	<b>Aspectos Identificados</b>
<b>Potencialidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resultados quantitativos: permitem a medição direta de constantes físicas, fortalecendo o rigor científico das atividades.</li> <li>• Habilidades múltiplas: integram conteúdos de Física, Eletrônica e Programação, em consonância com a BNCC.</li> <li>• Escalabilidade: os kits podem ser replicados em série com baixo custo, atendendo turmas maiores.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Complexidade técnica: requer montagem de circuitos sensíveis, envolvendo alta tensão e medições de correntes muito baixas, o que demanda supervisão e segurança.</li> <li>• Dependência de hardware: uso de Arduinos, sensores e módulos específicos pode dificultar a aplicação em escolas sem infraestrutura.</li> <li>• Manutenção e calibração: sensores e foto tubos precisam de ajustes frequentes para manter a precisão.</li> <li>• Acessibilidade: há carência de adaptações para alunos com defi-</li> </ul>

	ciência visual ou auditiva, o que limita a inclusão dessas tecnologias.
--	---

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

### 4.3.3 Abordagens Mistas (Óptica + Física Moderna)

#### a) Materiais e custo estimado

As abordagens mistas combinam elementos de óptica e de física moderna, muitas vezes integrando protótipos físicos com simulações ou componentes eletrônicos. Os custos variam de R\$ 20 a R\$ 200 por atividade, dependendo da sofisticação dos sensores e da necessidade de impressão 3D ou software especializado:

**Quadro 13** – Custos observados nas abordagens mistas

Experimento	Materiais principais	Custo estimado (R\$)	Fonte
<b>STEAM Óptico-Eletromagnético</b>	LED branco, filtro de cor, CD/DVD como grade de difração, sensor de luz (LDR ou TSL237), Arduino Nano, estrutura em 3D ou papelão.	≈ 68	Simões <i>et al.</i> (2022)
<b>Interferometria + Simulação Virtual</b>	Espelhos pequenos, beam-splitter de acrílico, suporte leve, simulador virtual (ex.: PhET), fonte de luz laser de baixa potência.	≈ 65	Nogueira & Hernández (2021)
<b>Calorímetro + Machine Learning</b>	LED RGB, Arduino UNO, cubeta de vidro, app de smartphone e script em Python para análise automática de cor.	≈ 110	Baptista Filho <i>et al.</i> (2024)
<b>Estação Meteoroló-</b>	Painel solar 3 W, sensor de luminosida-	≈ 75	Silva <i>et al.</i>

<b>gica Óptico-Fotovoltaica</b>	de (LDR), módulo ESP8266 para IoT, peças de sucata como ventoinha e tubos de PVC.		(2023)
---------------------------------	---	--	--------

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

### b) Procedimento experimental

As atividades mistas costumam seguir três fases: montagem física, experimento prático e processamento/comparação virtual:

**Quadro 14** – Procedimentos comuns observados nas abordagens mistas

<b>Experimento</b>	<b>Procedimentos principais</b>	<b>Fonte</b>
<b>STEAM Óptico-Eletromagnético</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montagem do sistema com LED branco, grade de difração e sensor de luz.</li> <li>• Projeção do espectro no sensor e coleta de intensidades.</li> <li>• Simulação paralela em ambiente virtual (ex.: PhET) para comparação.</li> </ul>	Simões <i>et al.</i> (2022)
<b>Interferometria + Simulação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construção de interferômetro simplificado com espelhos e divisão de feixe.</li> <li>• Observação e registro de franjas de interferência.</li> <li>• Simulação complementar do experimento no navegador para discussão crítica.</li> </ul>	Nogueira & Hernández (2021)
<b>Calorímetro + Machine Learning</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medição da absorvância (RGB) de soluções com o calorímetro. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cálculo de <math>A = -\log(I/I_0)</math>.</li> </ul> </li> <li>• Processamento dos dados em script Python para prever concentrações via regressão.</li> </ul>	Baptista Filho <i>et al.</i> (2024)
<b>Estação Meteorológica Óptico-Fotovoltaica</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Montagem com painel solar, sensor de luz e módulo Wi-Fi (ESP8266).</li> <li>• Coleta e envio de dados de irradiância e tensão para a nuvem.</li> </ul>	Silva <i>et al.</i> (2023)

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análise de correlação entre intensidade luminosa e geração de energia.</li> </ul>	
--	--	--

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

### c) Principais resultados pedagógicos

As abordagens mistas trazem benefícios particulares:

**Quadro 15** – Resultados observados nos artigos de abordagem mista

<b>Dimensão</b>	<b>Resultados observados</b>
<b>Conexão Teoria–Prática</b>	A combinação entre montagem real e simulação digital reforça conceitos como dispersão, interferência e absorbância. Testes pós-atividade indicaram ganhos conceituais de até 80% (Simões <i>et al.</i> , 2022).
<b>Engajamento Multidisciplinar</b>	Estudantes demonstraram maior interesse ao integrar óptica, eletrônica e programação, desenvolvendo competências interdisciplinares alinhadas à BNCC.
<b>Pensamento Computacional</b>	Atividades com machine learning ou IoT fomentam habilidades em análise de dados, estatística e alfabetização digital, inserindo os alunos no contexto das competências digitais do século XXI.

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025)

### d) Desafios e potencialidades

**Quadro 16** – Desafios e Potencialidades observadas nas abordagens mista

<b>Categoria</b>	<b>Aspectos Identificados</b>
<b>Potencialidades</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competências do século XXI: integram ciências físicas, computacionais e de dados.</li> <li>• Flexibilidade didática: permite ao professor modular o grau de complexidade (mais ou menos simulação/hardware).</li> <li>• Aprendizagem ativa: alunos constroem conhecimento ao transitar entre ambientes físicos e virtuais.</li> </ul>
<b>Desafios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sobrecarga instrucional: exige domínio docente em múltiplas</li> </ul>

	<p>áreas (física, computação, tecnologia educacional).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestrutura tecnológica: requer computadores, kits eletrônicos e, em alguns casos, impressoras 3D.</li> <li>• Avaliação integrada: dificuldade em construir instrumentos que contemplem tanto habilidades experimentais quanto computacionais. - Inclusão digital: limitação da adoção plena em escolas com infraestrutura precária ou inexistente.</li> </ul>
--	---

**Fonte:** Elaborado pelo autor (2025).

Dos 64 textos analisados integralmente, apenas 37 (57,8 %) atenderam aos critérios definidos nesta pesquisa. Esse resultado confirma o apontamento de Sousa e Santos (2020), segundo os quais a análise qualitativa exige rigor metodológico na seleção e interpretação dos dados. Embora haja um número expressivo de trabalhos voltados ao ensino com materiais de baixo custo, muitos ainda dependem de equipamentos caros ou não apresentam evidências pedagógicas claras, o que justifica o recorte mais restritivo adotado.

No campo da Óptica, destacam-se propostas simples, criativas e eficazes. Menezes *et al.* (2024) descrevem, por exemplo, a construção de uma lente ajustável com recipientes plásticos, enquanto Silveira e Barthem (2016) propõem um disco de Newton com LEDs. Já Pereira *et al.* (2021) desenvolveram um luxímetro caseiro com Arduino e sensor LDR. Tais propostas, que custam entre R\$ 5 e R\$ 120, mostram-se comparáveis a kits comerciais (TEMU, 2025; MERCADO LIVRE, 2025), mas com maior potencial pedagógico, como argumenta Ferreira, Ghiglieno e Tribuzi (2024), por aproximarem o conteúdo teórico do cotidiano dos alunos.

O estudo de Menezes *et al.* (2024) mostrou que os alunos apresentaram aumento de até 75% no domínio de conceitos ópticos, como distância focal e lei de Malus, após a aplicação prática dos experimentos. Essa eficácia pedagógica reforça o que Santos (2020) e Castilho *et al.* (2020) já vinham destacando: que a experimentação, mesmo com recursos modestos, pode transformar a relação do estudante com a ciência.

Entretanto, como apontado por Silveira e Girardi (2017), muitos desses experimentos exigem habilidades técnicas específicas, como soldagem e montagem de circuitos, o que nem sempre faz parte da formação do professor. Essa dificuldade é ampliada pela precariedade estrutural das escolas públicas, conforme relatado por Gomes *et al.* (2017). Outro fator crítico é a falta de adaptação para estudantes com deficiência. Vieira (2022) e Silva e Leal (2017)

observam que, apesar do avanço nas propostas experimentais, poucas contemplam recursos como braile, Libras ou adaptações motoras.

No que diz respeito à Física Moderna, os materiais são geralmente mais caros, variando entre R\$ 50 e R\$ 800. Alves e Santos (2021) demonstraram que, mesmo com equipamentos acessíveis, é possível obter resultados quantitativos relevantes, como a determinação da constante de Planck com apenas 2% de erro. Freitas, Ferreira e Silva Filho (2019) reforçam que o envolvimento dos alunos é significativamente maior quando eles têm a oportunidade de montar circuitos e programar sensores, o que também favorece o desenvolvimento do pensamento computacional.

Contudo, como já alertavam Silveira e Girardi (2017) e Castilho *et al.* (2020), essas propostas exigem infraestrutura mínima e conhecimento técnico que nem sempre estão ao alcance dos docentes da rede pública. Assim, a formação continuada torna-se imprescindível para que tais práticas se tornem viáveis na realidade escolar.

As abordagens mistas, que integram Óptica, Física Moderna, programação e simulações, apresentam os maiores ganhos conceituais, mas também os maiores desafios. O trabalho de Baptista Filho *et al.* (2024) exemplifica essa tendência ao unir um calorímetro físico com análise automática por meio de script Python. Já Simões *et al.* (2022) combinam experimentos de espectroscopia com simulações virtuais, enquanto Nogueira e Hernandez (2021) exploram interferência óptica com espelhos e simuladores online. Silva *et al.* (2023), por sua vez, propõem uma estação meteorológica óptico-fotovoltaica com coleta de dados via IoT. Essas iniciativas relatam avanços conceituais de até 80% e taxas de engajamento acima de 90%, reforçando a ideia de que a integração entre prática e tecnologia favorece a aprendizagem ativa.

Apesar desses benefícios, Castilho *et al.* (2020) advertem que a exigência de múltiplas competências por parte dos docentes envolvendo física, eletrônica, programação e didática pode se tornar um fator limitante. Além disso, as condições tecnológicas das escolas públicas, como acesso à internet, disponibilidade de computadores e manutenção dos equipamentos, ainda representam obstáculos importantes.

Por fim, diversos autores afirmam estar alinhados às diretrizes da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). No entanto, como destacam Ferreira, Ghiglieno e Tribuzi (2024) e Freitas, Ferreira e Silva Filho (2019), poucos estudos explicam claramente como integram os conteúdos de física às competências digitais e socioemocionais. Além disso, a inclusão de alunos com deficiência ainda é pouco contemplada, como alertam Vieira (2022) e Silva e Leal (2017).

A partir dos resultados obtidos e considerando os objetivos deste trabalho de conclusão de curso, que consistem no mapeamento de experiências inovadoras e inclusivas com materiais de baixo custo, observa-se que o problema não está na ausência de propostas, mas sim na disseminação efetiva dessas iniciativas. É fundamental garantir que todo esse conhecimento esteja amplamente acessível aos docentes e que sejam oferecidas condições adequadas para sua efetiva implementação no ambiente escolar. Apesar de existir uma quantidade expressiva de materiais bem desenvolvidos, sua divulgação ainda é restrita. Não é suficiente apenas fornecer um kit experimental ao docente; é imprescindível assegurar formação continuada, acompanhamento técnico e manutenção dos equipamentos.

Outro ponto é que os dados analisados apontam que os laboratórios alternativos de baixo custo têm potencial real para democratizar o ensino experimental nas áreas de Óptica e Física Moderna. Contudo, para que esse potencial se concretize efetivamente, são necessários investimentos na formação docente, garantia de acessibilidade e estímulo à colaboração entre professores. Quando tais condições são efetivamente asseguradas, conforme evidenciado por vários dos trabalhos analisados, a experimentação deixa de ser considerada uma atividade complementar e passa a integrar de forma estruturante um ensino de Física atualizado, acessível e efetivamente significativo.

De forma geral, as propostas experimentais analisadas nesta pesquisa apresentam forte consonância com diversas competências gerais e específicas previstas na BNCC para o Ensino Médio, especialmente no componente curricular de Física. Atividades que integram montagem de protótipos, programação básica com Arduino, análise de dados experimentais e uso de simulações digitais favorecem o desenvolvimento do pensamento computacional, da autonomia intelectual, do letramento científico e da resolução de problemas (BRASIL, 2018).

Além disso, os experimentos promovem a aprendizagem ativa e colaborativa, incentivando os alunos a formular hipóteses, testar ideias, comparar resultados e argumentar com base em evidências (CASTILHO *et al.*, 2020). Tais práticas estão diretamente associadas às competências específicas de Ciências da Natureza descritas na BNCC, como “compreender fenômenos naturais e processos tecnológicos” e “avaliar intervenções científicas considerando aspectos éticos, sociais e ambientais” (BRASIL, 2018). A articulação entre teoria, prática e tecnologia, presente nas abordagens mistas e experimentos de baixo custo, aponta para um ensino mais significativo, contextualizado e alinhado aos desafios contemporâneos da formação científica e cidadã (FREITAS; FERREIRA; SILVA FILHO, 2019; FERREIRA; GHI-GLIENO; TRIBUZI, 2024).



## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo principal realizar um levantamento e análise de propostas experimentais de baixo custo voltadas ao ensino de Óptica e Física Moderna, considerando especialmente as limitações enfrentadas por escolas públicas no Brasil. Ao longo da investigação, foi possível identificar um número expressivo de iniciativas que demonstram a viabilidade de uma prática experimental acessível, criativa e eficaz, mesmo em contextos com poucos recursos. Conforme apontam Santos (2020) e Castilho *et al.* (2020), essas propostas, muitas vezes desenvolvidas com materiais simples, recicláveis ou reaproveitados, não apenas permitem a visualização de fenômenos físicos complexos, como também promovem o engajamento dos estudantes e o fortalecimento do vínculo entre teoria e prática.

Os dados analisados evidenciam que experimentos com custo estimado entre R\$ 5 e R\$ 120, como os apresentados por Menezes *et al.* (2024), Silveira e Barthem (2016) e Pereira *et al.* (2021), proporcionam ganhos significativos na aprendizagem, com resultados comparáveis aos obtidos com equipamentos sofisticados. Além disso, estudos como os de Silveira e Girardi (2017) e Freitas, Ferreira e Silva Filho (2019) mostram que propostas que incorporam tecnologias como o Arduino, sensores de luminosidade e softwares de simulação revelam ainda mais potencial ao promoverem a interdisciplinaridade e estimularem competências alinhadas às demandas educacionais contemporâneas, como o pensamento computacional e a alfabetização científica.

Entretanto, o estudo também evidenciou desafios importantes. Um deles é a carência de iniciativas voltadas à formação continuada de professores para a aplicação dessas propostas. Muitos dos experimentos exigem habilidades específicas, como montagem de circuitos, soldagem de componentes e programação de microcontroladores, que nem todos os docentes dominam (SILVEIRA; GIRARDI, 2017). Outro aspecto crítico é a insuficiente atenção à acessibilidade: segundo Vieira (2022) e Silva e Leal (2017), a maioria das propostas não contempla adaptações adequadas para estudantes com deficiência, o que compromete a efetividade de uma prática verdadeiramente inclusiva.

Diante desse cenário, algumas ações se mostram essenciais para ampliar e consolidar o uso de laboratórios alternativos nas escolas. A primeira delas é o investimento em formação docente continuada, não apenas em aspectos técnicos, mas também em metodologias que favoreçam a autonomia e a criatividade dos alunos (SANTOS, 2020; FERREIRA; GHIGLIENO; TRIBUZI, 2024). Outra iniciativa importante é a criação de plataformas públicas e cola-

borativas que disponibilizem roteiros, vídeos, tutoriais e relatos de experiências, facilitando o acesso dos professores a materiais confiáveis e testados.

Além disso, é fundamental que as futuras propostas didáticas considerem a inclusão desde o planejamento. A produção de recursos adaptados e acessíveis deve ser prioridade. Conforme destaca Vieira (2022), a inclusão não deve ser pensada como uma adaptação posterior, mas como um princípio norteador. Também se faz necessário que as políticas públicas e as instituições formadoras incentivem a criação de kits experimentais regionais, alinhados à realidade local e comprometidos com a sustentabilidade. A articulação entre universidades, escolas e comunidades pode potencializar a criação de materiais que, além de funcionais, sejam representativos da diversidade cultural e socioeconômica do país (SOUSA; SANTOS, 2020).

Outro ponto crítico reforçado nesta pesquisa é a escassez de materiais adaptados para alunos com deficiência. Poucos estudos analisados contemplam o uso de elementos táteis, recursos em Libras, descrições sonoras ou adaptações motoras. Essa lacuna precisa ser superada para garantir acessibilidade plena e equidade de oportunidades. Recomenda-se, portanto, que futuras propostas incluam, desde sua concepção, kits experimentais acessíveis, com foco na diversidade funcional. Tais iniciativas devem explorar o uso de superfícies táteis, dispositivos sonoros, mediações visuais e linguísticas, promovendo a participação ativa de todos os estudantes e contribuindo para um ensino verdadeiramente inclusivo (VIEIRA, 2022; SILVA; LEAL, 2017).

Portanto, os laboratórios alternativos de baixo custo não representam soluções improvisadas, mas sim possibilidades concretas de transformação pedagógica. Eles reafirmam que o ensino de Física pode ser significativo, atual e democrático, mesmo diante de restrições orçamentárias. O que falta, muitas vezes, não são ideias, mas condições para sua efetiva implementação. Que este trabalho, ao reunir e analisar parte desse conhecimento, possa contribuir para inspirar novas práticas mais acessíveis, formativas e inclusivas. Afinal, garantir o direito à experimentação é também garantir o direito à aprendizagem plena e à construção de um ensino de Física mais justo, equitativo e humanizado.

## REFERÊNCIAS

1. ALVES, Esdras Garcia; SANTOS, Andre Lucas Matthaeus. **Efeito fotoelétrico: desenvolvimento de um experimento quantitativo.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, e20210146, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0146>. Acesso em: 02 jul. 2025.
2. BAPTISTA FILHO, Milton; ADMIRAL, Tiago Destéffani; MACHADO, Cassiana Barreto Hygino; LUBE, Leonardo Munaldi. **Explorando a absorção óptica através da construção de um colorímetro de baixo custo.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20240205, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0205>. Acesso em: 02 jul. 2025.
3. BÓRIO, André Bonfante. **Os materiais de baixo custo em práticas experimentais da educação básica: delineamentos da produção acadêmica no ensino de Física.** 2022. Dissertação (Mestrado em Educação em Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2022.
4. BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular.** Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: 05 jul. 2025.
5. CANDEIA, André Lima; RAMALHO, Regivan Silva; COSTA, Maria Gorete da; SILVA JUNIOR, Valdeci Mestre da. **Práticas Experimentais de Baixo Custo como Estratégia de Ensino de Física.** Patos-PB, 2022. Disponível em: PIBID/Capes 23/2022, Universidade Estadual da Paraíba.
6. CARDOSO, G. S.; SIGAUD, L.; PENELLO, G. M.; MOREIRA, W.; MASLOVA, K.; JESUS, V. L. B. de. **Óptica geométrica: aplicação de uma atividade experimental utilizando a videoanálise no ensino a distância.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20240241, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0241>. Acesso em: 02 jul. 2025.
7. CARRILHO, João José da Silva. **Astronomia no ensino médio: a ciência e o lúdico – desafiando e educando.** 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Astronomia) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2015.
8. CASTILHO, W. S.; OLIVEIRA, D. L.; DUTRA, M. V. O ensino de Física e a aprendizagem significativa: um kit experimental com Arduino para o ensino de queda livre. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 15, n. 3, p. 531-548, 2020.

9. CASTRO, Geovanna da Silva. **Kits de baixo custo para o ensino de Física e o currículo do estado de São Paulo**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2024.
10. CHAVES, João Lucas Aguiar; PACHECO, Hualan Patrício. **Efeito fotoelétrico no ensino médio: uma simulação em realidade virtual**. Instituto Federal de Rondônia, Campus Porto Velho Calama, 2022.
11. CORRÊA, Diego e Silva Menezes. **Desvendando o universo microscópico com a utilização de microscópios artesanais em salas de aula**. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Biologia) – Instituto de Biologia Roberto Alcântara Gomes, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.
12. CRUZ, Gerson Kniphoff da; VIATROSKI, Marcos Aurélio; LEVY, Maria Eugênia Meyer; SIQUEIRA, Franciele Nunes de; GOMEZ, Sergio Leonardo; BONARDI, Cláudia. **Um iluminador de baixo custo para a realização de experimentos de óptica geométrica**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 3, e3502, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0190>. Acesso em: 02 jul. 2025.
13. FERREIRA, P. H. D.; GHIgliENO, F.; TRIBUZI, V. **Atividades experimentais no ensino de óptica: uma nova revisão**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20240104, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0104>. Acesso em: 02 jul. 2025.
14. FONTELES, Tiago Santos. **O impacto da experimentação com kits de baixo custo na aprendizagem de ondas eletromagnéticas para o ensino fundamental**. 2024. Monografia (Licenciatura em Ciências Naturais/Química) – Universidade Federal do Maranhão, São Bernardo, 2024.
15. FRANÇA, Gustavo Henrique de; LOPEZ, Johnny Vilcarromero. **Experimento de baixo custo para o ensino de física óptica: o caso da Lei de Malus**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 44, e20210423, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0423>. Acesso em: 02 jul. 2025.
16. FREITAS, Alessandro; FERREIRA, Marcello; SILVA FILHO, Olavo Leopoldino da. Uma Proposta de Ensino Investigativo Sobre a Física Moderna e Contemporânea: Efeito Fotoelétrico. *In: Anais do I Encontro Regional do MNPEF Centro-Oeste/Norte. Revista do Professor de Física*, v. 3, n. especial, p. 37-38, 2019.

17. FURTADO, Jonas Diniz. **Ensino de Física e o Impacto da Experimentação de Baixo Custo no Último Ano do Nível Médio**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) - Faculdade de Física, Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.
18. GOMES, Josivaldo Ferreira; *et al.* Atividades experimentais como estratégia para o ensino de Física: estudo de caso em duas escolas públicas do município de Santana-AP. *Estação Científica (UNIFAP)*, v. 7, n. 3, p. 71-81, dez. 2017.
19. GOULART, Guilherme Salgueiro; LEONEL, André Ary. Revisão da literatura sobre o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio sob a ótica da TAS: problemáticas emergentes a partir de eventos brasileiros de ensino de física. **Revista Dynamis**, v. 28, n. 1, p. 231-251, 2022.
20. JESUS, Jaykel Joana de; OLIVEIRA, Adhimar Flávio de; SILVA, Agenor Pina da. **Espectrômetro digital: Uma proposta de construção de um experimento de Física Moderna para o ensino remoto**. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 8, e51410817786, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i8.17786>. Acesso em: 02 jul. 2025.
21. KOCHAN, K. A. **Dificuldades de aprendizagem em Física**. 2020. 33 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Centro Universitário Internacional UNINTER, Curitiba, 2020.
22. LUÍS, Gaspar Domingos. **O Ensino do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio Através de Experimentos e sua Comparação com o Efeito Fotovoltaico**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto de Ciências Exatas e da Natureza, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção-CE, 2022.
23. MACHADO, Thayarak Luiz Wolfgang Eggon Hannan Haddad. **Ensino de Física e experimentos didáticos: a perspectiva de materiais simples e de baixo custo**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2022.
24. MELLO, Luiz Adolfo de. **As sequências didáticas para o ensino de Física no projeto PIBID**. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, 2018.
25. MENEZES, Vivian Machado de; BRUNORO, Rayssa Predebon; MICHELETTO, Yasmine Miguel Serafini; SOUZA, Vitor Augusto Costa e; FREITAS, Andresa.

- Estudo de lentes esféricas biconvexas de focos fixo e ajustável construídas com materiais de fácil acesso.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 46, e20240244, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0244>. Acesso em: 02 jul. 2025.
26. MERCADO LIVRE. *Conjunto de experimentos de óptica física lente convexa*. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/conjunto-de-experimentos-de-optica-fisica-lente-convexa-le/p/MLB2015760551>. Acesso em: 02 jul. 2025.
27. MOREIRA, Luiz Carlos Damasceno. **O uso de simulações computacionais como ferramenta facilitadora do aprendizado dos tópicos de Física Moderna no ensino médio**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2015.
28. MOREIRA, M. A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Estudos Avançados**, v. 32, n. 94, p. 73-80, 2018.
29. NETO, J. G. P.; PARENTE, N. N. Utilização de experimentos nas aulas de Física do ensino fundamental: uma análise de suas contribuições e preferências discentes. **Conehecer: Debate entre o Público e o Privado**, v. 8, n. 22, p. 195-213, 2018.
30. NOGUEIRA, Giovana Trevisan; HERNANDES, Júlio Akashi. **Laboratório de Física IV baseado em experimentos de baixo custo: relato de uma experiência de ensino remoto devido à pandemia de COVID-19**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, e20210242, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0242>. Acesso em: 02 jul. 2025.
31. PEREIRA, C. B.; BERLEZE, S. L. M.; SOARES, W. A.; SERBENA, J. P. M. **Construção de um luxímetro digital utilizando plataforma Arduino para uso em laboratórios didáticos**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 43, e20200502, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0502>. Acesso em: 02 jul. 2025.
32. PEREIRA, Josimara Lobato. **Proposta de Experimentação de Baixo Custo no Ensino de Física**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Abaetetuba, 2021.

33. PEREIRA, Marcus Vinicius; MOREIRA, Maria Cristina do. Atividades prático-experimentais no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 34, n. 1, p. 265-277, abr. 2017.
34. PEREZ, Silvana; CASTRO, Barbara F. N.; MAIA, Noel C.; NASCIMENTO, Cristovão S. **O estudo do movimento browniano com material de baixo custo.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 40, n. 1, e1503, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0297>. Acesso em: 02 jul. 2025.
35. RÉ, Felipe Renger. **Ensino de Física e Experimentos: Estudo Exploratório Sobre Kits Experimentais.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro, 2021.
36. REIS, Luana Tavares. **Conceitos básicos da Física dos semicondutores apoiado no uso de software e experimento de baixo custo.** 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas e Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2019.
37. RIBEIRO, B. T. de O. As dificuldades no ensino da Física: uma análise na educação básica. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO (CONEDU), 8., 2022, Maceió. **Anais...** Campina Grande: Realize Editora, 2022.
38. RIBEIRO, Jair Lúcio Prados. **Perguntas em sala no ensino médio: observando o pôr do sol em um elevador panorâmico.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 4, e4307, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0114>. Acesso em: 02 jul. 2025.
39. ROCHA, Lucas Silveira. **Laboratório Experimental de Baixo Custo para o Ensino de Física.** 2020. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.
40. RODRIGUES JÚNIOR, W. S. Uma proposta de ensino de ótica com material de baixo custo: a interferência da luz com o Espelho de Lloyd. 2017. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.
41. RODRIGUES, Eliana de Abreu. **Fototropismo e a integração com ondas eletromagnéticas numa abordagem STEAM em nível médio.** 2024. Dissertação (Mestra-

- do Profissional em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2024.
42. RODRIGUES, Tatiane Daby de Fatima Faria; OLIVEIRA, Guilherme Saramago de; SANTOS, Josely Alves dos. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. *Revista Brasileira Multidisciplinar*, Rio de Janeiro, v. 2, n. 1, p. 154–174, 2021.
43. S LIMA, C. R. A. G.; LIMA, J. R. F. de; CUNHA, K. S. O uso da experimentação de física para melhoria da aprendizagem. *In: Anais do IV Congresso Nacional de Educação (CONEDU)*, 2017, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize Editora, 2017.
44. SANTOS, Grazielly Sousa dos; BARBOSA, Thalita Santos. **A importância das atividades experimentais como impulso metodológico no ensino de Física: Conceitos de Óptica com materiais de baixo custo**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura Plena em Física) - Centro de Ciências Sociais e Educação, Universidade do Estado do Pará, Redenção, 2022.
45. SANTOS, R. V. **A importância da experimentação no ensino de Física: um estudo de caso no ensino de cinemática**. 2020. 104 f. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2020.
46. SILVA, José Carlos Xavier; LEAL, Carlos Eduardo dos Santos. Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 1, e1401, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0167>. Acesso em: 02 jul. 2025.
47. SILVA, José Carlos Xavier; LEAL, Carlos Eduardo dos Santos. **Proposta de laboratório de física de baixo custo para escolas da rede pública de ensino médio**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 1, e1401, 2017.
48. SILVA, Larissa Milena da. **O Uso de Experimentos de Baixo Custo para o Ensino de Óptica Geométrica: Uma aplicação numa escola média de Pernambuco**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Núcleo de Formação Docente, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2023.
49. SILVA, M. V. S. da; LEMAIRE, T. J.; PAES, T. F.; RIBEIRO, Y. H. L. Variante do Interferômetro de Michelson-Morley baseado em um dioptro ar-água como divisor de feixe. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 45, e20230190, 2023.

50. SILVEIRA, M. V.; BARTHEM, R. B. **Disco de Newton com LEDs**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 38, n. 4, e4502, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0090>. Acesso em: 02 jul. 2025.
51. SILVEIRA, Sérgio; GIRARDI, Mauricio. Desenvolvimento de um kit experimental com Arduino para o ensino de Física Moderna no Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 39, n. 4, e4502, 2017.
52. SOGA, Diogo; PAIVA Jr., Raul Dias; UENO-GUIMARÃES, Michele Hidemi; MURAMATSU, Mikiya. **Um microscópio caseiro simplificado**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 39, n. 4, e4506, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2017-0133>. Acesso em: 02 jul. 2025.
53. SOGA, Diogo; UENO-GUIMARÃES, Michele H.; MURAMATSU, Mikiya. **Um estudo experimental sobre a luz negra com smartphone**. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 42, e20190107, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0107>. Acesso em: 02 jul. 2025.
54. SOUSA, José Raul de; SANTOS, Simone Cabral Marinho dos. Análise de conteúdo em pesquisa qualitativa: modo de pensar e de fazer. *Pesquisa e Debate em Educação*, Juiz de Fora: UFJF, v. 10, n. 2, p. 1396–1416, jul.–dez. 2020. ISSN 2237-9444.
55. SOUZA, Robineide Borges de. **A Importância da Experimentação no Ensino de Física para Alunos do 2º Ano do Ensino Médio**. 2015. 40 f. Monografia (Especialização em Ensino de Ciências) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2015.
56. TEMU. *Kit de lentes para estudantes com lentes convexas e côncavas, espelho e fonte de luz*. Disponível em: <https://www.temu.com/br/kit-de--de-lentes-s-para-estudantes---com-lentes-convexas-e-c%C3%B4ncavas-espelho-de-reflex%C3%A3o-e-fonte--de-3-conjunto-de-laborat%C3%B3rio-de-f%C3%ADsica-em-pl%C3%A1stico-acr%C3%ADlico-g-601099703088751.html>. Acesso em: 02 jul. 2025.
57. VIEIRA, Elaine Bezerra. **Proposta de Experimentos de Baixo Custo Adaptados no Ensino de Óptica para Deficientes Visuais**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Física) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Salgueiro, 2022.
58. VIEIRA, Elaine Bezerra. **Proposta de Experimentos de Baixo Custo Adaptados no Ensino de Óptica para Deficientes Visuais**. 2022.

## APÊNDICE – Protocolo de Revisão Sistemática

**1 - Título da Pesquisa: LABORATÓRIOS ALTERNATIVOS DE BAIXO CUSTO NO ENSINO DE FÍSICA:** um mapeamento bibliográfico com ênfase em óptica e física moderna

### **2 - Questão de Pesquisa**

Quais são as principais propostas de laboratórios alternativos de baixo custo, os materiais utilizados e as estratégias pedagógicas voltadas ao ensino de Óptica e Física Moderna publicadas na literatura científica recente?

### **3 - Estratégia POT (População, Out come, Tipo de pesquisa)**

**P – População:** Pesquisas que abordem o ensino de Óptica e Física Moderna publicadas na literatura científica recente;

**O - Out come (desfecho):** Identificar na literatura científica recente os principais experimentos de baixo custo sugeridos para o ensino de Óptica e Física Moderna, com o intuito de catalogar os materiais que evidenciem estratégias didáticas mais recorrentes nas propostas e os impactos pedagógicos, com ênfase no engajamento dos alunos, nas evidências de aprendizagem e na viabilidade de replicação em contextos escolares públicos.

**T - Tipo de pesquisa:** Pesquisas qualitativas que versem sobre laboratórios alternativos de baixo custo voltados ao ensino de Física, indexadas em bases de dados online na forma de: artigo, dissertação, tese, ensaios, relatos de experiências, livros ou qualquer estudo que mostre um nível de evidência para o objetivo proposto.

**4 - Objetivo:** Realizar um mapeamento bibliográfico sobre laboratórios alternativos de baixo custo voltados ao ensino de Física, com ênfase nas áreas de Óptica e Física Moderna, considerando especialmente o contexto das escolas públicas brasileiras.

### **5 - Fontes utilizadas nas buscas**

Como fontes de informações para o presente estudo, consideramos relevante incluir estudos na forma de: artigos científicos, teses e dissertações revisados por pares indexados nas

seguintes bases de dados: *Scientific Electronic Library Online (SciELO)* e Google Acadêmico.

## 6 - Estratégias de busca

Elegemos palavras-chave específicas relacionadas aos objetivos da investigação como: ensino de Física Moderna, experimentos de baixo custo, ensino de Óptica e laboratório alternativo. Com o intuito de realizar uma busca mais objetiva, adotamos os termos de busca: “ensino de Física Moderna”, “experimentos de baixo custo”, “ensino de Óptica” e “laboratório alternativo” entre aspas duplas e expressos em língua portuguesa. As buscas foram realizadas nas bases **SciELO** e **Google Acadêmico**, empregando combinações de termos com operadores booleanos (*AND*, *OR*) para ampliar e refinar os resultados encontrados.

- **SciELO:** ((laboratorio de baixo custo) OR (optica) OR (fisica moderna)) OR (laboratorio alternativo) OR (experimentação de baixo custo) OR (ensino da fisica)
- **Google Acadêmico:** ("laboratório de baixo custo" OR "laboratório alternativo" OR "experimentação de baixo custo") AND ("ensino de fisica") AND ("óptica" OR "física moderna")

Com o objetivo de localizar produções acadêmicas relevantes para a pesquisa, foram utilizadas estratégias de busca com o auxílio de **operadores booleanos**, que possibilitam a combinação e o refinamento de palavras-chave nos mecanismos de pesquisa. As buscas foram realizadas nas plataformas **SciELO** e **Google Acadêmico**, com a formulação de expressões que ampliaram e, ao mesmo tempo, direcionaram os resultados para os temas de interesse.

Na base **SciELO**, foi utilizada a seguinte expressão de busca: **((laboratorio de baixo custo) OR (optica) OR (fisica moderna)) OR (laboratorio alternativo) OR (experimentação de baixo custo) OR (ensino da fisica)** Essa estrutura fez uso do operador **OR (OU)**, que amplia a busca ao incluir resultados que contenham **qualquer um** dos termos listados. Essa abordagem visa captar uma quantidade maior de publicações que abordem aspectos variados relacionados ao ensino de Física, como experimentação, óptica, Física Moderna e o uso de laboratórios alternativos ou de baixo custo. O uso de parênteses serviu para organizar os termos, indicando agrupamentos de ideias semelhantes.

Já no **Google Acadêmico**, a busca foi estruturada da seguinte forma: **("laboratório de baixo custo" OR "laboratório alternativo" OR "experimentação de baixo custo") AND ("ensino de física") AND ("óptica" OR "física moderna")** Neste caso, foram utilizados os operadores **AND (E)** e **OR (OU)** simultaneamente, o que torna a pesquisa mais específica. O operador **AND** exige que os resultados contendam **todos os grupos de termos combinados**, enquanto o **OR** dentro dos parênteses permite variações dentro de cada grupo. Por exemplo, a busca retornará apenas trabalhos que tratem de ensino de física e que também mencionem óptica ou física moderna, além de algum termo relacionado a laboratórios de baixo custo ou experimentação alternativa. As aspas duplas garantem que as expressões sejam buscadas exatamente como foram escritas, evitando fragmentações dos termos.

Bases de dados	Palavras-chave	Termos de busca
<b>Google Acadêmico</b>	Laboratório de baixo custo/laboratório alternativo/experimentação de baixo custo/ensino de física/óptica/física moderna	("laboratório de baixo custo" OR "laboratório alternativo" OR "experimentação de baixo custo") AND ("ensino de física") AND ("óptica" OR "física moderna")
<b>sciELO</b>	Laboratório de baixo custo/óptica/física moderna/laboratório alternativo/experimentação de baixo custo/ensino de física/	((laboratorio de baixo custo) OR (optica) OR (física moderna)) OR (laboratorio alternativo) OR (experimentação de baixo custo) OR (ensino da física)

## 7 - Tipos de estudos a serem incluídos

Os estudos selecionados para esta pesquisa são aqueles que apresentam propostas relacionadas ao uso de laboratórios alternativos de baixo custo no ensino de Física, com foco especial em Óptica e Física Moderna. São considerados trabalhos recentes da literatura acadêmica que abordem experimentos acessíveis, materiais utilizados e estratégias

pedagógicas aplicáveis em contextos escolares, especialmente em instituições públicas com recursos limitados.

## **8 - Critérios de inclusão e exclusão**

Para a seleção dos materiais encontrados durante a pesquisa, foi adotada uma categorização com base em critérios de pertinência, acessibilidade e contribuição para os objetivos do estudo. Os trabalhos foram classificados em três categorias: **INCLUIR**, **INCLUIR (parcial)** e **EXCLUIR**.

- **INCLUIR:** Incluíram-se os materiais que abordavam integralmente os objetivos propostos, utilizavam recursos de baixo custo e apresentavam evidências de eficácia na aprendizagem. As produções classificadas nesta categoria foram consideradas na síntese e discussão dos resultados.
- **INCLUIR (parcial):** Foram incluídas parcialmente as propostas que, embora apresentassem descrição clara das atividades, não traziam dados ou relatos que comprovassem ganhos significativos na aprendizagem. Nestes casos, apenas os elementos que contribuíam diretamente para os objetivos do trabalho foram aproveitados.
- **EXCLUIR:** Excluíram-se os materiais que não atendiam aos critérios estabelecidos, seja por dependerem de equipamentos de alto custo ou por não estarem alinhados aos objetivos da pesquisa. Esses trabalhos foram removidos da seleção final.

## **9 – População**

Estudos que abordem propostas e experimentos de laboratórios alternativos de baixo custo voltados ao ensino de Óptica e Física Moderna em contextos escolares, especialmente em instituições públicas.

## **10 – Intervenção**

Esta revisão não contempla uma etapa de intervenção, tratando-se de um levantamento bibliográfico.

## **11 – Comparação/Controle**

Comparação e controle não se aplicam a esta revisão, uma vez que não há experimentação direta ou estudo empírico controlado.

## **12 – Resultados principais**

As pesquisas analisadas devem apresentar como resultados as principais propostas experimentais, materiais utilizados e estratégias pedagógicas para o ensino de Óptica e Física Moderna, além de evidências relacionadas à viabilidade e impacto dessas práticas em contextos escolares com recursos limitados.

## **13 – Resultados adicionais**

Outros resultados que não estejam relacionados ao ensino experimental e à acessibilidade dos laboratórios alternativos não são foco desta revisão.