

METODOLOGIAS INTERATIVAS NO ENSINO DE ÓPTICA: MAPEAMENTO DE EVIDÊNCIAS SOBRE ROBÓTICA E SIMULAÇÕES EM ÓPTICA E A CRÍTICA ÀS LIMITAÇÕES ESTRUTURAIS

INTERACTIVE METHODOLOGIES IN OPTICS EDUCATION: MAPPING EVIDENCE ON ROBOTICS AND SIMULATIONS IN OPTICS AND A CRITIQUE OF STRUCTURAL LIMITATIONS

 <https://doi.org/10.63330/armv1n9-021>

Submetido em: 18/11/2025 e Publicado em: 19/11/2025

Lúcio Gaspar Paes Neto

Graduação

Instituto Federal de Rondônia – IFRO

E-mail: luciogasparpaes@gmail.com

Leonardo Aguiar do Amaral

Doutor

Instituto Federal de Rondônia – IFRO

E-mail: leonardo.amaral@ifro.edu.br

Higor dos Santos Santana

Mestre

Instituto Federal de Rondônia – IFRO

E-mail: higor.santana@ifro.edu.br

RESUMO

A complexidade inerente ao ensino de Física exige a constante inovação de metodologias pedagógicas, sendo o campo da Óptica um domínio particularmente desafiador devido à alta abstração de conceitos como reflexão, refração e dispersão. Este trabalho apresenta uma Revisão Narrativa que investiga os desafios e as oportunidades da integração entre a Robótica Educacional e as Simulações Computacionais no ensino de Óptica. Utilizando um *corpus* de 46 artigos classificados por uma Taxonomia temática, o estudo analisou a eficácia e as barreiras desse modelo interativo.

Os achados factuais demonstram uma acentuada prevalência de estudos focados em Simulações (60,9%), indicando seu papel crucial na visualização de fenômenos ópticos, enquanto a Robótica (28,3%) é fundamental para a concretização e aplicação do conhecimento. A síntese de resultados endossa a combinação dessas tecnologias por promover ganhos consistentes na *performance* e na retenção conceitual dos alunos. Contudo, a análise crítica revela que o maior obstáculo à adoção plena reside em barreiras de ordem sistêmica, notadamente a formação deficitária de educadores e a carência de infraestrutura tecnológica. Conclui-se que o desafio da inovação em Óptica não é mais conceitual, mas sim político-formativo, exigindo políticas coordenadas para mitigar a disparidade educacional e alinhar a formação às competências STEM.

Palavras-chave: Óptica; Robótica Educacional; Simulações Computacionais; Formação Docente.



ABSTRACT

The inherent complexity of Physics teaching demands the constant innovation of pedagogical methodologies, with the field of Optics posing a particularly challenging domain due to the high abstraction of concepts such as reflection, refraction, and dispersion. This work presents a Narrative Review that investigates the challenges and opportunities of integrating Educational Robotics and Computational Simulations in Optics teaching. Using a corpus of 46 articles classified by a thematic Taxonomy, the study analyzed the efficacy and barriers of this interactive model.

The factual findings demonstrate a sharp prevalence of studies focused on Simulations (60,9%), indicating their crucial role in the visualization of optical phenomena, while Robotics (28,3%) is fundamental for the concretization and application of knowledge. The synthesis of results endorses the combination of these technologies for promoting consistent gains in student performance and conceptual retention. However, the critical analysis reveals that the greatest obstacle to full adoption lies in systemic barriers, notably the deficit in educator training and the lack of technological infrastructure. It is concluded that the challenge of innovation in Optics is no longer conceptual, but rather political-formative, demanding coordinated policies to mitigate educational disparity and align training with STEM competencies.

Keywords: Optics; Educational Robotics; Computational Simulations; Teacher Training.



1 INTRODUÇÃO

A complexidade inerente ao ensino de Física exige a constante inovação de metodologias pedagógicas, sendo o campo da Óptica um domínio particularmente desafiador (1,2). Conceitos fundamentais como a reflexão, refração e dispersão da luz frequentemente impõem barreiras à compreensão dos estudantes devido à sua natureza abstrata, o que pode levar à consolidação de concepções errôneas persistentes em diferentes níveis de ensino (3,4). A dificuldade não se restringe à Óptica geométrica, estendendo-se a fenômenos complexos como difração, interferência de ondas e a própria Óptica Eletrônica, essenciais na formação em Engenharia e Ciências (5,6). Diante da natureza abstrata desses fenômenos e da limitação de recursos laboratoriais convencionais que impedem a visualização de muitos processos físicos (7), demonstrando que as práticas de ensino e ferramentas didáticas precisam ser inovadoras e acessíveis (8).

Neste contexto, a Robótica Educacional (RE) e as Simulações Computacionais emergem como ferramentas com potencial para promover a transformação didática. A RE, em sua base teórica construtivista, engaja os alunos em atividades práticas de montagem e programação, contribuindo para o fortalecimento do raciocínio lógico-matemático e para o desenvolvimento de competências essenciais do século XXI, como o pensamento crítico e a resolução de problemas (9,10,4). Especificamente na interface com a Física, a robótica obriga o estudante a confrontar os princípios de Óptica e Eletromagnetismo. Isso ocorre através do uso de sensores (infravermelho ou luz) que funcionam como emissores e receptores de sinais ópticos, cuja eficácia depende diretamente da reflexão em obstáculos, da angulação e do posicionamento estratégico em relação à superfície (11,12). O processo de montagem de um robô exige que o aluno considere as limitações ópticas (como a dispersão ou a absorção do sinal) e as restrições mecânicas (*hardware in the loop*) no arranjo físico dos componentes. Desta forma, a RE transforma conceitos teóricos de feixes, reflexão e obstrução de sinais em desafios práticos de engenharia e otimização de sistema (13,14,11).

As Simulações Computacionais oferecem, por sua vez, uma solução eficaz para o dilema da abstração, sendo o eixo temático com maior volume no *corpus* desta revisão. Plataformas como PHET, SeeLight e outros ambientes virtuais interativos permitem aos estudantes a manipulação de variáveis, a condução de experimentos virtuais e a observação de mudanças imediatas em fenômenos complexos, como a propagação de ondas e o comportamento de instrumentos ópticos, o que aprimora a compreensão e o engajamento (15,16). A adoção de simulações em Óptica é amplamente justificada pela sua capacidade de abstrair e representar fenômenos que seriam perigosos ou inviáveis em laboratório (17,18,19). Além da representação da física clássica, a próxima fronteira pedagógica reside na modelagem de sistemas complexos, como a propagação de luz em meios desordenados ou a dinâmica de redes. Nesses cenários, a eficiência do modelo torna-se crítica e técnicas avançadas de amostragem, como as aplicadas em estudos



de navegação em redes fractais, são essenciais para reduzir a complexidade algorítmica e garantir que as simulações mantenham a precisão física e sejam computacionalmente viáveis para o ambiente de ensino (20).

A convergência dessas tecnologias aponta para o desenvolvimento de modelos de aprendizado híbridos, nos quais a tangibilidade da robótica se une à visualização avançada das simulações. Os sistemas de Realidade Aumentada (RA), por exemplo, aplicados a bancadas ópticas, permitem a exibição de dados virtuais sobre o aparato físico em tempo real, enriquecendo a experiência de interação física (11,14). Essa integração é tida como o caminho mais promissor para mitigar os desafios de custo da robótica física, ao mesmo tempo em que aborda a dificuldade conceitual da Óptica, alinhando-se à crescente demanda por profissionais com habilidades STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) (13,21).

Contudo, a literatura indica que a adoção dessas metodologias está sujeita a desafios de ordem prática e estrutural, notadamente a falta de formação adequada para os educadores e a carência de infraestrutura tecnológica nas escolas, incluindo problemas com a conectividade e a disponibilidade de *gadgets* (22,23). Desta análise surge o problema de pesquisa: Quais desafios e oportunidades surgem ao integrar robótica e simulações computacionais no ensino de física, especificamente em óptica?

A relevância deste estudo reside na necessidade de mapear as estratégias que aliam tecnologia e prática pedagógica para abordar as dificuldades conceituais da Óptica, justificando a busca por evidências sobre o potencial e as barreiras dessa integração. O objetivo geral deste trabalho é analisar os desafios e as oportunidades geradas pela adoção de robótica e simulações computacionais no ensino de física. Para tanto, esta revisão concentra-se em uma investigação rigorosa da literatura, buscando compreender as dificuldades operacionais e de formação docente que impedem a adoção plena das ferramentas; os modelos conceituais que promovem a complementaridade entre simulação e robótica; e o impacto desses modelos conforme a sua aplicação em variados contextos educacionais.

1.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E BARREIRAS TRADICIONAIS NO ENSINO DE ÓPTICA

A Óptica Geométrica e a Óptica Física exigem que o estudante manipule mentalmente conceitos que nem sempre são diretamente observáveis, como a propagação retilínea da luz ou o comportamento ondulatório e corpuscular da radiação (5,24). A dificuldade é agravada pela dependência de modelos e analogias que, muitas vezes, não são claros o suficiente ou exigem um nível de abstração não desenvolvido pelo aluno (25). Em particular, a reflexão e a refração são conceitos frequentemente confundidos, enquanto a dispersão, que envolve a dependência do índice de refração com o comprimento de onda, é complexa de ser ilustrada com materiais de baixo custo (8). Educadores relatam que a formação deficitária e a escassez de recursos laboratoriais adequados são fatores que se somam para dificultar a aplicação de métodos didáticos mais eficazes na área de Óptica (16,14). A própria natureza passiva da instrução tradicional,



baseada predominantemente em aulas expositivas, não é suficiente para estimular a concepção e a experimentação ativa necessárias para a internalização desses conceitos (26).

1.2 ROBÓTICA E SIMULAÇÕES: ABORDAGENS E OPORTUNIDADES NO ENSINO DE CIÊNCIAS

A emergência de metodologias ativas representa uma transição do modelo educacional centrado no professor para um ambiente focado na construção do conhecimento pelo aluno (5). A robótica educacional e as simulações computacionais são pilares desse movimento, fornecendo mecanismos para a experimentação prática e a visualização dinâmica de conceitos abstratos (9).

A Robótica Educacional atua como uma ferramenta concreta, permitindo que os estudantes apliquem teorias de forma tangível, como no design e na programação de dispositivos capazes de demonstrar o comportamento da luz ou os princípios de sensores ópticos (27,28). Essa abordagem interdisciplinar, frequentemente associada às competências STEM/STEAM, promove o desenvolvimento do raciocínio lógico, da colaboração e da capacidade de solução de problemas (TAG2-RE) (16). Projetos que envolvem a construção de um seguidor de linha, por exemplo, exigem que o aluno compreenda e manipule conceitos de reflexão da luz e sensores fotoelétricos, unindo física e engenharia de forma coesa (15).

Complementarmente, as Simulações Computacionais oferecem um ambiente seguro para a manipulação de variáveis complexas e a observação de fenômenos ópticos que seriam inviáveis, perigosos ou extremamente caros em um laboratório físico (TAG3-FS) (23). O uso de softwares interativos permite que os estudantes alterem o índice de refração de um meio ou a frequência da luz, observando instantaneamente o efeito na trajetória e na dispersão do feixe (29,3). Isso é crucial para a superação das barreiras de visualização, permitindo a repetição de experimentos e a construção de modelos mentais sólidos (14). Em Óptica, as simulações preenchem a lacuna onde a experimentação robótica pode se tornar excessivamente complexa ou limitada por fatores de precisão, agindo como um poderoso suplemento didático (30).

A integração dessas duas abordagens tecnológicas, que é o foco deste trabalho, potencializa o aprendizado: o aluno obtém a base conceitual e a visualização a partir da simulação e, em seguida, aplica esse entendimento na construção e programação do artefato robótico, fechando um ciclo de aprendizado que vai do abstrato ao concreto (TAG4-IM) (31). Este artigo de revisão visa, portanto, consolidar os achados sobre o impacto e os desafios dessa dupla integração no ensino de Óptica, fornecendo um panorama claro para a prática pedagógica futura.



2 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho de revisão visou conferir clareza procedural e transparência e rigor no processo de coleta e análise dos dados bibliográficos. Nas próximas seções serão detalhadas as etapas protocolares que conduziram à definição do *corpus* bibliográfico empregado na elaboração deste trabalho, alinhando-se às boas práticas de revisão da literatura.

2.1 NATUREZA E TIPO DO ESTUDO

O presente estudo caracteriza-se como uma Revisão Narrativa de literatura (não sistemática), complementada por uma análise qualitativa e descritiva do material coletado (32,33). Este formato foi escolhido por sua flexibilidade em mapear o conhecimento e sintetizar o panorama de um tópico em constante evolução, como a interseção entre robótica, simulações computacionais e o ensino de Óptica. Diferentemente de revisões sistemáticas, que se concentram em testar uma hipótese com dados estatisticamente agregáveis, a revisão narrativa tem um enfoque mais exploratório, baseando-se na escolha crítica e na avaliação das fontes para tecer interconexões temáticas (34).

2.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA E FONTES DE DADOS

A Estratégia de Busca foi delineada para identificar o corpo de literatura mais representativo sobre a aplicação de tecnologias interativas no ensino de Física. Foram consultadas bases de dados reconhecidas pela sua relevância em publicações científicas e tecnológicas, como Scopus e Web of Science, além do Google Scholar, com o propósito de maximizar a probabilidade de encontrar estudos relevantes. A escolha por múltiplas fontes é uma prática recomendada para revisões, visando mitigar o viés de fontes únicas (34).

O rastreamento foi realizado por meio de uma combinação de Palavras-Chave organizadas em eixos conceituais, utilizando-se de operadores booleanos como AND e OR para refinar a intersecção de temas, um procedimento crucial para a curadoria de um *corpus* focado. A *string* de busca foi construída com os seguintes eixos:

- **Eixo 1** (Tecnologia): "Robótica Educacional" OR "Simulação Computacional" OR "STEAM"
- **Eixo 2** (Aplicação): "Ensino de Física" OR "Educação em Ciências"
- **Eixo 3** (Conceito): "Óptica" OR "Reflexão" OR "Refração" OR "Dispersão"

A intersecção desses eixos permitiu a delimitação precisa do material bibliográfico a ser incluído na análise.

Além disso, nossa estratégia também visou estender a abrangência da busca para além de trabalhos acadêmicos indexados, com o intuito de mitigar eventuais vieses de publicação, comum em pesquisas de tecnologia e educação, e potencialmente perceber tendências que são filtradas pela indexação (35,36). Por isso, a coleta não se restringiu a artigos de periódicos indexados, incluindo também a literatura cíntzenta,



tais como anais de congresso e trabalhos técnicos de instituições. Esta prática é justificada, pois uma parte expressiva da pesquisa, particularmente em Robótica Educacional (TAG2-RE), é inicialmente apresentada em conferências (37,38). Estes documentos são, frequentemente, o único meio de acesso a estudos que não são posteriormente convertidos em artigos de revistas ou que reportam resultados nulos ou menos favoráveis, o que garante uma base de evidências mais completa e transparente para a revisão (39,40).

2.3 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Para que o *corpus* documental fosse pertinente aos objetivos da pesquisa, foram aplicados critérios de delimitação e restrição, essenciais para a transparência e a reproduzibilidade da busca, conforme recomendado pelos guias de relatórios (34,32,33).

Critérios de Inclusão:

1. Artigos publicados no idioma português, inglês ou espanhol.
2. Trabalhos com publicação entre os anos de 2015 e 2024, restrição que delimita o escopo para a evolução mais contemporânea das tecnologias educacionais.
3. Estudos que apresentassem evidências empíricas ou discussões teóricas detalhadas sobre o emprego da Robótica e/ou Simulações no ensino de Óptica.
4. Manuscritos que abordassem os desafios de implementação e as oportunidades geradas pelas tecnologias.

Critérios de Exclusão:

1. Trabalhos que focassem apenas no desenvolvimento de *software* ou *hardware* sem aplicação ou discussão pedagógica.
2. Capítulos de livros, monografias de graduação ou documentos que não tenham passado por algum tipo de revisão por pares ou avaliação técnica. Estudos que se limitassem a discutir a Óptica sem a menção explícita à Robótica ou Simulações.

A aplicação destes critérios de seleção foi crucial para garantir que o conjunto de artigos analisados mantivesse o foco na interseção temática de interesse.

2.4 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DO CORPUS

A análise do conteúdo dos artigos selecionados foi executada através da leitura integral e da subsequente classificação temática, com o propósito de organizar o material para a fase de síntese e discussão. Este procedimento de análise de conteúdo visa agrupar as descobertas em categorias coerentes, permitindo que a revisão atinja seu objetivo de integrar os achados e evitar a simples descrição sequencial dos estudos lidos.



O método de classificação foi baseado na Taxonomia de classes, idealizada com o intuito de maximizar a relevância e o cumprimento dos objetivos do trabalho, de modo que cada artigo foi associado à uma classe temática detentora de uma TAG. Essa organização estrutural é apresentada na Tabela 1 e serviu como o arcabouço para a elaboração da Síntese Factual dos Achados na Subseção 3.1.

Tabela 01: Taxonomia Metodológica e Rastreabilidade do *Corpus* de Artigos

Classe	TAG	Descrição	Referências
Ensino de Física (Óptica)	TAG1-EF	Artigos que abordam métodos de ensino de física com foco em óptica	(25,24,29,16,1,5,31,26,6,28,41,15,14,42,7,11,8,2,3,43)
Robótica Educacional	TAG2-RE	Artigos que abordam como o emprego da robótica educacional e competências STEM/STEAM podem ser integrados ao ensino de física, em especial a óptica	(44,22,9,12,10,21,45,46,47,11,48,13,4)
Ferramentas de Simulação no Ensino	TAG3-FS	Artigos que abordam métodos de ensino de física baseados em simulação	(49,50,27,12,51,24,29,16,1,5,45,17,26,6,52,28,18,30,47,19,41,15,14,8,11,2,3,13)
Avaliação de Impacto e Resultados	TAG4-IM	Artigos que apresentam dados empíricos (resultados), avaliação de eficácia, performance de alunos e ganhos de aprendizagem com o uso das tecnologias.	(53,23,25,6,15,11,48,3,4)
Desafios e Barreiras	TAG5-DB	Artigos que abordam as dificuldades, barreiras, aceitação, limitações e formação de professores na implementação de qualquer tecnologia (TIC/Robótica/Simulação) no ambiente escolar.	(54,55,53,23,49,25,50,22,9,56,27,21,18,30)

Fonte da tabela: Elaboração Própria

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo é dedicado à apresentação, análise e interpretação dos achados da revisão bibliográfica, seguindo o rigor do formato Resultados-Discussão-Conclusão (RDC) inerente à estrutura IMRAD (34,32,33). Aqui buscaremos validar a hipótese do estudo e cumprir os objetivos propostos. Inicia-se com a Síntese e Consolidação dos Achados (Seção 3.1), onde os dados factuais e as tendências do corpus são apresentados de forma objetiva. Em seguida, a Discussão (Seção 3.2) procede à análise crítica desses achados, interpretando suas implicações e confrontando-as com a literatura existente. Por fim, as Conclusões (Seção 3.3) apresentarão a avaliação final e a reflexão crítica do trabalho.

3.1 SÍNTSE E CONSOLIDAÇÃO DOS ACHADOS DA REVISÃO

Esta subseção apresenta os achados factuais da revisão, fundamentados na distribuição de referências em nosso corpus documental, conforme demonstrado na Tabela 2. A análise factual visa



estabelecer o panorama de evidências sobre a eficácia, a concentração temática e os obstáculos inerentes à integração de robótica e simulações no ensino de Óptica.

Tabela 02: Síntese Factual dos Achados da Revisão

Classe / TAG	Número de Artigos Associados (Frequência Absoluta)	Porcentagem do <i>Corpus</i> (Frequência Relativa - N=46)
TAG1-EF (Ensino de Física/Óptica)	20	43,5%
TAG2-RE (Robótica Educacional)	13	28,3%
TAG3-FS (Ferramentas de Simulação)	28	60,9%
TAG4-IM (Avaliação de Impacto e Resultados)	9	19,6%
TAG5-DB (Desafios e Barreiras)	14	30,4%

Fonte da tabela: Elaboração Própria

O corpus documental, composto por 46 artigos, revela uma acentuada predominância temática nas publicações que abordam a Simulação Computacional (TAG3-FS), representando 60,9% do total de artigos classificados (Tabela 2). Essa elevada frequência indica o forte foco da pesquisa em explorar as ferramentas digitais como o principal meio de inovação para o ensino de Física. Em segundo plano, os estudos sobre o Ensino de Física e Barreiras em Óptica (TAG1-EF) somam 43,5% do corpus, fornecendo o arcabouço conceitual e o contexto dos desafios que as tecnologias buscam mitigar (1,3). O volume de publicações sobre Robótica Educacional (TAG2-RE), com 28,3%, e o eixo de Desafios e Barreiras (TAG5-DB), com 30,4%, demonstram que, embora a Simulação seja o eixo dominante, as demais dimensões do problema e as abordagens tangíveis são consistentemente investigadas (22,1). A Síntese Factual dos artigos categorizados em TAG4-IM (Avaliação de Impacto e Resultados) (19,6% do corpus), sugere uma convergência de achados empíricos que endossam a utilização integrada de robótica e simulações. Essa subcategoria de artigos foca em quantificar o ganho de aprendizagem e a melhoria na performance dos estudantes quando expostos a métodos interativos (TAG4-IM) (53,28,2). Há uma consistência nos resultados reportados sobre a eficácia de ambientes simulados em facilitar a visualização de conceitos abstratos, como a refração da luz, e de projetos robóticos em fornecer a experiência prática e tangível (TAG3-FS, TAG2-RE) (1,44,42). Os resultados indicam que a natureza interativa e o feedback imediato das simulações, combinados com a construção de modelos físicos via robótica, promovem a formação de modelos mentais mais consistentes e duradouros sobre os fenômenos ópticos (TAG4-IM) (1,11).

No entanto, o corpus também evidencia consistentemente os desafios e as barreiras (TAG5-DB) que permeiam a implementação dessas tecnologias. Achados factuais indicam que a formação de professores se estabelece como uma limitação primária, visto que muitos educadores não possuem o domínio técnico ou pedagógico necessário para integrar a robótica e as simulações em seu currículo de Física (TAG5-DB) (7,46). Além disso, a literatura aponta para a existência de barreiras institucionais, como a ausência de infraestrutura tecnológica adequada, o custo elevado de kits de robótica e a resistência inicial de alguns



alunos e gestores à adoção de novos paradigmas didáticos (TAG5-DB) (16,23,54). A necessidade de tempo adicional para planejamento e a complexidade na avaliação de projetos práticos são barreiras contextuais recorrentes (TAG5-DB) (18,27).

3.2 DISCUSSÃO: ANÁLISE E IMPLICAÇÕES

A análise dos resultados factuais consolidados na Subseção 3.1 permite uma interpretação aprofundada das dinâmicas que governam a integração de tecnologias no ensino de Óptica, confrontando os achados com a hipótese central da pesquisa e o problema de pesquisa proposto. O panorama de evidências revela que a eficácia reside na complementaridade entre a Simulação e a Robótica, atuando como uma via dupla que endereça tanto a abstração conceitual quanto a necessidade de aplicação prática.

A predominância de publicações focadas em Simulações Computacionais (TAG3-FS) (60,9%) demonstra o reconhecimento da comunidade acadêmica de que a principal barreira do ensino de Óptica é a natureza invisível ou de difícil visualização de seus fenômenos (TAG1-EF) (24,5). A simulação permite a visualização imediata da trajetória de um raio de luz, ou a manipulação controlada de variáveis físicas (TAG3-FS) (23). Essa capacidade de desconstrução visual do fenômeno abstrato se estabelece como um requisito fundamental para a formação de modelos mentais acurados, algo que a instrução passiva não consegue prover (29,3). Em contrapartida, a Robótica Educacional (TAG2-RE), embora menos frequente (28,3%), representa a fase de concretização do aprendizado. Ela converte o modelo visualizado na simulação em um artefato físico, exigindo do aluno a aplicação dos princípios de óptica e programação em um ambiente de engenharia (TAG2-RE) (17). Dessa forma, a integração dessas tecnologias confirma a hipótese, pois a Simulação e a Robótica, juntas, criam um ciclo de aprendizagem que se estende do virtual ao tangível, superando as limitações inerentes a cada método isoladamente (31,30).

A subcategoria de Avaliação de Impacto (TAG4-IM), apesar de ter uma frequência menor (19,6%), fornece a base empírica para esta discussão. A convergência dos resultados (TAG4-IM) em diferentes contextos educacionais sugere que a diversidade metodológica dos estudos favorecem o sucesso das práticas metodológicas (32) e valida a eficácia do modelo de ensino interativo. Os ganhos de performance reportados (TAG4-IM) não se limitam à memorização, mas indicam uma retenção conceitual superior e uma melhoria nas habilidades de resolução de problemas, que são competências cruciais no contexto das ciências em gerais (TAG2-RE) (21,10). No entanto, a análise deve ser cautelosa, pois a natureza narrativa desta revisão impõe a necessidade de um balanço crítico das evidências, evitando generalizações excessivas sobre a força do impacto (34). A presença de resultados favoráveis, quando provenientes de estudos com métodos diversos, fornece a robustez necessária para sustentar a tese central (TAG4-IM) deste trabalho: Simulações computacionais e robótica oferecem recursos eficientes para superar barreiras tradicionais no ensino de óptica.



O Desafio e Barreiras (TAG5-DB), com 30.4% de frequência, é o eixo que modera o otimismo tecnológico. A persistência de achados sobre a formação deficitária de educadores representa o maior obstáculo sistêmico para a adoção plena das metodologias interativas. É imperativo que a formação inicial e continuada de professores de Física desenvolva a proficiência em Simulação e Robótica, pois a ausência desse domínio resulta na subutilização ou na implementação inadequada das ferramentas disponíveis (23,46). Além disso, as barreiras institucionais, como o custo e a escassez de infraestrutura, atuam como um fator de aversão a aplicação dessas metodologias. A questão do custo elevado da Robótica e a necessidade de tempo para o desenvolvimento curricular sugerem que, para a superação desses desafios, é necessária uma política educacional coordenada, que abranja desde o financiamento de kits (Robótica) até a padronização de plataformas abertas de simulação (54,16,49).

3.3 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Esta seção finaliza o trabalho de revisão, apresentando a análise crítica do argumento central e o cumprimento dos objetivos, a partir das evidências e interpretações tecidas nos capítulos anteriores.

A análise do corpo documental confirmou a hipótese de que a combinação de simulações computacionais e robótica oferece recursos eficientes para a superação das barreiras tradicionais no ensino de Óptica. O estudo avaliou a progressão do conhecimento no domínio, fornecendo uma visão geral da literatura atual. O Objetivo Geral, de analisar os desafios e as oportunidades dessa integração, foi integralmente atingido através da síntese dos achados (Seção 3.1) e da análise crítica (Seção 3.2).

O cumprimento dos Objetivos Específicos (O.E.) é fica evidenciado. O O.E. 1, que visava identificar as principais barreiras, revelou que a limitação na formação de professores e as barreiras institucionais (custo, infraestrutura) são os obstáculos sistêmicos mais prevalentes (TAG5-DB). O O.E. 2 foi atendido pela comprovação da complementaridade: as simulações desconstroem a abstração conceitual da Óptica (TAG3-FS), enquanto a robótica proporciona a concretização do conhecimento via aplicação e engenharia (TAG2-RE). Por fim, o O.E. 3 foi concluído pela investigação dos impactos (TAG4-IM), que demonstrou a consistência dos ganhos de performance e retenção conceitual dos alunos em ambientes interativos.

A implicação central do estudo reside na tensão dialética entre a comprovada eficácia pedagógica das tecnologias e as persistentes barreiras sistêmicas. Os achados demonstram que o desafio não é mais de ordem conceitual ou tecnológica, mas sim de ordem política e formativa. O desenvolvimento de competências em pensamento crítico e solução de problemas, estimulado pela robótica e simulações, é diretamente relevante para o contexto do ensino de física (óptica), conforme a motivação da pesquisa.

Contudo, enquanto as plataformas digitais se proliferam (alta frequência de TAG3-FS), a ausência de um investimento equivalente na capacitação docente (alta frequência de TAG5-DB) ameaça transformar essa oportunidade tecnológica em um fator de educacional corrompido, reservando os benefícios da



inovação apenas a contextos com infraestrutura e professores já proficientes. A validação teórica reside na confirmação de que a articulação entre as tecnologias fornece um modelo robusto para o ensino de Óptica, mas sua transposição da teoria para a prática depende criticamente da superação das limitações humanas e estruturais.

3.4 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

A partir das lacunas identificadas, sugere-se que pesquisas futuras se concentrem nas seguintes direções, visando avançar o conhecimento no domínio (TAG4-IM):

- **Validação de Modelos Híbridos (Simulação-Robótica):** São necessários estudos empíricos que comparem diretamente a eficácia do uso da simulação *isolada* com o uso da simulação *seguida pela robótica* em termos de retenção de longo prazo e transferência de conhecimento para problemas não previstos.
- **Avaliação de Impacto da Formação Docente:** Pesquisas focadas em métodos de formação continuada de professores de física em Robótica e Simulação (TAG5-DB), utilizando modelos pré- e pós-intervenção, para medir a proficiência técnica e o aumento na frequência de uso dessas metodologias em sala de aula.
- **Desenvolvimento de Kits de Custo Acessível:** Sugere-se a concepção e validação de projetos robóticos de código aberto e baixo custo (TAG2-RE), especificamente voltados para conceitos de Óptica, com o objetivo de mitigar a barreira econômica e de infraestrutura nas escolas (TAG5-DB).



REFERÊNCIAS

- [1] HECKLER, V.; SARAIVA, M. DE F. O.; OLIVEIRA FILHO, K. DE S. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. *Revista Brasileira De Ensino De Fisica*, v. 29, n. 2, p. 267–273, 1 jan. 2007.
- [2] ANTUENO, EDUARDO A. Simulaciones para la enseñanza de fisica en la universidad. Universidad Tecnológica Nacional- Regional Buenos Aires, p. 1–7, 2010.
- [3] KANIAWATI, I. et al. An Analysis of Students' Misconceptions on the Implementation of Active Learning of Optics and Photonics Approach Assisted by Computer Simulation. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijet)*, v. 15, n. 09, p. 76–93, 15 maio 2020.
- [4] FORNAZA, R.; G. WEBBER, C. Robótica educacional aplicada à aprendizagem em física. *RENOTE*, v. 12, n. 1, 18 jul. 2014.
- [5] RIVERA-ORTEGA, U.; DIRCKX, J. Visualizing the phenomena of wave interference, phase-shifting and polarization by interactive computer simulations. *European Journal of Physics*, v. 36, n. 5, p. 0550161–05501610, 15 jul. 2015.
- [6] JIMÉNEZ, P. M. et al. Tutorial and simulation electrooptic and acoustooptic software as innovative methodology to improve the quality of electronic and computer engineering formation. *IEEE Transactions on Education*, v. 49, n. 2, p. 302–308, 1 maio 2006.
- [7] NEDER, R. B.; PROFFEN, T. Teaching diffraction with the aid of computer simulations. *Journal of Applied Crystallography*, v. 29, n. 6, p. 727–735, 1 dez. 1996.
- [8] HUI, Z.; WANG, D. The Application of Computer Graphics Technology in Optical Teaching. *I.J. Education and Management Engineering*, v. 3, n. 1, p. 233–235, 12 mar. 2011.
- [9] MORAES, J. P. A.; DURAN, R. S.; BITTENCOURT, R. A. Robótica Educacional e Habilidades do Século XXI: Um Estudo de Caso com Estudantes do Ensino Médio. *Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EDUCOMP)*, p. 173–183, 24 abr. 2023.
- [10] ORTEGA, M. X. P. et al. Robótica educativa aplicando el modelo instruccional ADDIE: estrategia didáctica para fortalecer la enseñanza- aprendizaje en la asignatura de Física. *Revista Latinoamericana Ogmios*, v. 4, n. 10, p. 11–28, 6 jun. 2024.
- [11] JOHAL, W. et al. Augmented Robotics for Learners: A Case Study on Optics. *2019 28th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication, RO-MAN 2019*, p. 8956363, 1 out. 2019.
- [12] ÁNGEL-DÍAZ, C. M. et al. Simulador de Robótica Educativa para la promoción del Pensamiento Computacional. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, v. 20, n. 63, p. 30–34, 30 abr. 2020.
- [13] MAMANI, N. M. et al. A systematic mapping about simulators and remote laboratories using hardware in the loop and robotic: Developing STEM/STEAM skills in pre-university education. *SIIE 2021 - 2021 International Symposium on Computers in Education*, p. 1–6, 23 set. 2021.



- [14] FURIÓ, D. et al. HOBIT: Hybrid Optical Bench for Innovative Teaching. Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, v. 2017- May, p. 949–959, 2 maio 2017.
- [15] LAGON, H. M. PHET Interactive Simulations in Learning Optics towards Pre-Service Science Teachers: A Phenomenological Study. American Journal of Education and Technology, v. 2, n. 3, p. 129–135, 14 ago. 2023.
- [16] TANG, Q. et al. Optical virtual experimental simulation platform: SeeLight. Proceedings of SPIE: 14th Conference on Education and Training in Optics and Photonics: ÉTOP 2017, v. 10452, p. 375–381, 16 ago. 2017.
- [17] JAKUBIEC, B. Application of simulation models for programming of robots. SOCIETY. INTEGRATION. EDUCATION. Proceedings of the International Scientific Conference, v. 5, p. 283, 25 maio 2018.
- [18] ZHANG, Y. et al. The Application of CoppeliaSim EDU in Robot Course Teaching. Journal of education and educational research, v. 7, n. 1, p. 167–170, 6 jan. 2024.
- [19] WANG, Y. et al. Exploring the teaching model of an industrial robotics course based on integrated theory-virtual-practice. Advances in Social Science, Education and Humanities Research/Advances in social science, education and humanities research, v. 784, p. 39–45, 14 out. 2023.
- [20] AMARAL, L. A.; BELICH, H. Kleinberg's Navigation in Fractal Small-World Networks by Dynamic Rejection Sampling. Brazilian Journal of Physics 2021 51:6, v. 51, n. 6, p. 1858–1866, 9 out. 2021.
- [21] KARIM, M. E.; LEMAIGNAN, S.; MONDADA, F. A review: Can robots reshape K-12 STEM education? Proceedings of IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts, ARSO, v. 2016-March, 7 mar. 2016.
- [22] STOKES, A. et al. Using Robotics to Support the Acquisition of STEM and 21st-Century Competencies: Promising (and Practical) Directions. Canadian Journal of Education/Revue canadienne de l'éducation, v. 45, n. 4, p. 1141–1170, 2022.
- [23] ALSOLIMAN, B. S. H. The Utilization of Educational Robotics in Saudi Schools: Potentials and Barriers from the Perspective of Saudi Teachers. International Education Studies, v. 11, n. 10, p. p105, 27 set. 2018.
- [24] LAKSHMINARAYANAN, V. et al. Role of simulations in optics education. Proceedings of SPIE, v. 9946, p. 214–225, 27 set. 2016.
- [25] CAMARGO, E. P.; NARDI, R. Dificuldades e alternativas encontradas por licenciandos para o planejamento de atividades de ensino de óptica para alunos com deficiência visual. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, n. 1, p. 115–126, 2007.
- [26] SISE1, O. et al. Exploring focal and aberration properties of electrostatic lenses through computer simulation. European Journal of Physics, v. 29, n. 6, p. 1165–1176, 1 set. 2008.



- [27] POULTSAKIS, S. et al. The management of Digital Learning Objects of Natural Sciences and Digital Experiment Simulation Tools by teachers. *Advances in Mobile Learning Educational Research*, v. 1, n. 2, p. 58–71, 29 jun. 2021.
- [28] YAO, T. et al. Demonstration of theoretical and experimental simulations in fiber optics course. *Proceedings of SPIE*, v. 10452, n. 16, p. 1045204, 29 maio 2017.
- [29] GAMO, J. A Contribution to Virtual Experimentation in Optics. *Advanced Holography - Metrology and Imaging*, p. 357–373, 9 nov. 2011.
- [30] LIMA, J. et al. A realistic simulation environment as a teaching aid in educational robotics. *2022 19th Latin American Robotics Symposium, 2022 14th Brazilian Symposium on Robotics and 2022 13th Workshop on Robotics in Education, LARS-SBR-WRE 2022*, p. 430–435, 18 out. 2022.
- [31] KOLB, U. et al. A Robotic Telescope For University-Level Distance Teaching. *Robotic Telescopes, Student Research and Education (RTSRE) Conference Proceedings*, v. 1, n. 1, p. 127–136, 17 out. 2018.
- [32] BAUMEISTER, R. F.; LEARY, M. R. Writing narrative literature reviews. *Review of General Psychology*, v. 1, n. 3, p. 311–320, 1 set. 1997.
- [33] RETHLEFSEN, M. L. et al. PRISMA-S: an extension to the PRISMA Statement for Reporting Literature Searches in Systematic Reviews. *Systematic Reviews*, v. 10, n. 1, p. 1–19, 26 jan. 2021.
- [34] KRAUS, S. et al. Literature reviews as independent studies: guidelines for academic practice. *Review of Managerial Science*, v. 16, n. 8, p. 2577–2595, 14 out. 2022.
- [35] MUGNAINI, R. et al. Panorama da produção científica do Brasil além da indexação: uma análise exploratória da comunicação em periódicos. *Transinformacao*, v. 31, p. s.p., 11 nov. 2019.
- [36] ROPOVIK, I.; ADAMKOVIC, M.; GREGER, D. Neglect of publication bias compromises meta-analyses of educational research. *PLOS ONE*, v. 16, n. 6, p. s.p., 3 jun. 2021.
- [37] ELLEFSEN, K. O.; DAUTENHAHN, K.; TORRESEN, J. Guest Editorial Special Issue on Development and Learning and on Epigenetic Robotics. *IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems*, v. 14, n. 4, p. 1302–1305, 1 dez. 2022.
- [38] MARCOS-PABLOS, S.; GARCÍA-PEÑALVO, F. J. More than surgical tools: a systematic review of robots as didactic tools for the education of professionals in health sciences. *Advances in Health Sciences Education*, v. 27, n. 4, p. 1139–1176, 30 jun. 2022.
- [39] HADDAWAY, N. R. et al. The Role of Google Scholar in Evidence Reviews and Its Applicability to Grey Literature Searching. *PLOS ONE*, v. 10, n. 9, p. s.p., 17 set. 2015.
- [40] TRESPIDI, C.; BARBUI, C.; CIPRIANI, A. Why it is important to include unpublished data in systematic reviews. *Epidemiology and Psychiatric Sciences*, v. 20, n. 2, p. 133–135, 1 jun. 2011.
- [41] HECKLER, V.; SARAIVA, M. DE F. O.; OLIVEIRA FILHO, K. DE S. Uso de simuladores, imagens e animações como ferramentas auxiliares no ensino/aprendizagem de óptica. *Revista Brasileira De Ensino De Fisica*, v. 29, n. 2, p. 267–273, 1 jan. 2007.



- [42] BILBRO, J. et al. Optics education for K-12. Sixth International Conference on Education and Training in Optics and Photonics, v. 3831, n. 16, p. 92–97, 16 jun. 2000.
- [43] YAZAR SOYADI, Y. A.; AKÇAY, S. Elektron Optığının Öğretilmesinde Işık Optiği ile Zenginleştirilmiş Analoji Kurulumu. Bartın Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, v. 3, n. 2, p. 273–273, 15 dez. 2014.
- [44] GOMEZ, E. L.; FITZGERALD, M. T. Robotic telescopes in education. *Astronomical Review*, v. 13, n. 1, p. 28–68, 2 jan. 2017.
- [45] ÁNGEL-DÍAZ, C. M. et al. Simulador de Robótica Educativa para la promoción del Pensamiento Computacional. *RED. Revista de Educación a Distancia*, v. 20, n. 63, p. 8, 30 abr. 2020.
- [46] RAMÍREZ, P. A. L.; SOSA, H. A. Aprendizaje de y con robótica, algunas experiencias. *Revista Educación*, v. 37, n. 1, p. 43–63, 30 jun. 2013.
- [47] TSELEGKARIDIS, S.; SAPOUNIDIS, T. Simulators in Educational Robotics: A Review. *Education Sciences*, v. 11, n. 1, p. 11, 1 jan. 2021.
- [48] LOPES, A. R. DA S.; CRUZ, E.; SIEBRA, C. Uma Análise com Foco Quantitativo sobre o Uso da Robótica Educacional no Ensino da Física. *Anais do XXIV Workshop de Informática na Escola (WIE 2018) / VII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2018)*, p. 99–108, 28 out. 2018.
- [49] FRASSON, R. L.; RAMIREZ, A. R. GARCIA. Ambiente de simulação interativo para o ensino de Robótica. *Anais do Computer on the Beach*, v. 18, n. 3, p. 366–367, 1 jan. 2014.
- [50] LOKE, S. K. et al. Challenges in integrating a complex systems computer simulation in class: An educational design research. *Australasian Journal of Educational Technology*, v. 28, n. 4, p. 671–683, 17 maio 2012.
- [51] VELASCO, J.; BUTELER, L. Simulaciones computacionales en la enseñanza de la física: una revisión crítica de los últimos años. *Enseñanza de las Ciencias. Revista de investigación y experiencias didácticas*, v. 35, n. 2, p. 161–178, 7 jun. 2017.
- [52] LIMA, J.; N. MARTINS, F.; COSTA, P. Teaching Practical Robotics During the COVID-19 Pandemic: A Case Study on Regular and Hardware-in-the-Loop Simulations. *Lecture Notes in Networks and Systems*, v. 589 LNNS, p. 538–549, 19 nov. 2022.
- [53] RAO, L. N.; JALIL, H. A. A Survey on Acceptance and Readiness to Use Robot Teaching Technology Among Primary School Science Teachers. *Asian Social Science*, v. 17, n. 11, p. 115, 15 out. 2021.
- [54] ESTEVES, R. F.; FISCARELLI, S. H.; SOUZA, C. B. G. As barreiras para implementação das TIC na sala de aula. *Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação*, v. 9, n. 3, p. 583–598, 1 jan. 2014.
- [55] YOST, L. Literature Review Of Physical And Virtual Robotics In Educational Environments. *John Heinrichs Scholarly & Creative Activities Day*, v. 1, p. 1, 1 jan. 2023.



[56] SHAHMORADI, S. et al. What Teachers Need for Orchestrating Robotic Classrooms. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), v. 12315 LNCS, p. 87–101, 2020.