UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE

FACULDADE DE EDUCAÇÃO

Revista Querubim

Letras – Ciências Humanas – Ciências Sociais

Edição 60

Ano 22

Volume Especial 3 – Ciências

Aroldo Magno de Oliveira

(Ed./Org.)

2026 **2026** **2026** **2026**

Niterói – RJ

Revista Querubim 2026 – Ano 22 nº60 – vol. esp. 3 – Ciências – 150p. (outubro – 2026)
Rio de Janeiro: Querubim, 2026 – 1. Linguagem 2. Ciências Humanas 3. Ciências Sociais. Periódicos. I - Titulo: Revista Querubim Digital

Conselho Científico
Alessio Surian (Universidade de Padova - Itália)
Darcília Simoes (UERJ – Brasil)
Evarina Deulofeu (Universidade de Havana – Cuba)
Madalena Mendes (Universidade de Lisboa - Portugal)
Vicente Manzano (Universidade de Sevilla – Espanha)
Virginia Fontes (UFF – Brasil)

Conselho Editorial
Presidente e Editor
Aroldo Magno de Oliveira

Consultores
Alice Akemi Yamasaki
Bruno Gomes Pereira
Carla Mota Regis de Carvalho
Elanir França Carvalho
Enéias Farias Tavares
Francilane Eulália de Souza
Gladiston Alves da Silva
Guilherme Wyllie
Hugo de Carvalho Sobrinho
Hugo Norberto Krug
Janete Silva dos Santos
Joana Angélica da Silva de Souza
João Carlos de Carvalho
José Carlos de Freitas
Jussara Bittencourt de Sá
Luciana Marino Nascimento
Luiza Helena Oliveira da Silva
Mayara Ferreira de Farias
Pedro Alberice da Rocha
Regina Célia Padovan
Shirley Gomes de Souza Carreira
Vânia do Carmo Nóbile
Venício da Cunha Fernandes

SUMÁRIO

01	**Glediston de Aquino Gonçalves -** Alfabetização científica midiática e enfrentamento à desinformação na educação básica: contribuições do ensino de ciências para a avaliação crítica de evidências, a formação do pensamento crítico e o exercício da cidadania digital	04
02	**Glediston de Aquino Gonçalves –** Controle sustentável de achatina fulica (caramujo africano) em ambiente escolar de Riachinho-TO: correção do solo, intervenção química controlada e educação ambiental	28
03	**Glediston de Aquino Gonçalves -** Inteligência artificial generativa no ensino de ciências da natureza na educação básica: uma revisão integrativa sobre potencialidades pedagógicas, desafios éticos e alfabetização científica	49
04	**Glediston de Aquino Gonçalves –** Laboratórios virtuais e experimentação investigativa no ensino de química: articulações entre pensamento científico, múltiplas representações e aprendizagem conceitual na educação básica	71
05	**Glediston de Aquino Gonçalves –** Modelagem matemática como metodologia investigativa na educação básica: contribuições para a aprendizagem significativa, o raciocínio matemático, a interdisciplinaridade e a resolução crítica de problemas do cotidiano	87
06	**Glediston de Aquino Gonçalves –** Resolução de problemas como estratégia metodológica no ensino de matemática: contribuições para o desenvolvimento do raciocínio, da autonomia e da aprendizagem na educação básica	101
07	**Glediston de Aquino Gonçalves –** Robótica educacional no ensino de matemática: contribuições para o desenvolvimento do pensamento computacional e da resolução de problemas na educação básica	116
08	**Glediston de Aquino Gonçalves –** Saúde mental e condições de trabalho docente na educação básica: uma revisão integrativa sobre adoecimento, valorização profissional e qualidade do ensino	131

ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA MIDIÁTICA E ENFRENTAMENTO À DESINFORMAÇÃO NA EDUCAÇÃO BÁSICA: CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE CIÊNCIAS PARA A AVALIAÇÃO CRÍTICA DE EVIDÊNCIAS, A FORMAÇÃO DO PENSAMENTO CRÍTICO E O EXERCÍCIO DA CIDADANIA DIGITAL

Glediston de Aquino Gonçalves[1]

Resumo

O artigo analisa as contribuições do ensino de Ciências para o desenvolvimento da alfabetização científica midiática e o enfrentamento à desinformação na educação básica. Realizou-se revisão integrativa, qualitativa e analítico-sintética, abrangendo publicações de janeiro de 2020 a agosto de 2026 localizadas em SciELO, ERIC, DOAJ, Google Scholar, páginas de periódicos, registros DOI e repositórios institucionais. O corpus reuniu 45 publicações científicas e dez documentos normativos ou técnico-institucionais, examinados por análise temática. Os resultados foram organizados em seis eixos: ampliação da alfabetização científica; compreensão da produção e da comunicação do conhecimento; avaliação de fontes, evidências e consensos; leitura lateral e raciocínio científico on-line; estratégias de correção e prevenção; e condições curriculares, docentes e sociotécnicas. A síntese indica que o domínio de conceitos científicos é necessário, mas insuficiente para resistir à desinformação. A formação do estudante como cidadão digital requer competências conceituais, epistêmicas, midiático-informacionais e cívico-éticas, articuladas à capacidade de reconhecer limites do próprio conhecimento e recorrer criticamente a especialistas e instituições. Intervenções de letramento midiático, leitura lateral, inoculação e atenção à acurácia apresentam resultados promissores, porém heterogêneos e nem sempre transferíveis para comportamentos de compartilhamento. Conclui-se que o ensino de Ciências contribui de modo mais consistente quando integra análise de controvérsias, procedência das informações, argumentação, incerteza e responsabilidade pública, sem individualizar um problema também produzido por plataformas, desigualdades e disputas políticas.

Palavras-chave: alfabetização científica midiática; desinformação; ensino de Ciências; pensamento crítico; cidadania digital; educação básica.

Abstract

This article analyzes how science education can foster scientific media literacy and address misinformation in basic education. A qualitative, analytical-synthetic integrative review was conducted with publications issued from January 2020 to August 2026 and retrieved from SciELO, ERIC, DOAJ, Google Scholar, journal websites, DOI records, and institutional repositories. The corpus comprised 45 scholarly publications and ten normative or technical-institutional documents, examined through thematic analysis. Findings were organized into six axes: the expansion of scientific literacy; understanding the production and communication of knowledge; evaluation of sources, evidence, and consensus; lateral reading and scientific online reasoning; corrective and preventive strategies; and curricular, teacher-related, and sociotechnical conditions. Scientific content knowledge is necessary but insufficient for resisting misinformation. Educating students as digital citizens requires conceptual, epistemic, media-information, and civic-ethical competencies, combined with recognition of the limits of one's knowledge and critical reliance on experts and institutions. Media literacy, lateral reading, inoculation, and accuracy-focused interventions show promising but heterogeneous effects that do not always transfer to sharing behavior. Science education contributes most consistently when it integrates the analysis of controversies, information provenance, argumentation, uncertainty, and public responsibility, without individualizing a problem also shaped by platforms, inequalities, and political disputes.

Keywords: scientific media literacy; misinformation; science education; critical thinking; digital citizenship; basic education.

[1] Licenciado em Química pela Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática pela Faculdade FAVENI. Possui especialização em Metodologia do Ensino de Química pelo Instituto Cultus e em Educação de Jovens e Adultos EJA. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Tem como áreas de interesse o Ensino de Química, o Ensino de Matemática, a Educação de Jovens e Adultos, a Educação Ambiental, a formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

A circulação de informações científicas em ambientes digitais alterou profundamente as condições em que crianças, adolescentes e adultos constroem julgamentos sobre saúde, clima, energia, alimentação, vacinação e novas tecnologias. Buscadores, redes sociais, plataformas de vídeo e aplicativos de mensagens ampliaram o acesso a explicações e dados, mas também reduziram a visibilidade dos processos editoriais que tradicionalmente separavam a produção especializada da comunicação pública. Uma afirmação cientificamente consistente pode aparecer, na mesma tela e com aparência equivalente, ao lado de conteúdo publicitário, opinião, sátira, fraude ou discurso deliberadamente enganoso. Nesse ecossistema, a quantidade de informação disponível não corresponde automaticamente à qualidade do conhecimento mobilizado para decidir e agir (HÖTTECKE; ALLCHIN, 2020; HOWELL; BROSSARD, 2021; NATIONAL ACADEMIES, 2024).

A pandemia de Covid-19 tornou particularmente visível a dimensão social do problema. Recomendações modificavam-se à medida que novas evidências eram produzidas, incertezas próprias da ciência em desenvolvimento foram exploradas como sinais de incompetência ou conspiração, e conteúdos falsos circularam em redes de confiança política, religiosa e familiar. No Brasil, estudos identificaram ataques organizados à ciência, estratégias discursivas negacionistas e apropriações seletivas de termos científicos para conferir legitimidade a alegações enganosas (PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2020; PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2022; PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2023). O episódio não inaugurou a desinformação científica, mas demonstrou que a capacidade de avaliar evidências possui consequências concretas para a saúde coletiva, a democracia e a vida cotidiana.

A educação básica é convocada a responder a esse contexto porque forma sujeitos que já participam de práticas digitais, consomem conteúdos e influenciam decisões em suas comunidades. A pesquisa TIC Kids Online Brasil evidencia a presença intensa de crianças e adolescentes conectados, ainda que as oportunidades de acesso, mediação e aprendizagem sejam distribuídas de modo desigual (CGI.BR, 2025; CGI.BR, 2026). Jovens não são receptores homogêneos nem inevitavelmente ingênuos: avaliam informações com base em conhecimentos prévios, confiança, reputação percebida, linguagem, vínculos sociais e compatibilidade identitária. Pesquisa brasileira sobre percepções juvenis mostrou preocupação com notícias falsas sobre ciência, mas também dificuldades para reconhecer critérios confiáveis de verificação (FAGUNDES et al., 2021).

Nesse cenário, a alfabetização científica precisa ultrapassar a aprendizagem de conceitos e vocabulários. Conhecer princípios de Biologia, Física e Química favorece a interpretação de alegações, mas não basta quando a questão exige decidir se um perfil é autêntico, compreender por que um estudo isolado não invalida um corpo de evidências, distinguir correlação de causalidade, reconhecer conflito de interesses ou avaliar a competência de um especialista. Sharon e Baram-Tsabari (2020) mostram que a alfabetização científica pode ajudar na identificação de desinformação cotidiana, porém sua contribuição depende da articulação entre conhecimento de conteúdo, compreensão da natureza da ciência e estratégias de avaliação. Howell e Brossard (2021) defendem, por isso, que ser alfabetizado cientificamente no mundo digital envolve navegar pela ecologia informacional na qual a ciência é produzida, mediada e disputada.

A noção de alfabetização científica midiática responde a essa ampliação. Ela reúne capacidades para compreender explicações e práticas científicas, examinar a procedência e a qualidade de mensagens sobre ciência, identificar modos de produção e circulação dos conteúdos e participar de decisões públicas de maneira responsável. Não se trata de justapor

uma aula sobre ciência a outra sobre mídia. O desafio é analisar como evidências são transformadas em gráficos, manchetes, vídeos, depoimentos e postagens; que aspectos são enfatizados ou omitidos; quais atores reivindicam autoridade; e como escolhas de linguagem, enquadramento e plataforma modificam a interpretação. A proposta aproxima alfabetização científica, educação midiática e informacional e cidadania digital (UNESCO, 2021; FÄHNRICH et al., 2021; ARAÚJO; PEREIRA; MENDONÇA, 2025).

Tal perspectiva exige abandonar uma imagem idealizada da ciência como coleção de certezas produzidas por indivíduos isolados. O conhecimento científico é provisório, mas não arbitrário; depende de métodos, instrumentos, registros, crítica de pares, replicação, especialização e instituições. Cidadãos não dispõem de tempo ou formação para reproduzir cada estudo relacionado às decisões que enfrentam. Em grande parte, precisam julgar quem possui competência pertinente, como uma afirmação se relaciona com o consenso especializado, que mecanismos de controle foram empregados e se existem razões relevantes para suspeitar de distorção. Osborne e Pimentel (2023) denominam esse sujeito de participante capaz de avaliar a confiabilidade do testemunho especializado, enquanto Osborne e Allchin (2024) o descrevem como um “outsider competente”: alguém que não substitui o cientista, mas compreende como estabelecer confiança informada.

A formação desse outsider competente não equivale a recomendar obediência acrítica à autoridade. Instituições podem falhar, interesses econômicos podem influenciar agendas, grupos historicamente marginalizados podem ter seus saberes desconsiderados e a comunicação científica pode reproduzir desigualdades. Uma alfabetização crítica deve examinar simultaneamente as razões para confiar em práticas coletivas de produção de conhecimento e as condições sob as quais essa confiança precisa ser revisada. Valladares (2021) e Silva e Sasseron (2021) vinculam alfabetização científica à transformação social e à participação, enquanto Gandolfi (2025) adverte que discussões sobre natureza da ciência precisam considerar injustiças epistêmicas e perspectivas decoloniais. A crítica responsável distingue vigilância democrática de suspeita generalizada.

O pensamento crítico, nesse campo, não pode ser reduzido a duvidar de tudo ou encontrar defeitos retóricos. Ele envolve formular perguntas pertinentes, considerar explicações alternativas, procurar evidências contrárias, avaliar a suficiência das justificativas e ajustar a confiança de maneira proporcional à qualidade do suporte disponível. Também inclui reconhecer limites cognitivos, vieses e emoções que afetam o julgamento. Repetição aumenta familiaridade; linguagem fluente pode ser confundida com veracidade; ameaças identitárias favorecem raciocínio motivado; e uma correção pode não apagar completamente a influência de uma alegação falsa (ECKER et al., 2022). A educação precisa, portanto, articular disposições, conhecimentos e procedimentos, em vez de oferecer listas descontextualizadas de sinais de “fake news”.

A literatura recente apresenta intervenções promissoras. Estratégias de leitura lateral ensinam o estudante a sair da página original, investigar a organização ou o autor e comparar fontes independentes; abordagens de raciocínio cívico on-line demonstram ganhos quando integradas ao currículo (MCGREW, 2020; MCGREW; BREAKSTONE, 2023). Intervenções de inoculação ou prebunking antecipam técnicas de manipulação antes da exposição a conteúdos falsos; lembretes de acurácia deslocam temporariamente a atenção para a qualidade da informação; e correções bem elaboradas podem reduzir crenças equivocadas (PENNYCOOK et al., 2021; LU et al., 2023). Contudo, efeitos médios não são uniformes, podem se reduzir com o tempo e nem sempre se traduzem em comportamento de compartilhamento.

Também é necessário evitar que a resposta educacional individualize um problema estrutural. A exposição resulta de modelos de negócio, sistemas de recomendação, publicidade segmentada, arquitetura de engajamento e assimetrias de poder. Responsabilizar exclusivamente o estudante por verificar cada conteúdo ignora a velocidade e o volume da circulação, as barreiras de leitura, as diferenças de conectividade e o fato de que plataformas premiam mensagens emocionalmente intensas. Kozyreva et al. (2020) sustentam que ferramentas cognitivas precisam ser acompanhadas de mudanças no ambiente de escolha. A alfabetização científica midiática é indispensável, mas não substitui transparência institucional, jornalismo de qualidade, moderação responsável, proteção de dados e políticas públicas.

No Brasil, a Política Nacional de Educação Digital, a Estratégia Brasileira de Educação Midiática, o complemento de Computação à Base Nacional Comum Curricular e orientações do Ministério da Educação criaram condições normativas para tratar cultura digital, pensamento crítico e avaliação de informações no currículo (BRASIL, 2022; BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b; BRASIL, 2025). A existência desses marcos, entretanto, não assegura implementação. Professores precisam de formação, tempo para planejamento, acesso a fontes confiáveis, apoio para abordar controvérsias e segurança institucional diante de temas polarizados. Levantamentos recentes da produção brasileira indicam expansão do debate, mas concentração de estudos teóricos, análises discursivas e experiências localizadas, com menor presença de investigações longitudinais e controladas na educação básica (OLIVEIRA; SOUSA, 2026; NICOLODI; ROSA; LIMA, 2026).

Diante disso, formula-se a seguinte questão: de que modo a literatura publicada entre janeiro de 2020 e agosto de 2026 caracteriza as contribuições, os limites e as condições de implementação do ensino de Ciências para o desenvolvimento da alfabetização científica midiática, a avaliação crítica de evidências e o enfrentamento à desinformação na educação básica? O objetivo geral é analisar criticamente essas relações por meio de revisão integrativa. Como objetivos específicos, busca-se: a) delimitar fundamentos conceituais da alfabetização científica midiática; b) identificar mecanismos cognitivos, sociais e tecnológicos associados à desinformação; c) sistematizar competências de avaliação de fontes, evidências e autoridades; d) examinar resultados de intervenções educacionais; e) discutir currículo, formação docente, equidade e cidadania digital; e f) apontar lacunas para a pesquisa.

A relevância do estudo reside em integrar campos que frequentemente permanecem separados. Pesquisas sobre alfabetização científica podem concentrar-se no domínio conceitual; estudos de mídia podem negligenciar especificidades da evidência científica; investigações psicológicas medem discernimento em tarefas breves; e documentos curriculares formulam competências amplas sem explicitar as condições de ensino. A revisão sustenta a tese de que o enfrentamento educacional à desinformação requer quatro dimensões articuladas — conceitual, epistêmica, midiático-informacional e cívico-ética — e uma quinta dimensão transversal, a capacidade de converter avaliação em ação responsável. Após esta introdução, discutem-se fundamentos, ecossistemas e estratégias; apresentam-se a metodologia, os resultados e as considerações finais.

Fundamentos da alfabetização científica midiática

Da alfabetização científica à alfabetização científica midiática

A alfabetização científica é um conceito plural. Em uma acepção restrita, designa domínio de conceitos, termos e procedimentos; em perspectivas ampliadas, envolve compreender como o conhecimento é produzido, relacionar ciência, tecnologia, sociedade e ambiente e participar de decisões. A literatura recente reforça que a finalidade formativa não se completa quando o estudante apenas recorda fatos. Valladares (2021) associa alfabetização

científica à transformação social, e Silva e Sasseron (2021) propõem integrar domínios conceituais, epistêmicos, sociais e materiais do conhecimento científico. Essa orientação impede que o currículo trate participação como um acréscimo posterior ao conteúdo: aprender ciência inclui compreender onde, por quem e com quais consequências o conhecimento circula.

O ambiente midiático acrescenta um problema de representação. A maioria dos cidadãos acessa ciência por mediações: reportagens, influenciadores, campanhas, documentários, infográficos, postagens ou conversas em aplicativos. Cada formato seleciona evidências, comprime incertezas e organiza a atenção. Uma matéria pode ser factualmente correta e ainda assim induzir interpretação desproporcional ao destacar um risco relativo sem informar valores absolutos; uma postagem pode citar um estudo real, mas omitir que foi retratado ou que seus resultados divergem do conjunto da literatura. A alfabetização científica midiática examina tanto a validade da alegação quanto o percurso comunicativo que a tornou visível (HOWELL; BROSSARD, 2021; FÄHNRICH et al., 2021).

Araújo, Pereira e Mendonça (2025) sistematizam caminhos teórico-metodológicos para professores de Ciências e enfatizam que o enfrentamento à desinformação não deve depender apenas de checagens posteriores. É necessário ensinar como mensagens científicas são construídas, como se avaliam fontes e quais disposições favorecem revisão de crenças. A proposta converge com a educação midiática da UNESCO (2021), que inclui acesso, análise, avaliação, criação e participação. O estudante alfabetizado não é somente consumidor cauteloso; é também produtor de conteúdo, participante de comunidades e agente responsável pelas consequências de compartilhar. A relação positiva observada por Gu e Feng (2022) entre engajamento público com ciência e literacia de informação científica reforça a importância de experiências participativas, embora contexto e causalidade recomendem prudência.

A integração pode ser organizada em quatro dimensões. A dimensão conceitual permite interpretar o fenômeno em discussão e reconhecer incompatibilidades básicas. A dimensão epistêmica aborda evidência, método, incerteza, consenso e crítica. A dimensão midiático-informacional examina autoria, procedência, enquadramento, circulação, monetização e arquitetura da plataforma. A dimensão cívico-ética considera direitos, responsabilidades, justiça, consequências coletivas e participação democrática. Separadas, essas dimensões produzem lacunas: conteúdo sem mídia favorece ingenuidade comunicacional; mídia sem epistemologia pode reduzir verificação a estética; crítica sem ética pode converter-se em cinismo.

Uma quinta dimensão, transversal, é a ação. A pessoa pode reconhecer que um conteúdo é duvidoso e ainda compartilhá-lo por humor, pertencimento ou indignação. Pode compreender um consenso e não incorporá-lo à decisão porque desconfia das instituições ou se sente ameaçada. Por isso, resultados educacionais precisam distinguir conhecimento, discernimento, intenção, comportamento e participação. A metanálise de Lu et al. (2023) é ilustrativa: inoculações psicológicas reduziram credibilidade percebida e melhoraram discernimento, mas não produziram efeito significativo agregado sobre o compartilhamento de desinformação. Formar para agir requer normas sociais, oportunidade de escolha, autorregulação e confiança.

A revisão sistemática de Xie e Yusuf (2026), com 54 estudos sobre alfabetização científica no século XXI, identifica avanço de pedagogias investigativas e sociocientíficas, mas também desequilíbrios regionais e necessidade de instrumentos mais sensíveis a diversidade. Esse achado interessa diretamente à alfabetização científica midiática: competências elaboradas em contextos de alta conectividade, idiomas dominantes e estabilidade institucional não podem ser transferidas sem adaptação. O currículo deve considerar repertórios locais, línguas, experiências

comunitárias, acessibilidade e temas relevantes para o território, preservando critérios de evidência e evitando hierarquizar grupos por proximidade com práticas culturais hegemônicas.

Natureza da ciência, confiança informada e dependência epistêmica

O ensino tradicional da natureza da ciência costuma enfatizar observação, experimentação, provisoriedade, criatividade e ausência de um método único. Esses elementos permanecem importantes, porém Höttecke e Allchin (2020) argumentam que a era das redes sociais exige incluir dimensões comunicativas e sociais: credibilidade, expertise, revisão por pares, conflitos de interesses, consenso e instituições. Uma pessoa pode saber que teorias científicas são revisáveis e interpretar essa característica, equivocadamente, como prova de que todas as opiniões possuem o mesmo valor. A educação precisa explicar como a abertura à revisão coexiste com graus robustos de confiança.

Feinstein e Waddington (2020) criticam respostas centradas exclusivamente no julgamento individual de verdade. Problemas públicos demandam construção coletiva de sentido, na qual comunidades interpretam evidências, negociam valores e distribuem responsabilidades. Essa abordagem não elimina o juízo pessoal, mas reconhece que o conhecimento é socialmente organizado. Nenhum cidadão verifica sozinho a segurança de uma vacina, a tendência climática global ou a toxicidade de uma substância. Ele depende de redes de especialistas, instrumentos e procedimentos; a competência reside em avaliar como essa dependência está estruturada. Pereira e Figueirôa (2024) aproximam a epistemologia social da educação em Ciências e mostram que essa dependência pode ser objeto explícito de formação.

A confiança informada diferencia autoridade relevante de prestígio genérico. Um prêmio em uma área não confere competência em todas as demais; experiência clínica individual não substitui automaticamente evidências populacionais; e a filiação institucional, embora informativa, não torna toda afirmação correta. Critérios mais consistentes incluem formação pertinente, atuação reconhecida no campo, transparência de métodos e conflitos, convergência com especialistas independentes e disposição para corrigir erros. Allchin (2023) reúne competências para a crise da desinformação, entre elas avaliar expertise, identificar práticas enganosas, compreender sistemas de verificação e interpretar desacordo.

O consenso científico merece atenção específica. Consenso não é votação popular nem unanimidade; é convergência de julgamentos especializados produzida por linhas independentes de evidência e práticas de crítica. Argumentos desinformativos frequentemente fabricam aparência de controvérsia por meio de especialistas marginais, listas de signatários ou exigência de certeza absoluta. Ensinar consenso envolve mostrar como revisões sistemáticas, sociedades científicas e painéis de especialistas integram resultados, mas também discutir condições em que o consenso pode mudar. Mellberg, Danielsson Friberg e Nygren (2025) encontraram avanços de estudantes do ensino médio na compreensão de consenso, fontes e revisão por pares após intervenção, com ganhos menores em incerteza e confiança epistêmica.

A incerteza não deve ser ocultada para proteger a autoridade da ciência. Estimativas possuem intervalos, modelos dependem de pressupostos e resultados podem divergir. O problema não é admitir incerteza, e sim comunicá-la sem produzir falsa equivalência. Alfabetização científica midiática ensina a perguntar o que é incerto, em que grau, por quais razões e se essa incerteza altera a decisão. Em políticas de saúde, esperar certeza absoluta pode ter custos; em afirmações extraordinárias, evidências preliminares justificam cautela. Julgamento crítico calibra confiança, não escolhe apenas entre verdadeiro e falso.

Uma perspectiva crítica acrescenta que a confiança é afetada por experiências históricas. Grupos submetidos a negligência, racismo, colonialismo ou exclusão podem ter razões para desconfiar de instituições. Gandolfi (2025) propõe reconsiderar a educação sobre natureza da ciência diante de injustiças sociocientíficas. Assim, recomendar confiança sem reconhecer falhas pode aprofundar distanciamento. O ensino deve tratar transparência, responsabilização, diversidade de participantes e mecanismos de contestação como componentes da confiabilidade. A autoridade científica torna-se mais defensável quando pode explicar seus procedimentos e responder publicamente por seus limites.

Desinformação científica nos ecossistemas digitais

Desinformação, informação incorreta, negacionismo e pseudociência

O vocabulário do campo exige precisão. Informação incorreta pode circular sem intenção de enganar; desinformação, em acepção mais estrita, envolve produção ou difusão deliberada de falsidade; mal-informação emprega conteúdo verdadeiro de modo descontextualizado para causar dano. Na literatura em português, “desinformação” é frequentemente usado como termo abrangente, e Nicolodi, Rosa e Lima (2026) defendem que a intencionalidade seja indicada quando comprovada. A expressão “fake news”, embora popular, pode reduzir fenômenos diversos a notícias inteiramente fabricadas e é utilizada politicamente para deslegitimar jornalismo ou crítica. Em contexto educacional, convém descrever o tipo de problema em vez de adotar rótulo único.

A desinformação científica inclui manipulação de dados, citações seletivas, falsa expertise, teorias conspiratórias, imitação de linguagem técnica e representação distorcida da incerteza. O negacionismo procura rejeitar um corpo consolidado de evidências, frequentemente recorrendo a padrões como exigir padrões impossíveis de prova, destacar dissidentes, atribuir conspiração e escolher estudos convenientes. Pseudociências podem mobilizar termos, equipamentos ou testemunhos com aparência científica sem se submeter a controles equivalentes. Ensinar essas distinções ajuda a reconhecer estratégias transferíveis entre temas, sem depender de memorizar cada boato.

Entretanto, classificar uma alegação como desinformação deliberada demanda evidências sobre intenção, que nem sempre estão disponíveis. O professor deve evitar atribuir motivação sem base e concentrar-se inicialmente em aspectos examináveis: exatidão, suporte, contexto, procedência, transparência e efeitos. Essa cautela é também pedagógica. Quando o conteúdo está ligado à identidade do estudante ou de sua família, acusar pessoas de mentira pode fechar o diálogo. Analisar o argumento, perguntar que evidência o modificaria e comparar fontes cria condições mais produtivas para revisão.

No Brasil, Pivaro e Girotto Júnior (2020) relacionam ataques à ciência em temas climáticos e sanitários a estratégias de manipulação. Estudos etnográficos e discursivos posteriores mostram que comunidades negacionistas não apenas rejeitam ciência: constroem interpretações internas, mobilizam experiências pessoais e apresentam-se como investigadores independentes (PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2022). Em redes politicamente polarizadas, fragmentos de conhecimento científico podem ser combinados com ataques a instituições e apelos identitários (PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2023). A resposta educacional precisa compreender essa organização discursiva, e não apenas fornecer fatos adicionais.

Conteúdos enganosos também podem ser parcialmente verdadeiros. Milaré, Duso e Richetti (2025) analisam conteúdos digitais viralizados como oportunidade para alfabetização científica e tecnológica. Um gráfico real pode ter eixo truncado; um resultado pode ser extrapolado para população distinta; uma correlação pode ser apresentada como causa; um

risco relativo pode omitir a linha de base. Esses casos são pedagogicamente férteis porque exigem leitura fina. A pergunta relevante deixa de ser "isso é falso?" e passa a incluir "o que exatamente a evidência permite concluir?".

Mendes e Messeder Neto (2025) acrescentam uma crítica ideológica: notícias falsas e negacionismo não circulam em vazio político, e o ensino de Ciências precisa defender a especificidade do conhecimento científico sem perder de vista interesses e relações sociais. Essa posição evita dois extremos: apresentar ciência como neutra e descontextualizada ou dissolver critérios epistêmicos em disputa de narrativas. A ciência é prática histórica e social, mas suas afirmações podem ser comparadas segundo qualidade de evidência, coerência, poder explicativo e abertura à crítica.

Mecanismos cognitivos, afetivos e sociais

A aceitação de desinformação não decorre apenas de ausência de conhecimento. A revisão de Ecker et al. (2022) identifica mecanismos como familiaridade, processamento fluente, coerência narrativa, confiança na fonte, raciocínio motivado e persistência da informação original após correção. Repetição pode aumentar a sensação de verdade mesmo quando a pessoa já encontrou a afirmação em contexto de advertência. Mensagens simples e emocionalmente intensas competem com explicações científicas condicionais. Por isso, refutar exige oferecer uma explicação alternativa inteligível, não somente declarar que algo é falso.

Identidades políticas, religiosas e comunitárias influenciam quais fontes parecem dignas de confiança. Quando uma correção é percebida como ameaça ao grupo, o sujeito pode defender a crença para preservar pertencimento. Isso não significa que toda divergência seja irracional; significa que razões epistêmicas e sociais operam juntas. Atividades escolares precisam criar ambiente no qual mudar de posição seja sinal de aprendizagem, não humilhação. O professor pode modelar revisão de crenças, explicitar incertezas e separar respeito à pessoa de avaliação rigorosa da alegação.

Emoções têm função ambivalente. Curiosidade e surpresa favorecem investigação, enquanto medo e indignação podem estreitar atenção e acelerar compartilhamento. Plataformas exploram essas respostas ao medir cliques, comentários e tempo de permanência. Uma formação crítica inclui pausar antes de reagir, identificar o apelo emocional e perguntar se a intensidade afetiva é acompanhada por evidência. A pausa, contudo, não deve ser transformada em regra moral abstrata; precisa ser praticada em situações autênticas e combinada a procedimentos de busca.

Pennycook et al. (2021) demonstraram que deslocar a atenção para acurácia pode reduzir compartilhamento de desinformação em tarefas experimentais. Pennycook e Rand (2022) encontraram replicabilidade e generalização de lembretes de acurácia em diferentes conjuntos de itens. Esses resultados sustentam intervenções breves, mas não autorizam concluir que o problema se reduz a desatenção. Efeitos dependem de contexto, plataforma, tema e motivação. Além disso, decidir o que é acurado pode exigir conhecimento e consulta a fontes que um lembrete não fornece.

Jovens desenvolvem competências ao longo da escolaridade, mas continuam sensíveis a sinais superficiais. Siani, Joseph e Dacin (2024), em estudo com 776 estudantes de uma escola secundária, observaram redução da suscetibilidade à desinformação científica entre anos escolares e elevada confiança em professores, ao mesmo tempo que redes sociais foram percebidas como pouco confiáveis. A amostra localizada limita generalizações, e percepção declarada não equivale a desempenho em fluxo real. Ainda assim, o resultado destaca o potencial do professor como mediador e a necessidade de progressão curricular.

A revisão de Kops, Schittenhelm e Wachs (2025) sobre jovens e informações falsas reúne respostas, fatores influentes, consequências e programas preventivos. A heterogeneidade de conceitos e medidas dificulta comparar estudos; parte das pesquisas avalia crença, outras identificação, intenção ou comportamento. Para a escola, a implicação é metodológica: não se deve inferir que uma aula foi bem-sucedida apenas porque estudantes memorizaram uma lista de critérios. É preciso observar se localizam fontes, justificam decisões, reconhecem incerteza e modificam práticas de compartilhamento.

Plataformas, algoritmos e desigualdades informacionais

Ambientes digitais não são canais neutros. Sistemas de recomendação organizam visibilidade a partir de dados de comportamento e objetivos comerciais; interfaces reduzem atrito para compartilhar e ampliam sinais de popularidade; publicidade pode se assemelhar a conteúdo editorial. Bolhas de filtragem e câmaras de eco não explicam sozinhas toda polarização, mas a personalização pode reforçar exposição seletiva e dificultar percepção de consenso. Alfabetização midiática precisa tornar essa infraestrutura cognoscível sem exigir domínio de programação.

Kozyreva et al. (2020) propõem ferramentas cognitivas para desafios digitais e defendem intervenções sobre indivíduos e ambientes. Uma delas é a autodefesa informacional: reduzir exposição, controlar notificações, bloquear fontes persistentes de baixa qualidade e escolher deliberadamente quando pesquisar. Kozyreva et al. (2023) denominam “ignorar criticamente” a capacidade de decidir que nem toda informação merece atenção. Em contexto escolar, isso corrige a ideia de que pensamento crítico significa analisar profundamente cada postagem; em ambientes de abundância, selecionar o que ignorar é parte da competência.

As desigualdades atravessam todo o processo. Estudantes diferem quanto a acesso, qualidade da conexão, repertório linguístico, familiaridade com gêneros digitais e possibilidade de consultar fontes pagas ou em inglês. Pessoas com deficiência podem enfrentar barreiras de interface, descrição de imagens e legibilidade. A escola não deve avaliar como incapacidade crítica aquilo que resulta de oportunidade desigual. Atividades precisam oferecer dispositivos, tempo, textos acessíveis, fontes em diferentes formatos e apoio à leitura, sem expor estudantes que possuem menor experiência digital.

A perspectiva territorial também importa. Desinformação sobre queimadas, água, mineração, doenças ou agricultura ganha sentidos distintos conforme experiências locais. Vincular análise de mídia a problemas da comunidade aumenta relevância e permite confrontar dados públicos, conhecimentos profissionais e saberes locais. O diálogo não significa aceitar toda afirmação como equivalente; significa tornar critérios de evidência públicos e incluir perguntas que emergem da realidade dos estudantes. Essa orientação aproxima alfabetização científica da justiça socioambiental e da cidadania.

A coleta de dados por plataformas educacionais acrescenta dimensão ética. Ao pedir que estudantes pesquisem em redes, publiquem ou interajam com sistemas digitais, a escola precisa considerar privacidade, idade, termos de uso e rastreamento. O direito de aprender não pode depender de exposição comercial desnecessária. A Política Nacional de Educação Digital e a Estratégia Brasileira de Educação Midiática oferecem referências para uso crítico e seguro, mas redes necessitam protocolos, alternativas e formação para que a responsabilidade não recaia isoladamente sobre o professor (BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b).

Por fim, a desinformação não afeta apenas crenças factuais. Ela pode degradar confiança, aumentar cinismo e induzir equivalência entre fontes. Ensinar que “tudo pode ser manipulado” é contraproducente se não houver critérios positivos de confiabilidade. O objetivo

é substituir credulidade e ceticismo indiscriminado por confiança calibrada. Essa meta exige que escola e instituições científicas sejam transparentes, reconheçam erros e comuniquem como chegaram às conclusões. A cidadania digital não se sustenta em suspeita permanente, mas em capacidade de justificar por que determinada confiança é razoável.

Contribuições do ensino de ciências para a formação crítica

Avaliação de alegações, fontes, evidências e consensos

A primeira contribuição específica do ensino de Ciências é oferecer linguagem e critérios para decompor alegações. Antes de buscar uma resposta, o estudante precisa identificar o que está sendo afirmado, em que condições, para qual população e com que grau de certeza. Frases como “produto natural não faz mal” ou “um estudo provou” contêm generalizações e pressupostos examináveis. Reescrever a alegação em termos precisos já reduz o poder de formulações vagas e permite selecionar evidências pertinentes.

A avaliação de fonte não deve depender de aparência, domínio do site ou texto “bem escrito”. Breakstone et al. (2021), em retrato nacional de raciocínio cívico on-line, mostraram dificuldades de estudantes para investigar interesses e autoridade. A leitura vertical, restrita à página, torna o leitor vulnerável a credenciais autodeclaradas e design profissional. A leitura lateral interrompe esse percurso: abre novas abas, busca quem está por trás da fonte, procura avaliações independentes e rastreia a origem da afirmação. McGrew (2020) encontrou ganhos após intervenção dedicada, e McGrew e Breakstone (2023) demonstraram eficácia de lições distribuídas pelo currículo.

No ensino de Ciências, a leitura lateral pode ser combinada a raciocínio epistêmico. O estudante investiga autoria e financiamento, mas também pergunta se o desenho do estudo responde à questão, se a amostra é adequada, que medidas foram utilizadas, se resultados foram replicados e como se relacionam com revisões. Pimentel (2025) desenvolve o conceito de raciocínio científico on-line para avaliar como estudantes investigam informações científicas na internet. A competência exige coordenar sinais da fonte com conteúdo e contexto, evitando tanto confiar apenas em reputação quanto supor que o leigo pode auditar tecnicamente todo estudo.

A triangulação deve privilegiar independência e qualidade, não contagem simples. Três páginas que copiam a mesma matéria constituem uma origem, não três confirmações. Duas fontes podem divergir porque respondem a perguntas diferentes ou foram publicadas em momentos distintos. Ensinar rastreamento até a fonte primária ou até uma síntese especializada ajuda a identificar perda de contexto. Também é relevante reconhecer que artigos individuais possuem pesos distintos e que revisões sistemáticas, diretrizes e consensos podem oferecer visão mais estável.

Gráficos e números requerem competências próprias. A turma pode examinar escala, denominador, risco absoluto e relativo, distribuição, intervalo de confiança, tamanho de amostra e ausência de grupo de comparação. Esses elementos não precisam ser ensinados como estatística avançada isolada; podem emergir de alegações reais. Um aumento de 100% pode representar mudança de um para dois casos; uma média pode ocultar subgrupos; uma imagem pode recortar período conveniente. A leitura quantitativa protege contra manipulações e amplia compreensão dos próprios conteúdos científicos.

A avaliação culmina em um julgamento graduado. Em vez de classificar imediatamente como verdadeira ou falsa, o estudante pode registrar: bem sustentada, plausível mas inconclusiva, contradita pelo corpo de evidências, impossível de avaliar com os dados disponíveis ou fora da competência da fonte. Essa escala corresponde melhor à ciência e reduz pressão por

certezas artificiais. Ela também permite explicar por que a confiança muda quando chegam novas evidências. O pensamento crítico manifesta-se na justificativa e na disposição para revisar, não apenas na resposta final.

Argumentação, controvérsias e práticas investigativas

A argumentação científica conecta evidência, justificativa e conclusão. Ao comparar mensagens contraditórias, estudantes podem mapear afirmações, dados mobilizados, garantias implícitas, limitações e possíveis refutações. Essa estrutura torna visível a diferença entre testemunho, exemplo, correlação e evidência sistemática. O professor pode selecionar controvérsias adequadas à idade e ao currículo, evitando expor a turma a conteúdo danoso sem necessidade. O objetivo não é produzir debate performático com dois lados equivalentes, mas investigar por que certas conclusões possuem suporte mais robusto.

Questões sociocientíficas — vacinação, mudanças climáticas, agrotóxicos, energia, alimentação, biotecnologia — integram conhecimento e valores. A ciência informa consequências e probabilidades, mas decisões também envolvem justiça, custo, precaução e prioridades públicas. Confundir valores com fatos gera dois erros: apresentar decisão política como dedução automática da ciência ou tratar evidência como mera preferência. A alfabetização científica midiática ensina a separar e relacionar dimensões, identificando em que ponto uma divergência é empírica e em que ponto envolve valores legítimos.

Atividades investigativas podem transformar conteúdos virais em objetos de estudo. Milaré, Duso e Richetti (2025) apontam potencialidades de conteúdos enganosos para alfabetização científica e tecnológica. A turma pode reproduzir cálculo, consultar base de dados, comparar legendas de uma imagem, reconstruir o contexto de um gráfico ou investigar a cadeia de citações. Esse trabalho preserva a centralidade da evidência e evita que a aula se limite a opinião sobre redes sociais. Também torna explícito que verificar exige tempo e procedimentos.

O professor deve cuidar para não reforçar o mito ao repeti-lo excessivamente. Correções eficazes apresentam primeiro o fato, mencionam a alegação de modo necessário, explicam por que ela falha e oferecem alternativa causal coerente. O Debunking Handbook 2020 sintetiza orientações baseadas em pesquisa, mas não constitui roteiro infalível: a resposta deve considerar audiência, vínculo e contexto (LEWANDOWSKY et al., 2020). Em sala, é importante não constranger estudantes que trazem informações familiares e estabelecer normas para contestar ideias sem atacar pessoas.

A criação de mídia completa o ciclo. Estudantes podem produzir explicações, notas de checagem, infográficos ou vídeos acompanhados de fontes e declaração de incerteza. Avaliar a própria produção revela escolhas de enquadramento, simplificação e audiência. A atividade deve possuir critérios: precisão, rastreabilidade, proporcionalidade, distinção entre evidência e opinião, acessibilidade e responsabilidade. Produzir conteúdo não é decoração; é exercício de comunicação científica e cidadania.

Projetos interdisciplinares ampliam o alcance. Língua Portuguesa contribui para análise retórica e gêneros; Matemática, para estatística e visualização; História, para contextos e transformações da autoridade; Geografia, para escalas e territórios; Computação, para algoritmos e dados; Ciências, para práticas epistêmicas e conteúdo. A Estratégia Brasileira de Educação Midiática favorece abordagem transversal. Contudo, transversalidade sem coordenação pode significar ausência de responsabilidade. Redes e escolas precisam definir progressão e oportunidades concretas em cada componente.

Correção, prebunking, inoculação e atenção à acurácia

Intervenções corretivas atuam depois do contato com a alegação falsa. A literatura psicológica indica que correções claras geralmente reduzem crença, embora não eliminem completamente a influência da informação original (ECKER et al., 2022). A eficácia aumenta quando se explica a falha, oferece-se alternativa e evita-se linguagem humilhante. Correções tardias enfrentam a familiaridade e a coerência já construídas. Por isso, a escola precisa ensinar também estratégias preventivas.

O prebunking apresenta antecipadamente técnicas comuns de manipulação — falsa dicotomia, conspiração, ataque pessoal, especialista falso, escolha seletiva de dados — e permite que o estudante as reconheça em novos conteúdos. A teoria da inoculação utiliza uma versão enfraquecida do argumento e uma refutação para construir resistência. A metanálise de Lu et al. (2023), com 42 estudos e 42.530 participantes, encontrou redução na credibilidade atribuída à desinformação e melhora modesta no discernimento, mas não efeito significativo agregado sobre intenção de compartilhamento. Heterogeneidade e viés de publicação recomendam cautela.

Lembretes de acurácia são intervenções mais leves: antes de compartilhar, o usuário é convidado a avaliar a precisão. Estudos de Pennycook et al. (2021) e Pennycook e Rand (2022) mostram que esse deslocamento de atenção reduz intenção de disseminar conteúdos falsos em diferentes condições experimentais. Em educação, o princípio pode inspirar rotinas: “pare, identifique a alegação, investigue a fonte, procure contexto”. A rotina precisa ser acompanhada de conhecimento e prática; sem isso, o estudante pode apenas confirmar sua impressão inicial.

A revisão de Cho, Carpenter e Li (2025), que sintetiza quatro décadas e 160 intervenções de letramento midiático, identifica efeitos positivos gerais, mais consistentes para conhecimento do que para comportamento. Intervenções on-line ou centradas em redes apresentaram efeitos menores em alguns desfechos. Guess et al. (2020), em experimento nos Estados Unidos e na Índia, também encontraram aumento do discernimento após intervenção de literacia digital, evidenciando potencial e dependência contextual. Rau e Premo (2025), ao revisar 107 artigos distribuídos entre efeito de desinformação, detecção de mentira, literacia informacional e fraude, ressaltam a fragmentação do campo. Essas sínteses indicam que não existe atividade única capaz de imunizar permanentemente.

Resultados específicos em escolas reforçam essa prudência. Mellberg, Danielsson Friberg e Nygren (2025) trabalharam com 235 estudantes do ensino secundário superior e observaram melhora em compreensão de consenso, fontes confiáveis, métodos e revisão por pares, com efeitos menores em incerteza e confiança epistêmica. Martini et al. (2025), ao comparar intervenções com estudantes do ensino médio, não encontraram ganhos gerais significativos nas três abordagens testadas; um componente de raciocínio on-line apresentou benefício indireto para um grupo reduzido. Diferenças de desenho, duração e medida impedem conclusões simplistas.

Assim, estratégias devem ser combinadas e espaçadas. Uma sequência robusta pode introduzir técnicas de manipulação, praticar leitura lateral, aplicar conceitos científicos, discutir emoções, produzir correção e retomar habilidades em novos temas. Avaliações posteriores verificam transferência. O resultado desejável não é apenas acertar exemplos vistos, mas reconhecer padrões em situações não familiares, justificar confiança e agir de modo responsável. Manutenção requer currículo longitudinal, não palestra isolada.

Currículo, formação docente e cidadania digital

A alfabetização científica midiática precisa ser planejada como progressão. Nos anos iniciais, pode-se distinguir observação de opinião, perguntar de onde veio uma informação e comparar explicações. Nos anos finais, entram autoria, evidência, gráficos, publicidade e busca lateral. No ensino médio, aprofundam-se consenso, incerteza, revisão por pares, conflitos de interesse e controvérsias sociocientíficas. A progressão evita duas falhas: apresentar conteúdos complexos sem apoio ou adiar toda formação crítica até que hábitos já estejam consolidados. O framework de Ciências do PISA 2025 incorpora avaliação e uso de informações científicas para decisão, e Gerges (2025) defende reorientação explícita da educação científica diante da desinformação (OECD, 2023).

Professores necessitam de conhecimento pedagógico e segurança para lidar com conteúdos mutáveis e polarizados. A formação deve combinar epistemologia da ciência, educação midiática, pesquisa on-line, análise de dados e condução de diálogo. Silva e Arroio (2025), ao examinar ementas de licenciaturas em Ciências da Universidade de São Paulo, identificam espaço ainda limitado para letramento midiático na formação inicial. Isso sugere que políticas curriculares dirigidas à educação básica precisam ser acompanhadas de revisão das licenciaturas e desenvolvimento profissional continuado.

A sobrecarga docente constitui limite real. Verificar materiais, atualizar exemplos, mediar conflitos e proteger estudantes demanda tempo. Não é razoável transferir ao professor individual a responsabilidade por acompanhar todas as plataformas. Secretarias podem oferecer curadoria pública, bancos de atividades adaptáveis, acesso a bases, equipes interdisciplinares e protocolos para incidentes. Parcerias com bibliotecas, universidades, museus, comunicadores e jornalistas ampliam recursos, desde que preservem autonomia pedagógica e transparência.

A avaliação da aprendizagem também deve ser coerente. Provas que medem apenas memorização não revelam se o estudante investiga fontes. Tarefas podem solicitar registro da busca, comparação de evidências, justificativa de autoridade e revisão após feedback. Rubricas devem avaliar processo, não concordância política. Um estudante pode chegar a conclusão provisória diferente e demonstrar raciocínio rigoroso; outro pode repetir a resposta esperada sem compreender. A avaliação formativa torna visíveis estratégias e permite corrigir antes que o erro se estabilize.

Os marcos brasileiros criam oportunidade de institucionalização. A Resolução CNE/CEB nº 1/2022 incorpora Computação à educação básica; a Lei nº 14.533/2023 institui a Política Nacional de Educação Digital; a Estratégia Brasileira de Educação Midiática organiza objetivos para formação crítica; e o guia do MEC de 2025 oferece orientação para elaboração e implementação curricular (BRASIL, 2022; BRASIL, 2023a; BRASIL, 2023b; BRASIL, 2025). A implementação precisa integrar esses documentos ao ensino de Ciências, sem tratar educação midiática como tema eventual.

Cidadania digital envolve direitos e deveres. Inclui privacidade, liberdade de expressão, proteção contra violência, participação, atribuição de autoria e responsabilidade pelo alcance de mensagens. Em ciência, acrescenta compromisso com proporcionalidade da evidência e correção pública. Estudantes devem aprender quando não compartilhar, como corrigir sem ampliar o boato, como denunciar conteúdo perigoso e como buscar orientação adulta. A escola não controla o ecossistema, mas pode construir normas comunitárias de cuidado informacional.

Finalmente, a formação crítica precisa manter horizonte democrático. O objetivo não é formar verificadores tecnicamente hábeis e politicamente indiferentes, mas sujeitos capazes de participar de decisões que afetam coletividades. A alfabetização científica midiática conecta

qualidade da informação a saúde, ambiente, justiça e direitos. Quando estudantes compreendem evidências, interrogam autoridades, reconhecem desigualdades e comunicam de modo responsável, o ensino de Ciências contribui para uma esfera pública mais capaz de deliberar.

Metodologia

O estudo caracteriza-se como revisão integrativa de literatura, de abordagem qualitativa, finalidade exploratório-descritiva e orientação analítico-sintética. A escolha da revisão integrativa decorreu da heterogeneidade do campo, composto por estudos empíricos, revisões sistemáticas, metanálises, ensaios teóricos e documentos normativos. Diferentemente de uma metanálise, o objetivo não foi produzir uma estimativa única de efeito, mas integrar resultados, conceitos e condições de implementação para responder a uma questão educacional ampla. O relato foi inspirado nos princípios de transparência do PRISMA 2020, sem reivindicar exaustividade equivalente à de revisão sistemática registrada (PAGE et al., 2021).

A questão orientadora foi: de que modo a literatura recente caracteriza as contribuições, os limites e as condições de implementação do ensino de Ciências para desenvolver alfabetização científica midiática, avaliação crítica de evidências e enfrentamento à desinformação na educação básica? A estratégia PICo foi adaptada: população/contexto — estudantes e professores da educação básica; interesse — alfabetização científica midiática, desinformação, avaliação de evidências, fontes e expertise; contexto — ensino de Ciências e cidadania digital. Estudos com universitários foram admitidos apenas quando ofereciam modelo conceitual ou evidência educacional diretamente transferível e explicitamente problematizada.

O recorte temporal compreendeu janeiro de 2020 a 20 de agosto de 2026. Esse período captura a intensificação da pesquisa após a pandemia, a consolidação de intervenções de literacia digital e a produção normativa brasileira recente. Foram consultados SciELO, ERIC, DOAJ e Google Scholar, complementados por busca em páginas de periódicos, registros DOI, referências cruzadas e repositórios de organismos oficiais. Empregaram-se combinações dos descritores “alfabetização científica”, “alfabetização científica midiática”, “educação midiática”, “desinformação científica”, “negacionismo”, “ensino de Ciências”, “avaliação de evidências”, “scientific literacy”, “science misinformation”, “media literacy”, “lateral reading”, “online reasoning”, “prebunking”, “inoculation” e equivalentes em espanhol.

Foram incluídos artigos revisados por pares, revisões, metanálises e ensaios teóricos publicados em português, inglês ou espanhol, disponíveis em texto completo ou com metadados verificáveis, que abordassem ao menos uma das seguintes relações: a) alfabetização científica e julgamento de informação; b) mecanismos de desinformação científica; c) intervenção educacional de verificação ou prevenção; d) confiança em especialistas, consenso e natureza da ciência; e) formação docente, currículo ou juventude; f) desigualdade, plataforma ou cidadania digital. Documentos oficiais foram incluídos para contextualização normativa e técnica, mas analisados separadamente da evidência científica.

Foram excluídos textos publicados antes de 2020, duplicatas, notícias sem análise acadêmica, materiais publicitários, estudos centrados exclusivamente em propaganda comercial sem dimensão educacional, pesquisas de detecção computacional sem participação humana e trabalhos cujo uso de “misinformation” possuía sentido técnico distinto. Estudos de saúde ou política foram mantidos somente quando investigavam mecanismos ou intervenções generalizáveis à educação. A avaliação de pertinência ocorreu por leitura de título e resumo, seguida de leitura integral ou conferência ampliada dos itens elegíveis.

A busca inicial identificou 286 registros. Após remoção de 54 duplicatas, 232 títulos e resumos foram examinados; 151 foram excluídos por desalinhamento temático, população ou período. O texto completo ou registro ampliado de 81 itens foi avaliado, dos quais 26 foram excluídos por insuficiência metodológica, ausência de relação educacional ou indisponibilidade de dados bibliográficos verificáveis. O corpus final reuniu 55 documentos: 45 publicações científicas e dez documentos normativos ou técnico-institucionais. Os números descrevem o protocolo desta revisão narrativa-integrativa e não constituem auditoria bibliométrica do universo do tema.

Quadro 1 – Protocolo da revisão integrativa

Etapa	**Procedimento**	**Critério/registro**	**Resultado**
Delimitação	Questão orientadora, recorte de jan. 2020 a 20 ago. 2026 e PICo adaptado	Educação básica, ensino de Ciências, alfabetização científica midiática e desinformação	Protocolo analítico
Identificação	SciELO, ERIC, DOAJ, Google Scholar, periódicos, DOI e repositórios oficiais	Descritores em português, inglês e espanhol; busca cruzada	286 registros
Triagem	Remoção de duplicatas e leitura de títulos/resumos	Pertinência temática, período, população e tipo de documento	232 triados; 151 excluídos
Elegibilidade	Leitura integral ou conferência bibliográfica ampliada	Relação educacional, qualidade mínima e metadados verificáveis	81 avaliados; 26 excluídos
Inclusão	Matriz de extração e separação entre evidência científica e documentos de contexto	45 publicações científicas e 10 documentos oficiais	55 documentos
Síntese	Codificação temática e comparação de efeitos, limites e condições	Seis eixos; distinção entre conhecimento, discernimento, intenção e comportamento	Síntese crítica

Fonte: elaboração do autor (2026).

Para cada item, foi preenchida matriz com autoria, ano, país, tipo de estudo, população, nível educacional, objeto, estratégia, medida, resultados, limitações e implicações. Os documentos normativos receberam campos de abrangência, competência proposta e responsabilidade institucional. A síntese foi realizada por codificação temática iterativa. Códigos iniciais — conteúdo científico, natureza da ciência, expertise, fonte, evidência, consenso, incerteza, leitura lateral, correção, inoculação, emoção, algoritmo, equidade, formação e política — foram agrupados em seis eixos interpretativos.

A análise distinguiu efeito sobre conhecimento, discernimento, crença, intenção e comportamento, pois essas medidas não são intercambiáveis. Resultados de intervenções foram interpretados à luz de amostra, duração, contexto, grupo de comparação e proximidade da medida com a atividade. Revisões e metanálises receberam maior peso para afirmações gerais; estudos escolares contribuíram para compreender implementação; ensaios teóricos orientaram categorias, sem serem tratados como prova de eficácia. Resultados nulos e limites foram incorporados para reduzir viés confirmatório.

A revisão apresenta limitações. A amplitude conceitual e o uso variável de "desinformação", "fake news", "media literacy" e "scientific literacy" dificultam buscas exaustivas. A inclusão de Google Scholar amplia cobertura, mas reduz reprodutibilidade. A concentração de publicações em inglês e em países de alta renda limita transferibilidade. Não foi realizada avaliação quantitativa padronizada de risco de viés nem metanálise. O corpus deve ser entendido como síntese crítica e atualizada para fundamentar pesquisa e prática, e não como catálogo definitivo.

Resultados e discussão

Perfil do corpus e convergências da evidência

O corpus revelou crescimento e diversificação da pesquisa a partir de 2020. Os trabalhos iniciais do recorte concentraram-se em reconceituar natureza da ciência e alfabetização científica diante das redes sociais, examinar ataques organizados à ciência e avaliar se conhecimentos científicos auxiliavam a reconhecer informações incorretas (HÖTTECKE; ALLCHIN, 2020; SHARON; BARAM-TSABARI, 2020; PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2020). Entre 2021 e 2023, ampliaram-se estudos sobre mecanismos psicológicos, raciocínio cívico on-line, confiança e intervenções de mídia. De 2024 a 2026, tornaram-se mais frequentes revisões integrativas, experiências escolares e formulações explicitamente voltadas à alfabetização científica midiática.

A distribuição geográfica é desigual. Estados Unidos e Europa concentram estudos experimentais e instrumentos de avaliação; a produção brasileira é relevante em análises discursivas, ensaios teóricos, percepção pública e proposições didáticas. Xie e Yusuf (2026) identificam desequilíbrio semelhante em sua revisão de alfabetização científica. A desigualdade importa porque confiança institucional, infraestrutura digital, organização curricular e temas polarizados variam entre contextos. Resultados de uma intervenção breve não devem ser universalizados sem considerar idioma, plataforma, idade e experiência política.

A primeira convergência é que conhecimento científico isolado não assegura resistência à desinformação. Sharon e Baram-Tsabari (2020) encontraram contribuição da alfabetização científica para identificar erros cotidianos, mas não uma proteção absoluta. Howell e Brossard (2021) mostram que cidadãos precisam avaliar o sistema de informação, e Osborne e Pimentel (2023) enfatizam dependência epistêmica e competência social. O resultado integra a literatura: conceitos oferecem base para reconhecer inconsistência, enquanto decisões sobre alegações complexas dependem de procedência, expertise, consenso e contexto.

A segunda convergência é a necessidade de substituir checklists estáticos por investigação lateral e contextual. Sinais como erros ortográficos, ausência de autor ou endereço desconhecido podem ser úteis, mas conteúdos sofisticados imitam convenções legítimas e instituições confiáveis também podem publicar textos difíceis. Estudos de raciocínio cívico on-line mostram que leitores eficientes deixam a página, investigam a fonte e triangulam (MCGREW, 2020; BREAKSTONE et al., 2021; MCGREW; BREAKSTONE, 2023). No ensino de Ciências, esse procedimento precisa ser combinado à análise da evidência e do lugar da alegação no corpo de conhecimento.

A terceira convergência refere-se à eficácia condicionada das intervenções. Metanálises e revisões encontram efeitos positivos médios para letramento midiático, inoculação, correções e lembretes de acurácia, porém as magnitudes variam e os ganhos são mais comuns em conhecimento ou discernimento do que em comportamento (LU et al., 2023; CHO; CARPENTER; LI, 2025; RAU; PREMO, 2025). Estudos escolares recentes confirmam que determinados

componentes podem melhorar compreensão, mas também registram resultados nulos ou modestos (MELLBERG; DANIELSSON FRIBERG; NYGREN, 2025; MARTINI et al., 2025).

A quarta convergência é que confiança precisa ser ensinada como julgamento calibrado. A literatura rejeita a oposição entre acreditar em toda autoridade e pesquisar tudo sozinho. O cidadão avalia redes de especialistas e instituições, reconhece consenso, conflitos e mecanismos de correção (ALLCHIN, 2023; OSBORNE; ALLCHIN, 2024). Essa competência possui componente ético e político: confiança não pode ser exigida sem transparência, prestação de contas e consideração de injustiças históricas (GANDOLFI, 2025).

A quinta convergência situa o professor como mediador, não como simples transmissor ou verificador. Estudos com estudantes indicam alta confiança declarada em professores (SIANI; JOSEPH; DACIN, 2024), enquanto análises de formação inicial revelam espaço insuficiente para letramento midiático (SILVA; ARROIO, 2025). A contradição é estratégica: a escola possui capital relacional, mas pode não oferecer condições profissionais para usá-lo. Formação, curadoria, tempo e apoio institucional são resultados necessários, não recomendações periféricas.

A sexta convergência é a inseparabilidade entre competência individual e ambiente sociotécnico. Algoritmos, modelos de negócio e desigualdades moldam exposição e ação. Estratégias de ignorar criticamente e controlar atenção são úteis (KOZYREVA et al., 2023), mas não substituem regulação e desenho responsável. O corpus brasileiro reforça que desinformação se conecta a redes políticas e identidades, não sendo apenas falha de leitura (PIVARO; GIROTTO JÚNIOR, 2023; PIVARO; GIROTTO JÚNIOR; COMPIANI, 2026).

O perfil do corpus também expôs lacunas. São escassos estudos longitudinais na educação básica brasileira, intervenções nos anos iniciais, pesquisas com estudantes com deficiência, comparações entre territórios e medidas de comportamento real. Predominam tarefas com itens preparados, distantes do fluxo algorítmico. Há pouco acompanhamento da durabilidade dos efeitos e do que ocorre quando o tema ameaça identidades. Oliveira e Sousa (2026) e Nicolodi, Rosa e Lima (2026) confirmam que a produção educacional brasileira cresce, mas ainda demanda consolidação metodológica.

Quadro 2 – Síntese crítica dos resultados da revisão

Eixo	**Convergência do corpus**	**Limite/risco**	**Implicação para o ensino de Ciências**
Alfabetização ampliada	Conhecimento conceitual ajuda, mas precisa de competências epistêmicas, midiáticas e cívicas	Supor que mais fatos imunizam contra desinformação	Articular conteúdo, natureza da ciência, mídia e participação
Fontes e evidências	Leitura lateral, procedência, triangulação e contexto superam sinais superficiais	Checklists podem falhar diante de imitação sofisticada	Avaliar alegação, desenho, fonte, consenso e incerteza
Confiança e expertise	Cidadãos dependem de especialistas e instituições; confiança deve ser calibrada	Obediência acrítica ou ceticismo indiscriminado	Ensinar competência, consenso, conflitos e mecanismos de correção
Intervenções	Correção, inoculação, leitura lateral e acurácia têm efeitos positivos médios	Heterogeneidade, duração curta e menor transferência para comportamento	Combinar estratégias, espaçar práticas e avaliar transferência

Eixo	Convergência do corpus	Limite/risco	Implicação para o ensino de Ciências
Dimensão social	Identidade, emoção, vínculos e confiança influenciam julgamento	Humilhação e polarização podem bloquear revisão	Criar diálogo seguro, modelar revisão e separar pessoa de alegação
Ecossistema digital	Arquitetura e algoritmos organizam atenção e visibilidade	Individualização da responsabilidade e desigualdade	Ensinar atenção, privacidade e plataformas; assegurar acesso e apoio
Currículo e docência	Progressão e integração interdisciplinar aumentam consistência	Ações pontuais, formação insuficiente e sobrecarga	Institucionalizar formação, curadoria, tempo e avaliação processual

Fonte: elaboração do autor com base no corpus da revisão (2026).

Síntese interpretativa, lacunas e implicações

A interpretação conjunta dos resultados sustenta um modelo de alfabetização científica midiática em quatro dimensões e uma capacidade transversal de ação. A dimensão conceitual responde “o que se sabe sobre o fenômeno?”; a epistêmica, “como se sabe e quão segura é a conclusão?”; a midiático-informacional, “quem comunica, em que formato, por qual percurso e com quais interesses?”; a cívico-ética, “que decisões, direitos e consequências estão envolvidos?”. A ação pergunta “o que fazer com esse julgamento?”. O modelo não é uma sequência rígida: uma investigação autêntica circula entre dimensões.

A dimensão conceitual impede que avaliação de fontes se torne puramente reputacional. Saber que antibióticos não atuam sobre vírus, por exemplo, permite reconhecer uma incompatibilidade; compreender dose e risco evita aceitar a ideia de que natural é sempre seguro. Contudo, nenhum currículo consegue antecipar todas as alegações. O conteúdo deve ser combinado a estratégias transferíveis. A alfabetização científica forte não é enciclopédica; organiza conceitos estruturantes e ensina a buscar suporte especializado quando a questão excede o repertório.

A dimensão epistêmica constitui o núcleo distintivo do ensino de Ciências. Ela inclui distinguir dado e conclusão, reconhecer desenho de investigação, avaliar explicações, interpretar incerteza e compreender a organização social da crítica. Os resultados sugerem que natureza da ciência deve abandonar exemplos exclusivamente históricos ou laboratoriais e incluir circulação pública. Um estudo retratado, uma preprint, uma revisão, um relatório de órgão técnico e um vídeo de especialista ocupam posições diferentes na rede de produção de conhecimento. Aprender essas diferenças fornece critérios positivos de confiança.

A dimensão midiático-informacional acrescenta procedência e arquitetura. A mesma evidência pode ser enquadrada para alarmar, vender ou mobilizar. Leitura lateral oferece procedimento eficiente, mas precisa ser ensinada com exemplos diversos e apoio. Estudantes devem rastrear a origem, identificar cópias, reconhecer publicidade, compreender recomendação algorítmica e decidir quando ignorar. A noção de “restrição de clique” — investigar antes de abrir e se envolver profundamente — reduz a vantagem concedida ao design persuasivo.

A dimensão cívico-ética conecta avaliação a vida pública. Decisões sociocientíficas não são resolvidas por fatos isolados, mas evidências limitam escolhas responsáveis. Estudantes podem perguntar quem assume riscos, quem recebe benefícios, quais vozes foram incluídas e como corrigir dano informacional. Essa perspectiva evita que educação midiática seja convertida em técnica individual de consumo. Produzir e compartilhar informação é exercício de poder; cidadania digital exige cuidado com o outro e compromisso com correção.

A capacidade de ação evidencia o maior hiato encontrado. Intervenções modificam conhecimento e discernimento com mais facilidade que comportamento. A escola precisa criar oportunidades concretas: decidir não compartilhar, escrever correção, pedir fonte, registrar incerteza, buscar ajuda e revisar publicação. Normas coletivas podem sustentar escolhas quando a atenção é limitada. Avaliar somente respostas de teste deixa invisível essa transferência. Portfólios de investigação, diários de busca e tarefas situadas oferecem evidências mais próximas do desempenho real.

Os resultados também sugerem um ciclo didático em cinco movimentos. Primeiro, problematizar uma alegação vinculada ao currículo sem amplificá-la desnecessariamente. Segundo, explicitar o conhecimento científico necessário e formular perguntas. Terceiro, investigar procedência, evidência, autoridade e consenso por leitura lateral. Quarto, construir julgamento graduado, considerar incerteza e discutir consequências. Quinto, comunicar ou agir, justificando a decisão e refletindo sobre o processo. O ciclo pode ser retomado com temas diferentes para promover transferência.

Nenhuma etapa autoriza o professor a improvisar exposição a conteúdos potencialmente nocivos. Exemplos sobre saúde, violência ou discriminação exigem curadoria, adequação etária e cuidado emocional. Conteúdos extremamente falsos podem adquirir familiaridade quando repetidos. É preferível começar pelo fato, trabalhar a técnica de manipulação e limitar reprodução visual de peças. Quando estudantes trazem alegações da comunidade, o professor pode acolher a pergunta e adiar resposta até verificar, modelando honestidade epistêmica.

A síntese reforça que educação contra desinformação não deve ser partidariamente neutra no sentido de tratar evidência e falsidade como equivalentes, mas precisa ser não doutrinária no método. Critérios devem ser públicos, aplicados a alegações de diferentes posições e abertos à revisão. O docente não avalia afinidade política; avalia qualidade da justificativa. Transparência sobre seleção de fontes e reconhecimento de incertezas protegem a legitimidade pedagógica.

Para a formação docente, emergem cinco necessidades: domínio conceitual do tema científico; compreensão da natureza social da ciência; competência de pesquisa e leitura lateral; condução de diálogo em controvérsias; e conhecimento de privacidade, acessibilidade e plataformas. Formações breves podem introduzir procedimentos, mas mudanças curriculares exigem comunidades de prática, planejamento conjunto e acompanhamento. A confiança depositada em professores torna ainda mais importante que possam dizer “não sei, vamos investigar” sem perceber isso como perda de autoridade.

Para gestores e redes, a principal implicação é transformar marcos normativos em infraestrutura. Isso inclui tempo remunerado, acesso a periódicos e bases, biblioteca ativa, curadoria atualizada, protocolos de proteção, equipamentos acessíveis e parceria com instituições públicas. Indicadores de implementação devem medir oportunidades de aprender e qualidade dos processos, não somente quantidade de atividades. A Política Nacional de Educação Digital e a Estratégia Brasileira de Educação Midiática oferecem direção, mas resultados dependem de financiamento e coordenação.

Para a pesquisa, são prioritários estudos longitudinais e multicêntricos na educação básica, com medidas de transferência e comportamento; investigações nos anos iniciais; inclusão de estudantes com deficiência e diferentes repertórios linguísticos; comparação entre zonas urbanas, rurais e territórios indígenas ou quilombolas; e análise de formação docente. Também são necessários instrumentos que distingam avaliação de conteúdo, fonte, consenso e ação. Relatos precisam descrever materiais, duração, mediação, grupo de comparação e efeitos adversos.

O avanço de conteúdos sintéticos e sistemas generativos torna a agenda ainda mais urgente. Aparência visual, voz e texto fluente serão sinais cada vez menos confiáveis. A competência não pode depender apenas de detectar artefatos; precisa rastrear procedência, buscar confirmação e avaliar evidência. Ao mesmo tempo, ferramentas automatizadas de checagem podem auxiliar, mas não substituem julgamento e podem errar. O princípio permanece: tecnologia deve ampliar investigação, não encerrar a pergunta.

Em síntese, a contribuição do ensino de Ciências não reside em prometer imunidade, mas em construir resiliência epistêmica. Resiliência significa reconhecer manipulação, tolerar incerteza, buscar apoio competente, revisar crença e recuperar-se após erro. Essa formação combina conhecimentos e vínculos. Estudantes aprendem não apenas técnicas de verificação, mas que o erro pode ser corrigido e que a confiança pode ser reconstruída por transparência e responsabilidade.

Considerações finais

A revisão analisou como o ensino de Ciências pode contribuir para a alfabetização científica midiática e o enfrentamento à desinformação na educação básica. A literatura de 2020 a agosto de 2026 converge ao indicar que conhecer fatos científicos é necessário, porém insuficiente. O estudante precisa compreender como evidências são produzidas e comunicadas, avaliar procedência, expertise, consenso e incerteza, reconhecer técnicas de manipulação e considerar consequências cívicas de suas ações. A alfabetização científica, quando separada da mídia e da vida pública, deixa desprotegida uma parte decisiva do julgamento contemporâneo.

O principal resultado teórico é a proposição de uma formação articulada em dimensões conceitual, epistêmica, midiático-informacional e cívico-ética, atravessadas pela ação responsável. Essa organização evita reduzir o problema a checklists ou a uma disputa abstrata entre confiança e ceticismo. O cidadão cientificamente alfabetizado não verifica sozinho todo conhecimento, nem aceita qualquer autoridade. Ele reconhece limites, investiga a rede de produção da informação, calibra confiança e justifica decisões de forma proporcional à evidência.

As intervenções examinadas oferecem recursos úteis. Leitura lateral e raciocínio cívico on-line ensinam a investigar fontes fora da página original; correções podem reduzir crenças; prebunking e inoculação antecipam técnicas de manipulação; e lembretes de acurácia favorecem pausa. Entretanto, os efeitos são heterogêneos, frequentemente maiores para conhecimento e discernimento do que para comportamento, e podem perder força. Estudos escolares recentes incluem ganhos seletivos e resultados nulos. Não há atividade isolada capaz de assegurar resistência duradoura.

A contribuição mais consistente emerge de um currículo longitudinal que retoma habilidades em diferentes temas, combina conteúdo científico e pesquisa on-line, ensina a interpretar dados e consenso e cria oportunidades de comunicar e agir. Controvérsias sociocientíficas podem aproximar ciência e cidadania, desde que não se produza falsa equivalência nem exposição irresponsável. O professor atua como mediador de investigação e

modelo de honestidade epistêmica, reconhecendo quando precisa buscar informação e tornando os critérios de julgamento visíveis.

A implementação depende de condições institucionais. Formação inicial e continuada precisa integrar ciência, mídia, argumentação e plataformas. Redes devem oferecer tempo, curadoria, bibliotecas, equipamentos, acessibilidade, protocolos de privacidade e apoio para temas polarizados. Os marcos brasileiros recentes constituem oportunidade, mas sua efetividade requer coordenação e financiamento. Responsabilizar somente professores e estudantes obscurece o papel de plataformas, modelos de negócio, desigualdades e atores organizados.

A equidade deve funcionar como critério transversal. Diferentes condições de acesso, linguagem, território, deficiência e experiência institucional afetam tanto exposição quanto capacidade de verificar. Uma política que apenas recomenda “pesquise antes de compartilhar” pode punir quem possui menos recursos. A escola precisa assegurar meios concretos para investigar, incluir conhecimentos e questões locais e reconhecer razões históricas de desconfiança, sem abandonar padrões públicos de evidência.

As limitações desta revisão incluem amplitude terminológica, busca multilíngue não exaustiva, ausência de metanálise e concentração internacional da evidência. O recorte recente favorece atualidade, mas restringe diálogo com obras fundadoras anteriores a 2020. Pesquisas futuras devem acompanhar efeitos duradouros, observar comportamentos em ambientes reais, incluir grupos sub-representados e comparar desenhos curriculares. A rápida transformação tecnológica exige atualização periódica do corpus.

Conclui-se que enfrentar a desinformação por meio da educação não significa ensinar estudantes a desconfiar de tudo. Significa capacitá-los a construir confiança informada, reconhecer a força e os limites da ciência, investigar mensagens e assumir responsabilidade por sua circulação. Ao integrar evidência, mídia, diálogo e participação, o ensino de Ciências amplia sua finalidade: além de explicar o mundo natural, ajuda a formar sujeitos capazes de decidir e agir em uma esfera pública saturada de informações, disputas e incertezas.

Referências

ALLCHIN, Douglas. Ten competencies for the science misinformation crisis. Science Education, v. 107, n. 2, p. 261–274, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.21746. Acesso em: 20 ago. 2026.

ARAÚJO, Letícia de Cássia Rodrigues; PEREIRA, Aldo Aoyagui Gomes; MENDONÇA, Paula Cristina Cardoso. Como enfrentar a desinformação científica? Caminhos teórico-metodológicos para professores de Ciências no desenvolvimento da alfabetização científica midiática. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 42, n. 2, p. 444–477, 2025. DOI: https://doi.org/10.5007/2175-7941.2025.e103084. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CEB nº 1, de 4 de outubro de 2022. Normas sobre Computação na Educação Básica – Complemento à BNCC. Brasília, DF: CNE, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/resolucoes/esolucoes-ceb-2022. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023. Institui a Política Nacional de Educação Digital. Brasília, DF: Presidência da República, 2023a. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14533.htm. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Secretaria de Comunicação Social. Estratégia Brasileira de Educação Midiática. Brasília, DF: Secom, 2023b. Disponível em: https://www.gov.br/secom/pt-br/arquivos/2023_secom-spdigi_estrategia-brasileira-de-educacao-midiatica.pdf. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Educação digital e midiática: como elaborar e implementar o currículo nas escolas. Brasília, DF: MEC, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escolas-conectadas/arquivos/guia_eddigital_versofinaloficial.pdf. Acesso em: 20 ago. 2026.

BREAKSTONE, Joel et al. Students’ civic online reasoning: a national portrait. Educational Researcher, v. 50, n. 8, p. 505–515, 2021. DOI: https://doi.org/10.3102/0013189X211017495. Acesso em: 20 ago. 2026.

CGI.BR – COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. Pesquisa TIC Kids Online Brasil 2024: resumo executivo. São Paulo: NIC.br, 2025. Disponível em: https://cetic.br/media/docs/publicacoes/2/20250512154015/tic_kids_online_2024_resumo_executivo.pdf. Acesso em: 20 ago. 2026.

CGI.BR – COMITÊ GESTOR DA INTERNET NO BRASIL. Pesquisa sobre o uso da internet por crianças e adolescentes no Brasil: TIC Kids Online Brasil 2025. São Paulo: NIC.br, 2026. Disponível em: https://cetic.br/pt/publicacao/pesquisa-sobre-o-uso-da-internet-por-criancas-e-adolescentes-no-brasil-tic-kids-online-brasil-2025/. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHO, Hyunyi; CARPENTER, Christopher J.; LI, Wenbo. Media literacy interventions: meta-analytic review of 40 years of research. Human Communication Research, v. 51, n. 2, p. 57–79, 2025. DOI: https://doi.org/10.1093/hcr/hqaf004. Acesso em: 20 ago. 2026.

ECKER, Ullrich K. H. et al. The psychological drivers of misinformation belief and its resistance to correction. Nature Reviews Psychology, v. 1, n. 1, p. 13–29, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s44159-021-00006-y. Acesso em: 20 ago. 2026.

FAGUNDES, Vanessa Oliveira et al. Jovens e sua percepção sobre fake news na ciência. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas, v. 16, n. 1, e20200027, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/2178-2547-BGOELDI-2020-0027. Acesso em: 20 ago. 2026.

FÄHNRICH, Birte et al. Rethinking science communication education and training: towards a competence model for science communication. Frontiers in Communication, v. 6, art. 795198, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fcomm.2021.795198. Acesso em: 20 ago. 2026.

FEINSTEIN, Noah W.; WADDINGTON, David I. Individual truth judgments or purposeful, collective sensemaking? Rethinking science education's response to the post-truth era. Educational Psychologist, v. 55, n. 3, p. 155–166, 2020. DOI: https://doi.org/10.1080/00461520.2020.1780130. Acesso em: 20 ago. 2026.

GANDOLFI, Haira E. (Re)considering nature of science education in the face of socio-scientific challenges and injustices: insights from a critical-decolonial perspective. Science & Education, v. 34, p. 3799–3825, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-024-00536-w. Acesso em: 20 ago. 2026.

GERGES, Elissar. Science education in the age of misinformation. Frontiers in Education, v. 10, art. 1615769, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1615769. Acesso em: 20 ago. 2026.

GU, Chao; FENG, Yi. Influence of public engagement with science on scientific information literacy during the COVID-19 pandemic in China. Science & Education, v. 31, p. 619–633, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-021-00261-8. Acesso em: 20 ago. 2026.

GUESS, Andrew M. et al. A digital media literacy intervention increases discernment between mainstream and false news in the United States and India. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 117, n. 27, p. 15536–15545, 2020. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1920498117. Acesso em: 20 ago. 2026.

HÖTTECKE, Dietmar; ALLCHIN, Douglas. Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media. Science Education, v. 104, n. 4, p. 641–666, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.21575. Acesso em: 20 ago. 2026.

HOWELL, Emily L.; BROSSARD, Dominique. (Mis)informed about what? What it means to be a science-literate citizen in a digital world. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 118, n. 15, e1912436117, 2021. DOI: https://doi.org/10.1073/pnas.1912436117. Acesso em: 20 ago. 2026.

KOPS, Maxime; SCHITTENHELM, Catherine; WACHS, Sebastian. Young people and false information: a scoping review of responses, influential factors, consequences, and prevention programs. Computers in Human Behavior, v. 169, art. 108650, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chb.2025.108650. Acesso em: 20 ago. 2026.

KOZYREVA, Anastasia et al. Citizens versus the internet: confronting digital challenges with cognitive tools. Psychological Science in the Public Interest, v. 21, n. 3, p. 103–156, 2020. DOI: https://doi.org/10.1177/1529100620946707. Acesso em: 20 ago. 2026.

KOZYREVA, Anastasia; WINEBURG, Sam; LEWANDOWSKY, Stephan; HERTWIG, Ralph. Critical ignoring as a core competence for digital citizens. Current Directions in Psychological Science, v. 32, n. 1, p. 81–88, 2023. DOI: https://doi.org/10.1177/09637214221121570. Acesso em: 20 ago. 2026.

LEWANDOWSKY, Stephan et al. The Debunking Handbook 2020. 2020. DOI: https://doi.org/10.17910/b7.1182. Acesso em: 20 ago. 2026.

LU, Chang et al. Psychological inoculation for credibility assessment, sharing intention, and discernment of misinformation: systematic review and meta-analysis. Journal of Medical Internet Research, v. 25, e49255, 2023. DOI: https://doi.org/10.2196/49255. Acesso em: 20 ago. 2026.

MARTINI, Carlo et al. The impact of interventions against science disinformation in high school students. Scientific Reports, v. 15, art. 34278, 2025. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-025-16565-6. Acesso em: 20 ago. 2026.

MCGREW, Sarah. Learning to evaluate: an intervention in civic online reasoning. Computers & Education, v. 145, art. 103711, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103711. Acesso em: 20 ago. 2026.

MCGREW, Sarah; BREAKSTONE, Joel. Civic online reasoning across the curriculum: developing and testing the efficacy of digital literacy lessons. AERA Open, v. 9, p. 1–22, 2023. DOI: https://doi.org/10.1177/23328584231176451. Acesso em: 20 ago. 2026.

MELLBERG, Sofie; DANIELSSON FRIBERG, Angelika; NYGREN, Thomas. Science education against misinformation: an educational intervention in upper-secondary schools. International Journal of Science Education, publicação antecipada on-line, 2025. DOI: https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2571131. Acesso em: 20 ago. 2026.

MENDES, Carolina Borghi; MESSEDER NETO, Hélio da Silva. Fake news e ensino de Ciências da Natureza: apontamentos contra a ideologia e em defesa do conhecimento científico. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 25, e57710, p. 1–21, 2025. DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2025u573593. Acesso em: 20 ago. 2026.

MILARÉ, Tathiane; DUSO, Leandro; RICHETTI, Graziela Piccoli. Conteúdos digitais viralizados e enganosos: potencialidades para a alfabetização científica e tecnológica. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 25, e60317, p. 1–24, 2025. DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2025u795818. Acesso em: 20 ago. 2026.

NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE. Understanding and addressing misinformation about science. Washington, DC: National Academies Press, 2024. Disponível em: https://www.nationalacademies.org/projects/DBASSE-BOSE-21-02/publication/27894. Acesso em: 20 ago. 2026.

NICOLODI, Jean Carlos; ROSA, Cleci Teresinha Werner da; LIMA, Nathan Willig. Desinformação em Ciências e educação científica: uma revisão da literatura. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 26, e61767, p. 1–31, 2026. DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2026u175205. Acesso em: 20 ago. 2026.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. PISA 2025 science framework. Paris: OECD, 2023. Disponível em: https://pisa-framework.oecd.org/science-2025/. Acesso em: 20 ago. 2026.

OLIVEIRA, Francisco Robson Carvalho de; SOUSA, Cidoval Morais de. Enfrentamento educacional à desinformação e ao negacionismo científico: uma revisão de teses e dissertações brasileiras. Ciência & Educação, v. 32, e260008, 2026. DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320260008. Acesso em: 20 ago. 2026.

OSBORNE, Jonathan; ALLCHIN, Douglas. Science literacy in the twenty-first century: informed trust and the competent outsider. International Journal of Science Education, publicação antecipada on-line, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2331980. Acesso em: 20 ago. 2026.

OSBORNE, Jonathan; PIMENTEL, Daniel. Science, misinformation, and the role of education. Science, v. 378, n. 6617, p. 246–248, 2022. DOI: https://doi.org/10.1126/science.abq8093. Acesso em: 20 ago. 2026.

OSBORNE, Jonathan; PIMENTEL, Daniel. Science education in an age of misinformation. Science Education, v. 107, n. 3, p. 553–571, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.21790. Acesso em: 20 ago. 2026.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em: 20 ago. 2026.

PENNYCOOK, Gordon et al. Shifting attention to accuracy can reduce misinformation online. Nature, v. 592, p. 590–595, 2021. DOI: https://doi.org/10.1038/s41586-021-03344-2. Acesso em: 20 ago. 2026.

PENNYCOOK, Gordon; RAND, David G. Accuracy prompts are a replicable and generalizable approach for reducing the spread of misinformation. Nature Communications, v. 13, art. 2333, 2022. DOI: https://doi.org/10.1038/s41467-022-30073-5. Acesso em: 20 ago. 2026.

PEREIRA, Aldo Aoyagui Gomes; FIGUEIRÔA, Silvia F. M. Epistemologia social e desinformação científica: perspectivas para a educação em Ciências. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 26, e52480, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21172022240199. Acesso em: 20 ago. 2026.

PIMENTEL, Daniel R. Learning to evaluate science (mis)information on the internet: assessing students' scientific online reasoning. Journal of Research in Science Teaching, v. 62, n. 3, p. 684–720, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/tea.21974. Acesso em: 20 ago. 2026.

PIVARO, Gabriela Fasolo; GIROTTO JÚNIOR, Gildo. O ataque organizado à ciência como forma de manipulação: do aquecimento global ao coronavírus. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 37, n. 3, p. 1074–1098, 2020. DOI: https://doi.org/10.5007/2175-7941.2020v37n3p1074. Acesso em: 20 ago. 2026.

PIVARO, Gabriela Fasolo; GIROTTO JÚNIOR, Gildo. Qual ciência é negada nas redes sociais? Reflexões de uma pesquisa etnográfica em uma comunidade virtual negacionista. Investigações em Ensino de Ciências, v. 27, n. 1, p. 435–458, 2022. DOI: https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2022v27n1p435. Acesso em: 20 ago. 2026.

PIVARO, Gabriela Fasolo; GIROTTO JÚNIOR, Gildo. Características dos discursos de desinformação relacionados aos conhecimentos científicos das redes bolsonaristas no Twitter. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, v. 23, e40800, p. 1–25, 2023. DOI: https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2023u631655. Acesso em: 20 ago. 2026.

PIVARO, Gabriela Fasolo; GIROTTO JÚNIOR, Gildo; COMPIANI, Maurício. Uso de mídias sociais e suas consequências na propagação de desinformação: possibilidades para a aprendizagem em Ciências. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 28, e62690, 2026. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-2117-62690. Acesso em: 20 ago. 2026.

RAU, Martina A.; PREMO, Anna E. Systematic review of educational approaches to misinformation. Educational Psychology Review, v. 37, art. 43, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-025-10012-8. Acesso em: 20 ago. 2026.

SHARON, Aviv J.; BARAM-TSABARI, Ayelet. Can science literacy help individuals identify misinformation in everyday life? Science Education, v. 104, n. 5, p. 873–894, 2020. DOI: https://doi.org/10.1002/sce.21581. Acesso em: 20 ago. 2026.

SIANI, Alessandro; JOSEPH, Maria; DACIN, Claudiu. Susceptibility to scientific misinformation and perception of news source reliability in secondary school students. Discover Education, v. 3, art. 93, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s44217-024-00194-8. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, Erasmo Moisés dos Santos; ARROIO, Agnaldo. Letramento midiático na formação de licenciandos em Ciências da Universidade de São Paulo: o que revelam as ementas? Ciência & Educação, v. 31, e25015, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/1516-731320250015. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, Maíra Batistoni e; SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica e domínios do conhecimento científico: proposições para uma perspectiva formativa comprometida com a transformação social. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 23, e34674, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-21172021230129. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. Media and information literate citizens: think critically, click wisely! Media and information literacy curriculum for educators and learners. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377068. Acesso em: 20 ago. 2026.

VALLADARES, Liliana. Scientific literacy and social transformation. Science & Education, v. 30, n. 3, p. 557–587, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-021-00205-2. Acesso em: 20 ago. 2026.

XIE, Yi; YUSUF, Abdullahi. Advancing scientific literacy: a systematic review of trends, pedagogies and challenges in the 21st century. Review of Education, v. 14, n. 1, e70140, 2026. DOI: https://doi.org/10.1002/rev3.70140. Acesso em: 20 ago. 2026.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

CONTROLE SUSTENTÁVEL DE ACHATINA FULICA (CARAMUJO AFRICANO) EM AMBIENTE ESCOLAR DE RIACHINHO-TO: CORREÇÃO DO SOLO, INTERVENÇÃO QUÍMICA CONTROLADA E EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Glediston de Aquino Gonçalves[2]

Resumo

O caramujo africano, Achatina fulica (sin. Lissachatina fulica), constitui espécie exótica invasora associada a danos ambientais, agronômicos e sanitários. Este artigo descreve e analisa um plano de intervenção elaborado na Escola Estadual João XXIII, em Riachinho, Tocantins, após a infestação comprometer o objetivo inicial de implantação de uma horta escolar. A investigação foi organizada como relato de experiência técnico-educacional, de natureza qualitativa, exploratória e descritiva, apoiado em revisão bibliográfica e análise dos registros de campo. A estratégia integrou diagnóstico do foco, organização ambiental, redução de abrigos, delimitação do espaço, correção do solo com calcário, intervenção química controlada com solução à base de sulfato de cobre pentahidratado e monitoramento visual. O preparo, o manuseio, a aplicação, o armazenamento e a destinação dos materiais químicos foram realizados exclusivamente por Glediston de Aquino Gonçalves, pesquisador responsável; estudantes não participaram de nenhuma operação química nem manipularam moluscos. Os registros indicaram redução acentuada de exemplares no terceiro dia e ausência de indivíduos detectáveis no sétimo dia nas áreas inspecionadas. Esse achado é interpretado como supressão local ou erradicação operacional aparente durante o período monitorado, e não como extinção biológica da espécie. A falta de grupo-controle, contagem basal padronizada, análises de solo, avaliação ecotoxicológica e seguimento prolongado impede atribuir o efeito a um único componente ou generalizar o procedimento. Conclui-se que a experiência alcançou o objetivo operacional no espaço escolar, mas a sustentabilidade do controle depende de monitoramento contínuo, manejo integrado, avaliação técnica e observância das orientações sanitárias e ambientais.

Palavras-chave: Achatina fulica; horta escolar; manejo integrado; educação ambiental; sulfato de cobre; correção do solo.

Abstract

The giant African snail, Achatina fulica (syn. Lissachatina fulica), is an invasive alien species associated with environmental, agricultural, and public-health impacts. This paper describes and analyzes an intervention plan implemented at João XXIII State School in Riachinho, Tocantins, Brazil, after an infestation compromised the original goal of building a school garden. The study was organized as a qualitative, exploratory, and descriptive technical-educational experience report supported by a literature review and field records. The strategy combined diagnosis, environmental organization, shelter reduction, area delimitation, soil correction with agricultural limestone, a controlled chemical intervention using a copper sulfate pentahydrate solution, and visual monitoring. All chemical preparation, handling, application, storage, and disposal were performed solely by Glediston de Aquino Gonçalves, the responsible researcher; students neither handled chemicals nor collected mollusks. Field records indicated a marked reduction by day three and no detectable specimens by day seven in the inspected area. This finding is interpreted as local suppression or apparent operational eradication during the monitored period, not as biological extinction. The absence of a control group, standardized baseline counts, soil analyses, ecotoxicological assessment, and long-term follow-up prevents causal attribution and broad generalization. The intervention achieved its immediate operational objective at the school, while sustainable control requires continuous monitoring, integrated management, technical assessment, and compliance with health and environmental guidance.

Keywords: Achatina fulica; school garden; integrated management; environmental education; copper sulfate; soil correction.

[2] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

A implantação de uma horta escolar costuma ser concebida como estratégia de aproximação entre currículo, território e vida cotidiana. Em vez de limitar a aprendizagem ambiental à exposição de conceitos, a horta permite observar ciclos biológicos, propriedades do solo, disponibilidade de água, decomposição da matéria orgânica, relações ecológicas e responsabilidade coletiva. Estudos recentes apontam que esses espaços podem integrar educação ambiental, alimentação, saúde e práticas interdisciplinares, desde que sejam planejados como ambientes pedagógicos permanentes e não como ações isoladas (FOTOPOULOS et al., 2021; PENZ; BIONDO; RIGHI, 2023; SILVA; TABOSA, 2024). Foi com essa finalidade que se iniciou, na Escola Estadual João XXIII, situada no município de Riachinho, Tocantins, a organização de uma área destinada à horta escolar.

Durante a preparação do espaço, entretanto, a presença recorrente de caramujos africanos modificou o curso do projeto. Os animais eram observados no solo e em pontos com umidade, cobertura e matéria orgânica, condições que poderiam favorecer abrigo, alimentação e postura. A ocorrência não representava somente um obstáculo ao estabelecimento das culturas: tratava-se de uma situação que exigia reconhecer uma espécie exótica invasora, organizar o espaço com critérios sanitários, impedir a manipulação insegura e definir uma resposta compatível com a natureza educativa da instituição. O problema prático da horta converteu-se, assim, em objeto de investigação e intervenção ambiental localizada.

A espécie conhecida no Brasil como caramujo africano é frequentemente denominada Achatina fulica, embora a literatura taxonômica contemporânea também empregue Lissachatina fulica. Originária do leste africano e disseminada por diferentes regiões tropicais e subtropicais, apresenta ampla plasticidade ecológica, dieta diversificada, capacidade de ocupar ambientes alterados e elevada aptidão reprodutiva. Sua ocorrência em áreas residenciais, terrenos, jardins, cultivos e instituições públicas decorre da interação entre características biológicas e condições produzidas pela ocupação humana, como acúmulo de resíduos, oferta de refúgios, irrigação, drenagem deficiente e transporte involuntário de solo, mudas ou materiais (ANDREAZZI et al., 2017; PATIÑO-MONTOYA, 2022; RANGEL et al., 2024).

A condição invasora não decorre simplesmente do fato de a espécie estar fora de sua área nativa. O conceito envolve estabelecimento, dispersão e produção de impactos sobre a diversidade biológica, os serviços ecossistêmicos, a economia ou a saúde. No marco brasileiro, a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras enfatiza prevenção, detecção precoce, resposta rápida, controle e articulação institucional (BRASIL, 2018). Em escala escolar, esses princípios se traduzem na necessidade de impedir que a ação se resuma a uma aplicação pontual: a retirada de abrigos, a inspeção reiterada, a higiene do espaço e a comunicação responsável são tão importantes quanto qualquer medida diretamente dirigida ao organismo.

A relevância sanitária de A. fulica exige precisão. Moluscos terrestres podem atuar como hospedeiros intermediários de nematódeos de importância médica e veterinária, entre os quais Angiostrongylus cantonensis, relacionado à meningite eosinofílica, e A. costaricensis, associado à angiostrongilíase abdominal. Levantamentos brasileiros confirmaram parasitismo em diferentes espécies de gastrópodes e destacaram a frequência de A. fulica em amostras encaminhadas à vigilância (THIENGO et al., 2022). Estudos no Rio de Janeiro, Amazonas e Sergipe também registraram exemplares naturalmente infectados, reforçando a necessidade de vigilância e educação sanitária (RAMOS-DE-SOUZA et al., 2023; RANGEL et al., 2024; SILVA et al., 2024). Isso não autoriza afirmar que todo caramujo esteja infectado, nem que o simples avistamento produza doença; indica, porém, que o contato e o manejo devem obedecer a medidas de prevenção.

Em uma escola, o dever de cuidado adquire centralidade porque crianças e adolescentes podem interpretar a curiosidade científica como permissão para tocar, coletar ou transportar animais. A educação ambiental precisa produzir conhecimento sem converter estudantes em operadores de risco. Por essa razão, o plano descrito neste artigo separou rigorosamente as tarefas educativas das ações técnicas. Os estudantes puderam compreender o problema, observar o espaço a distância segura e discutir prevenção, mas não manipularam caramujos, calcário ou solução química. Toda a utilização dos materiais ficou sob responsabilidade exclusiva do pesquisador Glediston de Aquino Gonçalves.

A intervenção foi estruturada em resposta a um foco localizado exclusivamente no terreno da Escola Estadual João XXIII. Diferentemente da versão inicial do projeto, não houve extensão para residências, terrenos baldios, vias públicas ou outros pontos urbanos de Riachinho. Essa delimitação é metodologicamente relevante porque define o universo de observação e impede a extrapolação dos resultados para o município. O título do artigo foi, portanto, ajustado para refletir o ambiente efetivamente contemplado: uma escola, com área tratada e monitorada dentro de seu perímetro, e não os ambientes urbanos da cidade como um todo.

O plano reuniu diversas técnicas complementares. A primeira camada consistiu em reconhecer e organizar o problema: inspeção visual, identificação dos pontos de abrigo, delimitação da área e revisão das condições que favoreciam a permanência dos moluscos. A segunda envolveu manejo do ambiente, com limpeza, redução de materiais acumulados e reorganização do local da futura horta. A terceira correspondeu à correção do solo com calcário agrícola, procedimento vinculado à preparação agronômica da horta. Somente depois dessa etapa ocorreu a utilização controlada de solução à base de sulfato de cobre pentahidratado. A quarta camada foi o monitoramento visual do espaço, associado à educação ambiental e ao registro crítico dos resultados.

A menção ao calcário precisa ser tecnicamente qualificada. O material foi empregado como corretivo do solo antes da intervenção química posterior, e não deve ser apresentado como equivalente ao antigo registro de cloreto de cálcio nem como prova de ação moluscicida. A calagem é prática agronômica destinada a corrigir a acidez e alterar atributos de fertilidade, devendo idealmente ser orientada por análise de solo e recomendação apropriada à cultura (EMBRAPA, 2022). Sem medições laboratoriais no local, o presente relato registra a sequência adotada, mas não quantifica alteração de pH, saturação por bases, disponibilidade de nutrientes ou mudança na mobilidade do cobre.

O sulfato de cobre pentahidratado, por sua vez, não pode ser descrito como insumo ambientalmente neutro. Compostos de cobre podem persistir ou acumular-se na camada superficial do solo, associar-se à matéria orgânica e a minerais, alterar comunidades microbianas e produzir toxicidade para organismos não alvo; a disponibilidade e a mobilidade dependem de pH, textura, matéria orgânica, condições redox e drenagem (FAGNANO et al., 2020; HUGHES et al., 2021; YU et al., 2023). Além disso, bases de segurança química advertem para a elevada toxicidade do sulfato de cobre a organismos aquáticos e para o risco de escoamento contaminante (NOAA, 2024; NCBI, 2026). Por isso, este artigo não divulga concentração, dose, volume ou modo de preparo e não oferece protocolo para reprodução autônoma.

O uso do termo sustentável no título não significa que uma substância química seja sustentável por definição. A sustentabilidade é tratada como critério sistêmico: reduzir a exposição humana, limitar a intervenção ao local necessário, integrar técnicas não químicas, proteger organismos não alvo, evitar dispersão para água e solo adjacente, monitorar o reaparecimento e reconhecer os limites da evidência. Nessa perspectiva, uma ação só pode ser

considerada mais sustentável quando inserida em manejo integrado, sujeita a avaliação técnica e acompanhada por medidas preventivas. A literatura sobre produtos moluscicidas, inclusive alternativas de origem natural, mostra ausência de padronização metodológica e lacunas ecotoxicológicas, o que recomenda prudência diante de resultados isolados (LEITE et al., 2024).

A questão orientadora foi formulada nos seguintes termos: como um problema de infestação por A. fulica, identificado durante a preparação de uma horta escolar, foi convertido em plano de intervenção integrado e quais resultados, limites e cuidados podem ser extraídos dessa experiência localizada? O objetivo geral consistiu em descrever e analisar criticamente a intervenção realizada na Escola Estadual João XXIII. Como objetivos específicos, buscou-se: contextualizar a relevância ambiental e sanitária da espécie; reconstruir as etapas do diagnóstico e do manejo; esclarecer que o calcário foi utilizado para correção do solo antes do sulfato de cobre pentahidratado; registrar que somente o pesquisador responsável manuseou os materiais; examinar a ausência de exemplares nas inspeções posteriores; e delimitar o alcance científico das conclusões.

A justificativa combina três dimensões. A primeira é institucional, pois a infestação impediu o avanço seguro da horta e demandou resposta concreta. A segunda é pedagógica, uma vez que o episódio permitiu problematizar biodiversidade, invasões biológicas, saúde ambiental e responsabilidade. A terceira é científica e ética: relatos de experiência podem ser úteis quando documentam decisões e limites, mas se tornam frágeis quando convertem observações sem controle em causalidade, omitem riscos ou fornecem instruções químicas sem condições de segurança. O alto padrão acadêmico, neste caso, depende tanto da densidade teórica quanto da honestidade sobre aquilo que não foi medido.

O artigo está organizado em quatro blocos posteriores a esta introdução. A fundamentação teórica discute a espécie, os riscos sanitários, a horta como espaço educador e os princípios do manejo integrado. A metodologia apresenta o delineamento, o local, a cronologia da intervenção, as responsabilidades e os critérios de análise. Os resultados e a discussão articulam os registros do terceiro e do sétimo dia com a literatura, distinguindo supressão local de erradicação biológica. Por fim, as considerações finais retomam o êxito operacional observado sem encobrir a necessidade de monitoramento prolongado, avaliação do solo e supervisão institucional.

Fundamentação teórica

O estudo de A. fulica exige abordagem que atravesse ecologia de invasões, parasitologia, saúde coletiva, ciência do solo, educação ambiental e gestão de riscos. Nenhum desses campos, isoladamente, explica a situação escolar. A simples classificação do organismo como praga pode estimular respostas indiscriminadas; a ênfase exclusiva no risco sanitário pode gerar pânico; e a leitura estritamente pedagógica pode subestimar deveres de segurança. A fundamentação adotada, portanto, procura integrar conhecimento biológico e responsabilidade institucional, tratando o espaço escolar como ambiente de aprendizagem e, ao mesmo tempo, como local que requer precaução reforçada.

Achatina fulica: invasão biológica, ambiente e saúde

Achatina fulica pertence a um grupo de gastrópodes terrestres pulmonados com grande capacidade de explorar ambientes antropizados. A ampla distribuição mundial resultou de introduções intencionais e acidentais, seguidas por fugas, abandonos e transporte passivo. No Brasil, a espécie tornou-se conhecida pela tentativa de criação comercial como substituta do escargot e pela dispersão posterior. Embora essa narrativa seja frequentemente simplificada, seu valor analítico está em demonstrar que invasões biológicas combinam decisões humanas, fluxos

de materiais e atributos do organismo. Uma vez estabelecida, a população passa a responder a fatores locais, como umidade, temperatura, disponibilidade de alimento e refúgios (ANDREAZZI et al., 2017; PATIÑO-MONTOYA, 2022).

A nomenclatura merece esclarecimento. Muitos documentos brasileiros e trabalhos acadêmicos empregam Achatina fulica, nome que se consolidou no uso institucional e popular; fontes taxonômicas recentes adotam Lissachatina fulica. Manter Achatina no título facilita o reconhecimento do objeto pela comunidade escolar e preserva a formulação original do projeto, enquanto a apresentação do sinônimo atual evita imprecisão científica. Essa solução é comum em estudos aplicados, nos quais a comunicação com públicos não especializados deve ser compatibilizada com a atualização taxonômica.

A espécie é hermafrodita e apresenta elevada capacidade reprodutiva, mas números absolutos de ovos e longevidade variam conforme idade, disponibilidade de recursos e condições ambientais. A produção de sucessivas posturas e a deposição de ovos no solo dificultam conclusões baseadas apenas na ausência de adultos. Um local pode parecer livre de moluscos e, ainda assim, conter ovos, juvenis pequenos ou indivíduos em refúgios. Também pode ocorrer recolonização a partir de áreas vizinhas ou por transporte involuntário. Por isso, a inspeção deve considerar diferentes estágios e ser repetida ao longo do tempo, especialmente após períodos de chuva ou aumento da umidade (BRASIL, 2022; RANGEL et al., 2024).

O comportamento diário e sazonal ajuda a explicar a concentração em hortas e jardins. Moluscos terrestres dependem da conservação de umidade, tendem a buscar abrigo em horas quentes e secas e podem intensificar a atividade em condições úmidas. Pedras, tábuas, recipientes, folhas acumuladas, materiais de obra e vegetação densa oferecem microambientes favoráveis. A irrigação necessária ao cultivo pode aumentar a atratividade do local quando não acompanhada de drenagem e manejo de resíduos. Assim, a futura horta escolar não era apenas vítima da infestação: suas condições planejadas poderiam manter o problema se o controle não alcançasse os fatores ambientais.

Os impactos ecológicos são heterogêneos. A. fulica pode consumir material vegetal vivo e em decomposição, danificar mudas e competir por recursos com outros gastrópodes. Entretanto, o controle indiscriminado pode atingir moluscos nativos, alguns deles de relevância para a conservação. Estudos comportamentais alertam que a semelhança visual e a falta de identificação favorecem a eliminação indevida de espécies nativas (MIRANDA et al., 2016). Esse risco reforça a recomendação de identificação qualificada e de registro fotográfico antes da destinação, particularmente quando a comunidade não possui experiência malacológica.

No campo sanitário, o caramujo africano deve ser entendido como hospedeiro potencial, não como agente etiológico em si. O ciclo de A. cantonensis envolve hospedeiros definitivos, sobretudo roedores, que eliminam larvas nas fezes; moluscos podem ingerir as larvas e funcionar como hospedeiros intermediários. A infecção humana é acidental e está associada principalmente à ingestão de moluscos crus ou insuficientemente cozidos, de hospedeiros paratênicos ou de produtos contaminados. A educação sanitária deve, portanto, enfatizar lavagem de hortaliças, higiene das mãos, prevenção do contato desnecessário e busca por orientação de saúde diante de suspeita clínica, sem afirmar transmissão automática por mero avistamento (THIENGO et al., 2022; PARANÁ, 2026).

Os achados epidemiológicos recentes justificam a vigilância. Thiengo et al. (2022) examinaram grande conjunto de moluscos terrestres no Brasil e encontraram diversidade de nematódeos, com predomínio de espécies sinantrópicas nas remessas analisadas. Ramos-de-Souza et al. (2023) relataram A. fulica infectada por A. cantonensis em Manaus. Rangel et al. (2024), em área periurbana do Rio de Janeiro, relacionaram a dinâmica populacional à

sazonalidade e registraram infecção por nematódeos. Silva et al. (2024) confirmaram nematódeos de importância humana e animal em municípios de Sergipe. Esses estudos não provam infecção no foco de Riachinho, pois não houve diagnóstico parasitológico local, mas demonstram por que o princípio da precaução é adequado.

A ausência de exame laboratorial na escola impede dizer se os exemplares observados carregavam parasitas. A formulação academicamente correta é afirmar que a espécie tem competência documentada como hospedeiro e que, por isso, foram adotadas medidas preventivas. Essa distinção evita dois erros recorrentes: minimizar o risco pela falta de confirmação local ou apresentar todo indivíduo como contaminado. A comunicação de risco precisa indicar probabilidade, via de exposição e medidas de proteção em linguagem compreensível, preservando a proporcionalidade entre evidência e recomendação.

A política pública brasileira oferece referência importante. A Nota Técnica nº 30/2022 do Ministério da Saúde sistematiza orientações para manejo, descarte e controle de A. fulica, priorizando identificação, coleta protegida, eliminação adequada dos indivíduos e ovos, limpeza e continuidade das ações (BRASIL, 2022). A Instrução Normativa Ibama nº 141/2006 disciplina o controle e o manejo ambiental da fauna sinantrópica nociva, enquanto a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras situa o problema em perspectiva intersetorial (IBAMA, 2006; BRASIL, 2018). Em contexto escolar, esses instrumentos sustentam a articulação entre educação, saúde e meio ambiente.

O conceito de erradicação também precisa ser usado com rigor. Em ecologia de invasões, erradicar significa remover todos os indivíduos reprodutivos de uma população delimitada, reduzir a probabilidade de sobreviventes a nível aceitavelmente baixo e impedir o restabelecimento, o que exige vigilância subsequente. Uma inspeção sem detecções é evidência favorável, mas não demonstra ausência absoluta. Neste artigo, a expressão erradicação operacional aparente designa o fato de nenhum exemplar ter sido observado no espaço inspecionado ao final do acompanhamento registrado. A expressão não equivale a extinção da espécie, nem mesmo à erradicação confirmada em longo prazo.

Horta escolar, educação ambiental e cultura de prevenção

A horta escolar constitui dispositivo pedagógico complexo. Seu valor não reside apenas no cultivo de alimentos, mas na possibilidade de conectar conhecimentos científicos, práticas sociais e problemas reais. Revisões recentes identificam contribuições para educação ambiental e alimentar, interdisciplinaridade, cooperação e vínculo com a natureza, ao mesmo tempo em que assinalam a necessidade de continuidade, formação docente e integração curricular (CRUZ et al., 2021; PENZ; BIONDO; RIGHI, 2023; CASTILLO et al., 2023). Em Riachinho, a infestação deslocou temporariamente o foco do plantio para a preparação segura do ambiente, sem eliminar a finalidade pedagógica inicial.

Esse deslocamento é formativo porque mostra que projetos ambientais não seguem uma sequência linear. Antes de plantar, foi necessário compreender o território, identificar um conflito ecológico, revisar procedimentos e tomar decisões. A experiência evidencia que cuidar do solo não é apenas adicionar corretivos ou sementes: envolve reconhecer organismos presentes, fluxos de água, resíduos, riscos e consequências das intervenções. A horta torna-se, então, um laboratório de pensamento sistêmico, ainda que os estudantes não participem das operações perigosas.

A educação ambiental crítica evita reduzir o problema a uma mensagem de extermínio. A espécie deve ser controlada por seus impactos e riscos, mas sua presença está relacionada a processos históricos de introdução, descarte e transformação urbana. Discutir essa trajetória

permite abordar responsabilidade humana, consumo, circulação de mercadorias, biodiversidade e políticas públicas. Santos e Silva (2024) observam que práticas com hortas escolares frequentemente permanecem em perspectivas conservacionistas ou pragmáticas; superar essa limitação exige relacionar o cuidado local às dimensões sociais e políticas da crise ambiental.

A participação estudantil foi desenhada segundo o princípio de adequação ao risco. Observar, registrar, comparar informações, produzir materiais e discutir medidas de prevenção são atividades educativas. Preparar solução química, transportar recipientes, aplicar produto, recolher moluscos ou destinar resíduos biológicos são tarefas técnicas e potencialmente perigosas. A separação não reduz o protagonismo discente; ao contrário, ensina que a ciência envolve papéis, competências, limites e prestação de contas. Responsabilidade é parte do conteúdo aprendido.

A cultura de prevenção depende de linguagem precisa. Mensagens alarmistas podem gerar manipulação apressada, uso indiscriminado de sal, cal ou pesticidas e descarte inadequado. Mensagens vagas podem produzir indiferença. A comunicação escolar deve explicar que o animal não deve ser tocado com as mãos desprotegidas, que alimentos precisam de higienização, que focos devem ser comunicados a adultos e que a destinação deve seguir orientação oficial. Também deve evitar imagens que incentivem curiosidade tátil ou competições de coleta por crianças.

A horta amplia a noção de saúde para além da ausência de doença. Um ambiente escolar saudável articula qualidade do solo, água segura, biodiversidade, manejo de resíduos, alimentação e bem-estar. Revisões sobre intervenções escolares em ambientes internos e externos ressaltam que resultados dependem da combinação entre desenho do espaço, manutenção e governança (FERNANDES et al., 2023). Da mesma forma, estudos sobre jardinagem escolar apontam que efeitos positivos emergem quando há apoio institucional, continuidade e integração às rotinas, e não somente pela existência física do canteiro (HOLLOWAY et al., 2023).

A infestação também funcionou como situação-problema para alfabetização científica. A comunidade precisou diferenciar observação de inferência, risco potencial de contaminação confirmada, correlação temporal de causalidade e ausência de detecção de erradicação comprovada. Esses pares conceituais são fundamentais para interpretar informações ambientais. A própria redação deste artigo materializa essa aprendizagem ao substituir afirmações categóricas por conclusões proporcionais aos registros disponíveis.

A continuidade pedagógica da horta deve incorporar um plano de biossegurança ambiental. Antes de novas etapas de plantio, é recomendável verificar condições do solo, ausência de resíduos químicos, drenagem, retorno de moluscos e compatibilidade com cultivo de alimentos. A decisão de consumir produtos da área não pode ser derivada somente da ausência visual de caramujos; depende de avaliação técnica do solo e da segurança da intervenção anterior. A literatura sobre cobre em áreas agrícolas demonstra que concentração total, fração disponível, características do solo e tempo de exposição influenciam o risco (FAGNANO et al., 2020; YU et al., 2023).

O projeto ganha relevância institucional quando produz memória. Registros de data, local, condições ambientais, responsável, observações e decisões permitem que a escola responda a um eventual reaparecimento sem improvisação. Essa documentação também protege a comunidade, pois torna visível quem estava autorizado a executar cada etapa. No caso relatado, a atribuição exclusiva do manuseio químico ao pesquisador responsável deve permanecer expressa em qualquer versão submetida a periódico, relatório escolar ou apresentação pública.

Manejo integrado, correção do solo e precaução química

O manejo integrado combina medidas compatíveis com a biologia do organismo e com as características do local. Para A. fulica, isso significa reduzir abrigos, manejar umidade e resíduos, realizar inspeções periódicas, identificar corretamente os exemplares, adotar coleta protegida quando necessária, tratar ovos e impedir recolonização. A intervenção química, quando considerada, deve ser excepcional, tecnicamente justificada e subordinada ao conjunto. A lógica integrada é superior à dependência de um único produto porque atua sobre causas ambientais e mantém vigilância após a redução inicial (BRASIL, 2022; LEITE et al., 2024).

Métodos mecânicos apresentam vantagens importantes em focos restritos: permitem remoção dirigida, reduzem a dispersão de substâncias e favorecem o registro de indivíduos e ovos. Sua limitação está na demanda de trabalho, na dificuldade de detectar juvenis e posturas e na necessidade de repetição. Barreiras e manejo do habitat podem reduzir o acesso a canteiros, mas não eliminam fontes externas. Métodos biológicos exigem extremo cuidado, pois a introdução de predadores pode criar novo problema invasivo; experiências internacionais com inimigos naturais de moluscos demonstram que controle biológico sem avaliação pode ameaçar espécies nativas.

Métodos químicos podem produzir mortalidade ou repelência, mas trazem questões de seletividade, exposição ocupacional, resíduos, solo, água e organismos não alvo. Revisão de Leite et al. (2024) identificou grande heterogeneidade nos ensaios de substâncias naturais contra A. fulica e ausência de estudos ecotoxicológicos em parte relevante da produção analisada. Isso evidencia que a categoria natural não garante segurança e, por extensão, que resultados de campo com substâncias convencionais também exigem controle metodológico. Eficácia imediata e sustentabilidade não são sinônimos.

A correção do solo com calcário foi incorporada porque o objetivo originário era preparar uma horta. A calagem pode elevar o pH, reduzir efeitos da acidez e fornecer cálcio e magnésio, mas deve ser dimensionada por análise do solo, exigência das culturas e poder de neutralização do material. Aplicação excessiva pode reduzir a disponibilidade de micronutrientes metálicos, inclusive cobre, ferro, manganês e zinco (EMBRAPA, 2022). No relato, não foram produzidos dados analíticos suficientes para avaliar essas alterações; logo, a etapa é descrita como correção agronômica precedente, e não como variável experimental comprovada.

A posição temporal do calcário antes do sulfato de cobre é relevante porque pH, matéria orgânica, minerais e textura influenciam a forma como o cobre se associa ao solo. Em geral, a elevação do pH pode aumentar a adsorção e reduzir a fração livre de determinados metais, mas a resposta é dependente da matriz e não permite concluir, sem amostragem, que a calagem neutralizou risco ou potencializou controle. A revisão de Yu et al. (2023) mostra que a adsorção de metais resulta de múltiplos mecanismos. O presente estudo não demonstrou interação química específica entre as etapas.

O cobre é micronutriente essencial em baixas concentrações e contaminante em concentrações elevadas. Essa dupla condição afasta explicações simplistas. Estudos em solos agrícolas indicam que o acúmulo decorrente do uso reiterado de compostos cúpricos pode exercer pressão seletiva sobre comunidades microbianas e afetar organismos edáficos (FAGNANO et al., 2020; HUGHES et al., 2021; DUQUE et al., 2023). A Resolução Conama nº 420/2009 estabelece valores orientadores para substâncias químicas em solo e oferece uma moldura para avaliação de qualidade e contaminação, embora a aplicação desses critérios dependa de análise laboratorial e contexto de uso (CONAMA, 2009).

A toxicidade aquática constitui preocupação especial. O sulfato de cobre é solúvel e libera íons de cobre; o escoamento pode alcançar drenagens e corpos hídricos. Fontes de segurança química classificam a substância como muito tóxica a organismos aquáticos e alertam para efeitos duradouros (NCBI, 2026). Em uma escola, a avaliação prévia precisa incluir ralos, declividade, canais de chuva, poços, animais domésticos, áreas de circulação e possibilidade de contato acidental. A ausência de descrição de dose neste artigo é escolha deliberada para impedir que um relato localizado seja interpretado como receita de uso.

O princípio da precaução orienta decisões quando existem indícios de dano potencial e incerteza científica relevante. Aplicado ao caso, ele exigiu limitar o manuseio químico a um único adulto responsável, delimitar a área, afastar estudantes, impedir uso indiscriminado e manter registro. Também exige reconhecer que a ausência de dano visível às plantas não equivale à ausência de alteração química ou ecotoxicológica. Organismos do solo, microrganismos e frações disponíveis de cobre não podem ser avaliados apenas por inspeção ocular.

Do ponto de vista acadêmico, o plano de intervenção pode ser entendido como cadeia de barreiras: prevenção da exposição humana; redução das condições favoráveis; correção agronômica do espaço; ação química localizada; e monitoramento. O êxito não decorre necessariamente de uma suposta sinergia entre calcário e sulfato de cobre, hipótese que não foi testada. A interpretação mais defensável é que o conjunto de ações coincidiu com a redução e a ausência de detecção no intervalo observado. Estudos futuros poderiam comparar áreas, medir o solo e acompanhar reinfestação, desde que submetidos a avaliação técnica e ética apropriada.

Sustentabilidade também implica capacidade institucional de interromper ou modificar uma ação diante de risco. Se houver chuva intensa, drenagem inadequada, presença de organismos não alvo, circulação de crianças ou ausência de condições de armazenamento e destinação, a etapa química não deve avançar. O relato não legitima aplicações futuras por repetição automática. Cada nova ocorrência deve ser reavaliada, priorizando as orientações do Ministério da Saúde, os órgãos ambientais e profissionais habilitados.

Metodologia

A metodologia foi reorganizada para tornar explícitos o caráter do estudo, a unidade espacial, a cronologia, as responsabilidades, as fontes de dados e os limites de inferência. Essa reconstrução é necessária porque relatos de intervenção tendem a misturar planejamento, execução, resultados esperados e resultados observados. Aqui, apenas as ações efetivamente realizadas na escola e sustentadas pelos registros disponíveis foram incluídas como parte empírica; propostas de expansão urbana, participação discente em aplicação química e aproveitamento dos moluscos como ração foram excluídas por não integrarem a experiência final e por apresentarem inadequação sanitária ou metodológica.

Delineamento, contexto e unidade de observação

O trabalho configura-se como relato de experiência técnico-educacional, com abordagem qualitativa, finalidade aplicada e alcance descritivo-exploratório. Não se trata de ensaio clínico, experimento agronômico randomizado, teste laboratorial de moluscicida ou levantamento epidemiológico. A fonte primária é a documentação produzida no processo de intervenção — observações, notas e registros fotográficos — interpretada à luz de literatura científica e documentos oficiais. Essa classificação limita a pretensão causal, mas permite analisar como uma situação concreta foi diagnosticada, organizada e enfrentada.

O local foi exclusivamente a Escola Estadual João XXIII, no município de Riachinho, estado do Tocantins. A unidade de observação correspondeu ao espaço selecionado para implantação da horta escolar e ao entorno imediato inspecionado dentro do perímetro da instituição. Não

foram tratadas residências, praças, terrenos baldios, vias públicas ou outras escolas. Consequentemente, não foram coletados dados sobre distribuição da espécie no município, percepção de moradores ou comparação entre áreas urbanas. Toda referência a Riachinho indica apenas a localização geográfica da escola.

O ponto de partida foi o projeto de construção da horta escolar. Na fase de preparação, a presença reiterada de caramujos tornou-se incompatível com a continuidade imediata do plantio, tanto pelo dano potencial às mudas quanto pelo risco de manipulação espontânea por membros da comunidade escolar. O objetivo operacional foi então temporariamente redefinido: antes de estruturar os canteiros e iniciar o cultivo, seria necessário reduzir o foco, reorganizar o ambiente, proteger os participantes e acompanhar a ocorrência de novos exemplares.

O diagnóstico situacional foi visual e descritivo. Foram considerados indícios como presença de indivíduos, locais de abrigo, umidade, matéria orgânica, vegetação e materiais que pudessem favorecer a permanência da espécie. Não houve amostragem probabilística, delimitação por quadrantes, esforço de busca cronometrado na linha de base, identificação taxonômica por especialista ou teste parasitológico. Portanto, a expressão infestação descreve ocorrência repetida e operacionalmente relevante, não uma densidade calculada segundo protocolo populacional.

A revisão bibliográfica foi orientada por quatro eixos: biologia e invasão de A. fulica; risco relacionado a nematódeos; manejo e controle; e horta escolar/educação ambiental. Foram priorizadas publicações de 2020 em diante e documentos oficiais, sem excluir trabalhos anteriores indispensáveis ao enquadramento histórico e normativo. As buscas abrangeram portais de periódicos, PubMed, SciELO, páginas governamentais e repositórios acadêmicos. Foram utilizados termos em português e inglês, como Achatina fulica, Lissachatina fulica, giant African snail, Angiostrongylus, manejo, invasive species, copper sulfate, soil liming e school garden.

As fontes foram selecionadas por pertinência direta e possibilidade de verificação. Artigos com DOI ou hospedagem institucional foram preferidos. Documentos municipais foram utilizados apenas para contextualização local ou comunicação pública, enquanto afirmações sobre toxicidade, parasitismo e manejo foram ancoradas em artigos revisados por pares ou órgãos oficiais. Referências do manuscrito original sem relação direta com o tema, incompletas ou incapazes de sustentar a afirmação associada foram retiradas.

Construção e execução do plano de intervenção

O plano foi estruturado em etapas sucessivas, mas interdependentes. A primeira correspondeu à suspensão temporária do avanço da horta e à comunicação de que o espaço exigia cuidado. A segunda reuniu inspeção e organização ambiental. A terceira consistiu na preparação agronômica do solo por meio do uso de calcário. A quarta envolveu a aplicação controlada de solução química à base de sulfato de cobre pentahidratado. A quinta foi dedicada ao monitoramento visual após a intervenção. Atividades educativas e registro acompanharam o processo, sem participação discente no manejo químico ou biológico.

Na organização ambiental, o pesquisador avaliou pontos de abrigo e condições que poderiam favorecer a permanência dos moluscos. A intervenção incluiu limpeza do local, retirada ou reorganização de materiais capazes de reter umidade e atenção ao entorno do futuro canteiro. Essas medidas foram compreendidas como parte do controle, não como mera preparação estética. Ao diminuir refúgios e tornar o espaço mais inspecionável, ampliou-se a possibilidade de detectar indivíduos remanescentes e reduzir fatores de suporte à infestação.

A etapa com calcário agrícola ocorreu antes da utilização do sulfato de cobre pentahidratado. Seu propósito declarado foi a correção do solo da área destinada à horta, dentro do objetivo agronômico original. O texto não informa dose, método de cálculo ou valor de pH porque não houve laudo analítico anexado aos registros. Assim, não se afirma que a quantidade aplicada tenha sido tecnicamente otimizada, nem que a calagem, isoladamente, tenha produzido mortalidade ou repelência. A sequência temporal é descrita com fidelidade, mas sua interação química não foi testada.

Após a correção do solo, foi realizada intervenção localizada com solução à base de sulfato de cobre pentahidratado. Por segurança e responsabilidade, não são apresentados concentração, volume, utensílios, tempo exato entre etapas ou técnica de distribuição. A omissão não impede avaliar o delineamento e evita transformar um relato acadêmico em instrução de aplicação de substância perigosa. O procedimento deve ser entendido como evento situado, que exigiria avaliação profissional, conformidade normativa e análise ambiental antes de qualquer tentativa de reprodução.

O preparo, o transporte interno, o manuseio, a aplicação, o armazenamento e a destinação dos materiais químicos foram realizados unicamente por Glediston de Aquino Gonçalves, pesquisador responsável. Nenhum estudante recebeu produto, equipamento ou tarefa relacionada à aplicação. Estudantes também não coletaram, tocaram, transportaram, esmagaram ou descartaram caramujos e ovos. Essa separação foi adotada como salvaguarda central e deve ser mantida em toda comunicação do projeto.

A participação educativa ocorreu em condições não químicas e sem contato com animais. Ela compreendeu contextualização sobre espécies exóticas invasoras, reconhecimento visual mediado, discussão de higiene e prevenção, observação do ambiente a partir de área segura e compreensão da necessidade de comunicar ocorrências a adultos. Não foram aplicados questionários, entrevistas ou testes de aprendizagem; por isso, o artigo não apresenta percentuais de mudança de conhecimento, comportamento ou percepção.

Quadro 1 – Síntese cronológica do plano de intervenção na escola

Etapa	Finalidade	Ações registradas	Responsabilidade/limite
1. Projeto inicial	Implantar a horta escolar	Seleção e preparação preliminar do espaço	A infestação impediu a continuidade imediata do plantio
2. Diagnóstico	Compreender o foco	Inspeção visual, identificação de abrigos e delimitação da área	Sem contagem basal padronizada ou exame laboratorial
3.Manejo ambiental	Reduzir condições favoráveis	Limpeza, organização do entorno e redução de refúgios	Medidas não químicas integradas
4. Correção do solo	Preparar agronomicamente a futura horta	Uso de calcário agrícola antes da etapa química	Sem laudo de pH ou cálculo registrado; não interpretado como teste moluscicida
5. Intervenção química	Atuar no foco remanescente	Uso controlado de solução à base de sulfato de cobre pentahidratado	Executada somente pelo pesquisador; parâmetros operacionais não divulgados

Etapa	Finalidade	Ações registradas	Responsabilidade/limite
6. Monitoramento	Verificar resposta e reaparecimento	Inspeções visuais, com marcos registrados no 3º e no 7º dia	Ausência de detecção não prova erradicação biológica definitiva
7. Educação ambiental	Promover prevenção e leitura crítica	Orientações e observações sem contato com animais ou substâncias	Estudantes excluídos de todo manejo químico e biológico

Fonte: Elaboração do autor com base nos registros do projeto (2026).

Segurança, monitoramento e tratamento analítico

A gestão de segurança foi baseada em quatro barreiras: controle de acesso ao local; atribuição exclusiva do manuseio ao pesquisador; prevenção de contato de estudantes com animais e materiais; e acompanhamento após a intervenção. O relato não substitui ficha de informações de segurança, avaliação de risco ocupacional ou autorização aplicável. Também não afirma que o pesquisador possua habilitação profissional específica não documentada. A formulação responsável é que ele foi o único executor e responsável direto no âmbito do projeto.

A área de trabalho deveria permanecer afastada de atividades pedagógicas durante a intervenção. Foram considerados, no planejamento, riscos de contato dérmico, ingestão acidental, contaminação de utensílios, transporte de resíduos para outros ambientes e escoamento para drenagens. A literatura de segurança sobre sulfato de cobre aponta irritação, toxicidade por ingestão e perigo ambiental, especialmente para organismos aquáticos (NOAA, 2024; NCBI, 2026). Essas características justificam o isolamento e a não divulgação de uma receita operacional.

O monitoramento baseou-se em inspeções visuais e registros fotográficos do local. O manuscrito original estabelecia marcos de três e sete dias após a intervenção. No terceiro dia, foram observados afastamento ou redução de indivíduos e alguns exemplares mortos; no sétimo, nenhum indivíduo foi encontrado durante a inspeção. Como não havia contagem basal sistemática, esforço de busca idêntico documentado ou repetição independente, os dados foram tratados qualitativamente.

Foram definidos três níveis de interpretação. Presença observada indica registro direto de exemplar. Ausência de detecção indica que nenhum indivíduo foi visto durante uma inspeção, sem equivaler a ausência real. Supressão local corresponde à redução a um nível não detectável no espaço e no intervalo observados. A expressão erradicação operacional aparente foi reservada para sintetizar o êxito prático do projeto, sempre acompanhada de ressalva temporal e espacial. Extinção da espécie foi rejeitada por ser biologicamente incorreta.

Os resultados foram organizados por triangulação simples entre cronologia, observações de campo e plausibilidade à luz da literatura. A coincidência temporal entre o conjunto de medidas e a ausência no sétimo dia foi considerada evidência de resposta local. Contudo, como todas as medidas ocorreram em sequência e não houve grupos separados, não se pode estimar a contribuição individual da limpeza, da alteração de abrigo, do calcário, da substância química ou das condições climáticas.

A avaliação ambiental limitou-se à observação visual do solo e da vegetação. Não foram coletadas amostras para pH, capacidade de troca catiônica, matéria orgânica, cobre total ou biodisponível; tampouco foram analisados água de drenagem, microrganismos, invertebrados edáficos ou tecidos vegetais. Por isso, ausência de dano aparente não foi convertida em

afirmação de segurança ambiental. Antes da utilização produtiva da horta, a recomendação científica é realizar avaliação do solo compatível com o histórico da área.

Não houve coleta de dados pessoais, entrevistas, prontuários ou experimentação com seres humanos. As atividades educativas não foram avaliadas como pesquisa com participantes. Mesmo assim, a escola é ambiente institucional, e a intervenção deve estar documentada e autorizada conforme suas normas internas. Para eventual estudo futuro envolvendo questionários, imagens identificáveis, desempenho de estudantes ou exposição experimental, deverão ser observados os requisitos éticos e administrativos correspondentes.

A validade interna é limitada pela ausência de controle, mensuração quantitativa e padronização do esforço de busca. A validade externa também é restrita porque há apenas um local, com solo, clima e organização próprios. A confiabilidade pode ser ampliada por fotografias datadas, mapa da área, fichas de inspeção e repetição sazonal, mas esses materiais não substituem análises laboratoriais. O relato assume essas limitações como condição para uma conclusão prudente.

Quadro 2 – Fontes de informação, indicadores e alcance interpretativo

Fonte	Indicador utilizado	O que permite afirmar	O que não permite afirmar
Observação de campo	Presença ou ausência visual de exemplares	Ocorrência detectada no momento da inspeção	Tamanho real da população ou ausência absoluta
Registro fotográfico	Imagem do local e de exemplares	Memória visual e comparação qualitativa	Identificação parasitológica ou concentração química
Notas do projeto	Sequência das ações e responsáveis	Cronologia e atribuição de tarefas	Padronização experimental retroativa
Literatura científica	Biologia, riscos e evidências externas	Plausibilidade e contextualização	Confirmação automática do caso de Riachinho
Documentos oficiais	Orientações de vigilância e manejo	Enquadramento sanitário e institucional	Licença específica ou validação de dose no local
Inspeções no 3º e 7º dia	Tendência de redução e ausência de detecção	Êxito operacional inicial	Erradicação definitiva ou efeito exclusivo de um produto

Fonte: Elaboração do autor (2026).

Resultados e discussão

Os resultados são apresentados como achados de uma experiência localizada e discutidos em relação ao objetivo da horta, à resposta observada, à segurança e às limitações. A expressão êxito refere-se ao alcance do objetivo operacional imediato — interromper a ocorrência detectável de caramujos na área inspecionada — e não à demonstração experimental de eficácia de uma formulação. Essa distinção permite reconhecer o valor da intervenção sem ultrapassar a capacidade probatória dos registros.

Da implantação da horta à formulação do plano

O primeiro resultado foi a transformação do planejamento. A horta não foi abandonada; seu cronograma foi condicionado à resolução de um problema ambiental que poderia comprometer plantio, manutenção e segurança. Essa mudança revela maturidade de gestão, pois evita executar um projeto pedagógico sobre uma base inadequada. A literatura sobre hortas

escolares enfatiza planejamento, manutenção e integração institucional como condições para continuidade (CRUZ et al., 2021; CASTILLO et al., 2023). No caso analisado, controlar o foco tornou-se pré-requisito para retomar o propósito educativo.

A inspeção mostrou que a presença dos caramujos não deveria ser tratada apenas por retirada ocasional. Os pontos de abrigo e a umidade do espaço indicavam que o ambiente poderia sustentar novos indivíduos ou posturas. A organização do local, portanto, produziu um resultado estrutural: tornou o território mais legível e reduziu condições favoráveis. Mesmo sem quantificação isolada, esse componente é coerente com a orientação de manejo integrado do Ministério da Saúde, que recomenda continuidade e intervenção sobre o ambiente, e não apenas sobre exemplares visíveis (BRASIL, 2022).

A delimitação exclusivamente escolar corrigiu uma fragilidade do projeto original. A proposta anterior mencionava expansão a áreas urbanas, residências e terrenos da cidade, mas não havia dados que demonstrassem essa execução. Ao restringir o relato à Escola Estadual João XXIII, evitam-se falsos resultados, comparações inexistentes e generalização territorial. Esse ajuste fortalece o trabalho porque faz coincidir título, objetivo, método, dados e conclusão.

Outro resultado metodológico foi a definição de responsabilidades. O pesquisador assumiu integralmente a operação com os materiais, enquanto estudantes permaneceram fora das tarefas químicas e de manipulação dos animais. Essa decisão reduz exposição e corrige a ideia, presente na versão inicial, de formar equipes discentes para aplicação. Em ambiente educativo, participação não pode ser confundida com transferência de risco. O aprendizado ocorreu pela análise do problema e pela cultura de prevenção.

As ações não químicas contribuíram para a coerência do termo sustentável. Limpeza, redução de refúgios, inspeção, comunicação e monitoramento são medidas de menor dispersão ambiental e permaneceriam necessárias mesmo que nenhum agente químico fosse utilizado. A sustentabilidade do resultado depende precisamente dessas ações, porque uma aplicação isolada não impede ovos, sobreviventes ou recolonização. A literatura de controle ressalta que lacunas metodológicas e ecotoxicológicas dificultam a escolha de substâncias como resposta única (LEITE et al., 2024).

O caráter educativo emergiu da necessidade de revisar crenças. A noção de que o caramujo transmite doença pelo simples contato indireto foi substituída por explicação sobre hospedeiro, via de exposição e prevenção. A ideia de que todo método letal é eficaz e, portanto, adequado foi confrontada com riscos ao solo e à água. Finalmente, o desejo de demonstrar êxito foi equilibrado pela distinção entre ausência de detecção e erradicação. Esses ganhos conceituais não foram medidos por instrumento, mas podem ser reconhecidos na própria reorganização do projeto.

Resposta observada, correção do solo e supressão local

Os registros disponíveis apontam que, no terceiro dia após a sequência de intervenção, houve redução acentuada da presença observável, deslocamento de indivíduos para fora dos pontos anteriormente ocupados e ocorrência de alguns exemplares mortos. No sétimo dia, a inspeção não identificou novos caramujos na área monitorada. O padrão temporal é compatível com efeito do conjunto de medidas, mas a falta de contagem inicial impede calcular percentual de redução, velocidade de mortalidade ou intervalo de confiança.

A ausência de indivíduos no sétimo dia representou êxito prático para a escola porque removeu, naquele momento, o obstáculo visível ao avanço do projeto da horta. Em linguagem operacional, a população ficou abaixo do limite de detecção da inspeção. Em linguagem ecológica, não é possível comprovar que todos os indivíduos e ovos foram eliminados. A

formulação supressão local observada é, por isso, a mais robusta. Se a expressão erradicação local for utilizada na divulgação, deve vir acompanhada de aparente ou operacional e do período de monitoramento.

Não se utiliza a expressão extinção da espécie porque ela implicaria desaparecimento de A. fulica em escala biológica incompatível com o estudo. Tampouco se afirma erradicação em Riachinho-TO, pois nenhum outro ponto do município foi investigado. Essa correção terminológica não diminui o resultado: ela evita que uma observação válida no perímetro escolar seja desqualificada por exagero. A precisão fortalece a credibilidade do trabalho.

A calagem antecedeu a aplicação do sulfato de cobre pentahidratado, conforme solicitado pelo pesquisador e registrado na reconstrução do procedimento. O resultado agronômico dessa etapa, porém, não foi medido. Sem valores antes e depois, não se pode dizer quanto o pH se alterou, se a acidez foi corrigida ao nível adequado à futura cultura ou se houve efeito sobre disponibilidade de cobre. A Embrapa recomenda que a necessidade de calcário seja definida a partir de análise de solo e da cultura pretendida (EMBRAPA, 2022). Portanto, futuras versões do projeto devem incorporar laudo.

Também não se pode afirmar que o calcário preparou quimicamente o solo para intensificar o efeito do sulfato de cobre. Essa hipótese de sinergia estava implícita na versão inicial, mas não foi testada. O pH pode modificar adsorção e biodisponibilidade de metais, e a elevação do pH tende a reduzir a disponibilidade de diversos micronutrientes; o comportamento concreto depende de propriedades locais (YU et al., 2023). O artigo limita-se a descrever que a correção ocorreu antes, como componente do preparo da horta.

A etapa química apresenta relação temporal mais próxima com a mortalidade e a ausência posterior, mas não pode receber atribuição causal isolada. Limpeza, perda de abrigo, alteração de umidade, movimentação do solo e condições climáticas podem ter contribuído para deslocamento ou menor detectabilidade. Um desenho capaz de separar efeitos exigiria áreas comparáveis, tratamentos distintos, repetição, contagem basal e padronização da busca. Nenhum desses elementos estava disponível.

A observação de animais mortos fornece indício de ação letal no local, porém não identifica mecanismo, exposição ou dose efetiva. A ausência posterior pode refletir mortalidade, evasão, ocultação ou combinação desses processos. A expressão eliminação deve ser empregada com cautela, pois não diferencia destino dos indivíduos. Ainda assim, do ponto de vista da gestão escolar, cessar a presença observável foi um resultado imediato relevante.

O limite de sete dias é curto diante do ciclo da espécie e das variações ambientais. Ovos presentes no solo poderiam eclodir posteriormente, e indivíduos externos poderiam recolonizar a área. Rangel et al. (2024) demonstram que abundância e parasitismo podem variar conforme estação e condições locais. Portanto, a manutenção do resultado precisa ser verificada em inspeções posteriores, sobretudo após chuvas. Sem essa série, o estudo não comprova estabilidade de longo prazo.

A eficácia operacional também deve ser confrontada com a segurança do solo. Compostos cúpricos não desaparecem por degradação como moléculas orgânicas; o elemento cobre pode ligar-se a componentes do solo, ser absorvido ou mobilizado. Pesquisas mostram efeitos dependentes de disponibilidade sobre invertebrados e microbiota (FAGNANO et al., 2020; HUGHES et al., 2021; DUQUE et al., 2023). Como a área se destina à produção de alimentos, a análise de cobre total e disponível, pH e matéria orgânica é uma etapa recomendada antes do uso alimentar.

A ausência de dano visual imediato à vegetação não é indicador suficiente de inocuidade. Alterações microbianas, efeitos em organismos edáficos e acúmulo podem ocorrer sem sintomas visíveis. A Resolução Conama nº 420/2009 oferece valores orientadores para qualidade do solo, mas somente a análise permite compará-los. Assim, o resultado positivo para controle deve ser apresentado lado a lado com uma agenda de verificação ambiental, evitando que sucesso contra a praga seja obtido à custa de incerteza sobre a horta.

Quadro 3 – Matriz de resultados, evidências e limites

Resultado	Evidência disponível	Interpretação adotada	Limite principal
Reorganização do espaço	Registros do processo	Redução de abrigos e melhoria da inspeção	Sem medição isolada do efeito
Correção do solo antes da química	Cronologia do projeto	Etapa agronômica precedente	Sem análise de pH, nutrientes ou cálculo de calagem
Redução no 3º dia	Observação visual e fotografias	Resposta inicial do conjunto de medidas	Sem contagem basal padronizada
Nenhum exemplar no 7º dia	Inspeção da área delimitada	Supressão local/erradicação operacional aparente	Não exclui ovos, ocultação ou recolonização
Proteção estudantil	Definição formal de papéis	Nenhum estudante manipulou químicos ou moluscos	Depende da manutenção do controle de acesso
Segurança ambiental	Observação visual	Não foram notados efeitos macroscópicos nos registros	Sem ecotoxicologia ou análise química do solo
Retomada potencial da horta	Controle do obstáculo visível	Condição operacional mais favorável	Uso alimentar requer avaliação técnica do solo

Fonte: Elaboração do autor (2026).

Implicações educativas, ambientais e institucionais

A experiência mostrou que o problema ambiental pode ser incorporado ao currículo sem expor estudantes ao agente de risco. A divisão de papéis criou uma mensagem pedagógica consistente: observar e estudar não significa tocar; participar não significa aplicar substâncias; e agir ambientalmente pressupõe conhecer limites. Essa abordagem é compatível com propostas de horta escolar que valorizam interdisciplinaridade e responsabilidade compartilhada, mas acrescenta uma dimensão de biossegurança pouco destacada em muitos relatos (PENZ; BIONDO; RIGHI, 2023; MARQUES; MAZZARINO; DAMASCENO, 2022).

A escola passou a dispor de um caso concreto para discutir invasão biológica. Em Ciências, pode-se explorar anatomia, ciclo de vida, relações ecológicas e parasitismo. Em Geografia, circulação de espécies e transformação dos ambientes. Em Matemática, métodos de amostragem e séries temporais, deixando claro por que dados ausentes limitam conclusões. Em Língua Portuguesa, comunicação de risco e análise de fontes. Em Química, propriedades do solo, pH, íons metálicos e toxicidade, sem realizar experimentos com a substância utilizada.

A correção do manuscrito original também é resultado acadêmico. Foram retiradas a afirmação de correção de acidez por cloreto de cálcio, a divulgação de uma concentração de sulfato de cobre, a proposta de participação estudantil na aplicação, a extensão não realizada para a cidade e o uso de caramujos como ração. Cada mudança aproxima o texto dos dados e das boas práticas. A robustez não é produzida por maior número de afirmações, mas pela coerência entre evidência, método e conclusão.

A exclusão do aproveitamento dos moluscos na alimentação animal é particularmente importante. Exemplares de área urbana podem carregar parasitas e contaminantes; a transformação em ração exigiria estudos sanitários, processamento validado, autorização e controle de qualidade. Não havia base para essa proposta no projeto. A destinação deve seguir orientações sanitárias e ambientais, sem inserir o material em cadeia alimentar humana ou animal (BRASIL, 2022).

No plano institucional, recomenda-se que a escola mantenha um registro de ocorrências. A ficha pode conter data, horário, condição do tempo, ponto de observação, número aproximado de exemplares, presença de ovos, fotografia e providência adotada, sem identificação de estudantes. Uma série simples permitiria verificar sazonalidade e resposta a medidas não químicas. Esse monitoramento é de baixo risco e gera dados mais robustos do que intervenções eventuais sem documentação.

O retorno da horta deve ocorrer por etapas. Primeiro, confirmar a ausência de novos focos em período mais longo. Segundo, avaliar o solo, especialmente se houver intenção de cultivar alimentos. Terceiro, reorganizar drenagem, irrigação e armazenamento de materiais para reduzir refúgios. Quarto, definir rotina de inspeção adulta. Quinto, integrar a horta ao currículo com regras de higiene. Essas etapas preservam o objetivo inicial e transformam a intervenção em aprendizado institucional duradouro.

A articulação com vigilância sanitária, zoonoses, saúde e meio ambiente pode elevar a qualidade do projeto. A Fiocruz disponibiliza serviço de identificação de moluscos terrestres, e órgãos locais podem orientar coleta e destinação. O envolvimento institucional é especialmente importante diante de dúvida taxonômica, grande número de exemplares, suspeita de contaminação, proximidade de água ou necessidade de intervenção química. O relato não substitui assistência técnica.

A sustentabilidade temporal depende de evitar aplicações repetidas como resposta automática. Se o monitoramento indicar reaparecimento, a primeira análise deve buscar causas: retorno de materiais acumulados, aumento de umidade, áreas externas adjacentes ou sobrevivência de ovos. Repetir produto sem medir o solo aumenta incerteza e risco de acúmulo. O manejo adaptativo utiliza o dado novo para revisar a decisão, priorizando prevenção e menor impacto.

O êxito observado pode ser valorizado como demonstração de capacidade de resposta da escola. Houve reconhecimento do problema, suspensão prudente da horta, elaboração de plano, execução por responsável definido e ausência de exemplares no marco final registrado. O que não deve ser afirmado é que a experiência comprovou uma solução universal. A diferença entre inovação localizada e tecnologia validada é central: a primeira gera hipótese e aprendizagem; a segunda exige ensaios controlados, replicação e avaliação de segurança.

Como agenda de pesquisa, um estudo futuro poderia estabelecer parcelas comparáveis e testar apenas medidas autorizadas, incluindo controle sem intervenção química, manejo ambiental isolado e acompanhamento padronizado. Deveria registrar esforço de busca, idade ou tamanho dos indivíduos, ovos, chuva, umidade e temperatura, além de pH, matéria orgânica e

cobre no solo. O delineamento precisaria ser aprovado institucionalmente e conduzido por equipe com competência ambiental e química. Em escola, a proteção da comunidade deve prevalecer sobre o interesse experimental.

Outra frente seria avaliar a dimensão educativa por instrumentos próprios, sem vincular estudantes ao manejo de risco. Questionários anônimos, mapas conceituais, análise de produções e entrevistas poderiam investigar compreensão sobre invasões biológicas e prevenção, desde que observadas as exigências éticas. Isso permitiria separar dois resultados hoje apenas justapostos: controle do foco e aprendizagem. A literatura de educação ambiental mostra que a simples presença de uma horta não garante reflexão crítica; intencionalidade pedagógica e avaliação são necessárias (BASTOS; SAHEB, 2021; SANTOS; SILVA, 2024).

A experiência de Riachinho possui valor sobretudo por revelar uma tensão real: o mesmo espaço destinado à aprendizagem ambiental pode exigir controle de uma espécie invasora e, ao mesmo tempo, proteção contra efeitos do próprio controle. Essa tensão impede soluções simplistas. A qualidade do projeto será medida pela capacidade de preservar a saúde, recuperar o uso pedagógico do solo e manter transparência sobre incertezas.

Considerações finais

O estudo analisou a intervenção realizada exclusivamente na Escola Estadual João XXIII, em Riachinho-TO, a partir de um problema surgido durante a preparação de uma horta escolar. A infestação por A. fulica levou à suspensão temporária do plantio e à construção de um plano que combinou inspeção, organização ambiental, redução de abrigos, correção do solo com calcário, intervenção química controlada e monitoramento. Dessa forma, o objetivo inicial da horta não desapareceu: foi reordenado para que a recuperação do espaço antecedesse sua utilização pedagógica e produtiva.

A sequência foi descrita de maneira inequívoca: o calcário agrícola foi utilizado para a correção do solo antes da solução à base de sulfato de cobre pentahidratado. Não se sustenta, contudo, que o calcário tenha funcionado como moluscicida ou que exista sinergia comprovada entre os materiais. Sem análise de pH, fertilidade e cobre, a relação entre as etapas permanece descritiva. O valor científico do relato reside na documentação da experiência e não na apresentação de uma formulação validada.

A utilização dos materiais foi realizada somente por Glediston de Aquino Gonçalves, pesquisador responsável. Estudantes não prepararam, aplicaram, armazenaram ou descartaram substâncias; não coletaram nem manipularam caramujos ou ovos. Sua participação ficou restrita à educação ambiental, observação protegida e compreensão das medidas preventivas. Essa delimitação deve ser mantida como requisito de segurança e como parte constitutiva da metodologia.

Os registros mostraram redução acentuada no terceiro dia e ausência de exemplares detectados no sétimo dia no perímetro inspecionado. O conjunto de técnicas obteve, portanto, êxito operacional inicial e suprimiu localmente a presença observável. A conclusão correta é supressão local ou erradicação operacional aparente durante o período acompanhado. Não houve extinção da espécie, erradicação do município nem comprovação de ausência de ovos ou recolonização futura.

As limitações impedem atribuir o resultado exclusivamente ao sulfato de cobre ou à correção do solo. Não houve grupo-controle, contagem basal padronizada, replicação, análise parasitológica, mensuração de variáveis climáticas, exame de organismos não alvo ou acompanhamento prolongado. Também não foi possível demonstrar segurança do solo apenas

por observação visual. Antes da implantação produtiva da horta, recomenda-se avaliação técnica das condições edáficas e manutenção de vigilância após períodos chuvosos.

Conclui-se que o controle sustentável de A. fulica em ambiente escolar deve ser concebido como processo continuado de manejo integrado, e não como aplicação isolada. A intervenção de Riachinho alcançou seu objetivo imediato, mas sua consolidação depende de limpeza, redução de refúgios, inspeções adultas, identificação adequada, destinação orientada, prevenção da exposição, avaliação ambiental e articulação com os serviços competentes. A principal contribuição do artigo é oferecer uma leitura academicamente responsável de uma experiência real: reconhecer o resultado positivo, documentar a responsabilidade exclusiva do pesquisador e tornar explícitas as condições necessárias para que a horta escolar seja retomada com segurança.

Referências

ANDREAZZI, Márcia Aparecida et al. Giant African snail, Achatina fulica (Férussac, 1821): an environmental and public health problem in the northwestern of Paraná State, Brazil. Acta Scientiarum. Biological Sciences, Maringá, v. 39, n. 3, p. 301–307, 2017. DOI: https://doi.org/10.4025/actascibiolsci.v39i3.35569.

BASTOS, Débora de Araújo; SAHEB, Daniele. O estado da arte da temática da Educação Ambiental no Ensino de Ciências no Ensino Fundamental. Îandé: Ciências e Humanidades, v. 5, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.36942/iande.v5i1.430.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, DF: Presidência da República, 1981. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6938.htm. Acesso em: 21 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental e institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Brasília, DF: Presidência da República, 1999. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em: 21 ago. 2026.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Comissão Nacional da Biodiversidade. Resolução Conabio nº 7, de 29 de maio de 2018. Aprova a Estratégia Nacional para Espécies Exóticas Invasoras. Brasília, DF: MMA, 2018. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/component/legislacao/?view=legislacao&legislacao=138909. Acesso em: 21 ago. 2026.

BRASIL. Ministério da Saúde. Nota Técnica nº 30/2022-CGZV/DEIDT/SVS/MS: orientações quanto ao correto manejo, descarte e controle do molusco gastrópode terrestre exótico-invasor Achatina fulica no Brasil. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/notas-tecnicas/2022/nota-tecnica-no-30-2022-cgzv-deidt-svs-ms-manejo-do-molusco-gastropode.pdf/view. Acesso em: 21 ago. 2026.

BREVE, Michel Anderson et al. Educação ambiental e nutricional através da horta escolar no ensino público de São Bernardo do Campo (SP). Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 16, n. 4, p. 475–496, 2021. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.13874.

CASTILLO, Dante et al. Bibliometric mapping of school garden studies: a thematic trends analysis. Horticulturae, v. 9, n. 3, art. 359, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/horticulturae9030359.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas. Brasília, DF: Conama, 2009.

CRUZ, Lilian Pereira et al. Hortas pedagógicas: análise de artigos publicados em periódicos e congressos. Revista Ciências Humanas, v. 14, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.32813/2179-1120.2021.v14.n1.a613.

DUQUE, Gustavo et al. Variation in the chemical sensitivity of earthworms from field populations to imidacloprid and copper. Environmental Toxicology and Chemistry, v. 42, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/etc.5589.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Calagem. Brasília, DF: Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/web/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cenoura/producao/manejo-do-solo/analise-do-solo/calagem. Acesso em: 21 ago. 2026.

FAGNANO, Massimo et al. Copper accumulation in agricultural soils: risks for the food chain and soil microbial populations. Science of the Total Environment, v. 734, art. 139434, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139434.

FERNANDES, Amanda et al. School-based interventions to support healthy indoor and outdoor environments for children: a systematic review. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 3, art. 1746, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph20031746.

FOTOPOULOS, Igor Georgios et al. Educação Ambiental: experiências a partir da implantação de hortas escolares. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 16, n. 1, p. 378–392, 2021. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.10917.

FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ (FIOCRUZ). Solicitar identificação de moluscos terrestres. Rio de Janeiro: Fiocruz, [s. d.]. Disponível em: https://www.gov.br/pt-br/servicos/solicitar-identificacao-de-moluscos-terrestres-fiocruz-rj. Acesso em: 21 ago. 2026.

HOLLOWAY, Timothy P. et al. School gardening and health and well-being of school-aged children: a realist synthesis. Nutrients, v. 15, n. 5, art. 1190, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/nu15051190.

HUGHES, Sarah L. et al. Soil invertebrate toxicity and bioaccumulation of nano copper oxide and copper sulphate in soils, with and without biosolids amendment. Ecotoxicology and Environmental Safety, v. 217, art. 112222, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112222.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA). Instrução Normativa nº 141, de 19 de dezembro de 2006. Regulamenta o controle e o manejo ambiental da fauna sinantrópica nociva. Brasília, DF: Ibama, 2006. Disponível em: https://www.ibama.gov.br/legislacao/legislacao-vigente-inferior-a-decreto. Acesso em: 21 ago. 2026.

LEITE, J. C. V. A.; ROSA E SILVA, M. A.; SANTOS, J. A. A.; FARIA, R. X. Natural products as a control measure of the Achatina fulica (Gastropoda: Achatinidae). Brazilian Journal of Biology, v. 84, e260065, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1519-6984.260065.

MARQUES, Marilaine de Castro Pereira; MAZZARINO, Jane Marcia; DAMASCENO, Mônica Maria Siqueira. Formação de professores em Educação Ambiental a partir das hortas escolares. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 17, n. 6, p. 115–133, 2022. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2022.v17.13033.

MIRANDA, Mariane S. et al. Conservation implications of behavioural interactions between the giant African snail and a native Brazilian species. Ethology Ecology & Evolution, v. 29, n. 3, p. 209–217, 2017. DOI: https://doi.org/10.1080/03949370.2015.1125951.

NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION (NCBI). PubChem compound summary for CID 24463: copper sulfate pentahydrate. Bethesda: National Library of Medicine,

2026. Disponível em: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/24463. Acesso em: 21 ago. 2026.
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA). CAMEO Chemicals: cupric sulfate. Washington, DC: NOAA, 2024. Disponível em: https://cameochemicals.noaa.gov/chemical/3025. Acesso em: 21 ago. 2026.
PARANÁ. Secretaria de Estado da Saúde. Caramujo africano (Achatina fulica). Curitiba: Sesa, 2026. Disponível em: https://www.saude.pr.gov.br/Pagina/Caramujo-Africano-Achatina-fulica. Acesso em: 21 ago. 2026.
PATIÑO-MONTOYA, Angie. Effect of the invasion history of the giant African snail (Lissachatina fulica) on its realized climatic niche. Invertebrate Biology, v. 141, n. 4, e12385, 2022. DOI: https://doi.org/10.1111/ivb.12385.
PENZ, Daniela de Cássia Ferreira; BIONDO, Elaine; RIGHI, Eléia. School gardens in environmental and food education: a qualitative and bibliometric analysis. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 18, 2023. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2023.v18.14834.
RAMOS-DE-SOUZA, Jucicleide et al. Achatina fulica infected by Angiostrongylus cantonensis in Manaus, Brazilian Amazon region, and the risk of transmission of eosinophilic meningitis. Revista de Patologia Tropical, v. 52, n. 4, p. 295–303, 2023. DOI: https://doi.org/10.5216/rpt.v52i4.77199.
RANGEL, F. C. S. et al. Population dynamics of Achatina fulica in a peri-urban area adjacent to the Fiocruz Atlantic Forest Biological Station, in Rio de Janeiro, Brazil, with report on Angiostrongylus cantonensis infection. Brazilian Journal of Biology, v. 84, e274620, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/1519-6984.274620.
SANTOS, Adriane de Lima Aleixo dos; SILVA, José Bittencourt da. Práticas educativas de Educação Ambiental: o que revelam as atividades educativas com uso de hortas escolares no Brasil? Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 19, n. 2, p. 149–162, 2024. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v9.15495.
SCHÚ, Aline et al. Educação e Ecologia Profunda: reflexões sobre os potenciais pedagógicos da horta escolar. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 16, n. 3, p. 79–100, 2021. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.10912.
SILVA, Francis Miliany Canela da; TABOSA, Wyllys Abel Farkatt. Horta escolar como instrumento de promoção da Educação Ambiental. Revista Brasileira de Educação Ambiental, v. 19, n. 5, p. 452–459, 2024. DOI: https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v19.16292.
SILVA, Guilherme Mota da et al. Nematodes of concern to public and animal health associated with the invasive snail Achatina fulica, in Sergipe, Northeastern Brazil. Veterinary Parasitology: Regional Studies and Reports, v. 54, art. 101096, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.vprsr.2024.101096.
THIENGO, Silvana Carvalho et al. Parasitism of terrestrial gastropods by medically-important nematodes in Brazil. Frontiers in Veterinary Science, v. 9, art. 1023426, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fvets.2022.1023426.
YU, Hanjing et al. A review on adsorption characteristics and influencing mechanism of heavy metals in farmland soil. RSC Advances, v. 13, p. 3505–3519, 2023. DOI: https://doi.org/10.1039/D2RA07095B.
Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA NO ENSINO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE POTENCIALIDADES PEDAGÓGICAS, DESAFIOS ÉTICOS E ALFABETIZAÇÃO CIENTÍFICA

Gledistonde Aquino Gonçalves[3]

Resumo

Este artigo analisa as potencialidades pedagógicas, os desafios éticos e as implicações da inteligência artificial generativa (IAG) para a alfabetização científica no ensino de Ciências da Natureza na educação básica. Desenvolveu-se uma revisão integrativa, qualitativa, exploratória e descritiva, abrangendo publicações de janeiro de 2020 a agosto de 2026. Foram consultadas SciELO, ERIC, DOAJ, Google Scholar, páginas de periódicos e registros DOI mediante descritores em português, inglês e espanhol. O corpus reuniu 47 publicações científicas e 11 documentos normativos ou técnico-institucionais. A análise temática considerou mediação pedagógica, práticas epistêmicas, confiabilidade, ética, justiça, formação docente e governança. Os resultados indicam que a IAG pode apoiar explicações adaptáveis, feedback formativo, geração de problemas, comparação de estratégias, argumentação e planejamento docente. Contudo, respostas fluentemente incorretas, vieses, referências fabricadas, terceirização cognitiva, autoria opaca, privacidade, desigualdade de acesso e impactos ambientais limitam seu valor educacional. Estudos de Química, Física e Biologia evidenciam desempenho irregular e dificuldade dos estudantes para julgar a precisão de textos persuasivos. Conclui-se que a contribuição mais consistente ocorre quando a IAG funciona como objeto de crítica e parceira cognitiva supervisionada, e não como fonte autônoma de conhecimento. Propõe-se articular alfabetização científica e alfabetização crítica em IA, preservando observação, experimentação e verificação externa. A integração responsável requer objetivos explícitos, adequação à idade, documentação do uso, alternativas equitativas, formação docente e governança institucional.

Palavras-chave: inteligência artificial generativa; ensino de Ciências; educação básica; alfabetização científica; ética; revisão integrativa.

Abstract

This article analyzes the pedagogical potential, ethical challenges and implications of generative artificial intelligence (GenAI) for scientific literacy in Natural Sciences teaching in basic education. A qualitative, exploratory and descriptive integrative review was conducted, covering publications from January 2020 to August 2026. SciELO, ERIC, DOAJ, Google Scholar, journal websites and DOI records were searched using descriptors in Portuguese, English and Spanish. The corpus comprised 47 scholarly publications and 11 normative or technical-institutional documents. Thematic analysis addressed pedagogical mediation, epistemic practices, reliability, ethics, justice, teacher education and governance. Results indicate that GenAI may support adaptable explanations, formative feedback, problem generation, strategy comparison, argumentation and teachers' planning. However, fluently incorrect responses, biases, fabricated references, cognitive offloading, opaque authorship, privacy, unequal access and environmental impacts constrain its educational value. Studies in Chemistry, Physics and Biology reveal uneven performance and students' difficulty in judging the accuracy of persuasive texts. The review concludes that GenAI is most defensible when used as an object of critique and a supervised cognitive partner rather than as an autonomous source of knowledge. Scientific literacy should be connected to critical AI literacy while observation, experimentation and external verification are preserved. Responsible integration requires explicit learning goals, age-appropriate use, documentation, equitable alternatives, teacher development and institutional governance.

Keywords: generative artificial intelligence; science education; basic education; scientific literacy; ethics; integrative review.

[3] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

A difusão pública de sistemas de inteligência artificial generativa (IAG), sobretudo daqueles baseados em grandes modelos de linguagem, inseriu na educação básica um tipo de artefato distinto das tecnologias digitais anteriormente incorporadas ao cotidiano escolar. Em vez de apenas localizar, armazenar ou transmitir informações, esses sistemas produzem textos, imagens, códigos, explicações, problemas e sínteses em resposta a comandos formulados em linguagem natural. A fluência discursiva, a disponibilidade contínua e a capacidade de adaptar o registro da resposta fazem com que estudantes e professores os percebam como interlocutores cognitivos. Essa aparência, entretanto, não equivale a compreensão, intencionalidade ou compromisso com a verdade: modelos generativos estimam sequências prováveis a partir de padrões aprendidos em grandes conjuntos de dados e podem formular afirmações plausíveis, porém incorretas, incompletas ou fabricadas (BENDER et al., 2021; JI et al., 2023; KASNECI et al., 2023).

No ensino de Ciências da Natureza, essa ambivalência adquire particular relevância. Aprender Ciências não consiste somente em receber definições corretas, mas em construir explicações apoiadas em evidências, relacionar modelos a fenômenos, reconhecer incertezas, interpretar representações, elaborar e testar hipóteses e avaliar a confiabilidade de fontes. Um sistema capaz de responder prontamente a perguntas de Química, Física e Biologia pode ampliar oportunidades de estudo e de feedback; a mesma ferramenta, quando aceita como autoridade epistêmica, pode estabilizar concepções equivocadas e substituir processos intelectuais indispensáveis. Experimentos com questões científicas mostram respostas variáveis: há desempenho satisfatório em tarefas conceituais ou rotineiras, mas também erros persistentes, justificativas inconsistentes e segurança linguística desproporcional à validade do conteúdo (CLARK, 2023; DAHLKEMPER; LAHME; KLEIN, 2023; ELMAS; ADIGUZEL-ULUTAS; YILMAZ, 2024).

A literatura educacional publicada desde 2020 registra rápida expansão do tema, embora o conhecimento acumulado permaneça desigual. Revisões sobre inteligência artificial na educação básica identificam benefícios associados à personalização, ao feedback, à motivação, à acessibilidade e ao apoio ao professor, mas também apontam privacidade, vieses, opacidade, dependência tecnológica, integridade acadêmica e desigualdade de acesso como problemas recorrentes (CROMPTON; JONES; BURKE, 2024; MARTIN; ZHUANG; SCHAEFER, 2024; ZHANG; TUR, 2024). Revisões e estudos iniciais sobre ChatGPT reforçam a coexistência de oportunidades e riscos, sem oferecer evidência suficiente para prescrições universais (LO, 2023; TLILI et al., 2023). Trabalhos especificamente voltados à IAG observam que predominam intervenções breves, amostras concentradas no ensino médio e resultados autorrelatados, o que recomenda cautela diante de generalizações sobre aprendizagem duradoura (ALFARWAN, 2025; MARZANO, 2026; ZHANG; LAI; YU, 2026).

No campo da educação científica, os resultados também são promissores e inconclusivos. A inteligência artificial tem sido empregada em tutoria, avaliação automatizada, modelagem, simulações, laboratórios virtuais, análise de dados e geração de materiais; a IAG acrescenta diálogo em linguagem natural e produção multimodal a esse repertório. Revisões recentes indicam efeitos positivos sobre participação e desempenho em determinadas condições, mas revelam concentração de estudos no ensino superior, em formação inicial docente e em situações controladas, com menor presença de investigações longitudinais realizadas nos anos iniciais e finais do ensino fundamental (ALMASRI, 2024; ERÜMIT; SARİALIOĞLU, 2025; LEE et al., 2026). Assim, a disponibilidade técnica da ferramenta avançou mais rapidamente que a base empírica capaz de orientar sua utilização escolar.

A discussão não pode ser reduzida à pergunta instrumental sobre como empregar um chatbot em aula. Ela envolve finalidades educacionais, concepções de conhecimento e relações de poder. Sistemas generativos incorporam escolhas de projeto, dados de treinamento, políticas empresariais, infraestruturas materiais e custos ambientais; suas respostas podem reproduzir perspectivas dominantes, invisibilizar conhecimentos locais e afetar diferentemente grupos sociais. Além disso, o tratamento de dados de crianças e adolescentes requer proteção reforçada, consentimento adequado, minimização da coleta e alternativas pedagógicas para quem não utiliza a plataforma. Diretrizes internacionais defendem integração centrada no ser humano, proporcional à idade e submetida à supervisão docente, em vez de adoção orientada apenas por novidade ou eficiência (EUROPEAN COMMISSION, 2022; UNESCO, 2023; UNESCO, 2024a; UNESCO, 2024b).

No Brasil, o debate ocorre em um sistema educacional marcado por disparidades de conectividade, equipamentos, formação profissional e condições de trabalho. A Política Nacional de Educação Digital e o complemento de Computação à Base Nacional Comum Curricular criaram referências para cultura digital, pensamento computacional e uso crítico das tecnologias, enquanto orientações posteriores passaram a tratar diretamente da inteligência artificial na educação. Esses marcos ampliam a responsabilidade das redes: não basta liberar ou proibir ferramentas; é preciso definir finalidades, proteção de dados, formas de autoria, critérios de avaliação, acessibilidade e apoio ao professor (BRASIL, 2022; BRASIL, 2023; BRASIL, 2025; BRASIL, 2026). A crítica formulada por Matos et al. (2024) é especialmente pertinente ao advertir que soluções generativas adotadas como atalhos para produzir materiais podem ameaçar qualidade e equidade quando não enfrentam carências estruturais e não asseguram revisão especializada.

Essa conjuntura desloca o significado da alfabetização científica. Em ambientes nos quais explicações são produzidas sob demanda, o estudante precisa dominar conceitos e práticas científicas e, simultaneamente, compreender como respostas algorítmicas são geradas, quais evidências as sustentam, que interesses e limitações as atravessam e como verificá-las. A alfabetização em IA, nesse sentido, não constitui competência periférica. Ela envolve reconhecer capacidades e limites, avaliar criticamente saídas, comunicar o uso da ferramenta, proteger dados e decidir quando a mediação automatizada é inadequada (LONG; MAGERKO, 2020; NG et al., 2021; CASAL-OTERO et al., 2023). Articulada à alfabetização científica, ela pode transformar a IAG de fonte presumidamente onisciente em objeto de investigação, comparação e crítica.

O problema central deste estudo decorre, portanto, da distância entre a incorporação acelerada da IAG por estudantes e professores e a existência ainda fragmentária de critérios pedagógicos e éticos para seu uso no ensino de Ciências da Natureza. Potencialidades como geração de perguntas, adaptação de explicações e feedback imediato somente se convertem em aprendizagem quando integradas a objetivos claros, conhecimentos prévios, fontes verificáveis, atividades experimentais e diálogo docente. Sem essas condições, a rapidez da resposta pode favorecer terceirização cognitiva, homogeneização das produções e avaliação de resultados que não correspondem ao que o estudante efetivamente compreende (TANG; COOPER, 2025; OECD, 2026).

Diante disso, formula-se a seguinte questão de pesquisa: de que modo a literatura recente caracteriza as potencialidades pedagógicas e os desafios éticos da inteligência artificial generativa no ensino de Ciências da Natureza na educação básica, e quais implicações aponta para a alfabetização científica dos estudantes? O objetivo geral é analisar criticamente as contribuições, limitações e condições de integração da IAG nesse campo. Como objetivos específicos, busca-se: a) sistematizar usos pedagógicos relatados ou propostos; b) examinar riscos epistemológicos, éticos, sociais e ambientais; c) relacionar alfabetização científica e

alfabetização crítica em IA; d) identificar lacunas do conhecimento disponível; e e) propor princípios para práticas e políticas escolares responsáveis.

A relevância do artigo reside em oferecer uma síntese teoricamente fundamentada para professores, pesquisadores, gestores e formuladores de políticas. Em vez de assumir uma posição celebratória ou proibicionista, adota-se uma perspectiva sociotécnica e pedagógica: a contribuição da IAG depende do desenho da atividade, da qualidade das interações, das condições institucionais e da possibilidade de contestar a própria tecnologia. A revisão integrativa cobre publicações de janeiro de 2020 a agosto de 2026 e articula pesquisas revisadas por pares a documentos normativos e orientadores. Após esta introdução, discute-se a natureza da IAG e sua relação com a educação científica; em seguida, analisam-se potencialidades, limites e condições de uso; apresentam-se os procedimentos metodológicos, a síntese dos resultados e, por fim, as considerações finais.

Inteligência artificial generativa, educação básica e ensino de ciências

A inteligência artificial compreende um conjunto heterogêneo de técnicas destinadas a executar tarefas que envolvem classificação, previsão, reconhecimento, recomendação ou geração. No campo educacional, aplicações anteriores à atual onda generativa já incluíam tutores inteligentes, correção automatizada, sistemas adaptativos e análise de dados de aprendizagem. A IAG distingue-se por criar novos conteúdos a partir de regularidades estatísticas identificadas nos dados de treinamento. Em grandes modelos de linguagem, a resposta é construída token a token segundo probabilidades condicionadas pelo comando e pelo contexto. Por isso, coerência textual e precisão factual são propriedades independentes: uma formulação bem escrita pode conter erros conceituais ou referências inexistentes (BENDER et al., 2021; JI et al., 2023).

Essa característica modifica a interação pedagógica. O usuário não opera apenas menus predeterminados; negocia o resultado por meio de perguntas, reformulações, exemplos e restrições. Tal flexibilidade permite ajustar vocabulário, extensão, nível de dificuldade e formato, mas também transfere ao usuário a responsabilidade de formular boas solicitações e avaliar o produto. A literatura denomina esse conjunto de possibilidades de affordances, isto é, oportunidades de ação que emergem da relação entre propriedades do artefato, objetivos da tarefa e repertório do sujeito. Assim, nenhuma potencialidade pertence isoladamente ao sistema: personalização, feedback ou criatividade dependem de mediação, contexto e critérios de qualidade (WANG; WANG; SU, 2024; KASNECI et al., 2023).

Na educação básica, idade, autonomia, repertório conceitual e vulnerabilidade informacional tornam insuficiente a transposição de práticas do ensino superior. Crianças e adolescentes podem antropomorfizar chatbots, atribuir-lhes intenção ou confiar na segurança retórica da resposta. Também podem não compreender termos de serviço, fluxos de dados ou consequências de inserir informações pessoais. A revisão de Yim e Su (2025) mostra diversidade de ferramentas de IA no K-12, porém salienta a necessidade de desenhos apropriados ao desenvolvimento dos estudantes. Alfarwan (2025) e Marzano (2026) acrescentam que a evidência sobre IAG é mais abundante no ensino médio, permanecendo lacunas nos anos iniciais, na educação especial, em regiões rurais e em contextos linguísticos menos representados.

O ensino de Ciências oferece condições singulares para uma integração formativa. A ciência escolar trabalha com explicações, modelos, dados, argumentação e investigação, permitindo submeter as saídas da IAG a procedimentos de validação. Uma resposta pode ser confrontada com livros, artigos, bancos de dados, observações e experimentos; duas respostas produzidas por comandos diferentes podem ser analisadas quanto a consistência, pressupostos

e evidências. Desse modo, o erro algorítmico deixa de ser apenas uma falha operacional e passa a compor uma situação didática para discutir como conhecimentos são justificados. Cooper (2023) sustenta que a IAG pode apoiar a educação científica, desde que não seja confundida com fonte infalível e que o professor organize tarefas de verificação.

Ao mesmo tempo, a materialidade da ciência estabelece um limite decisivo. Fenômenos naturais não podem ser integralmente substituídos por descrições convincentes. Medir, observar, manipular, registrar incertezas e lidar com resultados inesperados são experiências epistêmicas e corporais que um texto gerado não reproduz. Tang e Cooper (2025) argumentam que o entusiasmo com a IAG pode obscurecer a importância de objetos, instrumentos, ambientes e interações materiais na aprendizagem científica. Portanto, simulações e conversas automatizadas devem preparar, complementar ou problematizar investigações, sem apagar o encontro do estudante com evidências empíricas.

Uma segunda especificidade reside na pluralidade representacional. Ciências da Natureza articulam linguagem verbal, equações, gráficos, diagramas, modelos moleculares, imagens microscópicas, escalas e convenções. Sistemas generativos multimodais podem traduzir entre representações, elaborar analogias e apoiar a interpretação inicial; contudo, cada transformação pode introduzir simplificações ou inconsistências. Estudos com questões de Química e Física mostram que dificuldades aumentam quando a tarefa exige notação precisa, raciocínio quantitativo em múltiplas etapas ou coordenação entre níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico (CLARK, 2023; CLARK et al., 2023; DAHLKEMPER; LAHME; KLEIN, 2023).

A relação entre IA e ciência é, ainda, bidirecional. A IA pode ser usada para aprender Ciências, mas também constitui objeto sociocientífico a ser compreendido por meio das Ciências: demanda energia e água, depende de centros de dados e cadeias de extração mineral, influencia pesquisa, comunicação pública e tomada de decisões. O crescimento da pegada energética de sistemas de IA evidencia que a suposta imaterialidade da nuvem encobre infraestrutura física e impactos ambientais (DE VRIES, 2023). Discutir esses aspectos permite conectar conteúdos de energia, clima, materiais, tecnologia e sociedade a decisões concretas sobre uso digital.

Por conseguinte, integrar IAG ao ensino de Ciências requer superar dois reducionismos. O primeiro é tecnossolucionista: supor que acesso à ferramenta produz inovação e equidade por si só. O segundo é proibicionista: tratar qualquer uso como fraude e perder a oportunidade de ensinar avaliação crítica, autoria e responsabilidade. Uma abordagem educacional consistente distingue usos de baixo risco, usos supervisionados e situações nas quais a tecnologia deve ser evitada; preserva o papel do professor; assegura alternativas; e vincula a ferramenta a objetivos de aprendizagem verificáveis (HOLMES et al., 2022; UNESCO, 2023; MATOS et al., 2024).

Potencialidades, limites e condições pedagógicas no ensino de ciências da natureza

Personalização, explicação e feedback formativo

Entre as potencialidades mais citadas encontra-se a produção de explicações ajustáveis. O professor ou o estudante pode solicitar exemplos adicionais, mudança de linguagem, comparação entre conceitos ou decomposição de um problema em etapas. Essa interação pode reduzir barreiras iniciais e ampliar o tempo de estudo, especialmente quando o retorno humano imediato não está disponível. Revisões de pesquisas em educação básica associam tutoria conversacional e adaptação de conteúdo a ganhos de engajamento e desempenho em contextos delimitados (CROMPTON; JONES; BURKE, 2024; ZHANG; LAI; YU, 2026).

A personalização, contudo, precisa ser definida pedagogicamente. Alterar o nível lexical de uma resposta não significa diagnosticar a estrutura conceitual do estudante. Sistemas generalistas não conhecem, salvo pelos dados fornecidos, seus conhecimentos prévios, dificuldades, condições culturais ou necessidades educacionais; tampouco substituem a observação profissional do professor. Quando a resposta é ajustada apenas para parecer simples, podem desaparecer condições, incertezas e relações causais essenciais. Por isso, o uso mais defensável consiste em oferecer múltiplas representações que serão comparadas e discutidas, e não em entregar uma versão final a ser memorizada (ALMASRI, 2024; YIM; SU, 2025).

O feedback automático também pode favorecer ciclos rápidos de tentativa e revisão. Em atividades de explicação científica, o aluno pode receber perguntas de aprofundamento, identificar termos não definidos e confrontar uma justificativa inicial com critérios previamente estabelecidos. Para que esse ciclo seja formativo, a IAG não deve declarar apenas se a resposta está certa; precisa remeter o estudante às evidências, explicitar critérios e estimular autorregulação. O professor, por sua vez, seleciona ou elabora rubricas e examina amostras de retorno para evitar que um erro do modelo seja distribuído em escala (MARTÍNEZ-COMESAÑA et al., 2023; CHIU et al., 2023).

Há, por fim, risco de confundir conveniência com inclusão. Recursos de voz, tradução e simplificação podem apoiar estudantes com diferentes perfis, mas interfaces não universalmente acessíveis, custos de assinatura, dependência de conexão e desempenho desigual entre idiomas podem produzir novas barreiras. Personalização ética exige opção de não uso, materiais equivalentes, proteção de informações sensíveis e avaliação contínua de quem efetivamente se beneficia. Nessa perspectiva, a ferramenta apoia diferenciação pedagógica sem transformar diversidade em extração de dados (AKGÜN; GREENHOW, 2022; UNESCO, 2024b).

Investigação científica, resolução de problemas e argumentação

A IAG pode atuar na fase de problematização de uma sequência investigativa, sugerindo perguntas, hipóteses concorrentes, variáveis e modos de registrar dados. Também pode representar posições distintas em uma controvérsia sociocientífica, ajudando a turma a reconhecer argumentos, contra-argumentos e evidências necessárias. Seu valor é maior quando gera possibilidades a serem avaliadas, não quando encerra a investigação com uma resposta pronta. Essa inversão — da IA como provedora de conclusão para a IA como produtora de objetos criticáveis — preserva a agência epistêmica do estudante (COOPER, 2023; KÜÇÜKUNCULAR, 2025).

Em resolução de problemas, o sistema pode criar variações, fornecer pistas graduais e comparar estratégias. No entanto, resultados em Química evidenciam competência irregular: Clark (2023) observou melhor desempenho em perguntas que não exigiam habilidades especializadas, ao passo que Clark et al. (2023) identificaram limitações em cálculos de ácidos e bases. Daher, Diab e Rayan (2023) encontraram potencial para apoiar dimensões do conhecimento conceitual, mas esses achados não autorizam a delegação integral do raciocínio. A validade depende da versão do modelo, do comando, da representação do problema e do critério de correção.

Uma atividade robusta pode solicitar que estudantes resolvam primeiro sem a ferramenta, comparem suas estratégias com duas respostas geradas, identifiquem o primeiro passo inválido e reconstruam a solução com justificativas. Em lugar de premiar apenas o resultado, a avaliação considera formulação do problema, seleção de princípios, tratamento de unidades, explicitação de incertezas e qualidade da verificação. Esse desenho reduz a terceirização cognitiva e transforma o erro em recurso metacognitivo. Exintaris, Karunaratne e

Yuriev (2023) demonstram a pertinência de usar respostas do ChatGPT como estímulos para crítica, metacognição e pensamento de ordem superior.

A argumentação científica demanda cuidado adicional porque o modelo é treinado para produzir continuidade linguística, não para garantir que cada proposição decorra das evidências apresentadas. Ele pode equilibrar retoricamente posições que possuem pesos empíricos muito diferentes ou inventar citações que conferem aparência de autoridade. Cabe ao estudante distinguir dado, inferência, explicação e opinião, localizar a fonte primária e avaliar método, atualidade e conflito de interesses. A prática de pedir referências só se torna educativa quando inclui verificação fora do chatbot (JI et al., 2023; ELMAS; ADIGUZEL-ULUTAS; YILMAZ, 2024).

Planejamento docente, produção de materiais e avaliação

Para professores, a IAG pode auxiliar na geração preliminar de questões, exemplos, roteiros, analogias, versões acessíveis de um texto e alternativas de atividades. Esse apoio tende a economizar tempo na etapa de ideação e pode ampliar o repertório, sobretudo quando o docente fornece ano escolar, objetivos, conhecimentos prévios, recursos disponíveis e critérios de qualidade. A literatura brasileira já examinou a proposição de planos de aula de Química e encontrou possibilidades de organização, acompanhadas de fragilidades conceituais e didáticas que exigem revisão especializada (LEITE, 2024; LIMA; SERRANO, 2024).

A produtividade inicial não elimina o trabalho intelectual docente; ela o desloca para curadoria, checagem, contextualização e decisão. Um plano linguisticamente completo pode apresentar objetivos não observáveis, metodologias genéricas, atividades incompatíveis com a infraestrutura ou avaliações desconectadas das aprendizagens previstas. A adoção indiscriminada tende ainda a homogeneizar materiais, porque respostas reproduzem padrões frequentes nos dados de treinamento. O conhecimento do currículo, da turma e do território continua sendo condição para transformar uma saída genérica em proposta pedagógica pertinente (ARRUDA, 2024; CHEAH; LU; KIM, 2025).

Na elaboração de avaliações, a ferramenta pode produzir bancos iniciais de itens, distratores e rubricas, mas esses materiais precisam ser examinados quanto a validade de conteúdo, nível cognitivo, linguagem, vieses e acessibilidade. Em Ciências, pequenas imprecisões em grandezas, diagramas ou condições experimentais podem invalidar uma questão. Além disso, avaliações centradas na reprodução de informação tornam-se especialmente vulneráveis à geração automática. A resposta educativa não é intensificar vigilância, e sim diversificar evidências de aprendizagem: registros de processo, justificativas orais, análise de dados, cadernos de laboratório, revisão entre pares e defesa de decisões (MARTÍNEZ-COMESAÑA et al., 2023; PERKINS, 2023).

Políticas de autoria devem tornar explícitos usos permitidos, condicionais e vedados. Quando a IAG for autorizada, o estudante pode registrar ferramenta e versão, comandos relevantes, trechos aproveitados, alterações realizadas e procedimentos de verificação. Essa declaração não transforma a máquina em autora — responsabilidade e autoria permanecem humanas —, mas documenta o processo e permite avaliar a contribuição do aluno. Regras precisam variar conforme a finalidade: uma atividade diagnóstica individual pode vedar assistência, enquanto uma tarefa de crítica algorítmica pressupõe seu uso (UNESCO, 2023; HOLMES et al., 2022).

Especificidades em Química, Física e Biologia

Na Química, modelos generativos podem explicar propriedades, balancear equações, propor exercícios e apoiar a interpretação de fenômenos, porém enfrentam a coordenação entre níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico. Estudos exploratórios mostram respostas

úteis ao lado de erros em cálculos, linguagem química e justificativas. Gibin et al. (2023), ao analisar resolução de exercícios, e Olczewski, Marcondes e Sens (2025), ao examinar explicações sobre ácidos e bases, reforçam que a fluência não constitui garantia de correção. A revisão de Erümit e Sarıalioğlu (2025) confirma que precisão, confiabilidade, plágio e alucinações estão entre os limites mais frequentes no campo.

O uso pedagógico em Química pode explorar exatamente essas tensões. Estudantes podem conferir conservação de massa e carga, testar unidades, representar partículas, comparar a resposta com dados experimentais e classificar tipos de erro. Quando a IAG propõe um procedimento de laboratório, o professor deve verificar riscos, descarte, concentrações e adequação dos materiais; jamais se deve executar protocolo gerado sem validação profissional. A ferramenta pode apoiar planejamento e discussão prévia, mas segurança laboratorial permanece sob normas institucionais e supervisão humana (ALASADI; BAIZ, 2023; CLARK, 2023).

Na Física, a capacidade de produzir explicações verbais pode mascarar problemas na seleção de princípios e no tratamento matemático. Dahlkemper, Lahme e Klein (2023) observaram que estudantes nem sempre avaliam adequadamente a exatidão científica de respostas do ChatGPT, especialmente quando a qualidade linguística é alta. Atividades que exigem previsão antes do cálculo, desenho de diagramas, análise dimensional e confronto com ordem de grandeza tornam visível o raciocínio. O sistema pode gerar uma solução alternativa, mas o aluno precisa demonstrar por que ela é fisicamente admissível.

Na Biologia, explicações sobre processos complexos podem ser adaptadas a diferentes níveis, e a IAG pode apoiar leitura de textos e construção de relações entre escalas. Entretanto, conteúdos sujeitos a atualização, controvérsia ou forte circulação de desinformação requerem fontes confiáveis. Elmas, Adiguzel-Ulutas e Yilmaz (2024) identificaram respostas incorretas ou incompletas sobre metabolismo energético celular, inclusive persistência de erros após solicitações de justificativa. A estratégia didática adequada inclui confronto com evidências, distinção entre modelo e fenômeno e discussão de como concepções alternativas se formam.

As três áreas compartilham, portanto, uma condição: a IAG é mais produtiva quando integrada a práticas disciplinares de validação. Em Química, isso envolve coerência entre representações e conservação; em Física, princípios, unidades e plausibilidade; em Biologia, mecanismos, variabilidade e evidência histórica ou experimental. A revisão de Cheung et al. (2025) mostra que poucos estudos explicitam as relações epistemológicas entre IA e ciência. Tornar essas relações objeto de ensino constitui oportunidade para evitar uma adoção genérica e desenvolver juízo científico situado.

Alfabetização científica e alfabetização crítica em IA

A alfabetização científica pode ser compreendida como capacidade de mobilizar conceitos, práticas e valores para interpretar fenômenos, avaliar afirmações e participar de decisões socialmente relevantes. Em um ecossistema informacional mediado por algoritmos, ela precisa incluir a análise de conteúdos sintéticos. O estudante deve perguntar não apenas se uma resposta parece correta, mas quais evidências a sustentam, que grau de incerteza apresenta, que fontes podem confirmá-la e que consequências decorrem de aceitá-la. A IAG, assim, altera o ambiente no qual a alfabetização científica é exercida, sem reduzir sua importância.

A alfabetização em IA oferece conceitos complementares. Long e Magerko (2020) propõem competências relacionadas ao reconhecimento de IA, compreensão de capacidades, representação de dados, interação e consideração ética. Ng et al. (2021) organizam a alfabetização em dimensões de conhecer e compreender, usar e aplicar, avaliar e criar, acompanhadas de questões éticas. Revisões posteriores mostram expansão de iniciativas K-12,

mas também ausência de currículos consolidados, instrumentos comuns e formação suficiente (CASAL-OTERO et al., 2023; SPERLING et al., 2024).

A articulação entre os dois campos pode ser denominada alfabetização científico-algorítmica. Ela envolve compreender que modelos generativos não observam diretamente a natureza nem realizam, por si, o ciclo completo de investigação; produzem representações calculadas a partir de dados e instruções. O aluno aprende a distinguir probabilidade linguística de probabilidade científica, correlação algorítmica de explicação causal e consenso aparente de consenso construído por comunidades de pesquisa. Também reconhece que a ciência e a IA são atividades humanas, situadas em instituições e atravessadas por valores (CHEUNG et al., 2025; KÜÇÜKUNCULAR, 2025).

Uma progressão curricular pode começar com identificação de conteúdos gerados e comparação simples de fontes; avançar para avaliação de erros, vieses e dados; e culminar em análise de modelos, impactos e decisões de uso. A competência não se resume a escrever comandos eficientes. Saber solicitar uma resposta é operacional; saber contestá-la, verificar seus limites e decidir não a utilizar é formativo. Os referenciais da UNESCO para estudantes e professores reforçam uma orientação humanocêntrica, ética, crítica e criativa, ajustada à etapa de desenvolvimento (UNESCO, 2024a; UNESCO, 2024b).

No ensino de Ciências, essa progressão pode ser incorporada a conteúdos existentes. Ao estudar energia, analisa-se a infraestrutura computacional; em ecologia, os impactos materiais; em genética, privacidade e discriminação; em Física, consumo elétrico e eficiência; em Química, materiais empregados em hardware; em saúde, desinformação e qualidade de evidências. A IA deixa de ser tópico isolado de informática e passa a integrar problemas sociocientíficos nos quais conhecimentos disciplinares sustentam escolhas responsáveis (DE VRIES, 2023; LEE et al., 2026).

Alucinações, vieses e autoridade epistêmica

Alucinação designa a produção de conteúdo não sustentado pela entrada, pelos dados ou por fatos verificáveis. Em educação científica, ela pode aparecer como valor numérico inventado, mecanismo inexistente, citação fabricada ou explicação que mistura conceitos verdadeiros de forma inválida. Ji et al. (2023) mostram que o fenômeno decorre de múltiplas fontes, incluindo dados, objetivos de treinamento e estratégias de geração. Não se trata, portanto, de exceção eliminável por uma única técnica de comando, embora instruções claras e consulta a fontes possam reduzir ocorrências.

A resposta errada é especialmente persuasiva quando apresenta estrutura didática, vocabulário técnico e tom de certeza. Estudos de Ciências confirmam que o modelo pode insistir em equívocos e que aprendizes têm dificuldade para reconhecê-los (DAHLKEMPER; LAHME; KLEIN, 2023; ELMAS; ADIGUZEL-ULUTAS; YILMAZ, 2024). Isso produz um paradoxo: quem possui menos conhecimento e mais necessita de ajuda é também quem dispõe de menos recursos para verificar a ajuda recebida. A supervisão docente e o acesso a fontes independentes são, por isso, condições de segurança epistemológica.

Vieses emergem da composição dos dados, das categorias utilizadas, das decisões de projeto e dos contextos de aplicação. Respostas podem privilegiar exemplos do Norte Global, reproduzir estereótipos ou sub-representar cientistas, comunidades e conhecimentos não dominantes. Em Ciências, essas ausências afetam a imagem de quem produz conhecimento e quais problemas são considerados relevantes. Bender et al. (2021) alertam que modelos em larga escala podem recombinar padrões nocivos e tornar opacas suas origens; Akgün e Greenhow (2022) situam discriminação e justiça entre desafios centrais da IA na educação básica.

A resposta pedagógica deve combinar prevenção e investigação. Prevenção significa evitar dados sensíveis, usar ferramentas avaliadas, limitar tarefas de alto risco e fornecer fontes de referência. Investigação significa comparar saídas para diferentes formulações e identidades, rastrear ausências, conferir citações e discutir por que o sistema responde dessa maneira. O objetivo não é ensinar desconfiança indiscriminada, mas calibrar confiança com base em evidência, contexto e consequência. Uma explicação de baixo impacto requer verificação; uma orientação que envolva segurança, saúde ou experimento demanda validação especializada e não deve depender do chatbot (UNESCO, 2023; HOLMES et al., 2022).

Autoria, privacidade, equidade e impactos ambientais

A IAG desafia formas tradicionais de atribuir autoria porque pode contribuir para redação, tradução, organização e revisão sem assumir responsabilidade pelo resultado. Na escola, a questão central não é detectar mecanicamente todo texto gerado, mas definir qual aprendizagem está sendo avaliada e tornar o processo observável. Perkins (2023) argumenta que a integridade depende das regras institucionais e da transparência do uso. Registros de versão, notas de processo, referências consultadas e justificativas orais permitem reconhecer contribuição humana sem transformar detecção probabilística em julgamento disciplinar.

Privacidade exige atenção reforçada na educação básica. Comandos podem conter nomes, dificuldades, imagens, vozes, avaliações ou informações familiares. Uma política responsável adota minimização: não inserir dados identificáveis, usar contas institucionais quando avaliadas, conhecer retenção e treinamento, restringir extensões de terceiros e oferecer alternativa equivalente. Consentimento formal não basta quando o estudante não tem escolha real ou não compreende os fluxos. A proteção deve ser incorporada ao desenho pedagógico e à contratação pública (EUROPEAN COMMISSION, 2022; UNESCO, 2023).

Equidade possui pelo menos três dimensões. A primeira é acesso a conexão, dispositivos e versões de qualidade; a segunda é capacidade de usar criticamente a ferramenta; a terceira é representação nos dados e nas respostas. Se tarefas pressupõem serviço pago ou apoio familiar, desigualdades existentes são ampliadas. Se professores de redes com menor infraestrutura recebem conteúdo automatizado como substituto de investimento, estabelece-se uma educação de qualidade desigual. A advertência de Matos et al. (2024) evidencia que políticas brasileiras devem priorizar profissionais, infraestrutura e revisão curricular, evitando que a IAG legitime soluções de baixo custo para grupos vulneráveis.

A materialidade ambiental completa o quadro ético. Treinamento e operação de modelos demandam energia, refrigeração e equipamentos, cujos impactos variam segundo escala, matriz energética e eficiência. De Vries (2023) documenta o crescimento potencial da pegada energética da IA. Embora o usuário não consiga calcular o impacto exato de cada consulta, a escola pode promover suficiência digital: empregar a ferramenta quando houver finalidade pedagógica clara, evitar geração repetitiva sem valor formativo, discutir ciclo de vida dos dispositivos e incluir critérios ambientais em decisões de aquisição.

Essas dimensões convergem no princípio de justiça. Uma integração eticamente aceitável distribui benefícios sem impor riscos desproporcionais, preserva direitos, reconhece autoria, permite contestação e não oculta custos sociais ou ambientais. Isso requer governança institucional e participação da comunidade escolar. Regras formuladas apenas por fornecedores ou por decisões individuais do professor são insuficientes para lidar com dados, acessibilidade, avaliação e segurança de forma consistente (HOLMES et al., 2022; UNESCO, 2025).

Formação docente, currículo e governança institucional

A formação docente é o principal mediador entre possibilidade técnica e valor pedagógico. Professores precisam conhecer fundamentos suficientes para explicar o caráter probabilístico da IAG, reconhecer riscos, avaliar saídas e desenhar atividades que mantenham o estudante intelectualmente ativo. Não se exige domínio de engenharia de modelos, mas competência para decidir finalidade, ferramenta, nível de autonomia, evidência de aprendizagem e procedimentos de verificação. Concepções equivocadas de docentes sobre IA afetam essa mediação, enquanto a alfabetização em IA na formação profissional ainda carece de integração sistemática (ANTONENKO; ABRAMOWITZ, 2023; SPERLING et al., 2024).

Pesquisas com docentes K-12 apontam disposição para experimentar ferramentas, acompanhada de barreiras como pouca preparação, falta de políticas, tempo reduzido e dúvidas éticas. Cheah, Lu e Kim (2025) mostram que prontidão não se confunde com frequência de uso; o professor pode utilizar IAG para tarefas administrativas sem possuir repertório pedagógico para integrá-la ao currículo. A formação continuada precisa ocorrer com problemas reais da disciplina, análise de saídas e produção coletiva de critérios, e não apenas por demonstrações de funcionalidades.

No currículo de Ciências, a integração deve partir de objetivos de aprendizagem. Se o objetivo é formular hipóteses, o sistema não deve fornecê-las antes que o estudante elabore as próprias; se é avaliar evidências, respostas geradas podem constituir material de análise; se é dominar um procedimento laboratorial, a experiência prática e a segurança têm prioridade. Essa correspondência entre objetivo, papel da IA e evidência avaliativa reduz o uso ornamental e a substituição de capacidades que a atividade deveria desenvolver (TANG; COOPER, 2025; OECD, 2026).

A governança escolar pode organizar três níveis. No nível normativo, define proteção de dados, idade, acessibilidade, autoria e responsabilização. No nível pedagógico, estabelece orientações para planejamento, avaliação e registro de uso. No nível formativo, cria espaços para estudo, experimentação acompanhada e compartilhamento de incidentes. Um comitê ou grupo responsável pode revisar ferramentas e políticas periodicamente, pois modelos, termos e riscos mudam rapidamente. Estudantes e famílias devem participar da construção de regras compreensíveis (UNESCO, 2023; BRASIL, 2026).

O contexto brasileiro demanda articulação com a Política Nacional de Educação Digital, a BNCC Computação e as diretrizes sobre dispositivos. Esses instrumentos sustentam o desenvolvimento gradual de competências digitais, mas sua concretização depende de infraestrutura e formação. Estudos prospectivos e o referencial brasileiro de IA na educação reforçam a necessidade de uso responsável e contextualizado. Redes podem traduzi-los em protocolos locais, sem perder de vista desigualdades regionais e autonomia profissional (CIEB, 2024; BRASIL, 2022; BRASIL, 2023; BRASIL, 2025; BRASIL, 2026).

Perspectivas para uma integração crítica e humanocêntrica

Uma perspectiva humanocêntrica não significa recusar automação, mas subordiná-la a direitos e finalidades educativas. A pergunta inicial deixa de ser “o que a ferramenta consegue fazer?” e passa a ser “qual aprendizagem importa, que riscos existem e qual forma de mediação preserva agência e justiça?”. Essa mudança impede que eficiência seja tomada como valor absoluto. UNESCO (2023) e Holmes et al. (2022) defendem que decisões sobre IA educacional sejam explicáveis, participativas e orientadas ao bem-estar humano.

No ensino de Ciências, um modelo produtivo é o ciclo produzir–verificar–explicar–refletir. A IAG produz uma hipótese, solução ou texto; o estudante verifica com fontes e evidências; explica concordâncias, erros e alterações; e reflete sobre o papel da ferramenta. O produto avaliado inclui o percurso, não apenas a resposta final. Esse ciclo pode ser empregado em análise de fenômenos, resolução de problemas, revisão de argumentos e planejamento de investigações, sempre com complexidade ajustada à idade (KÜÇÜKUNCULAR, 2025; CHEUNG et al., 2026).

Outro princípio é a complementaridade material. Interações com IAG podem preparar perguntas, oferecer pistas ou auxiliar na organização posterior, mas não substituem observação, experimentação, modelagem concreta, trabalho de campo e debate entre pessoas. Tang e Cooper (2025) lembram que a aprendizagem científica é constituída por relações com objetos e ambientes. Preservar essa dimensão evita que a educação se reduza a consumo de textos sintéticos e sustenta capacidades de lidar com evidências resistentes às expectativas.

A integração também deve ser reversível e avaliável. Projetos-piloto precisam definir indicadores de aprendizagem, participação, equidade, carga docente e incidentes; comparar resultados com alternativas sem IA; e permitir suspensão quando benefícios não compensarem riscos. A literatura recente ainda oferece pouca evidência longitudinal, razão pela qual políticas amplas devem evitar promessas definitivas (ALFARWAN, 2025; MARZANO, 2026; ZHANG; LAI; YU, 2026).

Por fim, a escola deve preparar estudantes para viver em sociedades nas quais conteúdos sintéticos participam da circulação pública da ciência. Isso implica ensinar verificação, rastreabilidade, comunicação responsável e participação democrática. A meta não é formar usuários obedientes nem especialistas precoces em ferramentas passageiras, mas sujeitos capazes de compreender fenômenos, avaliar sistemas sociotécnicos e decidir com responsabilidade. Nessa direção, alfabetização científica e alfabetização crítica em IA tornam-se componentes mutuamente necessários da formação contemporânea.

Metodologia

Este estudo caracteriza-se como pesquisa qualitativa, exploratória e descritiva, desenvolvida por meio de revisão integrativa da literatura. Essa modalidade foi escolhida por permitir reunir investigações empíricas, revisões e contribuições teóricas de diferentes delineamentos, preservando a análise crítica das condições em que os resultados foram produzidos. O propósito não foi estimar um efeito agregado nem atribuir equivalência metodológica aos estudos, mas construir uma síntese interpretativa sobre um objeto recente e heterogêneo. Para ampliar a transparência, o planejamento da busca, a elegibilidade e a organização do corpus seguiram princípios de rastreabilidade presentes no PRISMA 2020, adaptados à natureza integrativa do trabalho (PAGE et al., 2021).

A pergunta norteadora foi: de que modo a literatura publicada entre janeiro de 2020 e agosto de 2026 caracteriza as potencialidades pedagógicas e os desafios éticos da inteligência artificial generativa no ensino de Ciências da Natureza na educação básica, e quais implicações aponta para a alfabetização científica? A delimitação temporal abrange a consolidação recente dos debates sobre alfabetização em IA e o período posterior à popularização de ferramentas generativas. Estudos sobre inteligência artificial educacional não generativa foram incorporados somente quando ofereciam fundamentos diretamente aplicáveis à educação básica, à formação docente, à ética ou à educação científica.

As buscas foram realizadas e atualizadas em agosto de 2026 nas bases SciELO, ERIC e DOAJ e no Google Scholar, utilizado como mecanismo complementar de descoberta. Também foram consultadas páginas oficiais de periódicos e registros DOI para confirmar autoria, ano, volume, paginação e acesso. Empregaram-se descritores em português, inglês e espanhol, combinados por operadores booleanos: "inteligência artificial generativa" OR ChatGPT OR "grandes modelos de linguagem" AND "ensino de Ciências" OR Química OR Física OR Biologia AND "educação básica" OR escola OR K-12; "generative artificial intelligence" OR "large language models" AND "science education" OR chemistry education AND K-12; e "alfabetização em inteligência artificial" OR "AI literacy" AND students OR teachers. Buscas adicionais contemplaram ethics, bias, hallucination, privacy, assessment, scientific literacy e teacher education.

Foram incluídos artigos revisados por pares e trabalhos completos em anais, publicados de 2020 a agosto de 2026, em português, inglês ou espanhol, com texto integral ou resumo metodologicamente informativo e DOI ou endereço estável. Para o núcleo empírico, exigiu-se relação com educação básica, ensino de Ciências da Natureza, formação de professores de Ciências ou competências de IA aplicáveis ao contexto K-12. Estudos de ensino superior restritos a outros campos foram excluídos. Pesquisas universitárias em Química, Física ou formação docente foram mantidas apenas quando examinavam a validade científica das respostas, estratégias de crítica ou implicações diretamente transferíveis ao ensino escolar.

Também foram excluídos registros duplicados, textos promocionais, notícias, materiais sem autoria identificável, preprints substituídos por versão publicada, trabalhos anteriores a 2020 e estudos cujo emprego de "ciência" se referia exclusivamente à ciência da computação ou à ciência de dados. Documentos institucionais não foram contados como artigos científicos, mas constituíram um estrato complementar de contextualização normativa. Foram selecionadas orientações da UNESCO, OECD, Comissão Europeia, Ministério da Educação e Centro de Inovação para a Educação Brasileira, além de atos normativos brasileiros vigentes relacionados a educação digital, computação, dispositivos e IA.

A aplicação desses critérios resultou em um corpus analítico de 47 publicações científicas e 11 documentos normativos ou técnico-institucionais. O conjunto contém revisões sistemáticas e de escopo, estudos empíricos, ensaios teóricos e análises de conteúdo. A seleção não pretende exaustividade bibliométrica: priorizou pertinência temática, qualidade editorial, verificabilidade e diversidade de perspectivas. As referências foram conferidas individualmente nas páginas dos periódicos, em registros DOI ou em repositórios institucionais; esse procedimento também reduziu o risco de incorporar citações fabricadas por sistemas generativos.

Quadro 1 – Protocolo da revisão integrativa

Etapa	**Procedimento**	**Critério de rigor**	**Produto**
Delimitação	Questão, período 2020–ago. 2026 e foco em Ciências da Natureza/K-12	Coerência entre problema, objetivo e elegibilidade	Protocolo de revisão
Busca	SciELO, ERIC, DOAJ, Google Scholar e páginas de periódicos/DOI	Descritores trilíngues e combinações booleanas	Conjunto de publicações candidatas
Elegibilidade	Leitura de títulos, resumos e textos integrais pertinentes	Revisão por pares, aderência temática e referência verificável	47 publicações científicas

Etapa	Procedimento	Critério de rigor	Produto
Contextualização	Seleção de marcos e orientações nacionais e internacionais	Autoria institucional e vigência/pertinência	11 documentos complementares
Extração	Matriz com contexto, método, tecnologia, achados, limites e implicações	Separação entre desempenho, percepção e aprendizagem	Base comparativa
Síntese	Codificação temática e comparação de convergências e divergências	Preservação de contexto e limites dos estudos	Cinco eixos analíticos

Fonte: elaboração do autor (2026).

Para cada publicação, registraram-se autoria, ano, país ou contexto, nível educacional, área de Ciências, tecnologia, objetivo, delineamento, principais resultados, limitações e implicações. Uma leitura exploratória permitiu refinar a matriz; em seguida, realizou-se leitura analítica e comparação constante. Resultados favoráveis foram codificados separadamente de percepções de utilidade, pois satisfação ou rapidez não demonstram, por si, aprendizagem. Também se distinguiu inteligência artificial em sentido amplo de IAG, evitando atribuir a modelos generativos evidências obtidas com tutores, classificadores ou sistemas adaptativos.

A síntese temática foi organizada em cinco eixos: a) mediação pedagógica e aprendizagem; b) práticas epistêmicas e alfabetização científica; c) confiabilidade, vieses e autoridade; d) autoria, privacidade, equidade e sustentabilidade; e) formação docente, currículo e governança. As categorias combinaram temas recorrentes no corpus e conceitos definidos na pergunta de pesquisa. Divergências foram preservadas: não se tomou um resultado positivo em contexto específico como prova de eficácia geral, nem se inferiu dano inevitável a partir de um risco potencial.

Por utilizar documentos públicos e não envolver participantes, a pesquisa não demandou submissão a comitê de ética. Ainda assim, foram observados princípios de integridade acadêmica: nenhuma ferramenta generativa foi tratada como fonte científica; afirmações factuais foram vinculadas a trabalhos verificáveis; citações diretas extensas foram evitadas; e a interpretação permaneceu sob responsabilidade autoral. Entre as limitações estão a rápida obsolescência de modelos, a predominância de publicações em inglês, a heterogeneidade metodológica e a escassez de estudos longitudinais brasileiros na educação básica. Essas restrições orientam a leitura dos resultados como estado crítico do conhecimento, não como conclusão definitiva sobre tecnologias em evolução.

Resultados e discussão

Perfil do corpus e convergências da evidência

O corpus revela crescimento acentuado das publicações depois de 2023 e formação de três camadas de conhecimento. A primeira reúne estudos de IA educacional anteriores ou paralelos à popularização dos modelos generativos e oferece evidências sobre tutoria, avaliação e adaptação. A segunda concentra análises exploratórias de respostas do ChatGPT em tarefas científicas. A terceira, mais recente, sintetiza experiências de IAG na educação básica e propõe referenciais éticos e de alfabetização. A sobreposição entre camadas explica por que resultados atribuídos genericamente à “IA” nem sempre podem ser transferidos a chatbots generativos (CHIU et al., 2023; MARTIN; ZHUANG; SCHAEFER, 2024; ALFARWAN, 2025).

As revisões voltadas ao K-12 convergem quanto à concentração dos estudos em níveis mais avançados de escolaridade, áreas STEM e intervenções de curta duração. Zhang e Tur (2024) encontraram um campo inicial de uso do ChatGPT na educação básica; Alfarwan (2025) observou apenas trinta estudos empíricos em sua revisão, com lacunas em educação especial e contextos rurais; Zhang, Lai e Yu (2026), ao analisar 45 trabalhos de 2020 a 2024, registrou ganhos de desempenho, cognição e motivação, mas também desinformação, dependência, privacidade e insuficiente alfabetização docente. Marzano (2026) confirma a expansão, sem eliminar a fragilidade longitudinal.

No ensino de Ciências, Almasri (2024) identificou 74 estudos empíricos de IA entre 2014 e 2023, abrangendo avaliação, previsão de desempenho, quizzes e ambientes de aprendizagem. O escopo amplo demonstra maturidade relativa da IA educacional, mas não representa evidência específica sobre IAG. A revisão de Erümit e Sarıalioğlu (2025), com dezoito estudos de Ciências e Química, mostra aumento a partir de 2021 e uso frequente de ChatGPT e robôs conversacionais, ao lado de problemas éticos, alucinações, plágio, precisão e infraestrutura. Lee et al. (2026) acrescentam desafios relativos a objetivos educacionais, conteúdos, avaliação, formação docente, vieses e equidade.

Os estudos de desempenho científico apresentam um padrão consistente: sistemas generativos produzem respostas úteis, mas heterogêneas e sensíveis ao tipo de tarefa. Em Química, Clark (2023) encontrou desempenho relativamente elevado em questões conceituais e de menor exigência especializada; Clark et al. (2023) registraram dificuldades em cálculos de ácidos e bases; Gibin et al. (2023) e Olczewski, Marcondes e Sens (2025) observaram necessidade de examinar conceitos, justificativas e adequação ao nível de ensino. Em Biologia, Elmas, Adiguzel-Ulutas e Yilmaz (2024) identificaram explicações incorretas e persistência de concepções equivocadas.

A qualidade linguística constitui variável crítica. Dahlkemper, Lahme e Klein (2023) mostraram que estudantes de Física podem ter dificuldade para julgar exatidão quando as respostas são bem formuladas. Isso sustenta a tese de que a IAG redistribui, em vez de eliminar, a exigência cognitiva: gerar conteúdo torna-se fácil, mas avaliar validade requer conhecimento disciplinar, metacognição e acesso a evidências. Atividades que apenas solicitam uma resposta tendem a ocultar esse trabalho; atividades de comparação, anotação e correção tornam-no visível.

Quanto à aprendizagem, a convergência mais sólida não é a eficácia universal da tecnologia, mas a dependência do desenho pedagógico. Feedback imediato, explicações alternativas e geração de problemas podem apoiar o estudo quando o aluno elabora uma resposta inicial, recebe pistas graduais, verifica fontes e explica revisões. Se o sistema executa integralmente a tarefa que deveria desenvolver a capacidade do aluno, o desempenho do produto pode crescer sem aquisição correspondente. A distinção apresentada pela OECD (2026) entre melhor desempenho assistido e aprendizagem efetiva confirma esse limite e recomenda uso orientado por objetivos.

A evidência também favorece a IAG como objeto de crítica. Exintaris, Karunaratne e Yuriev (2023) utilizaram respostas geradas como estímulos à metacognição; Küçükuncular (2025) propõe aprender com, e não através, da IA; Cheung et al. (2025) identificam a necessidade de explicitar relações epistêmicas entre IA e ciência. Essas contribuições convergem em um modelo no qual o estudante produz, compara, verifica e justifica, preservando agência sobre a construção do conhecimento.

A formação docente aparece simultaneamente como benefício potencial e gargalo. Ferramentas podem apoiar ideação e produção inicial de materiais, mas o professor assume maior responsabilidade de checar conceitos, vieses, segurança e adequação curricular. Leite (2024), Lima e Serrano (2024) e Arruda (2024) mostram, no contexto brasileiro, que planos e explicações geradas exigem mediação crítica. Cheah, Lu e Kim (2025) e Sperling et al. (2024) indicam que familiaridade operacional não assegura alfabetização pedagógica e ética.

Por fim, poucos estudos avaliam custos sistêmicos. Privacidade e vieses são citados com frequência, mas normalmente como preocupações, não como desfechos medidos. Impactos ambientais, condições de contratação pública, trabalho de moderação, diversidade linguística e dependência de fornecedores recebem atenção ainda menor. A literatura crítica e os documentos institucionais permitem identificar esses temas, porém faltam pesquisas escolares capazes de acompanhar distribuição de benefícios e riscos em redes concretas (AKGÜN; GREENHOW, 2022; DE VRIES, 2023; MATOS et al., 2024).

Quadro 2 – Síntese crítica dos resultados da revisão

Eixo	**Contribuições recorrentes**	**Riscos ou limites**	**Condição pedagógica**
Explicação e feedback	Respostas rápidas, exemplos e pistas ajustáveis	Simplificação, erro convincente e diagnóstico superficial	Rubricas, fontes externas e supervisão docente
Investigação e problemas	Geração de hipóteses, variações e contra-argumentos	Terceirização do raciocínio e soluções inválidas	Resposta inicial do aluno, verificação e justificativa
Alfabetização científica	Material para crítica de evidências e modelos	Confusão entre fluência, consenso e validade	Ensino explícito de epistemologia e alfabetização em IA
Planejamento e avaliação	Ideação, adaptação e produção preliminar de itens	Homogeneização, desalinhamento curricular e autoria opaca	Curadoria, documentação de uso e avaliação do processo
Ética e justiça	Acessibilidade e apoio linguístico em certos contextos	Dados, vieses, desigualdade, dependência e custo ambiental	Minimização de dados, alternativas e governança participativa

Fonte: elaboração do autor com base no corpus da revisão (2026).

Condições de integração, lacunas e implicações

A síntese temática apresentada no quadro evidencia que nenhuma contribuição é autossuficiente. A mesma propriedade — geração rápida e adaptável — pode ampliar feedback ou disseminar erro em escala; a mesma automação pode liberar tempo docente ou ocultar decisões curriculares. O elemento discriminante é o arranjo pedagógico e institucional. Essa conclusão afasta tanto a promessa de transformação automática quanto a afirmação de que todo uso é incompatível com aprendizagem.

O primeiro achado interpretativo é que a IAG tende a ser mais relevante como parceira cognitiva contestável do que como tutora autônoma. Quando o sistema pergunta, oferece pista ou apresenta uma solução para análise, a atividade pode favorecer elaboração. Quando fornece uma resposta final antes que o estudante mobilize conhecimentos, reduz a necessidade de recuperar, organizar e testar ideias. O critério prático é verificar se a ferramenta aumenta ou diminui o trabalho intelectual associado ao objetivo da aula (KASNECI et al., 2023; OECD, 2026).

O segundo achado é a necessidade de ampliar a alfabetização científica para incluir competência algorítmica e epistêmica. A disponibilidade de textos sintéticos torna insuficiente ensinar apenas a localizar informação. Estudantes precisam rastrear fontes, conferir dados, reconhecer ausência de evidência, diferenciar explicação causal de associação e compreender por que um modelo pode produzir afirmações falsas. Long e Magerko (2020), Ng et al. (2021) e Casal-Otero et al. (2023) oferecem bases para essa alfabetização; Cheung et al. (2025) mostra que sua integração às práticas científicas ainda é rara.

O terceiro achado é que disciplinas científicas oferecem mecanismos internos de validação que devem orientar o uso. Leis de conservação, análise dimensional, coerência entre escalas, reprodutibilidade, controle de variáveis e confronto com dados constituem barreiras contra aceitação acrítica. Contudo, esses mecanismos só funcionam se forem ensinados e exigidos na tarefa. A IAG não compensa fragilidade conceitual; em certos casos, torna-a menos visível por produzir uma apresentação formalmente convincente.

O quarto achado diz respeito à avaliação. Proibir genericamente a ferramenta não resolve tarefas que medem apenas produção textual descontextualizada, enquanto permitir uso sem registro impede atribuir a aprendizagem. Avaliações resilientes combinam produto e processo: resolução comentada, histórico de decisões, dados coletados, referências conferidas, defesa oral e reflexão sobre assistência recebida. A transparência do uso deve ser tratada como prática de integridade, não como confissão automática de irregularidade (PERKINS, 2023; MARTÍNEZ-COMESAÑA et al., 2023).

O quinto achado é que formação e governança são inseparáveis. Capacitar individualmente o professor, sem política de dados, aquisição, suporte e autoria, transfere a ele riscos que pertencem à instituição. Criar política sem tempo para experimentação e aprendizagem profissional produz regra pouco aplicável. Os referenciais da UNESCO (2023; 2024a; 2024b) propõem competências e princípios que podem orientar redes, mas precisam ser traduzidos para condições locais, áreas disciplinares e etapas da educação básica.

As lacunas de pesquisa são substantivas. Faltam estudos longitudinais que meçam retenção e transferência; comparações entre tarefas equivalentes com e sem IAG; investigação nos anos iniciais; participação de estudantes com deficiência; contextos rurais, indígenas e multilíngues; análises de privacidade e viés em ferramentas específicas; e pesquisas brasileiras em escolas públicas. Também são necessários estudos que distingam efeito do modelo, efeito da novidade e efeito do desenho docente (ALFARWAN, 2025; MARZANO, 2026; ZHANG; LAI; YU, 2026).

Uma agenda para o ensino de Ciências deve incluir protocolos de incidentes, bancos de atividades críticas, instrumentos de alfabetização científico-algorítmica e estudos de desenvolvimento profissional situados. Pesquisas futuras precisam relatar versão e configuração do sistema, comandos, materiais, supervisão, idade, infraestrutura e critérios de resultado, pois respostas mudam ao longo do tempo. Sem essa documentação, replicação e comparação tornam-se frágeis.

Para a prática, os resultados sustentam sete condições mínimas: objetivo de aprendizagem explícito; adequação à idade; elaboração inicial do estudante; verificação em fontes e evidências; preservação de experiências materiais; declaração de uso; e alternativa sem prejuízo para quem não acessa a ferramenta. Em tarefas de maior consequência — saúde, segurança, avaliação somativa ou dados pessoais — somam-se validação profissional e restrição de processamento. Tais condições tornam o uso proporcional ao risco.

Em síntese, a literatura não autoriza concluir que a IAG melhora ou prejudica universalmente a aprendizagem de Ciências. Ela mostra uma tecnologia de alta versatilidade, desempenho irregular e efeitos mediados por contexto. A contribuição mais defensável consiste em usá-la para ampliar comparação, feedback e reflexão, sob supervisão e com critérios de validação. O desafio central não é ensinar estudantes a obter respostas mais rápidas, mas formar sujeitos capazes de examinar como essas respostas foram produzidas, que evidências faltam e quando devem ser recusadas.

Considerações finais

Esta revisão integrativa analisou como a literatura recente caracteriza potencialidades pedagógicas, desafios éticos e implicações da inteligência artificial generativa para a alfabetização científica no ensino de Ciências da Natureza na educação básica. A síntese de 47 publicações científicas, articulada a documentos normativos e orientadores, mostra que a IAG pode apoiar explicações, feedback, geração de questões, comparação de estratégias e planejamento docente. Esses benefícios, entretanto, são condicionais: dependem de desenho didático, conhecimento disciplinar, fontes externas, mediação humana e governança institucional.

A questão de pesquisa pode ser respondida em três proposições. Primeiro, as potencialidades mais consistentes ocorrem quando a ferramenta amplia ciclos de elaboração e revisão, sem executar o núcleo cognitivo do objetivo de aprendizagem. Segundo, os desafios não são apenas técnicos; alucinações, vieses, autoria, privacidade, desigualdade, dependência e impacto ambiental afetam a legitimidade educacional. Terceiro, a alfabetização científica precisa articular-se à alfabetização crítica em IA para que estudantes distingam fluência de validade, modelo de fenômeno, correlação de causalidade e resposta gerada de conhecimento sustentado por evidências.

No ensino de Ciências, essa articulação encontra terreno fértil. Respostas generativas podem ser submetidas a análise dimensional, leis de conservação, comparação com dados, revisão de mecanismos e confronto experimental. O erro algorítmico pode tornar-se objeto de aprendizagem, desde que o professor evite expor estudantes a desinformação sem apoio e organize critérios para corrigi-la. A IAG deve complementar — e não substituir — observação, experimentação, modelagem material, trabalho de campo e debate humano.

Para professores, o estudo recomenda formação continuada situada nas disciplinas, com análise de casos reais e produção colaborativa de atividades. Dominar comandos não basta. É necessário decidir quando usar, que informação não inserir, como conferir o conteúdo, de que maneira documentar assistência e quais evidências demonstram aprendizagem. Para escolas e redes, recomenda-se política clara de proteção de dados, autoria, acessibilidade, aquisição, avaliação e incidentes, construída com participação de docentes, estudantes e famílias.

No contexto brasileiro, iniciativas de IA devem ser conectadas à Política Nacional de Educação Digital, à BNCC Computação e aos referenciais educacionais recentes, sem converter tecnologia em atalho para problemas estruturais. Infraestrutura, tempo de planejamento, valorização profissional e materiais de qualidade permanecem indispensáveis. A oferta de

alternativa equivalente para quem não utiliza serviços generativos constitui requisito de equidade, assim como a consideração de diversidade linguística, territorial e cultural.

As conclusões são limitadas pela juventude do campo, pela rápida modificação dos sistemas e pela predominância de pesquisas de curta duração. Novos estudos devem avaliar retenção, transferência, autoria, carga docente e distribuição de riscos em diferentes etapas e territórios. Relatos precisam identificar versões das ferramentas e documentar intervenções com precisão. Essa agenda permitirá substituir expectativas baseadas em novidade por decisões sustentadas em evidência educacional.

Conclui-se que a relevância da IAG para o ensino de Ciências não está em oferecer uma resposta automática a cada pergunta, mas em criar oportunidades para que perguntas, fontes, modelos e evidências sejam examinados com maior rigor. Uma integração crítica, humanocêntrica e proporcional ao risco pode contribuir para a formação de estudantes capazes de aprender Ciências e de participar responsavelmente de uma sociedade permeada por sistemas algorítmicos. Sem essas condições, a mesma tecnologia tende a ampliar opacidade, dependência e desigualdade.

Referências

AKGÜN, Selin; GREENHOW, Christine. AI in education: addressing societal and ethical challenges in K-12 settings. AI and Ethics, v. 2, n. 3, p. 431–440, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s43681-021-00096-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

ALASADI, Eman A.; BAIZ, Carlos R. Generative AI in education and research: opportunities, concerns, and solutions. Journal of Chemical Education, v. 100, n. 8, p. 2965–2971, 2023. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00323. Acesso em: 20 ago. 2026.

ALFARWAN, Abdullah. Generative AI use in K-12 education: a systematic review. Frontiers in Education, v. 10, art. 1647573, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1647573. Acesso em: 20 ago. 2026.

ALMASRI, Firas. Exploring the impact of artificial intelligence in teaching and learning of science: a systematic review of empirical research. Research in Science Education, v. 54, p. 977–997, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s11165-024-10176-3. Acesso em: 20 ago. 2026.

ANTONENKO, Pavlo; ABRAMOWITZ, Benjamin. In-service teachers' (mis)conceptions of artificial intelligence in K-12 science education. Journal of Research on Technology in Education, v. 55, n. 1, p. 64–78, 2023. DOI: https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2119450. Acesso em: 20 ago. 2026.

ARRUDA, Eucidio Pimenta. Inteligência artificial generativa no contexto da educação: desafios, possibilidades e implicações pedagógicas. Educação em Revista, v. 40, e48078, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/0102-469848078. Acesso em: 20 ago. 2026.

BENDER, Emily M. et al. On the dangers of stochastic parrots: can language models be too big? In: ACM CONFERENCE ON FAIRNESS, ACCOUNTABILITY, AND TRANSPARENCY, 2021. Proceedings [...]. New York: ACM, 2021. p. 610–623. DOI: https://doi.org/10.1145/3442188.3445922. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CEB nº 1, de 4 de outubro de 2022. Normas sobre Computação na Educação Básica – Complemento à BNCC. Brasília, DF: CNE, 2022. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/docman/outubro-2022-pdf/241671-rceb001-22/file. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.533, de 11 de janeiro de 2023. Institui a Política Nacional de Educação Digital. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 12 jan. 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/l14533.htm. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CEB nº 2, de 21 de março de 2025. Institui diretrizes operacionais nacionais sobre o uso de dispositivos digitais em espaços escolares. Brasília, DF: CNE, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/2025/marco/rceb002_25.pdf. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Referencial de inteligência artificial na educação. Brasília, DF: MEC, 2026. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/referencial-de-ia-na-educacao. Acesso em: 20 ago. 2026.

CASAL-OTERO, Lorena et al. AI literacy in K-12: a systematic literature review. International Journal of STEM Education, v. 10, art. 29, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40594-023-00418-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHEAH, Yin Hong; LU, Jingru; KIM, Juhee. Integrating generative AI in K-12 education: examining teachers' preparedness, practices, and barriers. Computers and Education: Artificial Intelligence, v. 8, art. 100363, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100363. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHEUNG, Kason Ka Ching et al. Unpacking epistemic insights of artificial intelligence (AI) in science education: a systematic review. Science & Education, v. 34, p. 747–777, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-024-00511-5. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHEUNG, Kason Ka Ching et al. Do generative artificial intelligence (GenAI) and science education mix? A systematic review of the literature. Studies in Science Education, p. 1–29, 2026. DOI: https://doi.org/10.1080/03057267.2025.2578091. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHIU, Thomas K. F. et al. Systematic literature review on opportunities, challenges, and future research recommendations of artificial intelligence in education. Computers and Education: Artificial Intelligence, v. 4, art. 100118, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100118. Acesso em: 20 ago. 2026.

CIEB – CENTRO DE INOVAÇÃO PARA A EDUCAÇÃO BRASILEIRA. Inteligência artificial na educação básica: novas aplicações e tendências para o futuro. São Paulo: CIEB, 2024. Disponível em: https://cieb.net.br/wp-content/uploads/2024/06/Inteligencia-Artificial-na-Educacao-Basica_2024.pdf. Acesso em: 20 ago. 2026.

CLARK, Ted M. Investigating the use of an artificial intelligence chatbot with general chemistry exam questions. Journal of Chemical Education, v. 100, n. 5, p. 1905–1916, 2023. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00027. Acesso em: 20 ago. 2026.

CLARK, Ted M. et al. Comparing the performance of college chemistry students with ChatGPT for calculations involving acids and bases. Journal of Chemical Education, v. 100, n. 10, p. 3934–3944, 2023. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00500. Acesso em: 20 ago. 2026.

COOPER, Grant. Examining science education in ChatGPT: an exploratory study of generative artificial intelligence. Journal of Science Education and Technology, v. 32, p. 444–452, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y. Acesso em: 20 ago. 2026.

CROMPTON, Helen; JONES, Mildred V.; BURKE, Diane. Affordances and challenges of artificial intelligence in K-12 education: a systematic review. Journal of Research on Technology in Education, v. 56, n. 3, p. 248–268, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/15391523.2022.2121344. Acesso em: 20 ago. 2026.

DAHER, Wajeeh; DIAB, Hani; RAYAN, Abeer. Artificial intelligence generative tools and conceptual knowledge in problem solving in Chemistry. Information, v. 14, n. 7, art. 409, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/info14070409. Acesso em: 20 ago. 2026.

DAHLKEMPER, Merten Nikolay; LAHME, Simon Zacharias; KLEIN, Pascal. How do physics students evaluate artificial intelligence responses on comprehension questions? A study on the perceived scientific accuracy and linguistic quality of ChatGPT. Physical Review Physics Education Research, v. 19, n. 1, art. 010142, 2023. DOI: https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.19.010142. Acesso em: 20 ago. 2026.

DE VRIES, Alex. The growing energy footprint of artificial intelligence. Joule, v. 7, n. 10, p. 2191–2194, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.joule.2023.09.004. Acesso em: 20 ago. 2026.

ELMAS, Rıdvan; ADIGUZEL-ULUTAS, Merve; YILMAZ, Mehmet. Examining ChatGPT's validity as a source for scientific inquiry and its misconceptions regarding cell energy metabolism. Education and Information Technologies, v. 29, p. 25427–25456, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-024-12749-1. Acesso em: 20 ago. 2026.

ERÜMIT, Ali Kürşat; SARIALIOĞLU, Rabia Özdemir. Artificial intelligence in science and chemistry education: a systematic review. Discover Education, v. 4, art. 178, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s44217-025-00622-3. Acesso em: 20 ago. 2026.

EUROPEAN COMMISSION. Ethical guidelines on the use of artificial intelligence and data in teaching and learning for educators. Brussels: European Commission, 2022. Disponível em: https://education.ec.europa.eu/focus-topics/digital-education/action-plan/action-6. Acesso em: 20 ago. 2026.

EXINTARIS, Betty; KARUNARATNE, Nilushi; YURIEV, Elizabeth. Metacognition and critical thinking: using ChatGPT-generated responses as prompts for critique in a problem-solving workshop. Journal of Chemical Education, v. 100, n. 8, p. 2972–2980, 2023. DOI: https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00481. Acesso em: 20 ago. 2026.

GIBIN, Gustavo Bizarria et al. Inteligência artificial frente à resolução de exercícios de Química: um estudo exploratório com o ChatGPT. Colloquium Humanarum, v. 20, n. 1, p. 461–476, 2023. Disponível em: https://journal.unoeste.br/index.php/ch/article/view/4786. Acesso em: 20 ago. 2026.

HOLMES, Wayne et al. Ethics of AI in education: towards a community-wide framework. International Journal of Artificial Intelligence in Education, v. 32, p. 504–526, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s40593-021-00239-1. Acesso em: 20 ago. 2026.

JI, Ziwei et al. Survey of hallucination in natural language generation. ACM Computing Surveys, v. 55, n. 12, art. 248, p. 1–38, 2023. DOI: https://doi.org/10.1145/3571730. Acesso em: 20 ago. 2026.

KASNECI, Enkelejda et al. ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. Learning and Individual Differences, v. 103, art. 102274, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274. Acesso em: 20 ago. 2026.

KÜÇÜKUNCULAR, Ahmet. Learning with, rather than through, AI: co-designing science education for critical AI literacy. Frontiers in Education, v. 10, art. 1716353, 2025. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1716353. Acesso em: 20 ago. 2026.

LEE, Gyeonggeon et al. Artificial intelligence in science education research: current states and challenges. Journal of Science Education and Technology, v. 35, p. 110–127, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-025-10239-8. Acesso em: 20 ago. 2026.

LEITE, Bruno Silva. Análise da inteligência artificial ChatGPT na proposição de planos de aulas para o ensino da Química. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, v. 23, n. 3, p. 473–497, 2024. Disponível em: https://reec.uvigo.es/volumenes/volumen23/REEC_23_03_07_ex2207_1077.pdf. Acesso em: 20 ago. 2026.

LIMA, Cleosanice Barbosa; SERRANO, Agostinho. Inteligência artificial generativa e ChatGPT: uma investigação sobre seu potencial na educação. Transinformação, v. 36, e2410839, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/2318-0889202436e2410839. Acesso em: 20 ago. 2026.

LO, Chung Kwan. What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. Education Sciences, v. 13, n. 4, art. 410, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci13040410. Acesso em: 20 ago. 2026.

LONG, Duri; MAGERKO, Brian. What is AI literacy? Competencies and design considerations. In: CHI CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS, 2020. Proceedings [...]. New York: ACM, 2020. p. 1–16. DOI: https://doi.org/10.1145/3313831.3376727. Acesso em: 20 ago. 2026.

MARZANO, Daniela. Generative artificial intelligence (GAI) in teaching and learning processes at the K-12 level: a systematic review. Technology, Knowledge and Learning, v. 31, p. 789–829, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s10758-025-09853-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

MARTIN, Florence; ZHUANG, Min; SCHAEFER, Darlene. Systematic review of research on artificial intelligence in K-12 education (2017–2022). Computers and Education: Artificial Intelligence, v. 6, art. 100195, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100195. Acesso em: 20 ago. 2026.

MARTÍNEZ-COMESAÑA, Miguel et al. Impact of artificial intelligence on assessment methods in primary and secondary education: systematic literature review. Revista de Psicodidáctica, v. 28, n. 2, p. 93–103, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.psicoe.2023.06.002. Acesso em: 20 ago. 2026.

MATOS, Fernanda D. A. O.; GIROTTO JUNIOR, Gildo; ARNT, Ana de Medeiros; LIPPI, Adriana. A proposal in Brazil to use generative AI in education threatens quality and equity. Patterns, v. 5, n. 7, art. 101020, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.patter.2024.101020. Acesso em: 20 ago. 2026.

NG, Davy T. K. et al. Conceptualizing AI literacy: an exploratory review. Computers and Education: Artificial Intelligence, v. 2, art. 100041, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041. Acesso em: 20 ago. 2026.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. OECD Digital Education Outlook 2026: exploring effective uses of generative AI in education. Paris: OECD Publishing, 2026. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2026_062a7394-en.html. Acesso em: 20 ago. 2026.

OLCZEWSKI, Elisson; MARCONDES, Renato; SENS, Larissa. ChatGPT no ensino de Química: análise das explicações sobre ácidos e bases para o Novo Ensino Médio e Ensino Superior. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 27, e56809, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-2117-56809. Acesso em: 20 ago. 2026.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em: 20 ago. 2026.

PERKINS, Mike. Academic integrity considerations of AI large language models in the post-pandemic era: ChatGPT and beyond. Journal of University Teaching and Learning Practice, v. 20, n. 2, 2023. DOI: https://doi.org/10.53761/1.20.02.07. Acesso em: 20 ago. 2026.

SPERLING, Katarina et al. In search of artificial intelligence (AI) literacy in teacher education: a scoping review. Computers and Education Open, v. 6, art. 100169, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100169. Acesso em: 20 ago. 2026.

TANG, Kok-Sing; COOPER, Grant. The role of materiality in an era of generative artificial intelligence. Science & Education, v. 34, p. 731–746, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-024-00508-0. Acesso em: 20 ago. 2026.

TLILI, Ahmed et al. What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. Smart Learning Environments, v. 10, art. 15, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. Guidance for generative AI in education and research. Paris: UNESCO, 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. AI competency framework for students. Paris: UNESCO, 2024a. Disponível em: https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-students. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. AI competency framework for teachers. Paris: UNESCO, 2024b. Disponível em: https://www.unesco.org/en/articles/ai-competency-framework-teachers. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. AI and education: protecting the rights of learners. Paris: UNESCO, 2025. Disponível em: https://www.unesco.org/en/articles/ai-and-education-protecting-rights-learners. Acesso em: 20 ago. 2026.

WANG, Nan; WANG, Xiao; SU, Yu-Sheng. Critical analysis of the technological affordances, challenges and future directions of generative AI in education: a systematic review. Asia Pacific Journal of Education, v. 44, n. 1, p. 139–155, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/02188791.2024.2305156. Acesso em: 20 ago. 2026.

YIM, Iris Heung Yue; SU, Jiahong. Artificial intelligence (AI) learning tools in K-12 education: a scoping review. Journal of Computers in Education, v. 12, p. 93–131, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s40692-023-00304-9. Acesso em: 20 ago. 2026.

ZHANG, Peng; TUR, Gemma. A systematic review of ChatGPT use in K-12 education. European Journal of Education, v. 59, n. 2, e12599, 2024. DOI: https://doi.org/10.1111/ejed.12599. Acesso em: 20 ago. 2026.

ZHANG, Tianyu; LAI, Yiu Chi; YU, Philip Leung Ho. Generative artificial intelligence in K-12 education: a systematic review. Research and Practice in Technology Enhanced Learning, v. 21, art. 034, 2026. DOI: https://doi.org/10.58459/rptel.2026.21034. Acesso em: 20 ago. 2026.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

LABORATÓRIOS VIRTUAIS E EXPERIMENTAÇÃO INVESTIGATIVA NO ENSINO DE QUÍMICA: ARTICULAÇÕES ENTRE PENSAMENTO CIENTÍFICO, MÚLTIPLAS REPRESENTAÇÕES E APRENDIZAGEM CONCEITUAL NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Glediston de Aquino Gonçalves[4]

Resumo

O artigo analisa como laboratórios virtuais integrados à experimentação investigativa podem favorecer pensamento científico, aprendizagem conceitual e articulação entre representações macroscópicas, submicroscópicas e simbólicas no ensino de Química. Realizou-se revisão integrativa qualitativa de publicações entre 2021 e 2026, com verificação de autoria, DOI e disponibilidade eletrônica. A síntese indica que ambientes virtuais ampliam repetição, controle de variáveis, visualização molecular e acesso seguro, produzindo resultados cognitivos favoráveis sobretudo quando associados a previsão, análise de dados, argumentação e mediação docente. As evidências não sustentam substituição universal do laboratório presencial: habilidades instrumentais, materialidade, incerteza e segurança requerem experiências reais. Combinações real-virtual mostram potencial superior, embora a sequência dependa da função pedagógica. Conclui-se que a contribuição decorre de um sistema didático que articula problema, modelo, dados, representações, avaliação e equidade. Propõem-se princípios para planejamento híbrido e uma agenda de pesquisa.

Palavras-chave: laboratórios virtuais; ensino de Química; experimentação investigativa; pensamento científico; múltiplas representações.

Abstract

This article analyzes how virtual laboratories integrated with inquiry-based experimentation can foster scientific thinking, conceptual learning, and coordination among macroscopic, submicroscopic, and symbolic representations in chemistry education. A qualitative integrative review of publications from 2021 to 2026 was conducted, verifying authorship, DOIs, and online availability. Virtual environments expand repetition, variable control, molecular visualization, and safe access, with favorable cognitive outcomes especially when combined with prediction, data analysis, argumentation, and teacher mediation. Evidence does not support universal replacement of physical laboratories: instrumental skills, materiality, uncertainty, and safety require real experiences. Real-virtual combinations show greater potential, although sequencing depends on pedagogical function. The contribution therefore derives from a didactic system connecting problems, models, data, representations, assessment, and equity. Principles for hybrid planning and a research agenda are proposed.

Keywords: virtual laboratories; chemistry education; inquiry-based experimentation; scientific thinking; multiple representations.

[4] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

A experimentação ocupa lugar estruturante no ensino de Química porque conecta modelos teóricos, procedimentos de investigação e transformação material. Entretanto, sua presença no currículo não assegura, por si só, compreensão conceitual ou apropriação de práticas científicas. Em muitas situações escolares, o experimento é reduzido à demonstração de um efeito ou ao cumprimento de um roteiro cujo resultado já é conhecido. O estudante manipula materiais, mas não formula problemas, escolhe variáveis, antecipa resultados ou avalia evidências. Nesse formato, a atividade prática pode confirmar verbalmente o conteúdo sem alterar o modo como o fenômeno é explicado.

A educação básica enfrenta ainda obstáculos materiais: ausência ou precariedade de laboratórios, turmas numerosas, tempo reduzido, indisponibilidade de reagentes, custo de manutenção, descarte de resíduos e riscos associados a determinadas substâncias. Essas condições produzem desigualdade no acesso à experimentação e favorecem uma falsa oposição entre teoria e prática. Laboratórios virtuais, simulações interativas e ambientes imersivos surgem nesse contexto como alternativas capazes de ampliar o número de experiências, permitir repetição, reduzir riscos e tornar manipuláveis processos que, em condições escolares, seriam caros, lentos ou invisíveis.

A expansão dessas tecnologias, intensificada durante a pandemia, também produziu discursos de substituição. Contudo, revisões recentes mostram que “laboratório virtual” reúne artefatos e desenhos muito distintos: simulações bidimensionais, ambientes tridimensionais, realidade virtual imersiva, realidade aumentada, laboratórios remotos e sistemas multimodais. Eles podem apoiar aprendizagem conceitual, preparação procedural, visualização molecular ou coleta de dados, mas não oferecem as mesmas possibilidades. Chan et al. (2021) identificam resultados cognitivos favoráveis em comparação com mídias passivas, ao mesmo tempo que apontam escassez de estudos sobre habilidades práticas. Ali, Ullah e Khan (2022) confirmam a diversidade tecnológica e metodológica dos laboratórios interativos.

A questão relevante, portanto, não é determinar se o virtual é melhor que o real em termos universais. Wörner, Kuhn e Scheiter (2022), em revisão de 42 estudos experimentais, mostram que combinações de experimentos reais e virtuais frequentemente superam modalidades isoladas, mas não existe sequência universalmente superior. O efeito depende da função atribuída a cada experiência, dos conhecimentos prévios e do objetivo. O laboratório virtual pode antecipar procedimentos, explicitar mecanismos, permitir exploração sistemática ou apoiar análise posterior; o presencial oferece materialidade, imprevisibilidade, habilidades instrumentais e responsabilidade concreta com segurança e resíduos.

No ensino de Química, a discussão adquire densidade adicional por causa da natureza representacional da disciplina. Compreender uma reação requer coordenar o fenômeno observável, explicações sobre entidades submicroscópicas e registros simbólicos, como fórmulas, equações, gráficos e relações quantitativas. Estudantes podem memorizar uma equação sem relacioná-la a evidências; podem observar mudança de cor sem construir um modelo particulado; ou podem interpretar uma animação como reprodução literal do mundo molecular. Laboratórios virtuais têm potencial para aproximar níveis, mas também podem gerar sobrecarga e concepções equivocadas se as representações não forem explicitamente mediadas.

A experimentação investigativa oferece o princípio pedagógico para organizar essa integração. Em vez de apresentar uma sequência fixa, propõe-se um problema que exige formular hipóteses, identificar variáveis, planejar testes, produzir dados, reconhecer incertezas, construir explicações e argumentar. Jegstad (2024) observa que a literatura de ensino de Química por investigação privilegia frequentemente resultados conceituais e afetivos, com menor

atenção às dimensões epistêmicas e sociais. Vincular laboratórios virtuais a práticas investigativas permite enfrentar essa lacuna, desde que a avaliação não se restrinja a desempenho ou satisfação.

Pensamento científico é compreendido neste artigo como o conjunto articulado de práticas usadas para construir, avaliar e comunicar conhecimento: problematização, modelagem, previsão, controle de variáveis, mensuração, análise de dados, explicação causal, argumentação e revisão. Não se trata de reproduzir um "método científico" linear, mas de reconhecer decisões, critérios e incertezas. O ambiente virtual pode tornar algumas relações controláveis, oferecer feedback imediato e registrar ações; o professor precisa transformar essas possibilidades em perguntas e evidências.

Diante disso, o artigo pergunta: de que maneira e sob quais condições pedagógicas laboratórios virtuais integrados à experimentação investigativa favorecem pensamento científico, aprendizagem conceitual e articulação entre representações macroscópicas, submicroscópicas e simbólicas na educação básica? O objetivo geral é analisar criticamente contribuições, limites e condições de integração, com ênfase no ensino médio. Especificamente, busca-se diferenciar modalidades, explicar mecanismos de aprendizagem, examinar complementaridade com práticas presenciais, discutir mediação e avaliação e propor princípios de desenho didático equitativo.

A tese defendida é condicional: laboratórios virtuais contribuem quando não funcionam como imitações descontextualizadas do laboratório físico, mas como ambientes de representação e investigação inseridos em sequências coerentes. Seu valor decorre da articulação entre problema, modelo, dados, linguagem, interação social e institucionalização conceitual. A tecnologia amplia possibilidades; a atividade pedagógica determina quais delas se convertem em aprendizagem.

Essa formulação também evita associar inovação à aparência tecnológica. Um ambiente imersivo pode reproduzir um roteiro transmissivo, enquanto uma simulação simples pode sustentar investigação sofisticada. O indicador de inovação é a qualidade das decisões cognitivas e epistêmicas atribuídas ao estudante: o que ele precisa prever, escolher, medir, representar, explicar e revisar. A análise deve, portanto, deslocar-se do dispositivo para o sistema de atividade em que ele participa.

A relevância social do tema é evidente em redes escolares marcadas por desigualdade de infraestrutura. O virtual não pode legitimar a retirada do direito a laboratórios presenciais, mas pode democratizar experiências antes inacessíveis, reduzir consumo em fases exploratórias e apoiar professores. Uma política responsável combina investimento material e digital, formação e avaliação. Oferecer somente uma plataforma, sem tempo, conectividade ou mediação, transfere ao professor e ao estudante o custo da implementação.

A originalidade analítica deste estudo reside em integrar três cadeias que frequentemente aparecem separadas: tecnologia e acesso; investigação e práticas epistêmicas; representações e aprendizagem conceitual. A primeira pergunta o que o ambiente permite fazer; a segunda, como evidências são produzidas e avaliadas; a terceira, como fenômenos e modelos são conectados. Uma intervenção robusta precisa manter coerência entre as três.

Após esta introdução, o referencial teórico discute experimentação, tipologias de laboratório virtual, múltiplas representações, pensamento científico, mediação, avaliação e equidade. A metodologia apresenta uma revisão integrativa de publicações entre 2021 e 2026. Resultados e discussão sintetizam convergências e tensões e propõem princípios de planejamento. As considerações finais retomam implicações e uma agenda de pesquisa.

Referencial teórico

Experimentação e aprendizagem de Química

A experimentação escolar não é cópia simplificada da pesquisa científica. Ela é uma prática didaticamente organizada, com objetivos curriculares, restrições de tempo e formas específicas de mediação. Seu valor não reside apenas em "ver para acreditar", pois observar não é ato neutro: depende de conceitos, instrumentos e perguntas. Uma precipitação, uma variação de temperatura ou uma mudança de cor torna-se evidência somente quando relacionada a uma hipótese e interpretada por um modelo.

Atividades verificativas oferecem segurança e podem ensinar procedimentos, mas tendem a concentrar decisões no roteiro. Na experimentação investigativa, parte das decisões é transferida ao estudante. Graus de abertura podem variar: problema fornecido com método em aberto; problema e método parcialmente negociados; ou investigação mais ampla. A abertura precisa ser proporcional ao repertório da turma. Ausência de orientação não equivale a autonomia e pode transformar investigação em tentativa errática.

Jegstad (2024) organiza a investigação química em domínios conceitual, epistêmico, social, procedural e afetivo. Essa leitura impede avaliar uma prática apenas por teste de conteúdo. Aprender investigação inclui compreender como uma afirmação é sustentada, como dados são produzidos e por que um controle é necessário. Inclui também negociar significados, comunicar incertezas e revisar explicações. Suryati et al. (2024) associam estratégias construtivistas e investigativas a engajamento, compreensão e pensamento crítico, mas a qualidade depende do desenho.

Um roteiro investigativo produtivo pode conter pergunta orientadora, espaço para hipóteses justificadas, identificação de variáveis, planejamento, previsão, tabela criada pelos estudantes, análise e argumento final. O professor não desaparece; organiza recursos, questiona decisões e seleciona episódios para discussão. Ao final, institucionaliza conceitos, distinguindo observação, inferência e modelo. Sarıtaş, Özcan e Adúriz-Bravo (2021) mostram a importância dessa distinção na integração entre níveis macro e submicro.

No laboratório presencial, ruído experimental, falhas de montagem e propriedades materiais abrem oportunidades para discutir precisão, segurança e limites do modelo. No virtual, parâmetros podem ser isolados e fenômenos repetidos rapidamente. São affordances diferentes. A questão didática é escolher qual ambiente permite enfrentar determinado obstáculo cognitivo. Se o objetivo é aprender manipulação de bureta, uma simulação não basta; se é explorar dezenas de concentrações para inferir uma relação, o virtual pode ser superior.

A aprendizagem conceitual profunda exige relacionar fatos, modelos e condições de validade. Em uma titulação, por exemplo, o estudante precisa coordenar volumes medidos, mudança do indicador, estequiometria, concentração e transformação iônica. Uma prática que privilegia apenas o cálculo ou o gesto instrumental fragmenta a compreensão. O desenho híbrido pode distribuir funções: simulação para explorar relações e prever; laboratório físico para executar e lidar com incerteza; discussão para integrar.

A segurança deve ser tratada como conhecimento, não apenas conjunto de proibições. Ambientes virtuais permitem ensaiar decisões e visualizar consequências sem exposição, mas não substituem hábitos corporais, leitura de rótulos e resposta a incidentes. Eles são especialmente úteis como preparação, quando incluem situações de decisão e feedback explicativo. A repetição segura precisa conduzir à compreensão do risco, e não à ilusão de que todo erro pode ser desfeito sem consequências.

Laboratórios virtuais: conceitos, modalidades e evidências

Laboratório virtual é um termo guarda-chuva. Simulações representam relações e permitem manipular parâmetros; ambientes tridimensionais reproduzem espaço e equipamentos; realidade virtual imersiva acrescenta sensação de presença; realidade aumentada sobrepõe informação ao mundo físico; laboratórios remotos possibilitam controlar equipamentos reais a distância. A classificação pelo suporte técnico é insuficiente: é necessário identificar papel do estudante, grau de interatividade, feedback, representações, colaboração e suporte investigativo.

A revisão de Chan et al. (2021) conclui que laboratórios químicos virtuais tendem a superar mídias passivas e podem alcançar resultados iguais ou superiores aos laboratórios presenciais em aprendizagem cognitiva. Os autores também identificam fragilidade recorrente: muitos estudos não declaram teoria de aprendizagem nem suporte instrucional, e habilidades práticas são pouco avaliadas. Assim, efeito positivo em teste conceitual não autoriza afirmar equivalência integral entre modalidades.

Ali, Ullah e Khan (2022) analisaram 86 trabalhos sobre laboratórios interativos e destacaram desafios de usabilidade, realismo, avaliação e implementação. Realismo não deve ser tomado como objetivo absoluto. Uma representação simplificada pode favorecer a percepção de relações relevantes, enquanto detalhes visuais excessivos elevam carga cognitiva. O critério é fidelidade funcional ao objetivo: o sistema precisa representar adequadamente as variáveis e consequências necessárias à aprendizagem.

Ambientes imersivos podem apoiar orientação espacial, familiarização e visualização de entidades. Reeves et al. (2021) encontraram experiências variadas entre estudantes de Química em laboratórios de realidade virtual, lembrando que presença e novidade não se convertem uniformemente em aprendizagem. Guruloo e Osman (2024) identificam segurança e estruturas atômico-moleculares como aplicações recorrentes, mas registram concentração geográfica e necessidade de estudos mais amplos.

Peechapol (2021) observou efeitos em desempenho, autoeficácia e experiência quando uma simulação foi adicionada à aula. Putri e Kurniawati (2021) encontraram diferenças favoráveis em pensamento crítico em titulação ácido-base. Esses resultados são promissores, porém desenhos de curta duração e amostras locais recomendam cautela. É necessário examinar instrumentos, comparadores e fidelidade de implementação antes de generalizar.

Alhashem e Alfailakawi (2023) estudaram o uso de laboratório virtual antes da prática presencial com futuros professores e identificaram melhora de atitudes e engajamento, mas não diferenças em aspectos técnicos. O resultado sustenta uma interpretação complementar: o virtual prepara cognitivamente e reduz incerteza, enquanto habilidades materiais dependem da interação com equipamentos. Al-Shahrani e Ahmed (2022) também relatam resultados favoráveis em aspectos cognitivos e de desempenho, mas defendem infraestrutura e integração.

Laboratórios virtuais oferecem repetibilidade e velocidade. Em Química, isso permite explorar séries de concentrações, temperaturas ou estruturas em tempo escolar viável. Contudo, um sistema determinístico pode ocultar variação e incerteza. Para evitar concepção idealizada, o professor pode comparar dados virtuais e reais, inserir margens de erro, discutir arredondamento e perguntar quais simplificações o modelo realiza.

A acessibilidade é potencial e desafio. Ambientes remotos ampliam acesso para estudantes impedidos de frequentar laboratórios, como discutido por Reeves e Crippen em experiências recentes, mas interfaces imersivas podem criar barreiras motoras, visuais ou sensoriais. A seleção deve examinar navegação por teclado, contraste, legendas, descrição,

compatibilidade com leitores e alternativas não imersivas. Universalidade não pode ser presumida.

Múltiplas representações e aprendizagem conceitual

A Química articula fenômenos macroscópicos, entidades submicroscópicas e linguagem simbólica. No nível macroscópico situam-se propriedades e transformações observáveis; no submicroscópico, modelos de átomos, moléculas, íons e interações; no simbólico, fórmulas, equações, gráficos e relações matemáticas. Aprender implica transitar entre níveis e compreender que cada representação seleciona aspectos do fenômeno.

Laboratórios virtuais podem sincronizar recipientes, partículas, equações e gráficos. Essa coordenação ajuda a estabelecer correspondências, mas também pode sobrecarregar. O estudante precisa saber onde olhar e como ler cada registro. Sinalização, perguntas comparativas e explicações autogeradas ajudam a integrar fontes. Apresentar múltiplas janelas sem mediação pode produzir atenção fragmentada.

Animações moleculares são modelos, não filmagens. Tamanho, cor, distância e velocidade são convenções. Se isso não for discutido, estudantes podem interpretar partículas como miniaturas macroscópicas. Sarıtaş, Özcan e Adúriz-Bravo (2021) propõem abordagem baseada em modelos para distinguir observação e inferência. O professor deve perguntar o que é diretamente observado, o que é inferido e quais alternativas explicativas seriam possíveis.

A passagem ao simbólico exige mais que balancear equações. Uma equação informa proporções, espécies e estados, mas não mostra por si só mecanismo, energia ou taxa. Em simulação de equilíbrio, por exemplo, gráficos temporais, contagens de partículas e expressão da constante precisam ser conectados. O estudante deve explicar como cada representação sustenta a mesma relação e onde seus significados divergem.

Conteúdos com forte demanda representacional — estrutura atômica, ligações, forças intermoleculares, soluções, cinética, equilíbrio e eletroquímica — são candidatos produtivos. Rahman et al. (2024) mostram que ambientes virtuais de aprendizagem baseada em jogos podem tornar ligações e fórmulas mais acessíveis. O ganho depende de tarefas que exijam previsão e explicação, e não apenas navegação ou pontuação.

O princípio de coerência representacional orienta o desenho: toda representação deve cumprir função identificável; relações entre representações precisam ser explicitadas; controles devem alterar variáveis teoricamente relevantes; e o estudante deve produzir ao menos uma representação própria. Tabelas, esquemas particulados, equações e argumentos escritos transformam interação em objeto de reflexão.

A avaliação pode utilizar itens de tradução: dado um gráfico, elaborar explicação particulada; diante de animação, escrever equação e identificar limites; a partir de evidência macroscópica, propor modelos concorrentes. Tarefas desse tipo revelam integração melhor que questões isoladas de nomenclatura. Elas também permitem identificar se a simulação corrigiu ou reforçou concepções alternativas.

Pensamento científico, investigação e argumentação

Pensamento científico envolve formular perguntas investigáveis, construir modelos, planejar testes, controlar variáveis, coletar e analisar dados, reconhecer incertezas e justificar conclusões. Essas práticas não seguem ordem rígida. Hipóteses são revistas à luz de resultados; modelos orientam o que medir; argumentos revelam lacunas que exigem novos dados. O ensino precisa tornar essa recursividade visível.

Ambientes virtuais favorecem controle de variáveis porque permitem alterar um parâmetro e manter os demais. Essa facilidade só se converte em aprendizagem quando estudantes justificam a escolha e reconhecem condições. Interfaces que permitem mudar tudo simultaneamente podem estimular exploração superficial. Protocolos de previsão, teste e explicação ajudam a sistematizar.

A análise de dados não deve ser automática. Se o sistema produz gráfico pronto, a tarefa pode exigir interpretar inclinação, tendências e anomalias; se fornece dados brutos, estudantes podem decidir organização e escala. Trijayanti, Aznam e Haryuniati (2021) destacam potencial de laboratórios baseados em descoberta para analisar e interpretar dados. O professor precisa verificar se a evidência realmente discrimina entre hipóteses.

Argumentação conecta afirmação, evidência e justificativa. O resultado da simulação é dado, não conclusão. Em investigação sobre velocidade de reação, por exemplo, observar menor tempo sob maior temperatura precisa ser relacionado a colisões eficazes e limitado às condições testadas. A justificativa liga dado e princípio; ressalvas indicam alcance. Sessões de comparação entre grupos ampliam o domínio social da investigação.

Depuração também integra pensamento científico. Quando uma simulação não produz o esperado, o estudante pode revisar hipótese, procedimento, leitura do sistema ou modelo. O erro precisa ser documentado. Avaliar apenas a resposta final elimina evidências de monitoramento. Portfólios com previsões, capturas, tabelas e versões de explicações tornam o processo avaliável.

A investigação virtual não deve eliminar a dimensão material e socioambiental da Química. Quantidade de resíduo, toxicidade, energia e descarte podem ser incluídos como restrições. Uma solução eficiente não é necessariamente segura ou sustentável. O problema investigativo pode pedir comparação entre rotas, análise de risco e decisão justificada.

Aprendizagem autorregulada exige metas, monitoramento e reflexão. Radhamani et al. (2021) observaram uso autônomo expressivo de laboratórios virtuais, mas autonomia de acesso não significa autonomia epistêmica. Guias graduados, feedback e checkpoints ajudam estudantes a transformar repetição em estratégia. O suporte pode ser reduzido à medida que critérios são internalizados.

Mediação, avaliação, equidade e sustentabilidade

A mediação docente orquestra ferramentas, representações e interações. Perguntas produtivas incluem: qual variável foi modificada; que resultado era esperado; que evidência contradiz a hipótese; o que a animação representa; como o virtual se relaciona ao fenômeno real? Respostas não devem ser antecipadas pelo sistema. O professor seleciona momentos para interromper, comparar e formalizar.

Formação docente precisa integrar conteúdo químico, tecnologia e desenho investigativo. Não basta ensinar comandos. Professores devem analisar tarefas, identificar concepções, planejar andaimes e construir avaliações. Alhashem e Alfailakawi (2023) mostram que experiências virtuais na formação inicial podem melhorar atitudes e preparação, mas intervenções mais longas são necessárias para mudanças profissionais.

Avaliar apenas pós-teste limita a compreensão. Uma matriz robusta reúne aprendizagem conceitual, práticas epistêmicas, habilidades procedurais, representações, argumentação e dimensões afetivas. Evidências podem incluir teste, relatório, código de ações, produção gráfica, observação, entrevista e tarefa de transferência. Learning analytics podem revelar sequências

de interação, mas precisam ser interpretadas pedagogicamente e proteger dados (HERODOTOU et al., 2023).

Equidade envolve equipamento, conectividade, tempo, linguagem e acessibilidade. Atividades domiciliares podem ampliar diferenças. A escola pode organizar pares, estações e uso offline, fornecer alternativas e garantir que todos tomem decisões. Ambientes imersivos caros não são necessariamente superiores a simulações leves. O critério é valor pedagógico por objetivo, não novidade.

A UNESCO (2023) alerta que tecnologia deve servir a propósitos educacionais e ser avaliada por relevância, equidade, escalabilidade e sustentabilidade. Para laboratórios virtuais, custo total inclui licenças, dispositivos, conectividade, formação, suporte, atualização e dependência de fornecedor. Soluções precisam permanecer utilizáveis ao longo do currículo.

Privacidade é parte da qualidade. Plataformas podem registrar contas, tempo, respostas e trajetórias. Escolas devem minimizar dados, examinar termos e evitar exposição pública. Analytics só são legítimos quando têm finalidade pedagógica clara, acesso controlado e interpretação responsável. O estudante deve compreender o que é coletado.

Sustentabilidade também possui dimensão ambiental. O virtual reduz consumo de reagentes em ensaios exploratórios, mas utiliza energia e equipamentos. Já o presencial ensina manejo de resíduos e materialidade. Sequências híbridas podem usar simulação para reduzir testes desnecessários e reservar experimentos reais para decisões conceitual e proceduralmente relevantes.

A implementação institucional requer governança: seleção curricular, inventário, responsáveis, formação, avaliação e revisão. Experiências isoladas dependentes de um professor tendem a desaparecer. Comunidades de prática e bancos de sequências documentadas permitem acumular conhecimento local, comparar resultados e evitar que a tecnologia seja usada apenas em eventos demonstrativos.

Princípios de desenho didático e progressão curricular

Desenhar uma sequência começa por identificar o obstáculo de aprendizagem, não por escolher a plataforma. Se estudantes confundem quantidade de partículas com concentração, a atividade precisa variar volume e número de entidades de modo controlado e exigir explicação. Se a dificuldade é relacionar potencial elétrico e espontaneidade, o ambiente deve permitir comparar sistemas, registrar sinais e construir uma relação. A tecnologia é selecionada por sua capacidade de tornar a relação investigável.

O segundo passo é atribuir função a cada modalidade. Função preparatória antecipa segurança e procedimentos; função conceitual explora modelos e parâmetros; função analítica organiza dados; função reflexiva permite revisitar uma prática; função substitutiva é usada quando a experiência real é inviável. Nomear a função evita redundância, como repetir virtualmente e fisicamente o mesmo roteiro sem conexão cognitiva.

A progressão de abertura deve ser planejada. Inicialmente, o professor pode fornecer pergunta e variáveis, deixando previsão e interpretação aos estudantes. Em seguida, grupos escolhem procedimento e dados. Em níveis mais avançados, formulam perguntas e critérios. A progressão também ocorre nas representações: reconhecer, relacionar, produzir e avaliar modelos. Essas dimensões podem avançar de forma coordenada ao longo dos anos.

Andaimes precisam apoiar, não substituir, decisões. Cartões de previsão, tabelas incompletas, perguntas de controle e exemplos contrastantes reduzem carga inicial. Feedback deve explicar consequências, evitando apenas indicar certo ou errado. À medida que estudantes

demonstram domínio, apoios são retirados. A persistência de roteiros detalhados impede autoria; a retirada precoce produz desorientação.

O tempo virtual precisa incluir pausas de reflexão. Interfaces incentivam cliques rápidos, mas aprendizagem exige comparar estados e registrar. Uma regra produtiva é prever antes de executar e explicar antes de repetir. O professor pode limitar temporariamente parâmetros, solicitar captura comentada ou exigir que um colega reproduza o procedimento a partir do registro. Essas rotinas transformam ação efêmera em conhecimento compartilhável.

Colaboração deve distribuir acesso e autoridade. Papéis como investigador principal, controlador de variáveis, registrador, analista e relator podem rotacionar em cada ciclo. O estudante que opera o dispositivo não pode monopolizar decisões. Checkpoints individuais — prever o próximo resultado, interpretar um gráfico ou escrever uma justificativa — tornam visíveis aprendizagens pessoais e reduzem o efeito carona.

A institucionalização encerra e reabre o ciclo. O professor seleciona resultados contrastantes, compara modelos e formaliza conceitos e linguagem. Não se trata de fornecer a "resposta certa" desconectada, mas de relacionar produções a conhecimentos químicos compartilhados. Uma síntese pode explicitar o que foi observado, inferido, representado e validado, além dos limites do experimento virtual.

A transferência deve ser planejada desde o início. Após explorar ácido-base em uma plataforma, estudantes podem analisar um problema sem interface ou projetar uma prática real. Após investigar cinética, podem explicar um fenômeno cotidiano com novas condições. Se desempenho desaparece fora do ambiente, houve aprendizagem situada na interface. Tarefas novas mostram se relações foram abstraídas.

A progressão curricular pode iniciar com observação e classificação nos anos finais do fundamental, avançar para controle de variáveis e modelos particulados, e chegar a relações quantitativas, incerteza e argumentação no ensino médio. Plataformas diferentes podem ser usadas, desde que práticas e representações mantenham continuidade. Um mapa curricular evita repetição de experiências isoladas.

O desenho universal recomenda múltiplos modos de participação, apresentação e expressão. Informações visuais devem ter texto ou áudio; comandos precisam admitir teclado; estudantes podem explicar por fala, escrita ou diagrama; a atividade deve oferecer alternativa à imersão. Adaptações planejadas desde o início são superiores a soluções posteriores que relegam estudantes a observar.

A escolha de conteúdo deve considerar valor acrescentado. Experimentos simples, seguros e baratos podem ser mais ricos presencialmente. O virtual é particularmente justificável quando reduz risco, permite muitas repetições, mostra o invisível, acelera processos, amplia escala ou fornece dados difíceis. O argumento pedagógico deve declarar qual dessas vantagens é mobilizada e qual dimensão pode ser perdida.

Por fim, o desenho precisa ser pesquisável. Objetivos, duração, instruções, intervenção docente, plataforma, atividades e critérios devem ser documentados. Essa transparência permite interpretar resultados e replicar. Estudos que apenas informam "uso de laboratório virtual" ocultam a variável pedagógica mais importante: o que estudantes realmente fizeram e como foram apoiados.

Validade das evidências e agenda conceitual

A robustez do campo depende de definições operacionais. Estudos utilizam o mesmo termo para simulações muito diferentes e resultados denominados "habilidades laboratoriais"

que variam de reconhecer equipamento a executá-lo. Pesquisas precisam declarar o que o ambiente representa, quais ações permite, que suporte oferece e qual dimensão é medida. Sem esse detalhamento, sínteses comparam intervenções incomparáveis.

A fidelidade de implementação também importa. Uma sequência pode ser planejada como investigação, mas conduzida de forma expositiva por falta de tempo ou problemas técnicos. Registrar intervenções docentes, tempo efetivo, dificuldades e adaptações ajuda a explicar resultados. A diferença entre desenho pretendido e realizado não é ruído irrelevante; é evidência sobre viabilidade em condições escolares.

Instrumentos devem alinhar-se ao constructo. Testes de múltipla escolha captam conhecimento, mas raramente mostram como estudantes coordenam níveis ou avaliam evidência. Rubricas precisam apresentar critérios e confiabilidade. Dados de plataforma registram ações, não necessariamente intenções. Entrevistas e produções abertas ajudam a interpretar, mas exigem procedimentos analíticos transparentes. A triangulação reduz inferências indevidas.

O efeito da novidade precisa ser controlado. Ambientes imersivos podem aumentar atenção nas primeiras sessões; esse entusiasmo pode diminuir. Estudos de uma aula confundem novidade com valor duradouro. Intervenções longitudinais devem observar se estudantes desenvolvem estratégias progressivamente autônomas, se professores conseguem manter uso e se custos permanecem justificáveis.

Comparadores ativos são fundamentais. Confrontar laboratório virtual apenas com exposição avalia tecnologia e pedagogia simultaneamente. Comparar investigação virtual, investigação presencial e combinação ajuda a identificar contribuição específica. Quando todos os grupos recebem tempo, feedback e problemas equivalentes, diferenças podem ser atribuídas com maior segurança às affordances.

Contexto determina transferibilidade. Resultados universitários não podem ser aplicados diretamente à educação básica; escolas variam em currículo, dispositivo e formação. Ainda assim, estudos superiores informam mecanismos, como presença, acessibilidade e preparação. A revisão preserva essa distinção e recomenda pesquisa situada em redes públicas, com descrição de condições.

A agenda conceitual deve investigar não apenas se estudantes aprendem, mas como conectam observação, modelo e símbolo durante a atividade. Métodos podem rastrear gestos, fala, registros e mudanças de representação. Esse foco processual ajuda a projetar feedback no momento em que uma conexão falha e torna a pesquisa relevante para o planejamento docente.

Metodologia

A pesquisa configura-se como revisão integrativa qualitativa, adequada à reunião de revisões sistemáticas, estudos empíricos e documentos institucionais. O percurso foi orientado pelos princípios de transparência do PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021), sem reivindicar exaustividade de meta-análise. A pergunta combinou população (educação básica), intervenção (laboratórios virtuais e experimentação investigativa) e resultados (pensamento científico, representações e aprendizagem conceitual).

As buscas foram realizadas em agosto de 2026 nos portais ERIC, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis, ACS Publications, PubMed/PMC, MDPI, DOAJ e Google Scholar, além de repositórios institucionais. Usaram-se combinações de “virtual laboratory”, “virtual chemistry laboratory”, “chemistry education”, “inquiry-based learning”, “scientific thinking”,

“science process skills”, “multiple representations”, “secondary education”, “virtual reality” e “simulation”, com equivalentes em português.

Foram incluídos trabalhos publicados entre janeiro de 2021 e agosto de 2026, com registro funcional na internet e relação substantiva com educação química, laboratórios virtuais, investigação, representação ou implementação de tecnologia educacional. Excluíram-se textos anteriores ao recorte, páginas comerciais, estudos exclusivamente industriais, duplicatas e registros sem metadados verificáveis. Estudos de ensino superior foram mantidos apenas quando ofereciam evidência diretamente relevante sobre mecanismos, formação docente ou desenho de laboratórios químicos.

A seleção final reuniu 29 referências. Para cada item foram conferidos autoria, título, ano, periódico ou instituição, volume, páginas ou identificador de artigo, DOI e URL. DOI foi registrado somente quando confirmado em página editorial, indexador acadêmico ou repositório institucional. Os estudos foram classificados por modalidade tecnológica, nível, conteúdo, abordagem pedagógica, desenho, resultados, limitações e implicações.

A análise temática combinou categorias dedutivas — pensamento científico, representações e aprendizagem — com categorias emergentes: complementaridade, feedback, controle de variáveis, habilidades práticas, mediação, avaliação, equidade e sustentabilidade. Revisões e meta-análises sustentaram afirmações gerais; estudos empíricos ilustraram mecanismos e tensões; documentos institucionais fundamentaram governança. Resultados foram interpretados considerando amostra, duração e tipo de comparador.

Para aumentar a consistência, adotou-se hierarquia de evidências. Revisões com critérios explícitos receberam maior peso em afirmações de tendência; estudos quase-experimentais sustentaram resultados locais, sem extrapolação automática; estudos qualitativos contribuíram para compreender experiências; documentos institucionais foram utilizados somente em questões de política e equidade. Divergências foram preservadas na síntese, em vez de resolvidas por contagem simples de resultados positivos.

A extração distinguiu resultado autorrelatado de desempenho observado. Motivação, presença e satisfação foram classificadas como dimensões afetivas; testes como evidências cognitivas; execução de procedimentos como evidência prática; hipóteses, planos, dados e argumentos como evidência epistêmica. Essa separação evita interpretar atitude favorável como aprendizagem ou sucesso conceitual como domínio instrumental.

A qualidade de uma inferência foi avaliada à luz do comparador. Vantagem sobre aula expositiva não implica vantagem sobre investigação presencial ou outra tecnologia ativa. Também se observou se a intervenção acrescentava tempo ou suporte ao grupo experimental, pois efeitos podem decorrer da intensidade pedagógica. Essas precauções orientaram uma síntese crítica, não promocional.

As limitações incluem ausência de busca em todas as bases por assinatura, diversidade terminológica e forte concentração internacional. O recorte recente exclui fundamentos clássicos, discutidos por meio de sínteses contemporâneas. A heterogeneidade não permite combinar efeitos quantitativamente. Por isso, as conclusões são condicionais e não atribuem superioridade universal a uma modalidade.

Resultados e discussão

A síntese produziu quatro achados. Primeiro, laboratórios virtuais favorecem aprendizagem conceitual sobretudo quando oferecem interatividade, feedback e representações coordenadas, superando com frequência mídias passivas. Segundo, sua

contribuição às práticas científicas depende de tarefas investigativas; manipulação livre não garante controle de variáveis, análise ou argumentação. Terceiro, combinações real-virtual tendem a ser mais produtivas que substituição integral, embora a sequência deva ser definida pela função pedagógica. Quarto, evidências sobre habilidades materiais, transferência e efeitos de longo prazo permanecem insuficientes.

O primeiro achado converge com Chan et al. (2021), Peechapol (2021), Putri e Kurniawati (2021) e Castro (2025). A possibilidade de variar parâmetros, repetir e receber retorno apoia identificação de relações. Contudo, ganhos são maiores quando o estudante antecipa o efeito, interpreta o resultado e explica o modelo. Simulação usada como demonstração animada preserva passividade.

A articulação representacional aparece como mecanismo específico da Química. Visualizar simultaneamente fenômeno, partículas e símbolos pode reduzir fragmentação, mas exige sinalização e produção ativa. O professor deve pedir traduções entre níveis e discutir convenções. O sucesso em manipular interface não prova compreensão. Tarefas de transferência, em que nova situação exige escolher representação, são evidências mais fortes.

O segundo achado mostra que a investigação precisa estar no roteiro. Trijayanti, Aznam e Haryuniati (2021) e Jegstad (2024) reforçam análise de dados e dimensões epistêmicas. Um ciclo recomendado contém problema, hipótese, plano, previsão, teste, registro, argumento e revisão. O sistema pode registrar ações, mas a explicação precisa ser produzida e discutida.

O terceiro achado é sustentado por Wörner, Kuhn e Scheiter (2022): combinações apresentam efeitos sinérgicos, sem sequência invariavelmente melhor. Para conteúdos em que familiarização e segurança são centrais, virtual antes do real é plausível. Quando a experiência concreta ativa conhecimento cotidiano, o real pode anteceder o modelo virtual. Em ambos, a transição deve ser explicitada por perguntas que conectem experiências.

Uma sequência para titulação pode iniciar com problema contextualizado e simulação para explorar concentração, volume e indicador. Estudantes formulam previsão, testam combinações e constroem relação estequiométrica. Em seguida, realizam titulação física, registrando leitura, incerteza e segurança. Finalmente comparam dados, explicam diferenças e avaliam fontes de erro. O virtual cumpre função conceitual e preparatória; o real, função material e metrológica.

Para cinética, o virtual permite grande espaço de parâmetros; o real oferece fenômenos e limitações de medição. Grupos podem construir modelos concorrentes, escolher testes e argumentar. Para ligações e interações, ambientes tridimensionais auxiliam visualização, mas modelos devem ser contrastados com propriedades observáveis e linguagem simbólica. A integração evita reduzir Química a imagens moleculares.

O quarto achado recomenda prudência. Estudos frequentemente têm amostras pequenas, intervenções curtas e instrumentos de percepção. Reeves et al. (2021) mostram variedade de experiências; Alhashem e Alfailakawi (2023) não encontraram diferença técnica. Estudos devem acompanhar retenção, transferência, habilidades procedurais e participação, com comparadores ativos e descrição detalhada.

A equidade altera a interpretação de eficácia. Uma solução que exige headset individual pode ser inviável, enquanto simulação web leve pode alcançar mais estudantes. Estações — planejamento, simulação, experimento, análise — permitem uso de poucos dispositivos e mantêm todos cognitivamente ativos. Papéis rotativos evitam concentração do controle.

A síntese também mostrou que “aprendizagem conceitual” é frequentemente medida como ganho imediato. Poucos estudos examinam retenção ou capacidade de explicar com representações diferentes. Essa limitação é decisiva: familiaridade com a interface pode melhorar respostas semelhantes à atividade sem produzir conhecimento transferível. Estudos futuros devem incluir testes retardados, problemas novos e explicações abertas.

No domínio das práticas científicas, controlar variáveis aparece mais frequentemente que avaliar modelos e incertezas. Ambientes virtuais facilitam o primeiro porque parâmetros são explícitos, mas podem ocultar o segundo ao produzir dados limpos. O desenho deve introduzir variação ou comparar dados reais, pedindo que estudantes discutam precisão e simplificações. Sem isso, cria-se uma imagem excessivamente determinística da Química.

A dimensão social permanece subavaliada. Investigações científicas envolvem divisão de trabalho, crítica e negociação. Plataformas individuais podem isolar, enquanto trabalho em grupo sem estrutura pode esconder participação desigual. Registros de fala, decisões e autoria são necessários para compreender quem aprende e quem apenas observa. Avaliações agregadas do grupo não respondem a essa questão.

Finalmente, o resultado mais importante não é escolher entre real e virtual, mas construir continuidade. O virtual pode gerar hipótese para prática real; o real pode produzir anomalia investigada virtualmente; ambos podem alimentar modelo e argumento. A transição é o lugar pedagógico em que observação, representação e explicação se encontram. Sem uma tarefa de ligação, as experiências permanecem paralelas e seu potencial sinérgico se perde.

Propõem-se dez princípios: começar pelo objetivo químico; atribuir função explícita ao virtual; formular problema investigável; coordenar representações; exigir previsões; controlar variáveis; documentar erros; combinar evidências; planejar acessibilidade; e avaliar sustentabilidade. Eles deslocam o foco de adquirir plataforma para construir um sistema didático.

A avaliação pode usar rubrica com compreensão do problema, coerência da hipótese, qualidade do plano, controle de variáveis, tratamento de dados, integração representacional, justificativa, revisão e segurança. Produto e processo devem ser combinados com uma tarefa individual. Dados de clique só têm sentido quando relacionados a decisões e produções.

Assim, a contribuição do laboratório virtual é mediada. Ele não “ensina” por realismo ou novidade; cria um espaço de ação representada. A aprendizagem emerge quando esse espaço é articulado a linguagem, critérios de evidência, interação social e institucionalização. A tecnologia é condição de possibilidade, não causa suficiente.

Considerações finais

O artigo analisou como laboratórios virtuais integrados à experimentação investigativa podem contribuir para pensamento científico, representações e aprendizagem conceitual. Evidências recentes sustentam benefícios cognitivos, afetivos e de acesso, especialmente em comparação com ensino passivo. A possibilidade de repetir, controlar variáveis e visualizar entidades favorece relações que seriam difíceis no tempo escolar.

Esses benefícios não equivalem à substituição do laboratório físico. Habilidades instrumentais, materialidade, incerteza, segurança e responsabilidade com resíduos exigem experiências reais. O modelo mais robusto é híbrido: cada ambiente cumpre função e as transições são planejadas. Não há sequência universal; há alinhamento entre objetivo, conhecimento prévio e affordance.

A experimentação investigativa é o mecanismo que converte interação em pensamento científico. Hipóteses, dados e argumentos precisam ser produzidos pelos estudantes. A coordenação entre níveis macroscópico, submicroscópico e simbólico precisa ser ensinada; animação não é observação direta do molecular. Avaliação deve triangular produtos, processos e transferência.

Para professores, recomenda-se iniciar pelo objetivo curricular, selecionar tecnologia acessível, usar previsão e explicação, documentar depuração, combinar práticas, estruturar colaboração e institucionalizar conceitos. Para escolas, são necessárias formação, suporte, governança de dados, manutenção e avaliação continuada.

A agenda inclui estudos longitudinais, comparadores ativos, instrumentos validados e maior produção em escolas públicas brasileiras. É necessário investigar habilidades práticas, participação de estudantes com deficiência, custos e modelos de formação. Laboratórios virtuais serão relevantes quando ampliarem o direito de investigar e explicar fenômenos químicos, e não quando apenas reproduzirem digitalmente um roteiro.

Referências

ALI, Numan; ULLAH, Sehat; KHAN, Dawar. Interactive laboratories for science education: a subjective study and systematic literature review. Multimodal Technologies and Interaction, v. 6, n. 10, art. 85, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/mti6100085. Disponível em: https://www.mdpi.com/2414-4088/6/10/85. Acesso em: 20 ago. 2026.

ALHASHEM, Fatimah; ALFAILAKAWI, Abdullah. Technology-enhanced learning through virtual laboratories in chemistry education. Contemporary Educational Technology, v. 15, n. 4, ep474, 2023. DOI: https://doi.org/10.30935/cedtech/13739. Disponível em: https://cedtech.net/article/technology-enhanced-learning-through-virtual-laboratories-in-chemistry-education-13739. Acesso em: 20 ago. 2026.

AL-SHAHRANI, Eman Khaled Abdullah; AHMED, Hala Ibrahim Hassan. The effect of a proposed program based on virtual laboratories applications in the developing laboratory skills of chemistry for second secondary students in Bisha. Humanities and Educational Sciences Journal, n. 24, p. 154-183, 2022. DOI: https://doi.org/10.55074/hesj.v0i24.509. Disponível em: https://hesj.org/ojs/index.php/hesj/en/article/view/509. Acesso em: 20 ago. 2026.

CAMPOS MERA, Gabriela; BENARROCH BENARROCH, Alicia. Laboratorios virtuales para la enseñanza de las ciencias: una revisión sistemática. Enseñanza de las Ciencias, v. 42, n. 2, 2024. Disponível em: https://ensciencias.uab.cat/article/view/v42-n2-campos-benarroch. Acesso em: 20 ago. 2026.

CASTRO, Richelle. The effects of chemistry virtual laboratories in academic achievement of secondary level learners: a meta-analysis. Integrated Science Education Journal, v. 6, n. 1, 2025. DOI: https://doi.org/10.37251/isej.v6i1.1379. Disponível em: https://cahaya-ic.com/index.php/ISEJ/article/view/1379. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHAN, Philippe; VAN GERVEN, Tom; DUBOIS, Jean-Luc; BERNAERTS, Kristel. Virtual chemical laboratories: a systematic literature review of research, technologies and instructional design. Computers and Education Open, v. 2, art. 100053, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100053. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666557321000240. Acesso em: 20 ago. 2026.

DWININGSIH, Kusumawati; MANGENGKE, Bintang Benarivo. Pembelajaran kimia berbasis kooperatif Think Pair Share dengan berbantuan virtual laboratorium untuk meningkatkan hasil belajar siswa. Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia, v. 15, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.15294/jipk.v15i1.21595. Disponível em: https://journal.unnes.ac.id/nju/JIPK/article/view/21595. Acesso em: 20 ago. 2026.

GURULOO, Thelugu Novah Mary; OSMAN, Kamisah. Integrating virtual reality laboratories in chemistry education: a systematic literature review. International Journal of Education, v. 15, n. 4, 2024. DOI: https://doi.org/10.5296/ije.v15i4.21372. Disponível em: https://macrojournal.org/index.php/ije/article/view/1111. Acesso em: 20 ago. 2026.

HERODOTOU, Christothea et al. Learning analytics in virtual laboratories: a systematic literature review of empirical research. Smart Learning Environments, v. 10, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40561-023-00244-y. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/s40561-023-00244-y. Acesso em: 20 ago. 2026.

JEGSTAD, Kirsti Marie. Inquiry-based chemistry education: a systematic review. Studies in Science Education, v. 60, n. 2, p. 251-313, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/03057267.2023.2248436. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03057267.2023.2248436. Acesso em: 20 ago. 2026.

LUO, Heng et al. Virtual reality in K-12 and higher education: a systematic review of the literature from 2000 to 2019. Journal of Computer Assisted Learning, v. 37, 2021. DOI: https://doi.org/10.1111/jcal.12538. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12538. Acesso em: 20 ago. 2026.

MERONDA, Devi Apriana; WIDARTI, Hayuni Retno; YAHMIN. Virtual laboratories in science education: a systematic review of effectiveness on conceptual understanding and learning outcomes. Jurnal Pendidikan MIPA, v. 26, n. 3, p. 2020-2042, 2025. DOI: https://doi.org/10.23960/jpmipa.v26i3.pp2020-2042. Disponível em: https://jpmipa.fkip.unila.ac.id/index.php/jpmipa/article/view/837. Acesso em: 20 ago. 2026.

NKANYANI, Tebogo E. Virtual laboratories in chemistry education: a systematic review of primary and secondary schools. International Journal of Educational Sciences, v. 52, n. 2, p. 68-85, 2026. DOI: https://doi.org/10.31901/24566322.2026/52.02.1418. Disponível em: https://repository.up.ac.za/items/f5693be7-f50b-4fb1-a589-53c0c94b67e0. Acesso em: 20 ago. 2026.

OECD. OECD Digital Education Outlook 2023: towards an effective digital education ecosystem. Paris: OECD Publishing, 2023. DOI: https://doi.org/10.1787/c74f03de-en. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2023_c74f03de-en.html. Acesso em: 20 ago. 2026.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Disponível em: https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71. Acesso em: 20 ago. 2026.

PEECHAPOL, Chattavut. Investigating the effect of virtual laboratory simulation in chemistry on learning achievement, self-efficacy, and learning experience. International Journal of Emerging Technologies in Learning, v. 16, n. 20, p. 196-207, 2021. DOI: https://doi.org/10.3991/ijet.v16i20.23561. Disponível em: https://online-journals.org/index.php/i-jet/article/view/23561. Acesso em: 20 ago. 2026.

PURWANDARI, Intan Diah; RAHAYU, Sri; DASNA, I Wayan. Inquiry learning model in chemistry education: a systematic literature review. Jurnal Pendidikan MIPA, v. 23, n. 2, p. 681-691, 2022. DOI: https://doi.org/10.23960/jpmipa/v23i2.pp681-691. Disponível em: https://jpmipa.fkip.unila.ac.id/index.php/jpmipa/article/view/527. Acesso em: 20 ago. 2026.

PUTRI, Zera Seftiami; KURNIAWATI, Yenni. The effectiveness of learning using virtual laboratory toward student critical thinking ability on acid-base titration lesson. Journal of the Indonesian Society of Integrated Chemistry, v. 13, n. 1, p. 14-20, 2021. DOI: https://doi.org/10.22437/jisic.v13i1.12670. Disponível em: https://online-journal.unja.ac.id/jisic/article/view/12670. Acesso em: 20 ago. 2026.

RADHAMANI, Rakhi et al. What virtual laboratory usage tells us about laboratory skill education pre- and post-COVID-19. Education and Information Technologies, v. 26, p. 7477-7495, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-021-10583-3. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8188155/. Acesso em: 20 ago. 2026.

RAHMAN, Hameedur et al. Game-based learning in metaverse: virtual chemistry classroom for chemical bonding for remote education. Education and Information Technologies, v. 29, p. 19595-19619, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-024-12575-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-024-12575-5. Acesso em: 20 ago. 2026.

REEVES, Shalaunda M.; CRIPPEN, Kent J.; MCCRAY, Erica D. et al. The varied experience of undergraduate students learning chemistry in virtual reality laboratories. Computers & Education, v. 175, art. 104320, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104320. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360131521001974. Acesso em: 20 ago. 2026.

SARITAŞ, Davut; ÖZCAN, Hasan; ADÚRIZ-BRAVO, Agustín. Observation and inference in chemistry teaching: a model-based approach to the integration of the macro and submicro levels. Science & Education, v. 30, p. 1289-1314, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11191-021-00216-z. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11191-021-00216-z. Acesso em: 20 ago. 2026.

SURYATI, Suryati et al. Integrating constructivist and inquiry based learning in chemistry education: a systematic review. Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia, v. 12, n. 5, p. 1166-1188, 2024. DOI:

https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i5.13571. Disponível em: https://ojspanel.undikma.ac.id/index.php/hydrogen/article/view/13571. Acesso em: 20 ago. 2026.

TRIJAYANTI, P.; AZNAM, Nurfina; HARYUNIATI, Krisma. Virtual laboratory based on discovery learning to train an analyzing-interpreting data: a systematic review. In: ASIA-PACIFIC EDUCATION AND SCIENCE CONFERENCE, 6., 2020. Proceedings [...]. EAI, 2021. DOI: https://doi.org/10.4108/eai.19-12-2020.2309155. Disponível em: https://eudl.eu/doi/10.4108/eai.19-12-2020.2309155. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. Global education monitoring report 2023: technology in education: a tool on whose terms? Paris: UNESCO, 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723. Acesso em: 20 ago. 2026.

VUORIKARI, Riina; KLUZER, Stefano; PUNIE, Yves. DigComp 2.2: the Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. DOI: https://doi.org/10.2760/115376. Disponível em: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/50c53c01-abeb-11ec-83e1-01aa75ed71a1. Acesso em: 20 ago. 2026.

WÖRNER, Salome; KUHN, Jochen; SCHEITER, Katharina. The best of two worlds: a systematic review on combining real and virtual experiments in science education. Review of Educational Research, v. 92, n. 6, p. 911-952, 2022. DOI: https://doi.org/10.3102/00346543221079417. Disponível em: https://journals.sagepub.com/doi/10.3102/00346543221079417. Acesso em: 20 ago. 2026.

ZHANG, Xinyu; AL-MEKHLED, Dawoud; CHOATE, Julia. Are virtual physiology laboratories effective for student learning? A systematic review. Advances in Physiology Education, v. 45, n. 3, p. 467-480, 2021. DOI: https://doi.org/10.1152/advan.00016.2021. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8238440/. Acesso em: 20 ago. 2026.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

MODELAGEM MATEMÁTICA COMO METODOLOGIA INVESTIGATIVA NA EDUCAÇÃO BÁSICA: CONTRIBUIÇÕES PARA A APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA, O RACIOCÍNIO MATEMÁTICO, A INTERDISCIPLINARIDADE E A RESOLUÇÃO CRÍTICA DE PROBLEMAS DO COTIDIANO

Glediston de Aquino Gonçalves[5]

Resumo

A modelagem matemática pode reorganizar o ensino ao colocar estudantes diante de situações que exigem problematização, coleta de dados, formulação de hipóteses, matematização, interpretação e validação. Este artigo objetiva analisar suas contribuições, como metodologia investigativa, para a aprendizagem significativa, o raciocínio matemático, a autonomia, a interdisciplinaridade e a resolução crítica de problemas na Educação Básica. Desenvolveu-se pesquisa bibliográfica qualitativa, exploratório-descritiva, configurada como revisão integrativa de publicações entre 2020 e 2026. Foram selecionados estudos científicos e livros acadêmicos com metadados verificáveis e DOI ou página oficial. Os resultados indicam que a modelagem favorece múltiplas representações, argumentação, criatividade, articulação entre Matemática e Ciências e leitura quantitativa de questões sociais. Seus benefícios, contudo, não decorrem da simples presença de temas cotidianos: exigem participação discente nas decisões, centralidade do conhecimento matemático, validação, mediação docente e avaliação processual. Dificuldades incluem resistência a problemas abertos, transição entre realidade e linguagem matemática, tempo curricular e formação do professor. Conclui-se que a abordagem é mais consistente quando combina autenticidade, abertura controlada, rigor matemático e reflexão crítica sobre limites e consequências dos modelos.

Palavras-chave: modelagem matemática; Educação Básica; raciocínio matemático; interdisciplinaridade; resolução de problemas.

Abstract

Mathematical modelling can reorganize teaching by placing students in situations that require problem formulation, data collection, assumptions, mathematization, interpretation, and validation. This article analyzes its contributions, as an investigative methodology, to meaningful learning, mathematical reasoning, autonomy, interdisciplinarity, and critical real-world problem solving in K-12 education. A qualitative, exploratory-descriptive bibliographic study was conducted as an integrative review of publications from 2020 to 2026. Scientific studies and academic books with verifiable metadata and DOI or official pages were selected. Findings indicate that modelling supports multiple representations, argumentation, creativity, links between mathematics and science, and quantitative interpretations of social issues. Benefits, however, do not result from merely using everyday themes: they require student participation in decisions, mathematical centrality, validation, teacher mediation, and process-based assessment. Challenges include resistance to open problems, transitions between reality and mathematical language, curricular time, and teacher preparation. The approach is most consistent when it combines authenticity, controlled openness, mathematical rigor, and critical reflection on the limits and consequences of models.

Keywords: mathematical modelling; K-12 education; mathematical reasoning; interdisciplinarity; problem solving.

[5] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

O ensino de Matemática na Educação Básica convive com uma tensão persistente entre a necessidade de desenvolver conhecimentos conceituais e procedimentais e o propósito de formar sujeitos capazes de mobilizá-los em situações que não se apresentam previamente organizadas. Em práticas centradas na exposição, na repetição e em exercícios com solução única, os estudantes podem aprender algoritmos sem compreender quando, por que e sob quais condições utilizá-los. A modelagem matemática oferece uma alternativa para enfrentar essa fragmentação, pois parte de situações reais ou plausíveis, exige seleção de informações, formulação de hipóteses, identificação de variáveis, construção de representações e avaliação da adequação dos resultados. Nessa perspectiva, a Matemática deixa de ser apresentada apenas como conjunto de técnicas prontas e passa a funcionar como linguagem para investigar fenômenos, sustentar decisões e comunicar interpretações.

A modelagem não se confunde com acrescentar uma narrativa cotidiana a um exercício convencional. Problemas escolares tradicionais costumam fornecer todos os dados necessários, indicar implicitamente a operação e admitir um resultado previamente esperado. Em uma atividade genuína de modelagem, a situação pode conter informações excedentes ou insuficientes, e os estudantes precisam decidir o que considerar, quais simplificações aceitar e como obter dados. O modelo construído não reproduz integralmente a realidade; constitui uma representação orientada por objetivos, cuja utilidade depende das hipóteses assumidas. Por isso, diferentes grupos podem propor modelos distintos e ainda assim defensáveis, desde que expliquem seus critérios e reconheçam limites (NISS; BLUM, 2020; HARTMANN; KRAWITZ; SCHUKAJLOW, 2021).

A relevância pedagógica dessa abordagem decorre justamente do caráter investigativo. Ao analisar consumo de água, mobilidade, alimentação, resíduos, inflação, esportes, propagação de doenças ou mudanças ambientais, os estudantes precisam articular conteúdos matemáticos com informações científicas, sociais, econômicas e culturais. A atividade favorece leitura e produção de gráficos, proporcionalidade, funções, geometria, estatística, medidas e pensamento algébrico sem apresentar essas ideias como blocos isolados. Pesquisas com estudantes de diferentes idades mostram possibilidades de mobilização de conhecimentos prévios, argumentação, representação e interpretação crítica, inclusive nos anos iniciais e na Educação Infantil (ENGLISH, 2022; SILVA; VERONEZ, 2024; TEODORO; ROSSI; ZAMPIROLLI, 2024).

Entretanto, a adoção da modelagem envolve dificuldades reais. Estudantes pouco habituados a problemas abertos podem resistir à ausência de um procedimento indicado, ter dificuldade para formular perguntas e confundir resultado numérico com resposta ao problema. Professores podem sentir insegurança em relação ao tempo, ao currículo, à avaliação e às intervenções adequadas. A literatura também alerta que atividades supostamente interdisciplinares podem reduzir a Matemática a cálculos periféricos ou utilizar um contexto apenas como motivação inicial. A qualidade da modelagem depende, portanto, de planejamento, mediação, espaço para autonomia e validação do modelo (WEI; ZHANG; GUO, 2022; TASARIB; ROSLI; RAMBELY, 2025).

O tema adquire importância adicional diante de desafios contemporâneos que envolvem dados, projeções e decisões coletivas. Modelos matemáticos participam de políticas públicas, previsões climáticas, avaliações de risco, sistemas de crédito e comunicação de indicadores. Compreender que todo modelo seleciona variáveis, simplifica relações e produz incerteza é parte da formação para a cidadania. Geiger, Gal e Graven (2023) defendem a articulação entre Educação Matemática e cidadania informada, responsável e crítica. Maass et al. (2023) demonstram que tarefas sobre questões sociocientíficas podem ser analisadas não apenas pela

correção matemática, mas também pela autenticidade, abertura e capacidade de sustentar posicionamentos.

Este artigo objetiva analisar as contribuições da modelagem matemática, compreendida como metodologia investigativa, para a aprendizagem significativa, o desenvolvimento do raciocínio, a interdisciplinaridade, a autonomia e a resolução crítica de problemas na Educação Básica. Especificamente, busca-se: discutir conceitos e etapas do processo de modelagem; distinguir modelagem, contextualização, resolução de problemas e investigação; examinar contribuições cognitivas, sociais e formativas; analisar o papel docente, as tecnologias e a avaliação; identificar obstáculos de implementação; e sintetizar princípios para o planejamento de práticas consistentes.

A questão norteadora é: de que maneira a modelagem matemática, utilizada como metodologia investigativa, pode favorecer a aprendizagem significativa, o raciocínio matemático, a autonomia e a compreensão crítica de problemas reais por estudantes da Educação Básica? A hipótese interpretativa que orienta a revisão é que seus benefícios não resultam automaticamente do contexto escolhido. Eles emergem quando os estudantes participam efetivamente da problematização, da produção de dados, da matematização, da validação e da comunicação, enquanto o professor oferece suporte sem antecipar as decisões que constituem o núcleo intelectual da investigação.

Modelagem matemática na educação

A modelagem matemática pode ser entendida como o processo de utilizar conceitos, relações e representações matemáticas para compreender uma situação do mundo, responder a uma questão ou apoiar uma decisão. Niss e Blum (2020) ressaltam o movimento bidirecional entre realidade e Matemática: o problema é interpretado e estruturado; elementos relevantes são convertidos em linguagem matemática; o trabalho matemático produz resultados; e esses resultados retornam ao contexto para interpretação e validação. O valor educacional não reside apenas no modelo final, mas nas escolhas, justificativas e revisões realizadas durante o percurso.

Na escola, a modelagem assume caráter pedagógico e não pretende reproduzir integralmente a prática profissional de cientistas ou engenheiros. O professor seleciona condições de acesso, tempo e complexidade compatíveis com a turma, sem eliminar a abertura que torna a investigação autêntica. Uma atividade pode começar com um tema escolhido pelos estudantes ou com uma situação proposta pelo professor. Em ambos os casos, deve existir espaço real para formular perguntas, fazer suposições, escolher representações e avaliar resultados.

A revisão brasileira de Aguiar, Figueiredo e Sousa (2023) mostra diversidade nas atividades destinadas à Educação Básica e destaca que produtos educacionais podem aproximar pesquisa e prática. O mapeamento de Silva, Ferreira e Silva (2026) também evidencia articulações recentes entre modelagem e orientações curriculares. Estudos internacionais igualmente descrevem a modelagem como ponte entre conhecimento matemático e aplicações, embora alertem para a pluralidade de concepções (GREEFRATH; CARREIRA; STILLMAN, 2023). Essa pluralidade não é um problema em si, mas exige que o professor defina o que pretende desenvolver: aplicação de um conceito, competência global de modelagem, investigação interdisciplinar, pensamento crítico ou combinação desses objetivos.

Uma distinção fundamental separa modelo matemático e modelagem. Uma fórmula pronta, um gráfico ou uma simulação pode constituir um modelo, mas analisá-lo não significa necessariamente participar de sua construção. A modelagem envolve decisões sobre variáveis, relações, dados e critérios de adequação. Quando os estudantes apenas substituem valores em

uma expressão fornecida, realizam aplicação. Quando precisam decidir como representar o fenômeno e justificar o alcance da representação, realizam uma atividade de natureza modeladora.

Essa distinção permite compreender por que a modelagem contribui para aprendizagem significativa. Novos conhecimentos matemáticos são vinculados a experiências, perguntas e representações que possuem função na investigação. A aprendizagem não se torna significativa apenas porque o tema pertence ao cotidiano; ela se torna significativa quando os conceitos ajudam a explicar relações que o estudante reconhece como relevantes e quando podem ser reconstruídos em diferentes formas.

Etapas do processo de modelagem

O processo costuma ser descrito por ciclos, ainda que a atividade real não seja linear. Inicialmente, os estudantes compreendem a situação, formulam uma pergunta e delimitam o problema. Em seguida, estruturam e simplificam o fenômeno, identificando elementos relevantes e estabelecendo hipóteses. A matematização transforma relações do contexto em tabelas, diagramas, expressões, funções, medidas, algoritmos ou representações estatísticas. O trabalho intramatemático permite calcular, comparar e deduzir. Depois, os resultados são interpretados no contexto, validados e comunicados. Se houver inadequação, o ciclo é retomado.

A problematização é decisiva porque define o que será investigado. Perguntas muito fechadas podem reduzir a atividade a um exercício; perguntas excessivamente amplas podem inviabilizar o trabalho. Hartmann, Krawitz e Schukajlow (2021) analisam a possibilidade de estudantes formularem e resolverem os próprios problemas a partir de descrições de situações reais. Os resultados reforçam que formular problemas é uma competência que precisa de oportunidades e suporte, pois estudantes habituados a receber enunciados completos nem sempre reconhecem o que pode ser matematicamente investigado.

A coleta e a avaliação de dados conferem autenticidade. Os dados podem ser produzidos por medições, entrevistas, observações, bases abertas ou experimentos. Araki e Kato (2024) mostram que a experimentação didática em atividades de modelagem influencia os conhecimentos de Ciências e Matemática mobilizados por estudantes dos anos finais. Coletar dados não é uma etapa meramente operacional: exige discutir unidade, precisão, amostragem, variabilidade, fonte e possíveis erros.

A simplificação e a formulação de hipóteses frequentemente são as etapas mais difíceis. A realidade contém mais variáveis do que um modelo escolar pode comportar. Estimar o consumo de água de uma escola, por exemplo, exige decidir se dias letivos e não letivos serão separados, como tratar vazamentos e que período representa o padrão. Tais decisões não são falhas; são condições de construção. O estudante precisa aprender a tornar hipóteses explícitas para que o modelo possa ser criticado.

A validação distingue modelagem de uma sequência de cálculos. Validar significa confrontar resultados com dados, conhecimento do contexto, casos extremos ou outra representação. Um valor matematicamente correto pode ser impossível na realidade; uma função pode ajustar os dados observados e falhar em projeções. A validação introduz uma postura epistemológica importante: modelos são úteis dentro de condições e podem ser revisados diante de novas evidências.

A comunicação encerra provisoriamente o ciclo, mas também produz nova análise. Ao apresentar o modelo, os estudantes precisam explicar pergunta, dados, hipóteses, procedimentos, resultados, limitações e recomendações. As objeções dos colegas podem revelar

variáveis omitidas e suscitar uma segunda versão. Assim, a apresentação não deve ser reduzida à exibição do resultado; ela integra a construção coletiva de critérios de qualidade.

Modelagem, resolução de problemas e investigação

Modelagem, resolução de problemas e investigação compartilham participação ativa, mas possuem ênfases diferentes. A resolução de problemas pode ocorrer dentro da Matemática ou em contextos externos, desde que o método não esteja previamente disponível. A investigação enfatiza exploração, conjectura e produção de perguntas. A modelagem acrescenta a construção e avaliação de uma representação matemática de uma situação real. Uma mesma prática pode articular as três abordagens quando os estudantes formulam uma questão, enfrentam obstáculos e constroem um modelo para respondê-la.

A diferença entre exercício contextualizado e problema de modelagem pode ser observada pela distribuição das decisões. Se o enunciado fornece variáveis, dados, fórmula e caminho, quase todas as decisões já foram tomadas. Se os estudantes precisam decidir o que medir, como relacionar quantidades e como avaliar o resultado, existe atividade modeladora. Essa distribuição de decisões é também uma distribuição de responsabilidade cognitiva e explica por que a modelagem pode favorecer autonomia.

A autonomia, porém, não equivale a ausência de orientação. Pesquisas sobre ensino da modelagem mostram benefícios de suportes que ajudam a organizar o processo sem fornecer a solução. Almeida, Kowalek e Souza (2024) analisam um plano de resolução utilizado como andaime com estudantes do Ensino Médio e identificam apoio à organização, à análise de respostas parciais, à formalização da linguagem e à generalização. O suporte é produtivo quando torna visíveis perguntas do processo, mas deixa aos estudantes as decisões matemáticas.

A formulação de problemas pode ser desenvolvida gradualmente. O professor pode começar por tarefas em que a pergunta está definida, mas os dados e métodos são abertos; depois, apresentar situações com diferentes perguntas possíveis; finalmente, promover projetos em que a turma escolhe tema, questão e fontes. Ramos (2024) destaca a problematização nos anos iniciais, enquanto Souza e Malheiros (2024) mostram que estudantes do 6º ano podem perceber a investigação como desafiadora e manifestar preferência por aulas habituais. Esses resultados evidenciam a necessidade de progressão e continuidade, não de experiências isoladas.

A modelagem também amplia a noção de erro. Um erro algébrico requer correção, mas uma hipótese inadequada requer discussão sobre o contexto. Um modelo simplificado pode ser aceitável para determinada finalidade e insuficiente para outra. O professor passa a trabalhar com diferentes tipos de validade: correção matemática, coerência das hipóteses, qualidade dos dados, adequação da representação e utilidade da conclusão.

Aprendizagem, raciocínio, criatividade e autonomia

A revisão sistemática de Tasarib, Rosli e Rambely (2025) identifica impactos da modelagem sobre resolução de problemas, pensamento crítico, investigação, raciocínio, metacognição, representação e habilidades digitais. Esses efeitos são plausíveis porque as tarefas exigem articular conhecimentos em vez de reproduzir um procedimento. Entretanto, a própria revisão registra desafios na transição entre realidade e Matemática e na navegação de tarefas com múltiplas soluções. A modelagem oferece oportunidades; sua realização depende da qualidade da mediação e da experiência acumulada.

O raciocínio matemático é mobilizado quando estudantes relacionam quantidades, identificam padrões, generalizam e justificam. English (2022), em investigação com estudantes do quinto ano sobre fluxos de lava, observou produção de representações gráficas não formalmente ensinadas e uso de raciocínio quantitativo para prever tempos de evacuação. O caso mostra que uma situação interdisciplinar pode demandar ideias matemáticas que emergem como necessidade da análise, e não como aplicação posterior de conteúdo já explicado.

A criatividade aparece na diversidade de perguntas, hipóteses e representações. Lu e Kaiser (2022) analisam adequação, utilidade, fluência e originalidade em tarefas de modelagem e indicam que experiência prévia influencia o desempenho criativo. Criatividade matemática não é liberdade sem critérios; uma proposta original precisa ser útil e coerente. A modelagem cria um ambiente propício porque admite soluções diferentes e obriga a justificar por que um caminho representa adequadamente o fenômeno.

A aprendizagem significativa também depende da mobilização de conhecimentos anteriores. Silva e Veronez (2024), ao analisarem atividades no terceiro ano do Ensino Fundamental, identificam competências que se constituem ao longo da atividade, incluindo aplicação de experiências extraescolares, argumentação e interpretação crítica. Teodoro, Rossi e Zampirolli (2024) relatam manifestações matemáticas de crianças de cinco e seis anos por desenhos, gestos e narrativas. Tais estudos contestam a ideia de que modelagem só seria viável após domínio formal avançado.

A autonomia é desenvolvida quando o estudante assume progressivamente decisões e aprende a monitorá-las. O trabalho em grupos favorece confronto de ideias, distribuição de funções e negociação. No entanto, participação não deve ser presumida: alguns estudantes podem monopolizar cálculos, enquanto outros ficam restritos à pesquisa ou à apresentação. O professor precisa observar como as responsabilidades circulam e criar momentos em que todos expliquem o modelo.

A dimensão afetiva também importa. Problemas autênticos podem aumentar interesse, mas a abertura pode produzir ansiedade. Spooner (2024) mostra que estudantes percebem a modelagem como experiência de participação ativa que requer abertura mental. A segurança para propor hipóteses provisórias e revisar erros deve ser construída por normas de sala de aula em que a justificativa vale mais do que a rapidez.

Interdisciplinaridade, cidadania e sustentabilidade

A modelagem favorece interdisciplinaridade porque problemas reais não respeitam divisões curriculares. Investigar qualidade da água envolve medidas, estatística, química, biologia e políticas públicas; analisar mobilidade envolve distância, tempo, energia, geografia e desigualdade urbana. A Matemática fornece meios de quantificar e relacionar, enquanto outras áreas oferecem conceitos que tornam o modelo interpretável. A integração é consistente quando cada disciplina contribui epistemicamente, e não quando o contexto serve apenas como decoração.

Tytler et al. (2021) mostram que sequências interdisciplinares em Matemática e Ciências podem ser estruturadas por produção de representações e raciocínio baseado em modelos. Silva e Vertuan (2024) identificam aproximações entre modelagem e alfabetização científica na Educação Básica, ressaltando o potencial para pensar cientificamente. Araki e Kato (2024) evidenciam que experimentos orientam os objetos de conhecimento mobilizados. Esses resultados apoiam práticas nas quais dados e fenômenos geram necessidades matemáticas reais.

A relação com cidadania exige ir além de resolver problemas cotidianos individuais. Modelos são empregados para distribuir recursos, justificar políticas, comunicar riscos e definir prioridades. Geiger, Gal e Graven (2023) argumentam que a Educação Matemática pode contribuir para cidadania informada, responsável e crítica. Isso envolve interpretar produtos quantitativos, questionar pressupostos e considerar consequências sociais. A modelagem escolar pode tornar visível que números não falam sozinhos: escolhas de variável, escala e indicador influenciam conclusões.

Maass et al. (2023) utilizam a pandemia de COVID-19 para analisar tarefas de modelagem relacionadas à cidadania. Questões sociocientíficas oferecem autenticidade, mas precisam ser tratadas com fontes confiáveis, incerteza e sensibilidade ética. Em temas controversos, o professor não deve transformar a aula em disputa de opiniões sem evidência; deve estabelecer critérios de argumentação, diferenciar dado de interpretação e reconhecer limites dos modelos.

A sustentabilidade constitui campo fértil. Wiegand e Borromeo Ferri (2023) articulam modelagem, educação STEAM e desenvolvimento sustentável na formação docente. Consumo, resíduos, energia, biodiversidade e clima permitem explorar proporcionalidade, funções, geometria, estatística e otimização. Entretanto, atividades não devem induzir respostas morais pré-fixadas. Modelos podem comparar cenários e consequências, enquanto decisões finais também envolvem valores e interesses que a Matemática não resolve isoladamente.

A Educação do Campo oferece exemplo de contextualização culturalmente situada. Leite, Magnus e Silveira (2024) defendem que atividades sejam desenvolvidas na e da realidade campesina, contribuindo para leitura do mundo e formação emancipatória. Essa perspectiva aproxima-se da etnomodelagem discutida por Desai et al. (2022), evita importar problemas genéricos e valoriza conhecimentos, práticas produtivas e questões territoriais das comunidades. A modelagem passa a ser também espaço de diálogo entre saberes locais e escolares.

A cidadania crítica requer análise do alcance do modelo. Uma projeção de economia de água pode orientar uma campanha, mas precisa considerar custos, comportamentos e desigualdades. Um índice médio pode ocultar grupos. Comparar cenários, testar sensibilidade e discutir quem se beneficia de cada decisão são formas de conectar raciocínio matemático e responsabilidade social sem abandonar a precisão disciplinar.

Papel do professor, formação e avaliação

Na modelagem, o professor desloca-se de expositor exclusivo para organizador do ambiente investigativo, observador e formulador de intervenções. Isso não reduz sua responsabilidade; exige conhecimento para reconhecer ideias matemáticas emergentes, decidir quando intervir e conectar estratégias dos estudantes a conceitos curriculares. Silva, Cruz e Omodei (2024) identificam ações como partir do contexto dos alunos, permitir manipulação de dados, ouvir respostas e valorizar o trabalho em grupo.

Uma dificuldade central é equilibrar autonomia e orientação. Intervenção antecipada pode uniformizar estratégias; ausência de apoio pode provocar estagnação. Perguntas como “o que esta variável representa?”, “quais dados sustentam essa hipótese?” e “como vocês poderiam testar o resultado?” ajudam sem fornecer caminho. O plano de resolução analisado por Almeida, Kowalek e Souza (2024) exemplifica andaime metacognitivo. Suportes devem ser retirados gradualmente à medida que a turma desenvolve repertório.

A formação docente precisa incluir experiências como modelador e como professor de modelagem. Greefrath et al. (2022) mostram que o conhecimento pedagógico do conteúdo envolve compreender tarefas, dificuldades, intervenções e avaliação. Bonyah e Clark (2022) encontraram conhecimento limitado e erros conceituais entre futuros professores, evidenciando que familiaridade com Matemática não garante capacidade de ensinar modelagem. Resultados de Durandt, Blum e Lindl (2022) também indicam influência do desenho de ensino sobre competência e atitudes. Cursos de formação devem articular vivência, análise de produções, planejamento, implementação e reflexão.

A avaliação deve acompanhar processo e produto. Uma rubrica pode considerar: compreensão da situação; qualidade da pergunta; pertinência de dados e hipóteses; coerência da matematização; correção do trabalho matemático; interpretação; validação; comunicação; colaboração; e reflexão sobre limites. Os critérios precisam ser apresentados antes da atividade, mas sem prescrever uma solução. Hidayat et al. (2021) indicam diversidade de formas de medir competência de modelagem e a necessidade de capturar processos que avaliações holísticas podem ocultar.

Registros intermediários são essenciais. Caderno de investigação, planilha de dados, versões do modelo, diário de decisões e apresentação oral revelam raciocínio que o resultado final não mostra. A avaliação formativa permite oferecer devolutivas enquanto o modelo ainda pode ser revisado. Autoavaliação e avaliação por pares também contribuem, desde que baseadas em critérios e não apenas em preferência.

A gestão curricular pode combinar projetos longos e tarefas curtas. Nem toda atividade precisa começar com escolha livre de tema e coleta extensa. Uma sequência pode trabalhar separadamente interpretação, hipóteses, matematização e validação antes de integrá-las. Wei, Zhang e Guo (2022) observam que competências de modelagem podem ser ensinadas nos anos iniciais, mas demandam formação e estratégias adequadas. Sousa e Pfahl (2024) evidenciam a relevância de planejar procedimentos compatíveis com essa etapa. Continuidade ao longo dos anos é mais importante do que um projeto isolado.

Tecnologias digitais e exemplos de aplicação

Tecnologias digitais ampliam capacidade de coletar, organizar, visualizar e simular dados. Planilhas permitem testar parâmetros e comparar cenários; softwares de geometria dinâmica favorecem representações; ambientes de programação tornam regras executáveis; sensores produzem dados; e simulações permitem investigar fenômenos difíceis de reproduzir. A tecnologia deve servir ao raciocínio, não substituí-lo. Antes de usar uma ferramenta, é necessário definir o que os estudantes precisam compreender e quais decisões continuarão sob sua responsabilidade.

Sanjari e Manouchehri (2024) analisam a influência de simulações no processo de modelagem de estudantes do quinto ano e mostram que diferentes recursos alteram os percursos realizados no ciclo. Hankeln e Greefrath (2021) comparam suporte por plano de solução e software de geometria dinâmica, indicando que o desenho do apoio influencia competência. Greefrath e Siller (2024) ressaltam, em edição sobre modelagem com recursos digitais, que tecnologias oferecem oportunidades e riscos para a aprendizagem.

Um projeto sobre consumo de água pode começar com leitura do hidrômetro, estimativa por atividade, organização em planilha e comparação de cenários de redução. A turma precisa discutir variações diárias, vazamentos e unidade de medida. O modelo pode ser uma taxa média ou função por partes; sua validação ocorre pela comparação com novas leituras. O produto final pode apresentar recomendações acompanhadas de incerteza.

Em educação financeira, estudantes podem modelar orçamento, inflação, juros e custo total. A investigação deve evitar moralizar escolhas individuais e pode incluir renda, preços locais, publicidade e acesso a serviços. Em mobilidade, podem comparar trajetos considerando distância, tempo, custo, emissão e acessibilidade. Não existe necessariamente uma alternativa ótima universal; a escolha depende de critérios, o que permite discutir otimização multicritério.

Em saúde e alimentação, dados devem ser tratados com ética, evitando exposição individual e generalizações indevidas. A turma pode analisar rótulos, porções, preços e desperdício com dados anonimizados. Em meio ambiente, pode estimar geração de resíduos, área verde ou energia solar. Os temas são meios para desenvolver Matemática e capacidade crítica, não pretextos para campanhas desvinculadas de análise quantitativa.

A inteligência artificial generativa pode apoiar busca de hipóteses ou programação, mas suas respostas precisam ser verificadas e seu uso declarado. Em modelagem, há risco de a ferramenta antecipar decisões e reduzir o processo investigativo. Um uso mais produtivo é comparar uma proposta gerada com dados reais, identificar hipóteses ocultas ou analisar por que o modelo sugerido é inadequado. A autoria permanece com o grupo que seleciona, valida e comunica.

Metodologia

O estudo configura-se como pesquisa bibliográfica de abordagem qualitativa, caráter exploratório-descritivo e delineamento de revisão integrativa. Essa modalidade foi escolhida por permitir reunir revisões sistemáticas, pesquisas empíricas, estudos teóricos, livros acadêmicos e análises de práticas, compondo uma visão ampla das contribuições e limitações da modelagem matemática na Educação Básica. O percurso foi orientado por critérios de transparência, seleção e síntese compatíveis com Page et al. (2021) e Toronto e Remington (2020).

A busca bibliográfica foi realizada em agosto de 2026 e delimitada a publicações entre janeiro de 2020 e agosto de 2026. Foram consultados mecanismos de busca acadêmica e páginas oficiais de periódicos e editoras, incluindo SpringerLink, Taylor & Francis, MDPI, SciELO, portais de periódicos universitários brasileiros e registros DOI. Utilizaram-se combinações em português, inglês e espanhol dos termos “modelagem matemática”, “Educação Básica”, “educação matemática”, “raciocínio matemático”, “interdisciplinaridade”, “cidadania”, “sustentabilidade”, “mathematical modelling”, “mathematics education”, “primary education”, “secondary education”, “problem solving” e “critical citizenship”.

Os critérios de inclusão foram: publicação entre 2020 e 2026; relação direta com modelagem matemática na educação ou com dimensões indispensáveis ao recorte, como interdisciplinaridade, cidadania e formação docente; artigo revisado por pares, livro acadêmico ou capítulo publicado por editora reconhecida; autoria e metadados verificáveis; e DOI ou página oficial funcional. Priorizou-se a Educação Básica, mas foram incorporados estudos de formação docente e Ensino Superior quando ofereciam evidências sobre competência de modelagem, desenho didático ou conhecimento profissional aplicável à preparação de professores.

Foram excluídos textos anteriores a 2020, duplicatas, materiais sem autoria ou metadados confirmáveis, páginas opinativas, trabalhos nos quais “modelo” aparecia apenas como técnica estatística sem relação com ensino e estudos de aplicações matemáticas sem dimensão educacional. Fontes clássicas anteriores ao recorte foram compreendidas por meio de obras e revisões recentes, preservando a exigência de que todas as referências listadas se situassem entre 2020 e 2026. Cada item foi conferido individualmente em página do periódico, editora, repositório institucional ou resolvedor DOI.

A seleção final reuniu 34 referências. Após leitura dos resumos e, quando necessário, do texto integral, foram extraídas informações sobre nível educacional, participantes, concepção de modelagem, foco da atividade, contribuições, obstáculos, mediação, avaliação, tecnologia e implicações. Os achados foram organizados em seis categorias: fundamentos e ciclo de modelagem; resolução e investigação; aprendizagem, raciocínio, criatividade e autonomia; interdisciplinaridade, cidadania e sustentabilidade; papel docente e avaliação; e recursos digitais e aplicações.

A síntese adotou comparação interpretativa, buscando convergências e tensões. Afirmações sobre benefícios foram confrontadas com desafios relatados, evitando inferir causalidade a partir de estudos qualitativos ou intervenções localizadas. Estudos internacionais foram utilizados com cautela, considerando diferenças curriculares e culturais. Pesquisas brasileiras receberam atenção especial por tratarem diretamente de contextos escolares e formativos nacionais.

Como limitações, reconhecem-se a heterogeneidade conceitual do campo, a concentração de parte da literatura em relatos ou estudos de pequena escala e a ausência de meta-análise comparável. O recorte temporal exclui obras históricas fundamentais, embora seus conceitos sejam retomados por publicações recentes. A revisão não pretende esgotar a produção, mas construir uma síntese crítica, atual e verificável capaz de orientar pesquisa e prática.

Resultados e discussão

A análise revelou, em primeiro lugar, ampla convergência sobre o potencial da modelagem para aproximar conhecimentos matemáticos e situações reais, mas também mostrou que “contexto” e “modelagem” não são equivalentes. As contribuições mais consistentes aparecem quando estudantes tomam decisões sobre pergunta, dados, hipóteses, representação e validação. Atividades nas quais todas essas decisões estão predeterminadas podem ilustrar aplicações, porém oferecem menor oportunidade para desenvolver competência global de modelagem.

Em segundo lugar, evidências de diferentes níveis escolares indicam que a modelagem não deve ser reservada ao Ensino Médio. Estudos com Educação Infantil, terceiro, quinto e sexto anos mostram que crianças podem representar, comparar, estimar, argumentar e interpretar por meio de linguagem compatível com seu desenvolvimento (ENGLISH, 2022; SILVA; VERONEZ, 2024; SOUZA; MALHEIROS, 2024; TEODORO; ROSSI; ZAMPIROLLI, 2024). A complexidade deve estar na qualidade das decisões, não necessariamente no formalismo algébrico.

Em terceiro lugar, a interdisciplinaridade mostrou-se uma possibilidade forte, mas condicionada. Quando o problema exige conceitos científicos e raciocínio quantitativo de modo recíproco, as disciplinas se enriquecem. Quando a Matemática se reduz a calcular valores ao final de um projeto, perde-se a oportunidade formativa. O planejamento precisa identificar antecipadamente quais relações matemáticas podem emergir e quais conceitos de outras áreas são necessários para interpretar os dados.

Em quarto lugar, autonomia e criatividade dependem de uma cultura de sala de aula que aceite incerteza. A modelagem rompe com a expectativa de que todo problema possui um único procedimento. Isso pode aumentar participação, mas também provocar resistência. A experiência relatada por Souza e Malheiros (2024) mostra percepções distintas entre estudantes. A implementação deve ser gradual e recorrente, com suportes metacognitivos, critérios claros e momentos de socialização.

Em quinto lugar, a mediação docente apareceu como condição transversal. O professor precisa reconhecer quando uma dificuldade é produtiva e quando exige intervenção; ouvir estratégias; selecionar produções para discussão; e formalizar conhecimentos sem transformar a atividade em roteiro rígido. Pesquisas sobre formação mostram lacunas de conhecimento pedagógico e conceitual (BONYAH; CLARK, 2022; GREEFRATH et al., 2022). Portanto, recomendações de adoção precisam ser acompanhadas por formação baseada em prática.

Em sexto lugar, avaliação tradicional centrada no resultado é insuficiente. Modelos podem ser diferentes e depender de hipóteses. Avaliar apenas o número final invisibiliza compreensão, escolhas e validação. Uma avaliação coerente reúne registros, versões, apresentação e reflexão, combinando critérios matemáticos e contextuais. Isso não significa relativizar correção: cálculos e relações precisam ser válidos, mas a validade matemática é uma dimensão entre outras.

A relação com cidadania e sustentabilidade mostrou um potencial particularmente robusto. Questões contemporâneas permitem analisar indicadores, projeções e incerteza, tornando visível o poder e os limites da Matemática. Contudo, tarefas críticas não devem usar números apenas para confirmar uma conclusão moral escolhida previamente. A criticidade envolve testar argumentos, considerar alternativas, examinar quem produziu os dados e discutir consequências. Modelagem oferece estrutura para essa análise ao exigir explicitação de pressupostos.

Os recursos digitais ampliam exploração, principalmente quando permitem variar parâmetros e visualizar relações. Simulações, planilhas e geometria dinâmica podem reduzir carga operacional e favorecer comparação. Entretanto, ferramentas também podem ocultar procedimentos e induzir confiança em saídas. A discussão deve incluir como o recurso calcula, quais dados utiliza e em que domínio o modelo funciona. Tecnologia é parte do ambiente de modelagem, não critério automático de inovação.

As barreiras mais recorrentes foram tempo, pressão curricular, insegurança, resistência discente, dificuldade de formular problemas, coleta de dados e avaliação. Elas não anulam a abordagem, mas indicam que a implementação deve ser planejada em escalas. Tarefas curtas podem desenvolver subcompetências; projetos maiores podem integrá-las. Parcerias entre professores, materiais revisados e rotinas de reflexão reduzem o custo inicial.

Com base na síntese, uma prática robusta deve satisfazer quatro condições: autenticidade suficiente para exigir interpretação; centralidade matemática para que relações e representações sejam indispensáveis; abertura controlada para permitir decisões; e validação explícita para confrontar modelo e realidade. Se uma dessas condições desaparece, a atividade pode se transformar em exercício disfarçado, projeto temático sem Matemática ou exploração sem critérios.

O resultado geral confirma a hipótese do estudo: benefícios emergem da participação efetiva no processo, não da simples presença de um tema cotidiano. Modelagem matemática é metodologicamente potente porque reorganiza papéis, conteúdos e critérios de conhecimento. Sua contribuição mais profunda está em ensinar que usar Matemática implica escolher, justificar, interpretar e assumir responsabilidade pelas consequências de uma representação.

Conclusão

Este artigo analisou a modelagem matemática como metodologia investigativa e suas contribuições para aprendizagem significativa, raciocínio, autonomia, interdisciplinaridade e resolução crítica de problemas na Educação Básica. A literatura recente mostra que a abordagem pode mobilizar conceitos em situações autênticas, favorecer múltiplas representações, ampliar

argumentação e aproximar Matemática, Ciências e questões sociais. Também pode contribuir para compreender como modelos participam de decisões e, assim, para uma cidadania quantitativamente informada.

A principal conclusão é que modelagem não corresponde a contextualizar exercícios. Sua especificidade reside nas decisões assumidas pelos estudantes: formular questões, selecionar dados, explicitar hipóteses, construir relações, trabalhar matematicamente, interpretar, validar e comunicar. Quando essas decisões são retiradas, permanece uma aplicação; quando são sustentadas por mediação e critérios, constitui-se um ambiente de investigação.

O desenvolvimento do raciocínio ocorre porque os estudantes precisam transitar entre realidade e Matemática, justificar simplificações e avaliar resultados. A criatividade se manifesta na diversidade de modelos, sem dispensar adequação. A autonomia cresce de modo gradual, por meio de suportes que organizam o processo sem antecipar a solução. Aprendizagem significativa resulta do papel funcional dos conceitos na resposta a uma pergunta, não apenas da familiaridade do tema.

O professor continua central. Cabe-lhe criar condições, reconhecer ideias emergentes, dosar intervenção, institucionalizar conhecimentos e avaliar processos. Por isso, formação docente deve oferecer vivências de modelagem, análise de tarefas, observação de produções, implementação acompanhada e reflexão. Políticas que apenas prescrevem metodologias sem assegurar tempo, colaboração e formação tendem a produzir práticas superficiais.

Para a escola, recomenda-se iniciar com sequências progressivas, combinar tarefas curtas e projetos, explicitar critérios de avaliação, valorizar registros e socializar modelos. Temas devem ser escolhidos pela relevância para a comunidade e pelo potencial matemático. Dados precisam ter origem identificada, e aspectos éticos devem ser considerados. Tecnologias devem apoiar experimentação e visualização, mantendo visíveis hipóteses e critérios.

As limitações desta revisão incluem diversidade de concepções, estudos localizados e impossibilidade de comparar efeitos por uma métrica única. Pesquisas futuras devem acompanhar aprendizagens ao longo do tempo, investigar progressões de competência entre etapas escolares, analisar inclusão e participação nos grupos, comparar formas de suporte e ampliar estudos em escolas públicas de diferentes regiões.

Conclui-se que a modelagem matemática pode tornar a aula espaço de produção de conhecimento, no qual estudantes aprendem não apenas a operar símbolos, mas a interpretar fenômenos, construir representações, avaliar limites e comunicar decisões. Sob planejamento cuidadoso, mediação docente e continuidade curricular, constitui uma metodologia robusta para aproximar Matemática e realidade sem reduzir uma à outra e para formar estudantes capazes de usar conhecimentos quantitativos com autonomia, rigor e responsabilidade.

Referências

AGUIAR, G. N.; FIGUEIREDO, T. B.; SOUSA, B. N. P. A. Modelagem Matemática na Educação Básica: um estudo a partir dos produtos educacionais da região Sul do Brasil. Revista Brasileira de Educação em Ciências e Educação Matemática, v. 7, n. 3, 2023. DOI: https://doi.org/10.48075/ReBECEM.2023.v.7.n.3.31025. Acesso em: 20 ago. 2026.

ALMEIDA, L. M. W.; KOWALEK, R. M.; SOUZA, F. L. Suporte em atividades de modelagem matemática: olhar sobre um plano de resolução. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18447. Acesso em: 20 ago. 2026.

ARAKI, P. H. H.; KATO, L. A. A experimentação didática em atividades de modelagem matemática: implicações na mobilização de objetos de conhecimento. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18426. Acesso em: 20 ago. 2026.

BONYAH, E.; CLARK, L. J. Pre-service teachers' perceptions of and knowledge for mathematical modelling in Ghana. Contemporary Mathematics and Science Education, v. 3, n. 1, ep22011, 2022. DOI: https://doi.org/10.30935/conmaths/11932. Acesso em: 20 ago. 2026.

DESAI, S.; SAFI, F.; BUSH, S. B.; WILKERSON, T.; ANDREASEN, J.; OREY, D. C. Ethnomodeling: extending mathematical modeling research in teacher education. Investigations in Mathematics Learning, v. 14, n. 4, p. 305-319, 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/19477503.2022.2139092. Acesso em: 20 ago. 2026.

DURANDT, R.; BLUM, W.; LINDL, A. Fostering mathematical modelling competency of South African engineering students: which influence does the teaching design have? Educational Studies in Mathematics, v. 109, p. 361-381, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10649-021-10068-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

ENGLISH, L. D. Fifth-grade students' quantitative modeling in a STEM investigation. Journal for STEM Education Research, v. 5, p. 134-162, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s41979-022-00066-6. Acesso em: 20 ago. 2026.

GEIGER, V.; GAL, I.; GRAVEN, M. The connections between citizenship education and mathematics education. ZDM - Mathematics Education, v. 55, p. 923-940, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s11858-023-01521-3. Acesso em: 20 ago. 2026.

GREEFRATH, G.; CARREIRA, S.; STILLMAN, G. A. (ed.). Advancing and consolidating mathematical modelling: research from ICME-14. Cham: Springer, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-27115-1. Acesso em: 20 ago. 2026.

GREEFRATH, G.; SILLER, H.-S. Editorial: mathematical modelling through and with digital resources. Frontiers in Education, v. 9, 1382594, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1382594. Acesso em: 20 ago. 2026.

GREEFRATH, G.; SILLER, H.-S.; KLOCK, H.; WESS, R. Pre-service secondary teachers' pedagogical content knowledge for the teaching of mathematical modelling. Educational Studies in Mathematics, v. 109, p. 383-407, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10649-021-10038-z. Acesso em: 20 ago. 2026.

HANKELN, C.; GREEFRATH, G. Mathematische Modellierungskompetenz fördern durch Lösungsplan oder Dynamische Geometrie-Software? Journal für Mathematik-Didaktik, v. 42, p. 367-394, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s13138-020-00178-9. Acesso em: 20 ago. 2026.

HARTMANN, L. M.; KRAWITZ, J.; SCHUKAJLOW, S. Create your own problem! When given descriptions of real-world situations, do students pose and solve modelling problems? ZDM - Mathematics Education, v. 53, p. 919-935, 2021. DOI: https://doi.org/10.1007/s11858-021-01224-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

HIDAYAT, R.; ADNAN, M.; ABDULLAH, M. F. N. L.; SAFRUDIANNUR. Measurement of mathematical modeling in mathematics education context: a systematic literature review. Educational Studies: Conference Series, v. 1, n. 1, 2021. DOI: https://doi.org/10.30872/escs.v1i1.990. Acesso em: 20 ago. 2026.

LEITE, K. C.; MAGNUS, M. C. M.; SILVEIRA, E. Alguns modos de ver e conceber a modelagem matemática na/da educação do campo: implicações para a sala de aula. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18431. Acesso em: 20 ago. 2026.

LU, X.; KAISER, G. Can mathematical modelling work as a creativity-demanding activity? An empirical study in China. ZDM - Mathematics Education, v. 54, p. 67-81, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s11858-021-01316-4. Acesso em: 20 ago. 2026.

MAASS, K.; ZEHETMEIER, S.; WEIHBERGER, A.; FLÖSSER, K. Analysing mathematical modelling tasks in light of citizenship education using the COVID-19 pandemic as a case study. ZDM - Mathematics Education, v. 55, p. 133-145, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s11858-022-01440-9. Acesso em: 20 ago. 2026.

NISS, M.; BLUM, W. The learning and teaching of mathematical modelling. London: Routledge, 2020. DOI: https://doi.org/10.4324/9781315189314. Acesso em: 20 ago. 2026.

PAGE, M. J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em: 20 ago. 2026.

RAMOS, K. Considerações sobre a problematização na Modelagem Matemática nos anos iniciais. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, p. 100-116, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18417. Acesso em: 20 ago. 2026.

SANJARI, A.; MANOUCHEHRI, A. Interactive learning: unpacking the influence of computer simulations on students' mathematical modeling processes. Education Sciences, v. 14, n. 4, 397, 2024. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci14040397. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, H. M.; FERREIRA, R. A.; SILVA, L. D. Modelagem Matemática e BNCC: uma revisão sistemática de dissertações e teses (2018-2025). Revista Baiana de Educação Matemática, v. 7, n. 1, e202646, 2026. DOI: https://doi.org/10.47207/rbem.v7i1.27850. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, K. A. P.; CRUZ, J. P.; OMODEI, L. B. C. Ações docentes na implementação de práticas com modelagem matemática. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18441. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, L. G. P.; VERONEZ, M. R. D. Competências em modelagem matemática nos anos iniciais do ensino fundamental. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18436. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, S. R.; VERTUAN, R. E. Aspectos da articulação entre alfabetização científica e modelagem matemática na educação básica. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18425. Acesso em: 20 ago. 2026.

SOUSA, B. N. P. A.; PFAHL, K. C. C. Planejamentos e procedimentos desenvolvidos por professores em atividades de Modelagem nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, p. 260-276, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18439. Acesso em: 20 ago. 2026.

SOUZA, L. B.; MALHEIROS, A. P. S. Perspectivas de estudantes de 6º ano do ensino fundamental sobre o desenvolvimento de uma atividade de modelagem matemática. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18400. Acesso em: 20 ago. 2026.

SPOONER, K. What does mathematical modelling have to offer mathematics education? Insights from students' perspectives on mathematical modelling. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, v. 55, n. 3, p. 615-627, 2024. DOI: https://doi.org/10.1080/0020739X.2021.2009052. Acesso em: 20 ago. 2026.

TASARIB, A.; ROSLI, R.; RAMBELY, A. S. Impacts and challenges of mathematical modelling activities on students' learning development: a systematic literature review. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, v. 21, n. 5, em2641, 2025. DOI: https://doi.org/10.29333/ejmste/16398. Acesso em: 20 ago. 2026.

TEODORO, F. P.; ROSSI, E. M. G.; ZAMPIROLLI, A. C. Percepções matemáticas mobilizadas em uma atividade de modelagem matemática na educação infantil. Ensino e Tecnologia em Revista, v. 8, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.3895/etr.v8n2.18440. Acesso em: 20 ago. 2026.

TORONTO, C. E.; REMINGTON, R. A step-by-step guide to conducting an integrative review. Cham: Springer, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-37504-1. Acesso em: 20 ago. 2026.

TYTLER, R.; MULLIGAN, J.; PRAIN, V.; WHITE, P.; XU, L.; KIRK, M.; NIELSEN, C.; SPELDEWINDE, C. An interdisciplinary approach to primary school mathematics and science learning. International Journal of Science Education, v. 43, n. 12, p. 1926-1949, 2021. DOI: https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1946727. Acesso em: 20 ago. 2026.

WEI, Y.; ZHANG, Q.; GUO, J. Can mathematical modelling be taught and learned in primary mathematics classrooms? A systematic review of empirical studies. Education Sciences, v. 12, n. 12, 923, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci12120923. Acesso em: 20 ago. 2026.

WIEGAND, S.; BORROMEO FERRI, R. Promoting pre-service teachers' professionalism in STEAM education and education for sustainable development through mathematical modelling activities. ZDM - Mathematics Education, v. 55, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s11858-023-01500-8. Acesso em: 20 ago. 2026.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS COMO ESTRATÉGIA METODOLÓGICA NO ENSINO DE MATEMÁTICA: CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO RACIOCÍNIO, DA AUTONOMIA E DA APRENDIZAGEM NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Glediston de Aquino Gonçalves[6]

Resumo

O ensino de Matemática enfrenta o desafio permanente de superar práticas centradas exclusivamente na exposição de conteúdos, memorização de procedimentos e repetição de exercícios, especialmente quando tais práticas não favorecem a compreensão conceitual nem a utilização autônoma do conhecimento em situações novas. Nesse contexto, a resolução de problemas apresenta-se como uma abordagem capaz de reposicionar o estudante no processo de aprendizagem, uma vez que exige interpretação, mobilização de conhecimentos prévios, formulação de estratégias, tomada de decisões, argumentação e avaliação dos resultados obtidos. Este artigo objetiva analisar as contribuições da resolução de problemas como estratégia metodológica para o desenvolvimento do raciocínio, da autonomia e da aprendizagem matemática na Educação Básica. Metodologicamente, desenvolveu-se uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa, caráter exploratório-descritivo e configuração de revisão integrativa da literatura, privilegiando publicações científicas disponibilizadas entre 2020 e 2026. Foram considerados estudos nacionais e internacionais localizados em periódicos e bases acadêmicas, com ênfase em investigações que discutem resolução de problemas, raciocínio matemático, problem posing, colaboração, mediação docente, compreensão de problemas, tecnologias digitais e intervenções pedagógicas. Os resultados indicam que abordagens estruturadas em resolução de problemas apresentam potencial para ampliar o desempenho matemático, favorecer o raciocínio crítico e criativo, estimular a argumentação, fortalecer a participação e promover maior autonomia dos estudantes. Evidenciam também que os benefícios não decorrem simplesmente da inclusão de problemas nas aulas, mas da qualidade das tarefas, da organização didática, da mediação realizada pelo professor e das oportunidades oferecidas para que os estudantes expliquem, comparem, revisem e validem estratégias. Conclui-se que a resolução de problemas, quando integrada ao processo de ensino-aprendizagem e não reduzida à aplicação posterior de conteúdos previamente explicados, constitui uma estratégia promissora para uma Educação Matemática mais compreensiva, investigativa e intelectualmente ativa.

Palavras-chave: Educação Matemática. Resolução de problemas. Aprendizagem matemática. Raciocínio matemático. Metodologias de ensino.

Abstract

Mathematics teaching faces the ongoing challenge of overcoming practices based exclusively on content exposition, memorization of procedures, and repetitive exercises, particularly when such practices do not foster conceptual understanding or students' autonomous use of knowledge in unfamiliar situations. Within this context, mathematical problem solving emerges as an approach capable of repositioning students within the learning process, since it requires interpretation, activation of prior knowledge, development of strategies, decision making, argumentation, and evaluation of obtained results. This article aims to analyze the contributions of problem solving as a methodological strategy to the development of mathematical reasoning, autonomy, and learning in Basic Education. Methodologically, the study consists of bibliographic research with a qualitative approach, an exploratory-descriptive character, and an integrative literature review design, prioritizing scientific publications made available between 2020 and 2026. National and international studies published in academic journals and databases

[6] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

were considered, with emphasis on research concerning problem solving, mathematical reasoning, problem posing, collaboration, teacher mediation, problem comprehension, digital technologies, and pedagogical interventions. The findings indicate that structured problem-solving approaches have the potential to improve mathematical performance, foster critical and creative reasoning, encourage argumentation, strengthen student participation, and promote greater learner autonomy. The evidence also demonstrates that these benefits do not arise merely from including problems in mathematics lessons, but depend on task quality, instructional organization, teacher mediation, and opportunities for students to explain, compare, revise, and validate their strategies. It is concluded that problem solving, when integrated into the teaching-learning process rather than restricted to the application of previously explained content, constitutes a promising strategy for developing a more meaningful, investigative, and intellectually active form of Mathematics Education.
Keywords: Mathematics Education. Problem solving. Mathematics learning. Mathematical reasoning. Teaching methodologies.

Introdução

A Matemática ocupa posição estratégica na formação escolar por constituir uma linguagem de interpretação da realidade e fornecer instrumentos para analisar relações quantitativas, espaciais, funcionais, probabilísticas e lógicas. Entretanto, aprender Matemática não pode ser compreendido apenas como adquirir a capacidade de repetir algoritmos ou reproduzir modelos previamente apresentados pelo professor. A formação matemática pressupõe que o estudante seja capaz de compreender situações, identificar relações, produzir representações, elaborar conjecturas, selecionar procedimentos e argumentar sobre a validade das soluções construídas. Nessa perspectiva, resolver problemas não representa apenas uma finalidade da aprendizagem matemática, mas pode constituir o próprio ambiente no qual diferentes conhecimentos são construídos e relacionados. Estudos recentes continuam reconhecendo a resolução de problemas como elemento fundamental do currículo matemático e como campo relevante de investigação na Educação Matemática contemporânea (OLIVARES; LUPIÁÑEZ; SEGOVIA, 2021; SANTOS-TRIGO, 2024).

Apesar dessa centralidade, ainda existe uma distância significativa entre reconhecer teoricamente o valor da resolução de problemas e implementá-la de maneira sistemática nas aulas. Em muitos contextos escolares, o problema aparece apenas depois da explicação: inicialmente apresenta-se uma definição ou fórmula, em seguida são resolvidos alguns exemplos e, ao final, os estudantes recebem exercícios semelhantes para reproduzir o procedimento apresentado. Embora atividades desse tipo possam desempenhar funções importantes de consolidação e automatização, elas não representam necessariamente situações-problema, especialmente quando o caminho de solução já é evidente. Foster (2023) destaca que problemas matemáticos, em sentido pedagógico mais exigente, são tarefas não rotineiras, nas quais o estudante não dispõe imediatamente de um procedimento conhecido que garanta a resposta.

No contexto brasileiro, pesquisas publicadas nos últimos anos reforçam a necessidade de distinguir o simples uso de problemas da utilização da resolução de problemas como metodologia de ensino. Padovani et al. (2022), ao realizarem uma revisão sistemática sobre a temática na Educação Básica, identificaram possibilidades relacionadas à colaboração, discussão, reflexão, questionamento, produção escrita e engajamento. Bertotti Junior, Souza e Possamai (2021), ao mapearem pesquisas realizadas no Ensino Médio, também demonstram a presença de propostas em que o problema é adotado como ponto de partida para o ensino e a aprendizagem, configurando dinâmica distinta daquela em que a resolução aparece somente depois da formalização do conteúdo.

Essa diferenciação possui implicações pedagógicas relevantes. Quando o estudante recebe previamente todas as informações necessárias sobre o procedimento a ser utilizado, parte considerável das decisões intelectuais já foi tomada pelo professor ou pelo material didático. Quando, por outro lado, é colocado diante de uma situação suficientemente acessível para que possa iniciar a investigação, mas desafiadora a ponto de não apresentar uma solução imediata, passa a mobilizar recursos matemáticos, interpretar informações, experimentar caminhos e avaliar possibilidades. Esse deslocamento não significa retirar o professor do processo; ao contrário, altera a natureza de sua intervenção. O docente deixa de ocupar exclusivamente a posição de transmissor de procedimentos para assumir também as funções de organizador das tarefas, formulador de perguntas, observador de estratégias, mediador das discussões e responsável pela sistematização matemática das ideias produzidas pelos estudantes (BAILEY, 2022; LIT; KOOL; DRIJVERS, 2026).

A discussão assume relevância adicional quando se consideram as dificuldades apresentadas pelos próprios estudantes. Proença et al. (2022), ao analisarem pesquisas brasileiras sobre dificuldades na resolução de problemas, verificaram que parte expressiva dos obstáculos está associada à compreensão da situação, à formação insuficiente de conceitos matemáticos, ao significado de palavras, ao uso de fórmulas e à operação de algoritmos. Tal resultado demonstra que dificuldades em resolução de problemas não podem ser interpretadas automaticamente como ausência de capacidade lógica.

Essa relação entre linguagem e desempenho matemático é corroborada por Fidelis et al. (2022), que investigaram a influência da compreensão leitora na resolução de problemas matemáticos com estudantes dos anos iniciais. A leitura de uma situação matemática exige selecionar informações relevantes, estabelecer relações entre grandezas, reconhecer o que está sendo solicitado e construir uma representação coerente antes mesmo da escolha das operações. Pesquisas internacionais recentes também demonstram que características linguísticas e numéricas presentes nos enunciados interferem no desempenho dos estudantes (VESSONEN et al., 2024).

Além da compreensão conceitual, a resolução de problemas relaciona-se a aspectos como raciocínio, criatividade, colaboração, autonomia e agência. Hansen (2022), ao investigar estudantes do Ensino Médio trabalhando conjuntamente em um problema envolvendo função linear, evidenciou relações entre agência estudantil, raciocínio criativo e colaboração. Os alunos sugeriram ideias, explicaram procedimentos, testaram possibilidades e avaliaram suas estratégias.

A interação entre estudantes também pode favorecer a explicitação e a confrontação de diferentes modos de pensar. Pesquisas sobre resolução colaborativa de problemas mostram que a construção compartilhada de representações e a atenção conjunta aos elementos de uma tarefa participam da produção de soluções, embora o simples agrupamento de estudantes não garanta colaboração matematicamente produtiva. É necessário organizar tarefas, normas de discussão e intervenções docentes que levem os participantes a justificar suas afirmações, considerar argumentos dos colegas e revisar decisões quando necessário (SALMINEN-SAARI et al., 2021).

Ao mesmo tempo, deve-se evitar uma visão idealizada segundo a qual qualquer atividade apresentada como problema automaticamente melhoraria a aprendizagem. As pesquisas indicam que os resultados dependem de múltiplas variáveis: conhecimentos prévios, estrutura do problema, exigência linguística, mediação docente, tempo para investigação, formas de representação, motivação, ansiedade matemática e possibilidade de discutir procedimentos. Vessonen et al. (2025), em revisão sistemática e meta-análise, identificaram

associações entre desempenho em problemas matemáticos escritos e diferentes características individuais.

Diante dessas considerações, estabelece-se como problema norteador deste estudo: de que maneira a utilização da resolução de problemas como estratégia metodológica pode contribuir para o desenvolvimento do raciocínio, da autonomia e da aprendizagem matemática dos estudantes da Educação Básica?

O objetivo geral consiste em analisar as contribuições da resolução de problemas como estratégia metodológica para o desenvolvimento do raciocínio, da autonomia e da aprendizagem matemática na Educação Básica. Como objetivos específicos, busca-se: discutir concepções contemporâneas sobre resolução de problemas no ensino de Matemática; analisar relações entre resolução de problemas, raciocínio matemático, argumentação e pensamento crítico; compreender como autonomia, colaboração e mediação docente participam desse processo; examinar dificuldades e condições necessárias para sua implementação; e sistematizar implicações pedagógicas capazes de orientar práticas docentes na Educação Básica.

A relevância do estudo decorre da necessidade de aproximar resultados recentes da pesquisa em Educação Matemática das decisões tomadas cotidianamente na sala de aula. A resolução de problemas apresenta uma longa tradição no campo, mas a literatura contemporânea demonstra que ainda existem questões abertas sobre sua implementação, a preparação dos professores, o desenho das tarefas e as formas mais adequadas de sustentar o raciocínio dos estudantes sem retirar deles a responsabilidade intelectual pela solução (SANTOS-TRIGO, 2024; LIT; KOOL; DRIJVERS, 2026).

Resolução de problemas como estratégia metodológica no ensino de matemática

Da aplicação de procedimentos à construção de estratégias

Um aspecto central para compreender a resolução de problemas como estratégia metodológica está na distinção entre exercício e problema. Em atividades rotineiras, o estudante tende a reconhecer antecipadamente o procedimento que deve empregar. Já uma situação-problema pressupõe determinado grau de incerteza: existe um objetivo compreensível, porém a sequência necessária para alcançá-lo não está totalmente definida. Foster (2023) ressalta que a discussão contemporânea não se limita a perguntar se estratégias gerais de resolução podem ser ensinadas; envolve também a necessidade de considerar táticas específicas dos diferentes conteúdos matemáticos e organizá-las pedagogicamente.

Essa distinção não implica rejeitar exercícios. O domínio da Matemática também exige fluência em procedimentos, operações e representações. A questão consiste em evitar que a experiência escolar se reduza a esse nível. Quando todo conteúdo é apresentado primeiramente de forma pronta e apenas depois aplicado em exercícios, o estudante aprende sobretudo a reconhecer modelos previamente demonstrados. Já o trabalho com problemas pode criar oportunidades para que conceitos e procedimentos surjam como recursos necessários para interpretar ou resolver uma situação (SANTOS-TRIGO, 2024).

No Brasil, Padovani et al. (2022) observaram que a resolução de problemas pode favorecer experiências que extrapolam a simples execução de cálculos, incorporando diálogo, reflexão, questionamento, cooperação, colaboração e produção escrita. Os autores, contudo, identificam quantidade ainda limitada de estudos que tratam a resolução de problemas efetivamente como alternativa metodológica de ensino.

A literatura também revela diversidade na compreensão que os professores possuem sobre o assunto. Farias, Lacerda e Ferreira (2020) destacam a presença da resolução de problemas nas recomendações educacionais, mas demonstram que compreendê-la pedagogicamente envolve mais do que reconhecer sua importância. Rossetto e Balieiro Filho (2021) identificaram concepções que aproximavam resolução de problemas de problemas contextualizados, evidenciando como currículos e materiais didáticos influenciam a interpretação docente.

Contextualização e resolução de problemas podem estabelecer relações, mas não constituem conceitos equivalentes. Um enunciado pode mencionar compras, viagens, consumo de água ou outras situações cotidianas e continuar sendo um exercício rotineiro se todas as decisões matemáticas já estiverem implícitas em seu formato. Da mesma forma, um problema puramente matemático, sem contexto cotidiano, pode demandar investigação profunda.

Bertotti Junior, Souza e Possamai (2021) evidenciam que a resolução de problemas como ponto de partida constitui perspectiva relevante nas pesquisas brasileiras sobre Ensino Médio. Nesse formato, o conhecimento deixa de aparecer exclusivamente como requisito anterior ao problema e pode tornar-se resultado da investigação realizada. Tal organização exige atenção especial à escolha das tarefas.

Raciocínio matemático, argumentação e pensamento crítico

A resolução de um problema matemático envolve mais do que chegar a um resultado numericamente correto. O estudante precisa compreender as condições apresentadas, selecionar relações pertinentes, antecipar consequências, comparar alternativas e avaliar a razoabilidade da resposta. Esses processos aproximam a resolução de problemas do raciocínio matemático e permitem que a aula se transforme em espaço de produção e análise de argumentos.

Hansen (2022) demonstra que situações colaborativas de resolução podem criar oportunidades para agência e raciocínio criativo quando os estudantes são convidados a propor, explicar, testar e avaliar ideias. Essa dimensão é especialmente importante porque desloca o foco avaliativo do produto final para o processo de construção da solução.

A argumentação adquire papel decisivo nesse contexto. Quando um estudante precisa explicar por que determinado procedimento funciona, transforma uma ação matemática em objeto de reflexão. Ao ouvir estratégias diferentes, também é levado a comparar relações, identificar equivalências ou reconhecer limitações de seu próprio raciocínio.

A relação entre resolução de problemas e pensamento crítico também encontra suporte empírico. Alfayez, Aladwan e Shaheen (2022), em estudo quase-experimental com estudantes do sétimo ano, investigaram um programa de treinamento baseado em estratégias de resolução de problemas matemáticos e observaram efeitos positivos sobre habilidades de pensamento crítico.

A formulação de problemas, ou problem posing, amplia esse potencial. Quando o estudante deixa de apenas responder perguntas elaboradas por outras pessoas e passa a formular seus próprios problemas, precisa compreender relações matemáticas com profundidade suficiente para produzir uma situação coerente e solucionável. Palmér e Van Bommel (2020) demonstram que até estudantes jovens podem ser envolvidos em experiências de criação de problemas a partir de tarefas previamente trabalhadas.

Meta-análises recentes reforçam a relevância dessa estratégia. Wang, Walkington e Rouse (2022), ao sintetizarem 21 estudos, encontraram efeito médio positivo das intervenções de formulação de problemas sobre resultados acadêmicos matemáticos. Zhang, Stylianides e Stylianides (2024) também examinaram intervenções voltadas ao desenvolvimento da competência de formular problemas e reforçaram a importância de práticas sistemáticas nesse campo.

Portanto, uma abordagem metodológica robusta pode articular resolver, explicar, comparar, modificar e formular problemas. Essas ações alteram qualitativamente a participação do estudante e ampliam sua responsabilidade intelectual.

Autonomia, agência e autorregulação da aprendizagem

A autonomia na aprendizagem matemática não deve ser confundida com ausência de orientação. Um estudante autônomo não é aquele que aprende sem professor, mas aquele que gradualmente desenvolve capacidade para compreender uma tarefa, escolher recursos, persistir diante de dificuldades, avaliar seu próprio procedimento e reconhecer quando precisa revisar uma estratégia.

Olivares, Lupiáñez e Segovia (2021), em revisão sobre o papel da resolução de problemas no currículo, identificaram princípios associados à compreensão, ao raciocínio, à autonomia, à colaboração e aos fatores afetivos. A presença da autonomia entre esses elementos evidencia que o problema não deve servir apenas para avaliar conhecimentos previamente adquiridos.

A agência observada por Hansen (2022) torna essa relação particularmente evidente. Durante a resolução de problemas em pares, os estudantes participaram ativamente da elaboração, teste e avaliação de ideias. A agência emerge quando o aluno percebe que suas decisões possuem efeito real na direção assumida pela atividade.

A autonomia também se relaciona à persistência diante de erros. Riegel (2021), em revisão sistemática sobre frustração durante a resolução de problemas matemáticos, demonstra que as emoções fazem parte da experiência de resolver tarefas desafiadoras. Portanto, eliminar toda dificuldade não constitui necessariamente o objetivo pedagógico.

Essa distinção interfere na forma de ajudar. Quando o professor oferece imediatamente o procedimento completo, a dificuldade desaparece, mas também pode desaparecer a oportunidade de decisão. Perguntas orientadoras podem oferecer apoio preservando a responsabilidade intelectual do estudante. Lee (2025) demonstra que os movimentos funcionais presentes nas perguntas docentes influenciam a contextualização realizada pelos estudantes durante a resolução de problemas escritos.

A autonomia também depende de elementos afetivos. Vessonen et al. (2025) encontraram associações entre o desempenho na resolução de problemas escritos e fatores relacionados à motivação. Xu e Qi (2022) observaram associações positivas da autoeficácia e negativas da ansiedade matemática com o desempenho em resolução de problemas.

Colaboração, comunicação e mediação docente

A aprendizagem por resolução de problemas pode ocorrer individualmente, porém ganha dimensões adicionais quando incorpora interação estruturada entre estudantes. Ao trabalhar em pares ou pequenos grupos, cada participante encontra necessidade de transformar raciocínios internos em linguagem compreensível aos demais.

Salminen-Saari et al. (2021) mostram a complexidade das interações estabelecidas na produção conjunta de soluções. A colaboração exige construir entendimento compartilhado sobre o problema, estabelecer foco comum, representar informações e coordenar procedimentos. Portanto, colocar estudantes fisicamente no mesmo grupo não assegura aprendizagem colaborativa.

A revisão realizada por Padovani et al. (2022) também evidencia que propostas de resolução de problemas podem favorecer cooperação, colaboração, diálogo, questionamento e produção escrita. Essas dimensões são pedagogicamente importantes porque a Matemática escolar muitas vezes privilegia produção individual e silenciosa de respostas.

Nesse ambiente, a atuação docente torna-se mais complexa. Bailey (2022) evidencia que desenvolver tal prática demanda conhecimentos e experiências específicos. Não basta selecionar um problema interessante; o professor precisa antecipar estratégias possíveis, reconhecer produções inesperadas, decidir quando intervir, identificar quais soluções devem ser discutidas e conduzir a institucionalização do conhecimento matemático.

A revisão sistemática de Lit, Kool e Drijvers (2026) amplia essa discussão ao identificar, em 104 artigos, categorias relacionadas aos conhecimentos e habilidades docentes necessários para ambientes favoráveis à resolução de problemas.

Isso implica reconhecer que a qualidade da resolução de problemas depende também da formação docente. Martins, Gomes e Paula (2023), ao investigarem pesquisas brasileiras sobre formação de professores e resolução de problemas, reforçam a presença desse eixo no campo de Educação Matemática.

Compreensão de problemas, representações e estratégias

Uma parcela significativa das dificuldades apresentadas pelos estudantes ocorre antes da realização dos cálculos. Interpretar adequadamente uma situação exige construir um modelo mental do problema e identificar as relações existentes entre suas informações. Proença et al. (2022) verificaram dificuldades ligadas à compreensão de enunciados, conceitos, vocabulário, fórmulas e algoritmos.

Fidelis et al. (2022) apontam relação entre compreensão leitora, raciocínio quantitativo e resolução de problemas matemáticos. Esse resultado possui implicação pedagógica importante: o professor de Matemática também precisa dedicar atenção à leitura.

Vessonen et al. (2024), ao sintetizarem pesquisas sobre características de problemas escritos para crianças dos anos iniciais, mostram que elementos linguísticos e numéricos das tarefas estão associados ao desempenho. Desse modo, dificuldades não podem ser atribuídas exclusivamente às características dos estudantes.

As representações visuais podem atuar como ferramentas de compreensão. Estratégias envolvendo diagramas, desenhos, tabelas, gráficos ou esquemas permitem reorganizar informações e tornar relações menos dependentes do texto verbal. Hänze e Leiss (2022) mostraram que exemplos heurísticos podem contribuir para competências de modelagem quando organizados de modo a evidenciar o processo de resolução.

Chinofunga, Chigeza e Taylor (2025) analisaram a utilização de fluxogramas procedimentais como apoio à resolução de problemas e identificaram potencial para integrar e organizar diferentes etapas do processo. Tais recursos não devem se transformar em novas receitas rígidas.

Intervenções estruturadas demonstram resultados relevantes com estudantes que apresentam dificuldades de aprendizagem. Lein, Jitendra e Harwell (2020) identificaram efeito médio positivo moderado sobre o desempenho. Lei et al. (2020) também encontraram efeito global favorável das intervenções analisadas.

Xin et al. (2023) investigaram uma abordagem de resolução baseada em modelos com estudantes em situação de risco para dificuldades matemáticas e reforçam a importância de intervenções que auxiliem os estudantes a desenvolver compreensão conceitual das relações presentes no problema.

Tecnologias digitais e resolução de problemas

O avanço das tecnologias digitais amplia as possibilidades de representação, experimentação e investigação matemática. Softwares de geometria dinâmica, planilhas eletrônicas, ambientes gráficos, calculadoras e outras ferramentas permitem modificar parâmetros, visualizar regularidades e testar conjecturas com rapidez. Entretanto, a tecnologia produz benefício pedagógico quando integrada a uma tarefa intelectualmente significativa.

Engelbrecht e Borba (2024) destacam mudanças nos espaços de aprendizagem, ferramentas de geometria dinâmica, sistemas de álgebra computacional, colaboração on-line e novos ambientes digitais. A discussão não deve se restringir a perguntar se tecnologias devem ser utilizadas, mas como elas transformam as relações entre estudantes, professores e conhecimento matemático.

Jacinto e Carreira (2023) analisaram conhecimentos docentes relacionados ao ensino de resolução de problemas não rotineiros com tecnologias. Ferramentas como GeoGebra e planilhas integraram o raciocínio empregado na resolução, evidenciando que utilizar tecnologia em problemas demanda conhecimento matemático, tecnológico e didático articulado.

A tecnologia também pode reduzir determinadas cargas operacionais e possibilitar concentração em relações matemáticas mais profundas, mas isso depende da tarefa. Assim, a escolha do recurso tecnológico deve subordinar-se aos objetivos matemáticos e às decisões intelectuais que se pretende colocar sob responsabilidade do estudante.

Desafios e condições para implementação

A adoção da resolução de problemas como estratégia metodológica apresenta dificuldades reais. A primeira está relacionada ao tempo. Aulas investigativas podem exigir períodos maiores para leitura, exploração, discussão e sistematização do que aulas baseadas exclusivamente em demonstração de procedimentos.

Outro desafio encontra-se na seleção dos problemas. O nível de dificuldade precisa permitir envolvimento inicial sem eliminar a necessidade de raciocínio. Tarefas demasiadamente fechadas tendem a produzir reprodução; tarefas excessivamente complexas podem gerar abandono. Foster (2023) defende atenção às táticas específicas dos diferentes domínios matemáticos e à seleção deliberada de problemas.

Também existem desafios relativos às diferenças entre estudantes. Vessonen et al. (2025) demonstram que desempenho na resolução de problemas relaciona-se a múltiplas características individuais. Consequentemente, utilizar a mesma forma de apoio para todos pode ser inadequado.

A avaliação constitui outro ponto crítico. Se as aulas valorizam estratégias, argumentação e autonomia, mas as avaliações consideram exclusivamente respostas finais obtidas rapidamente por meio de procedimentos padronizados, cria-se uma incoerência entre

ensino e avaliação. Silva e Santos (2025) destacam a integração entre ensino, aprendizagem e avaliação por meio da resolução de problemas.

Portanto, implementar resolução de problemas de forma consistente requer planejamento, formação docente, escolha criteriosa de tarefas, gestão do tempo, valorização das estratégias dos estudantes e avaliação compatível com os objetivos de aprendizagem.

Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa bibliográfica, de abordagem qualitativa e caráter exploratório-descritivo, organizada segundo princípios de uma revisão integrativa da literatura. A escolha desse delineamento decorreu do objetivo de identificar, analisar e articular resultados recentes produzidos sobre resolução de problemas no ensino de Matemática, permitindo reunir estudos de diferentes desenhos metodológicos em torno de categorias pedagógicas comuns.

O recorte temporal foi estabelecido entre 2020 e agosto de 2026, em consonância com a intenção de analisar a produção científica contemporânea. Trabalhos anteriores a 2020 foram excluídos do corpus utilizado na fundamentação do artigo.

A busca bibliográfica foi realizada em agosto de 2026, abrangendo fontes acadêmicas nacionais e internacionais disponíveis em plataformas e portais como SciELO, ERIC, SpringerLink, Wiley Online Library, Taylor & Francis Online, Frontiers, Elsevier/ScienceDirect e portais institucionais de periódicos brasileiros. Entre os descritores empregados estiveram: resolução de problemas, ensino de matemática, educação matemática, aprendizagem matemática, mathematical problem solving, mathematics education, problem-solving instruction, mathematical reasoning, problem posing e word problem solving.

Foram adotados como critérios de inclusão: publicação entre 2020 e 2026; disponibilidade de página oficial, DOI ou registro acadêmico verificável na internet; relação direta com resolução de problemas, ensino ou aprendizagem matemática; publicação em periódico científico, repositório institucional reconhecido ou documento acadêmico com identificação bibliográfica verificável; e contribuição para ao menos um dos eixos analíticos do estudo.

Como critérios de exclusão, foram considerados trabalhos publicados antes de 2020; duplicidades; produções sem informações bibliográficas suficientes para verificação; textos que utilizavam o termo problema sem relação efetiva com Educação Matemática; e estudos cuja temática não contribuía diretamente para responder ao problema de pesquisa.

Embora o estudo não se caracterize como revisão sistemática estrita, foram incorporados princípios de transparência recomendados para revisões de literatura, particularmente quanto à explicitação do recorte, das fontes, dos descritores e dos critérios de seleção. As orientações contemporâneas do PRISMA reforçam a importância de tornar claros os procedimentos utilizados para identificar, selecionar e sintetizar pesquisas (PAGE et al., 2021).

Após a localização dos materiais, realizou-se inicialmente leitura dos títulos e resumos. Os estudos potencialmente relacionados aos objetivos foram examinados em maior profundidade e organizados por aproximação temática. A análise permitiu estabelecer seis eixos: concepções de resolução de problemas; raciocínio, criatividade e argumentação; autonomia, agência e fatores afetivos; colaboração e mediação docente; compreensão, representação e intervenções; e tecnologias digitais e condições de implementação.

A análise dos dados bibliográficos ocorreu por síntese interpretativa. Não se pretendeu somar quantitativamente resultados provenientes de estudos metodologicamente heterogêneos; quando tamanhos de efeito provenientes de meta-análises foram apresentados, eles foram mantidos dentro do contexto definido pelos estudos originais.

A etapa final consistiu no cruzamento entre evidências nacionais e internacionais. Buscou-se evitar uma análise em que a literatura estrangeira fosse considerada universalmente aplicável ao cenário brasileiro.

Resultados e discussão

A análise da literatura permitiu identificar convergência significativa em torno de uma primeira constatação: a resolução de problemas apresenta maior potencial pedagógico quando não é tratada apenas como etapa posterior à transmissão do conteúdo. Trabalhos brasileiros e internacionais apontam para perspectivas em que o problema organiza a atividade matemática e cria uma necessidade intelectual para mobilização, articulação ou construção de conhecimentos (BERTOTTI JUNIOR; SOUZA; POSSAMAI, 2021; PADOVANI et al., 2022; SANTOS-TRIGO, 2024).

Esse resultado permite diferenciar duas utilizações bastante distintas. Na primeira, o professor ensina um algoritmo e apresenta problemas destinados a verificar se o estudante consegue reconhecer quando utilizá-lo. Na segunda, uma situação é utilizada para provocar análise, elaboração de representações e produção de estratégias, e o conhecimento matemático torna-se ferramenta ou resultado desse processo.

As evidências quantitativas encontradas também são relevantes. A meta-análise conduzida por Lein, Jitendra e Harwell (2020) reuniu intervenções destinadas a estudantes com dificuldades em Matemática e identificou efeito médio positivo na resolução de problemas matemáticos verbais. Lei et al. (2020) também reportaram efeito global favorável em intervenções com aprendizes que apresentavam dificuldades matemáticas.

Entretanto, tais evidências não justificam transformar a resolução de problemas em um roteiro rígido. O ensino explícito de estratégias precisa ser compreendido como oferta de ferramentas cognitivas e não como substituição de uma receita algorítmica por outra. Xin et al. (2023) destacam a importância de modelos voltados à compreensão conceitual das estruturas presentes nos problemas.

Outro resultado robusto refere-se à importância da compreensão leitora e da linguagem. A pesquisa de Proença et al. (2022) mostra que dificuldades em problemas envolvem compreensão, vocabulário e formação conceitual, enquanto Fidelis et al. (2022) analisam relações entre compreensão leitora e desempenho na resolução. As meta-análises de Vessonen et al. (2024; 2025) ampliam essa discussão.

Esses achados sugerem que o erro em um problema matemático precisa ser diagnosticado antes de ser corrigido. Dois alunos podem apresentar a mesma resposta incorreta por razões completamente diferentes, o que exige intervenções diferenciadas.

Uma terceira convergência diz respeito ao desenvolvimento do raciocínio. A literatura recente mostra que ambientes em que estudantes precisam explicar, justificar e comparar soluções ampliam a visibilidade dos processos de pensamento. Hansen (2022) relaciona agência, raciocínio criativo e colaboração.

A formulação de problemas constitui desdobramento particularmente promissor. A meta-análise de Wang, Walkington e Rouse (2022) encontrou efeito médio positivo para intervenções de problem posing sobre resultados matemáticos. Zhang, Stylianides e Stylianides

(2024) também identificaram evidências favoráveis para intervenções destinadas a desenvolver competência de formulação de problemas.

Isso permite propor uma progressão pedagógica mais rica do que a tradicional sequência explicação-exemplo-exercício. Uma unidade de ensino pode iniciar com um problema gerador, avançar para exploração individual ou coletiva, comparar estratégias, sistematizar relações matemáticas, propor novos problemas de transferência e finalizar solicitando aos próprios estudantes que modifiquem ou formulem situações.

A autonomia também aparece de forma recorrente. Olivares, Lupiáñez e Segovia (2021) identificaram autonomia entre os princípios relevantes para implementação da resolução de problemas no currículo. Hansen (2022) mostra estudantes exercendo agência durante decisões matemáticas. Ao mesmo tempo, Riegel (2021) demonstra que frustração faz parte do processo e precisa ser compreendida pedagogicamente.

Os fatores afetivos reforçam essa interpretação. Xu e Qi (2022) encontraram relações positivas entre autoeficácia e resolução de problemas e relação negativa com ansiedade matemática. Vessonen et al. (2025) também identificaram associações entre fatores motivacionais e desempenho.

Outro eixo dos resultados refere-se ao professor. A análise da literatura permite rejeitar a ideia de que metodologias centradas na resolução de problemas diminuam sua importância. O que ocorre é mudança de função. As pesquisas de Bailey (2022), Jacinto e Carreira (2023) e Lit, Kool e Drijvers (2026) evidenciam que conduzir aulas dessa natureza exige conhecimento sofisticado.

A pergunta docente constitui um recurso particularmente relevante. Em vez de avaliar apenas qual é a resposta, pode-se questionar como o estudante pensou, qual informação foi decisiva, se a estratégia funcionaria em outros casos e como poderia ser verificada. Lee (2025) demonstra que os movimentos de questionamento do professor influenciam a maneira como estudantes contextualizam problemas matemáticos escritos.

A tecnologia surge como elemento transversal e não como solução independente. Engelbrecht e Borba (2024) mostram a expansão das possibilidades tecnológicas na Educação Matemática, enquanto Jacinto e Carreira (2023) evidenciam conhecimentos específicos necessários para ensinar resolução de problemas com ferramentas digitais.

Os resultados também evidenciam limites. Nem todos os estudos possuem os mesmos desenhos metodológicos e muitos analisam populações e contextos específicos. Ainda assim, a convergência entre revisões, meta-análises e pesquisas qualitativas permite sustentar que a resolução de problemas possui potencial relevante para tornar a aprendizagem matemática mais ativa e conceitualmente orientada.

Quadro 1 – Síntese das principais evidências e implicações pedagógicas

Eixo identificado	Evidências predominantes	Implicação para o ensino
Problema como ponto de partida	Maior espaço para investigação e construção de estratégias	Evitar utilizar problemas apenas após a explicação completa do procedimento
Compreensão	Linguagem, leitura e estrutura do enunciado interferem no desempenho	Trabalhar leitura, reformulação, representações e identificação de relações
Raciocínio e argumentação	Explicações e comparação de estratégias favorecem raciocínio matemático	Avaliar também processos e justificações

Autonomia e agência	Tomada de decisões amplia participação intelectual	Utilizar perguntas orientadoras sem antecipar integralmente a solução
Colaboração	Discussão pode ampliar explicitação e revisão do pensamento	Organizar tarefas e normas de interação matematicamente produtivas
Formulação de problemas	Meta-análises apontam efeitos positivos em resultados matemáticos	Inserir atividades em que os estudantes criem ou modifiquem problemas
Intervenções estruturadas	Meta-análises indicam benefícios para alunos com dificuldades	Ensinar representações e estratégias de forma conceitualmente orientada
Tecnologias digitais	Podem ampliar experimentação, representação e colaboração	Selecionar ferramentas em função do objetivo matemático
Formação docente	A qualidade da mediação influencia fortemente a atividade	Investir em formação específica para planejamento e condução de problemas

Fonte: elaboração própria a partir da literatura analisada.

Considerações finais

Este estudo teve como objetivo analisar as contribuições da resolução de problemas como estratégia metodológica para o desenvolvimento do raciocínio, da autonomia e da aprendizagem matemática na Educação Básica. A análise da literatura recente permitiu concluir que a abordagem possui potencial consistente, desde que seja compreendida de maneira mais ampla do que a simples utilização de problemas como exercícios de aplicação.

Os estudos examinados demonstram que a resolução de problemas pode criar condições para que os estudantes interpretem situações, produzam representações, formulem estratégias, expliquem raciocínios, comparem procedimentos e avaliem resultados. Tais processos aproximam o ensino de Matemática de uma perspectiva em que aprender significa construir relações e desenvolver capacidades de utilização do conhecimento.

As evidências quantitativas analisadas reforçam essa interpretação. Meta-análises de intervenções em problemas matemáticos verbais identificaram efeitos positivos sobre o desempenho, inclusive entre estudantes que apresentam dificuldades de aprendizagem. Pesquisas sobre formulação de problemas também demonstraram resultados favoráveis.

O desenvolvimento do raciocínio constitui uma das contribuições mais significativas identificadas. Quando os estudantes precisam justificar por que uma estratégia funciona e confrontá-la com outras possibilidades, o conteúdo matemático deixa de ser apenas instrumento de obtenção de respostas e passa a ser objeto de argumentação.

A autonomia também se mostra estreitamente vinculada ao trabalho com problemas. Ela emerge quando o estudante possui espaço real para decidir, experimentar e revisar. Entretanto, autonomia não significa abandono pedagógico. A literatura evidencia a importância da mediação docente, particularmente por meio de perguntas e apoios que direcionam a atenção sem substituir a atividade intelectual do aluno.

Dessa forma, o professor permanece central no processo. Cabe-lhe selecionar problemas adequados aos objetivos, antecipar estratégias possíveis, organizar formas de participação, interpretar produções, decidir quando oferecer apoio e sistematizar matematicamente o que foi desenvolvido.

No plano prático, os resultados sugerem que uma aula orientada pela resolução de problemas pode ser organizada a partir de um problema gerador acessível e desafiador; exploração inicial individual ou em pequenos grupos; registro das estratégias; intervenção docente por perguntas; socialização de diferentes soluções; comparação e argumentação; sistematização do conceito ou procedimento matemático; e proposição de novos problemas destinados à transferência e à ampliação do conhecimento.

Também é recomendável ampliar o espaço dedicado à formulação de problemas. Solicitar que estudantes modifiquem dados, alterem condições, produzam perguntas diferentes ou criem um problema que possa ser resolvido utilizando determinada relação matemática constitui forma de verificar compreensão em nível superior à repetição de um algoritmo.

Conclui-se, portanto, que a resolução de problemas pode constituir uma das estratégias mais promissoras para tornar o ensino de Matemática mais efetivo, desde que seja integrada a um projeto pedagógico que valorize compreensão, raciocínio, comunicação, autonomia e participação ativa. Seu maior potencial não reside em fazer os estudantes resolverem maior quantidade de exercícios, mas em criar condições para que aprendam a pensar matematicamente diante de situações para as quais o caminho ainda precisa ser construído.

Por fim, novas investigações podem analisar intervenções longitudinais desenvolvidas em escolas brasileiras, comparar diferentes formas de mediação docente, investigar estratégias para estudantes com níveis distintos de aprendizagem e examinar como tecnologias digitais e ferramentas de inteligência artificial podem ser incorporadas à resolução de problemas sem reduzir a autonomia intelectual.

Referências

ALFAYEZ, Mona Qutaifan Ershed; ALADWAN, Saida Quftan Abdelaziz; SHAHEEN, Hassan Rafi' Ali. The effect of a training program based on mathematical problem-solving strategies on critical thinking among seventh-grade students. Frontiers in Education, v. 7, 2022. DOI: 10.3389/feduc.2022.870524.

AVVISATI, Francesco; BORGONOVI, Francesca. Learning mathematics problem solving through test practice: a randomized field experiment on a global scale. Educational Psychology Review, v. 32, p. 791-814, 2020. DOI: 10.1007/s10648-020-09520-6.

BAILEY, Judy. Learning to teach mathematics through problem solving. New Zealand Journal of Educational Studies, v. 57, p. 407-423, 2022. DOI: 10.1007/s40841-022-00249-0.

BERTOTTI JUNIOR, Vilmar Ibanor; SOUZA, Tayana Cruz de; POSSAMAI, Janaína Poffo. A resolução de problemas no Ensino Médio: um mapeamento realizado nos anos 2016 a 2020. REMAT: Revista Eletrônica da Matemática, v. 7, n. especial, e4005, 2021. DOI: 10.35819/remat2021v7iespecialid5514.

CHINOFUNGA, Musarurwa David; CHIGEZA, Philemon; TAYLOR, Subhashni. How can procedural flowcharts support the development of mathematics problem-solving skills? Mathematics Education Research Journal, v. 37, p. 85-123, 2025. DOI: 10.1007/s13394-024-00483-3.

ENGELBRECHT, Johann; BORBA, Marcelo C. Recent developments in using digital technology in mathematics education. ZDM – Mathematics Education, v. 56, p. 281-292, 2024. DOI: 10.1007/s11858-023-01530-2.

FARIAS, Dione Barros; LACERDA, Alan Gonçalves; FERREIRA, Robson dos Santos. Resolução de problemas: uma análise das concepções de professores de Matemática do Ensino Fundamental. REAMEC – Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática, v. 8, n. 3, p. 631-649, 2020. DOI: 10.26571/reamec.v8i3.10850.

FIDELIS, Janaína Mota; NOGUES, Camila Peres; LIMA, Elielson Magalhães; DORNELES, Beatriz Vargas. A influência da compreensão leitora na resolução de problemas matemáticos: um estudo com crianças de 3º e 4º anos do Ensino Fundamental. Educação Matemática Pesquisa, v. 24, n. 1, p. 456-485, 2022. DOI: 10.23925/1983-3156.2022v24i1p456-485.

FOSTER, Colin. Problem solving in the mathematics curriculum: from domain-general strategies to domain-specific tactics. The Curriculum Journal, v. 34, n. 4, p. 594-612, 2023. DOI: 10.1002/curj.213.

HANSEN, Ellen Kristine Solbrekke. Students' agency, creative reasoning, and collaboration in mathematical problem solving. Mathematics Education Research Journal, v. 34, p. 813-834, 2022. DOI: 10.1007/s13394-021-00365-y.

HÄNZE, Martin; LEISS, Dominik. Using heuristic worked examples to promote solving of reality-based tasks in mathematics in lower secondary school. Instructional Science, v. 50, p. 529-549, 2022. DOI: 10.1007/s11251-022-09583-8.

JACINTO, Hélia; CARREIRA, Susana. Knowledge for teaching mathematical problem-solving with technology: an exploratory study of a mathematics teacher's proficiency. European Journal of Science and Mathematics Education, v. 11, n. 1, p. 105-122, 2023. DOI: 10.30935/scimath/12464.

JIANG, Peijie; ZHANG, Yong; JIANG, Yanyun; XIONG, Bin. Preservice mathematics teachers' perceptions of mathematical problem solving and its teaching: a case from China. Frontiers in Psychology, v. 13, 2022. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.998586.

LEE, Yi-Jung. The effects of functional moves in teacher questioning on students' contextualization of mathematical word problem solving. Journal of Mathematics Teacher Education, v. 28, p. 73-101, 2025. DOI: 10.1007/s10857-023-09616-0.

LEI, Qingli et al. A meta-analysis of single-case research on mathematics word problem-solving interventions for English learners with learning disabilities and mathematics difficulties. Learning Disabilities Research & Practice, v. 35, n. 4, p. 201-217, 2020. DOI: 10.1111/ldrp.12233.

LEIN, Amy E.; JITENDRA, Asha K.; HARWELL, Michael R. Effectiveness of mathematical word problem solving interventions for students with learning disabilities and/or mathematics difficulties: a meta-analysis. Journal of Educational Psychology, v. 112, n. 7, p. 1388-1408, 2020. DOI: 10.1037/edu0000453.

LIT, Sabine; KOOL, Marjolein; DRIJVERS, Paul. Teacher knowledge and skills for mathematical problem solving: a systematic literature review. Journal of Mathematics Teacher Education, 2026. DOI: 10.1007/s10857-025-09737-8.

MARTINS, Kaique Nascimento; GOMES, Larissa Pinca Sarro; PAULA, Marlúbia Corrêa de. Formação de professores e resolução de problemas nas aulas de Matemática: um estudo a partir de pesquisas brasileiras. Revista Paranaense de Educação Matemática, v. 12, n. 27, p. 120-138, 2023.

MONTEIRO, Mariane; PROENÇA, Marcelo Carlos de. Resolução de problemas nos anos iniciais do Ensino Fundamental: um estudo a partir de algumas revistas que contemplam a Educação Matemática. TANGRAM – Revista de Educação Matemática, v. 6, n. 4, p. 46-67, 2023. DOI: 10.30612/tangram.v6i4.17359.

OLIVARES, Daniela; LUPIÁÑEZ, José Luis; SEGOVIA, Isidoro. Roles and characteristics of problem solving in the mathematics curriculum: a review. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, v. 52, n. 7, p. 1079-1096, 2021. DOI: 10.1080/0020739X.2020.1738579.

PADOVANI, Patricia Garcia Souza et al. A resolução de problemas enquanto metodologia de ensino de matemática na Educação Básica: uma revisão sistemática de literatura. Ensino da Matemática em Debate, v. 9, n. 2, p. 37-61, 2022.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: 10.1136/bmj.n71.

PALMÉR, Hanna; VAN BOMMEL, Jorryt. Young students posing problem-solving tasks: what does posing a similar task imply to students? ZDM – Mathematics Education, v. 52, p. 743-752, 2020. DOI: 10.1007/s11858-020-01129-x.

PEREIRA, Fernando Francisco; PROENÇA, Marcelo Carlos de. Resolução de problemas e o ensino de equações do 2º grau: meta-análise de duas pesquisas de mestrado profissional. Educação Matemática Pesquisa, v. 26, n. 1, p. 668-690, 2024. DOI: 10.23925/1983-3156.2024v26i1p668-690.

PROENÇA, Marcelo Carlos de; MAIA-AFONSO, Érika Janine; MENDES, Luiz Otavio Rodrigues; TRAVASSOS, Wilian Barbosa. Dificuldades de alunos na resolução de problemas: análise a partir de propostas de ensino em dissertações. Bolema: Boletim de Educação Matemática, v. 36, n. 72, p. 262-285, 2022. DOI: 10.1590/1980-4415v36n72a12.

RIEGEL, Kaitlin. Frustration in mathematical problem-solving: a systematic review of research. STEM Education, v. 1, n. 3, p. 157-169, 2021. DOI: 10.3934/steme.2021012.

ROSSETTO, Daniela Zanardo; BALIEIRO FILHO, Inocêncio Fernandes. A resolução de problemas no Ensino de Matemática: visões de três professoras do Ensino Médio. Em Teia – Revista de Educação Matemática e Tecnológica Iberoamericana, v. 12, n. 4, 2021. DOI: 10.51359/2177-9309.2021.250735.

SALMINEN-SAARI, Jessica F. A. et al. Phases of collaborative mathematical problem solving and joint attention: a case study utilizing mobile gaze tracking. ZDM – Mathematics Education, v. 53, p. 771-784, 2021. DOI: 10.1007/s11858-021-01280-z.

SANTOS-TRIGO, Manuel. Problem solving in mathematics education: tracing its foundations and current research-practice trends. ZDM – Mathematics Education, v. 56, p. 211-222, 2024. DOI: 10.1007/s11858-024-01578-8.

SILVA, Darlysson Wesley da; SANTOS, Ivanete Batista dos. A Metodologia de Ensino-Aprendizagem-Avaliação de Matemática por meio da Resolução de Problemas: uma caracterização a partir da análise de pesquisas sobre a temática. Revista Baiana de Educação Matemática, v. 6, n. 1, e202529, 2025. DOI: 10.47207/rbem.v6i1.24091.

VESSONEN, T. et al. Task characteristics associated with mathematical word problem-solving performance among elementary school-aged children: a systematic review and meta-analysis. Educational Psychology Review, v. 36, art. 117, 2024. DOI: 10.1007/s10648-024-09954-2.

VESSONEN, T. et al. Individual characteristics associated with elementary school children's mathematical word problem-solving skills: a systematic review and meta-analysis. Review of Education, v. 13, n. 1, e70045, 2025. DOI: 10.1002/rev3.70045.

WANG, Min; WALKINGTON, Candace; ROUSE, Amy. A meta-analysis on the effects of problem-posing in mathematics education on performance and dispositions. Investigations in Mathematics Learning, v. 14, n. 4, p. 265-287, 2022. DOI: 10.1080/19477503.2022.2105104.

XIN, Yan Ping et al. Effect of model-based problem solving on error patterns of at-risk students in solving additive word problems. Education Sciences, v. 13, n. 7, art. 714, 2023. DOI: 10.3390/educsci13070714.

XU, Zhuzhu; QI, Chunxia. Middle school students' mathematical problem-solving ability and the influencing factors in mainland China. Frontiers in Psychology, v. 13, art. 1042315, 2022. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.1042315.

ZHANG, Ling; STYLIANIDES, Gabriel J.; STYLIANIDES, Andreas J. Enhancing mathematical problem posing competence: a meta-analysis of intervention studies. International Journal of STEM Education, v. 11, art. 48, 2024. DOI: 10.1186/s40594-024-00507-1.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

ROBÓTICA EDUCACIONAL NO ENSINO DE MATEMÁTICA: CONTRIBUIÇÕES PARA O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO COMPUTACIONAL E DA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Glediston de Aquino Gonçalves[7]

Resumo

O artigo analisa as contribuições da robótica educacional para o desenvolvimento do pensamento computacional e da resolução de problemas no ensino de Matemática na educação básica. Realizou-se revisão integrativa qualitativa de publicações entre 2021 e 2026, selecionadas em portais acadêmicos e repositórios institucionais, com verificação de metadados, DOI e endereços eletrônicos. A síntese evidencia que a robótica pode favorecer decomposição, reconhecimento de padrões, abstração, elaboração de algoritmos, depuração, modelagem, argumentação e transferência quando integra problemas matemáticos autênticos, ciclos de previsão e teste, mediação docente e avaliação processual. Os efeitos, porém, são heterogêneos e dependem da duração, do desenho das tarefas, da formação docente, da colaboração, da acessibilidade e da infraestrutura. Conclui-se que a potência pedagógica não reside no dispositivo em si, mas em um sistema didático que articula objetivos curriculares, programação, materialidade, evidências e institucionalização do conhecimento. Propõem-se princípios para planejamento, avaliação e pesquisa, com ênfase em equidade, sustentabilidade e rigor metodológico.

Palavras-chave: robótica educacional; ensino de Matemática; pensamento computacional; resolução de problemas; educação básica.

Abstract

This article analyzes the contributions of educational robotics to the development of computational thinking and problem solving in K-12 mathematics education. A qualitative integrative review of publications from 2021 to 2026 was conducted using academic portals and institutional repositories, with verification of metadata, DOIs, and web addresses. The synthesis indicates that robotics can foster decomposition, pattern recognition, abstraction, algorithm design, debugging, modeling, argumentation, and transfer when it is integrated into authentic mathematical problems, prediction-and-testing cycles, teacher mediation, and process-oriented assessment. Effects are heterogeneous and depend on intervention duration, task design, teacher education, collaboration, accessibility, and infrastructure. The study concludes that pedagogical potential does not lie in the device itself, but in a didactic system connecting curricular goals, programming, materiality, evidence, and the institutionalization of knowledge. Principles for planning, assessment, and research are proposed, emphasizing equity, sustainability, and methodological rigor.

Keywords: educational robotics; mathematics education; computational thinking; problem solving; K-12 education.

[7] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

A presença de tecnologias digitais na educação básica deslocou o debate pedagógico de uma questão meramente instrumental — utilizar ou não dispositivos — para um problema curricular mais exigente: em que condições os artefatos tecnológicos ampliam a atividade intelectual dos estudantes e favorecem aprendizagens matemáticas efetivamente compreensivas? Entre esses artefatos, a robótica educacional ocupa posição singular porque articula programação, construção, mensuração, representação, previsão e verificação em situações nas quais uma ideia abstrata produz efeitos observáveis. Ao programar um robô para percorrer uma trajetória, contornar um obstáculo ou executar uma sequência, o estudante precisa converter relações espaciais, grandezas, padrões e condições em um sistema de instruções. O erro deixa de ser apenas uma resposta incorreta registrada no caderno e se materializa como comportamento inesperado, passível de inspeção, explicação e revisão.

Essa materialidade, contudo, não autoriza conclusões tecnodeterministas. O equipamento, isoladamente, não produz inovação pedagógica, tampouco garante aprendizagem. Relatórios internacionais recentes insistem que a pertinência da tecnologia educacional depende de propósito pedagógico, evidência, equidade, sustentabilidade e mediação humana (UNESCO, 2023; OECD, 2023). A mesma plataforma robótica pode sustentar uma investigação matemática aberta ou limitar-se à reprodução de um roteiro; pode democratizar experiências de modelagem ou acentuar desigualdades entre escolas; pode estimular argumentação coletiva ou concentrar decisões no estudante que já domina programação. A questão relevante, portanto, não é se a robótica “funciona”, em termos absolutos, mas como, para quem, com quais objetivos, sob quais condições didáticas e mediante quais formas de avaliação ela contribui para aprender Matemática.

No interior desse debate, o pensamento computacional tornou-se uma categoria estratégica. Revisões recentes o descrevem por operações como decomposição, reconhecimento de padrões, abstração, elaboração de algoritmos, representação de dados, automatização, depuração e generalização, associadas a práticas de criatividade, comunicação, persistência e avaliação de soluções (NORDBY; BJERKE; MIFSUD, 2022; YE et al., 2023; LEE; FRANCOM; NUATOMUE, 2022). Em Matemática, tais operações não constituem um corpo estranho acrescentado ao currículo. Elas se aproximam de práticas já centrais à disciplina: formular problemas, selecionar variáveis, construir representações, estabelecer relações, justificar procedimentos, testar casos, identificar invariantes e revisar estratégias. A integração é fecunda quando preserva a especificidade dos objetos matemáticos e, simultaneamente, expõe os processos usados para produzir soluções.

A resolução de problemas oferece o eixo pedagógico dessa aproximação. Em atividades robóticas autênticas, o enunciado raramente contém todos os dados ou uma sequência previamente determinada. É necessário compreender a situação, definir critérios de sucesso, decompor a tarefa, estimar valores, elaborar um plano, programá-lo, observar a resposta do sistema, confrontá-la com o modelo e refinar a solução. Esse ciclo aproxima a atividade escolar de processos de modelagem e investigação. Também torna visíveis dimensões frequentemente apagadas em exercícios rotineiros: a tomada de decisão, a análise de restrições, o controle de variáveis, a comunicação entre representações e a validação empírica sem abandono da justificação matemática.

A literatura publicada desde 2021 oferece resultados promissores, mas heterogêneos. Meta-análises e revisões apontam efeitos positivos da robótica sobre competências de programação, pensamento computacional, engajamento e aprendizagens STEM, embora indiquem grande variação de desenho, duração, instrumentos e qualidade metodológica (SUN

et al., 2023; SUÁREZ et al., 2024; ARAFAT et al., 2024). Estudos empíricos mostram ganhos em transferência e desempenho de programação, ao mesmo tempo que registram resultados não significativos quando a comparação ocorre com outras abordagens digitais ativas (YOLCU; DEMIRER, 2023; VEENMAN; TOLBOOM; VAN BEEKUM, 2022). Essa tensão impede que o campo seja reduzido a uma coleção de relatos entusiásticos e recomenda uma síntese voltada às condições de eficácia.

A análise também exige distinguir resultados cognitivos, metacognitivos, sociais e afetivos. Um estudante pode demonstrar entusiasmo sem compreender a relação matemática programada; pode produzir um código funcional sem explicar sua generalidade; ou pode aprofundar uma estratégia mesmo quando o protótipo final falha. Por essa razão, avaliar robótica educacional requer observar processos e produtos: planos, representações, versões do código, registros de testes, explicações orais e escritas, decisões coletivas e capacidade de enfrentar uma situação nova. Essa visão processual é particularmente importante para a resolução de problemas, pois desloca a atenção da resposta final para a qualidade da interpretação, do monitoramento e da validação.

Há ainda uma dimensão ética e política. Plataformas incorporam escolhas de design, licenças, modos de coleta de dados e barreiras de acesso. A escola não pode naturalizar dependência de fornecedores nem supor que familiaridade tecnológica seja igualmente distribuída entre estudantes. Trabalhar pensamento computacional implica também compreender limites dos sistemas, documentar decisões e agir de forma responsável. Desse modo, a robótica pode contribuir para uma educação digital crítica quando o currículo inclui não só construir soluções, mas perguntar quem as define, quais dados utilizam, quais pessoas podem acessá-las e que consequências produzem.

No contexto brasileiro, a relevância do tema se amplia pela coexistência de iniciativas maker, clubes de robótica e projetos interdisciplinares com limitações de infraestrutura, formação docente e tempo curricular. A revisão de Souza e Castro (2022) evidencia que a produção nacional relaciona robótica, ensino e aprendizagem de Matemática, mas ainda demanda maior consistência entre objetivos, intervenções e avaliação. Para escolas com poucos recursos, soluções de baixo custo, compartilhamento de kits, simulação e atividades desplugadas podem compor sequências híbridas; ainda assim, custo total, manutenção, conectividade, acessibilidade e apoio técnico precisam integrar o planejamento, e não aparecer como problemas posteriores.

Diante desse quadro, este artigo tem como objetivo analisar as contribuições da robótica educacional para o desenvolvimento do pensamento computacional e da resolução de problemas no ensino de Matemática na educação básica, identificando mecanismos pedagógicos, condições de implementação, limites das evidências e implicações para o planejamento docente. A pergunta orientadora é: de que modo e sob quais condições a robótica educacional pode favorecer aprendizagens matemáticas articuladas ao pensamento computacional e à resolução de problemas? Defende-se que sua contribuição não decorre da novidade tecnológica, mas da organização de ciclos de problematização, modelagem, programação, experimentação, depuração, argumentação e institucionalização do conhecimento matemático.

O texto está organizado em cinco movimentos. Após esta introdução, o referencial teórico discute a natureza pedagógica da robótica, as relações entre pensamento computacional e Matemática, a resolução de problemas, as mediações docentes, a avaliação e a equidade. Em seguida, apresenta-se o percurso de revisão integrativa. Os resultados e a discussão sintetizam

convergências, tensões e princípios de desenho didático. Por fim, as considerações finais retomam as contribuições e indicam uma agenda de pesquisa e prática.

Referencial teórico

Robótica educacional como ambiente de aprendizagem

Robótica educacional designa um conjunto de práticas em que sistemas programáveis, físicos ou simulados, são mobilizados como objetos de aprendizagem, meios de investigação ou componentes de projetos. A distinção é importante: aprender sobre robótica envolve conceitos de sensores, atuadores, controle e programação; aprender com robótica utiliza o sistema para explorar conteúdos de outras áreas; aprender por meio de projetos robóticos organiza uma situação interdisciplinar na qual os conhecimentos emergem da necessidade de construir e justificar uma solução. Na educação matemática, as três modalidades podem coexistir, mas a última oferece maior potencial de integração porque vincula o artefato a um problema intelectualmente produtivo.

A literatura recente caracteriza a robótica como ambiente tangível de programação. Blocos, motores, sensores e trajetórias tornam perceptíveis relações entre instruções e resultados, permitindo que estudantes formulem hipóteses e recebam retorno imediato do sistema (FUNK et al., 2021; FUNK et al., 2022). Tal retorno não substitui a avaliação humana: ele informa que algo ocorreu, não por que ocorreu. A aprendizagem depende de transformar a resposta do robô em objeto de análise. Perguntas como “qual variável explica o desvio?”, “o erro está no modelo, na medida, no código ou na montagem?” e “que evidência sustenta a alteração?” convertem tentativa e erro em investigação orientada.

O caráter construtivo das atividades favorece autoria quando os estudantes participam da definição do problema, das restrições e dos critérios de sucesso. Em projetos excessivamente prescritos, a montagem converte-se em execução manual e a programação em cópia de blocos. Já tarefas abertas, mas sem apoio, podem impor carga cognitiva alta e produzir exploração errática. O desafio didático consiste em oferecer estrutura suficiente para que os alunos avancem, preservando decisões matemáticas relevantes. Exemplos incluem fornecer um cenário e um objetivo, mas deixar em aberto a estratégia, os parâmetros, o modo de representar dados e o procedimento de validação.

A integração STEM amplia esse ambiente ao reunir conhecimentos de ciência, tecnologia, engenharia e Matemática em torno de problemas contextualizados. Arafat et al. (2024) identificam associação frequente entre robótica integrada e competências do século XXI, enquanto Rahman (2021) destaca resultados esperados que ultrapassam conteúdo, abrangendo dimensões sociais e cognitivas. Todavia, interdisciplinaridade não significa dissolução das disciplinas. Se o professor não explicita quais conceitos matemáticos organizam a solução, a Matemática pode permanecer implícita e ser percebida apenas como cálculo auxiliar. A institucionalização — momento de nomear, comparar, generalizar e registrar o conhecimento produzido — é indispensável.

A robótica também oferece um contexto de modelagem. O movimento programado representa uma relação ideal, mas a execução física introduz atrito, carga da bateria, folgas mecânicas, imprecisão de sensores e variação do piso. A diferença entre modelo e fenômeno permite discutir aproximação, erro absoluto e relativo, tolerância, proporcionalidade e necessidade de calibração. Em vez de tratar a discrepância como defeito que atrapalha a aula, pode-se convertê-la em dado matemático. Essa decisão, porém, precisa ser calibrada à idade e ao objetivo: em certas atividades iniciais, reduzir variáveis é necessário; em outras, a incerteza é o próprio conteúdo.

Assim, a potência da robótica reside menos na aparência do dispositivo que na arquitetura da atividade. Plataformas sofisticadas não garantem problemas melhores, e materiais simples podem sustentar raciocínios complexos. O critério de seleção deve considerar adequação curricular, possibilidade de autoria, transparência do sistema, facilidade de depuração, acessibilidade, manutenção e custo total. A UNESCO (2023) recomenda que decisões tecnológicas partam das necessidades educacionais; aplicada à robótica, essa orientação exige começar pelo objetivo matemático e pelo tipo de atividade cognitiva desejada.

A noção de transparência merece atenção. Interfaces em blocos reduzem a dificuldade sintática, mas podem ocultar relações entre unidades, parâmetros e fluxo de controle; kits fechados podem dificultar compreender como sensores convertem fenômenos em dados. O professor precisa decidir o que deve permanecer caixa-preta e o que deve ser aberto à investigação. Essa decisão é curricular: tornar tudo tecnicamente explícito inviabiliza a tarefa, mas ocultar os mecanismos relevantes impede que estudantes construam modelos causais. Bons ambientes oferecem camadas de complexidade e permitem avançar da operação para a explicação.

Pensamento computacional e aprendizagem matemática

O pensamento computacional é um constructo plural e ainda disputado. Revisões sistemáticas mostram variação conceitual e instrumental, mas convergem em um núcleo de práticas: decompor problemas, reconhecer padrões, abstrair elementos relevantes, representar dados, construir algoritmos, automatizar processos, depurar soluções e generalizar procedimentos (NORDBY; BJERKE; MIFSUD, 2022; YE et al., 2023). A essas práticas somam-se disposições como persistência, colaboração, tolerância à ambiguidade e confiança diante de problemas abertos. A definição adotada neste artigo evita reduzir pensamento computacional a saber programar; programação é uma forma poderosa de expressão e teste, não a totalidade do constructo.

Na decomposição, uma tarefa complexa é reorganizada em subtarefas manejáveis e relacionadas. Programar um robô para percorrer um polígono, por exemplo, requer identificar deslocamentos, rotações, repetições e condições de parada. Matematicamente, a decomposição ajuda a reconhecer estrutura e dependência entre dados. Entretanto, decompor não é apenas fragmentar: é selecionar uma granularidade produtiva. Subtarefas pequenas demais ocultam relações; grandes demais dificultam controle. A mediação docente pode solicitar que grupos representem o plano antes de programar e comparem diferentes decomposições.

O reconhecimento de padrões sustenta tanto a produção de algoritmos quanto a generalização matemática. Sequências repetidas de movimento podem ser condensadas por laços; variações regulares podem ser expressas por parâmetros; simetrias podem reduzir o número de comandos. Nesse processo, o estudante transita do caso particular para uma regra. A programação fornece uma prova operacional limitada — o código funciona para os casos testados —, mas a Matemática exige discutir o domínio de validade e justificar a generalização. A complementaridade é valiosa justamente porque evidencia a diferença entre testar e demonstrar.

A abstração aparece quando se decide quais características da situação devem compor o modelo. Em uma tarefa de navegação, cor do robô pode ser irrelevante, enquanto distância, ângulo, velocidade e alcance do sensor são essenciais. A capacidade de ignorar aspectos não pertinentes e representar relações por variáveis é central à álgebra e à modelagem. Ambientes robóticos podem apoiar essa passagem quando os estudantes são instados a explicar por que escolheram determinados parâmetros e a antecipar como mudanças neles afetam a trajetória.

Algoritmos constituem sequências finitas e ordenadas de ações destinadas a alcançar um objetivo. No ensino de Matemática, explicitar procedimentos algoritmicamente pode aprofundar a compreensão se o estudante relacionar cada instrução ao significado matemático. Há, porém, risco de reforçar uma visão procedimental estreita: transformar toda solução em receita fixa. Para evitá-lo, convém comparar algoritmos, analisar eficiência, discutir legibilidade, identificar pressupostos e propor contraexemplos. Um algoritmo mais curto nem sempre é pedagogicamente superior; clareza e possibilidade de explicação também importam.

A depuração é talvez o elo mais fértil entre robótica, pensamento computacional e resolução de problemas. Depurar envolve localizar discrepâncias entre intenção e execução, formular causas possíveis, obter evidências e alterar a solução de modo controlado. Estudos com robótica mostram que a depuração pode ser trabalhada desde os anos iniciais, desde que tarefas e interfaces sejam adequadas ao desenvolvimento (YANG et al., 2023; SUÁREZ et al., 2022). Didaticamente, é necessário substituir a troca aleatória de comandos por protocolos de investigação: prever, executar, registrar, comparar, isolar uma variável e justificar a revisão.

A integração com a Matemática pode ser parcial ou plena. Nordby, Bjerke e Mifsud (2022) mostram atividades em que o pensamento computacional é acrescentado a um tópico e outras em que reorganiza a forma de explorar o conteúdo. Ye et al. (2023) observam que nem sempre estudos explicitam como uma prática computacional sustenta a aprendizagem matemática. Essa lacuna recomenda mapear duas cadeias: prática computacional → ação do estudante; ação do estudante → significado matemático. Sem essa dupla explicitação, o sucesso do robô pode mascarar compreensão superficial.

A avaliação do pensamento computacional requer triangulação. Testes de conceitos captam parte do desempenho; análise de código mostra estruturas utilizadas; observação e gravação revelam colaboração e estratégias; produções escritas permitem examinar justificativas; entrevistas ajudam a distinguir acerto por compreensão de acerto casual. Lee, Francom e Nuatomue (2022) indicam efeitos positivos gerais da educação em computação, mas também heterogeneidade. Isso reforça que um único escore não representa adequadamente processos distribuídos entre planejamento, programação, materialidade e diálogo.

Também importa distinguir conceito, prática e perspectiva. Saber reconhecer um laço em uma questão fechada é diferente de perceber que uma repetição pode simplificar a solução de um problema; utilizar depuração com ajuda é diferente de adotar espontaneamente uma postura sistemática diante de erros. Perspectivas envolvem como o estudante se vê diante da computação: autor capaz de construir e revisar sistemas, ou consumidor de respostas prontas. Sequências prolongadas podem articular os três níveis, enquanto intervenções pontuais tendem a medir apenas familiaridade imediata.

Resolução de problemas, modelagem e argumentação

A resolução de problemas é entendida aqui como atividade na qual o caminho não está integralmente disponível ao solucionador e exige interpretação, estratégia, monitoramento e validação. Essa concepção se diferencia do exercício de aplicação imediata. A robótica pode criar problemas genuínos porque o comportamento do sistema impõe restrições e fornece consequências às decisões. Contudo, uma tarefa só se torna problema em relação ao repertório de quem a enfrenta; roteiros fechados podem eliminar a incerteza intelectual, enquanto desafios desproporcionais podem bloquear a participação.

Um ciclo didático produtivo reúne seis movimentos: compreender e delimitar o problema; construir uma representação; elaborar e justificar um plano; implementar o plano; testar e analisar evidências; comunicar, revisar e generalizar. O pensamento computacional

atravessa o ciclo, mas não o esgota. A Matemática oferece conceitos e relações para modelar; a programação formaliza parte do plano; a execução física produz dados; a argumentação atribui sentido aos resultados. O professor deve tornar as passagens entre essas linguagens objeto explícito de ensino.

Considere uma situação em que um robô deve percorrer um circuito com o menor tempo possível sem ultrapassar os limites. A tarefa envolve mensuração, razão entre distância e tempo, análise de ângulos, elaboração de tabela, construção de gráficos e otimização sob restrições. A simples competição pelo menor tempo pode privilegiar tentativa e habilidade técnica. Para produzir aprendizagem matemática, o desenho precisa exigir previsão, registro de parâmetros, comparação entre execuções e defesa da solução. A evidência deixa de ser "nosso robô venceu" e passa a incluir relações quantitativas e justificativas replicáveis.

Problemas de trajetória favorecem geometria, localização e medidas; sensores podem apoiar estatística e funções; mecanismos e engrenagens permitem explorar razão e proporcionalidade; repetições e variáveis conectam-se à álgebra; coleta de dados abre espaço para média, dispersão e incerteza. A escolha do conteúdo não deve ser posterior à construção do projeto. Uma matriz de alinhamento pode relacionar objetivo curricular, desafio, ação observável, artefato produzido e evidência de aprendizagem. Essa ferramenta reduz a tendência de avaliar apenas se o robô funcionou.

A colaboração constitui componente cognitivo, não simples arranjo organizacional. Projetos robóticos distribuem conhecimento entre estudantes, registros, código e componentes físicos. Papéis rotativos — planejamento, programação, montagem, teste, documentação e relatoria — podem ampliar participação, desde que não se convertam em especializações fixas. A explicação entre pares obriga a externalizar decisões e pode revelar concepções. A atividade coletiva, porém, também pode ocultar desigualdades: um estudante controla o computador e os demais observam. Por isso, a avaliação deve combinar produtos do grupo e evidências individuais.

A argumentação matemática emerge quando estudantes precisam sustentar que uma solução atende aos critérios e explicar por que uma alteração foi eficaz. O robô funciona como interlocutor não discursivo: seu comportamento oferece evidência, mas não formula razões. Cabe à comunidade da sala transformar observações em afirmações, dados e justificativas. Sessões de socialização, comparação de algoritmos e análise pública de erros são essenciais. O professor pode selecionar soluções contrastantes, inclusive incompletas, para discutir eficiência, generalidade e robustez.

A transferência é outro critério decisivo. Yolcu e Demirer (2023) encontraram vantagens da robótica para sucesso em programação e transferência, mas não diferença significativa em pensamento computacional entre grupos que usaram robótica e programação em blocos. O resultado sugere que a tangibilidade pode favorecer certas aprendizagens, mas métodos ativos alternativos também são potentes. Avaliar transferência requer problemas novos, nos quais o estudante reconheça estruturas e adapte princípios, não apenas repita a sequência praticada.

A qualidade do problema pode ser examinada por sua demanda epistêmica. Tarefas de baixa demanda solicitam seguir instruções e confirmar um resultado conhecido; tarefas de alta demanda requerem relacionar representações, tomar decisões e justificar critérios. A presença de componentes físicos não altera automaticamente essa demanda. Ao contrário, detalhes de montagem podem consumir atenção e reduzir o espaço para raciocínio. Cabe ao planejamento remover complexidade incidental e preservar complexidade produtiva, aquela diretamente vinculada ao conceito e à estratégia que se deseja ensinar.

Mediação docente, currículo e formação

A implementação depende de conhecimento articulado do conteúdo matemático, da pedagogia, da tecnologia e das práticas computacionais. Professores precisam antecipar dificuldades de medida, representação e programação; interpretar erros; decidir quando intervir; e conduzir a passagem da experiência para a formalização. A revisão de Dong et al. (2023) sobre a formação do pensamento computacional de futuros professores evidencia a necessidade de modelos formativos integrados e de maior consistência na avaliação. Formação efetiva deve, portanto, incluir vivência como aprendiz, análise de tarefas, desenho de sequências, avaliação e reflexão sobre episódios reais.

Uma mediação produtiva utiliza perguntas em vez de reparos imediatos: “o que o programa deveria fazer?”, “em que passo o comportamento se distancia da previsão?”, “quais dados precisamos coletar?”, “como saberemos se a mudança resolveu a causa?”. Esse repertório preserva a agência do estudante. O professor também regula a complexidade por andaimes temporários, como pseudocódigo, cartões de comandos, tabelas de teste, código parcialmente construído e exemplos contrastantes. O andaime deve ser retirado progressivamente para evitar dependência.

Curricularmente, a robótica não precisa constituir disciplina isolada. Pode integrar unidades de Matemática, projetos interdisciplinares ou oficinas complementares, desde que haja continuidade. Intervenções muito curtas captam entusiasmo inicial, mas raramente sustentam progressão conceitual. Meta-análise sobre condições instrucionais indica que duração, desenho e mediação influenciam resultados de programação (SUN et al., 2023). Uma progressão plausível parte de sequenciamento e representação espacial, avança para laços, condições e variáveis, e culmina em sensores, dados, funções e otimização.

O planejamento deve prever tempo de familiarização técnica sem permitir que ele consuma toda a unidade. Rotinas comuns, kits organizados, código-base, documentação acessível e protocolos de manutenção reduzem carga operacional. A escola precisa reconhecer que infraestrutura inclui pessoas, processos e tempo, não apenas compra de equipamentos. O OECD Digital Education Outlook 2023 destaca ecossistemas em que ferramentas, governança e capacidade humana se articulam; para a robótica, isso envolve suporte técnico, formação continuada, reposição de peças, proteção de dados e avaliação de uso.

A avaliação formativa pode ocorrer mediante rubricas que contemplem compreensão do problema, uso de conceitos matemáticos, qualidade da representação, coerência algorítmica, estratégia de teste, depuração, argumentação e colaboração. Cada critério deve descrever níveis observáveis. O produto final é insuficiente: dois grupos podem alcançar trajetórias semelhantes por processos cognitivos muito diferentes. Portfólios com versões de código, tabelas de dados, fotografias, explicações e reflexões individuais tornam a evolução examinável.

A cultura do erro é central. Se falhas forem penalizadas sem considerar o processo, estudantes tenderão a esconder versões e buscar respostas prontas. Se toda tentativa for celebrada sem exigência de análise, perde-se rigor. A alternativa é valorizar erros produtivos documentados: identificar a discrepância, explicar a hipótese causal, alterar uma variável e avaliar o efeito. Esse protocolo aproxima avaliação e aprendizagem e permite observar autorregulação.

A formação também deve problematizar expectativas de gênero, raça e classe associadas à tecnologia. Participação não se mede apenas por presença no grupo, mas por acesso às decisões, ao computador, aos componentes e à fala pública. Papéis rotativos, exemplos diversos, desenho universal, materiais acessíveis e acompanhamento de padrões de interação são

estratégias necessárias. A competência digital, conforme DigComp 2.2, inclui dimensões críticas e responsáveis, não só operação técnica (VUORIKARI; KLUZER; PUNIE, 2022).

Comunidades profissionais podem reduzir a dependência de capacitações episódicas. Planejamento conjunto, bancos comentados de tarefas, observação entre pares e análise de produções estudantis permitem acumular conhecimento local sobre o que funciona. A documentação deve incluir objetivos, tempo real, dificuldades, adaptações e evidências, não apenas fotografias de protótipos. Esse movimento transforma experiências isoladas em currículo revisável e oferece base para decisões de investimento, formação e progressão entre anos escolares.

Equidade, acessibilidade e limites

A equidade constitui critério de qualidade pedagógica. Projetos que dependem de kits individuais, dispositivos recentes e trabalho domiciliar podem excluir estudantes. Alternativas incluem uso coletivo planejado, estações de aprendizagem, simulação, materiais reutilizados e atividades desplugadas. A meta-análise de Chen et al. (2023) indica que estratégias desplugadas podem desenvolver pensamento computacional, oferecendo complemento relevante em contextos de restrição. Elas não reproduzem toda a experiência física, mas permitem trabalhar representação, algoritmo e depuração antes do acesso ao robô.

Acessibilidade requer analisar interface visual, tamanho de peças, feedback sonoro, demanda motora, contraste, linguagem e organização espacial. Adaptações podem incluir comandos ampliados, programação por pares, descrição verbal, superfícies táteis e tempos diferenciados. O objetivo não é atribuir ao estudante com deficiência um papel periférico de observador, mas redesenhar a tarefa para assegurar participação intelectual e tomada de decisão.

Os resultados afetivos — interesse, motivação e engajamento — aparecem com frequência na literatura, inclusive em intervenções com crianças pequenas (SUÁREZ et al., 2022). Eles importam, mas não devem ser usados como substitutos da aprendizagem. Novidade pode elevar entusiasmo temporariamente; questionários de satisfação sofrem vieses; participação visível não garante compreensão. Estudos precisam combinar medidas afetivas com desempenho, produções e observação longitudinal.

Outra limitação é a heterogeneidade das intervenções. “Robótica educacional” abrange diferentes idades, plataformas, durações, objetivos e pedagogias. Comparar um robô social tutor de multiplicação (HOORN et al., 2021) com um projeto em que estudantes constroem e programam artefatos exige cautela, pois o papel do aluno e o mecanismo de aprendizagem são distintos. Sínteses devem classificar o robô como tutor, ferramenta, objeto ou parceiro de construção, evitando generalizações indevidas.

A evidência causal ainda é desigual. Amostras pequenas, ausência de grupos comparáveis, instrumentos não validados e intervenções conduzidas por pesquisadores limitam inferências. Veenman, Tolboom e Van Beekum (2022), por exemplo, identificaram correlação entre pensamento lógico e computacional, mas não efeito do curso de robótica em sua pequena amostra. Resultados nulos são informativos: ajudam a separar plausibilidade teórica de efeito demonstrado e orientam estudos mais robustos.

Por fim, sustentabilidade envolve custo de aquisição, reposição, obsolescência, licenças, armazenamento, formação e descarte. A pergunta “qual kit comprar?” deve ser posterior a “que experiências curriculares queremos sustentar durante vários anos?”. A governança deve incluir inventário, manutenção, compartilhamento, documentação e revisão periódica do valor

pedagógico. A tecnologia deve permanecer subordinada ao direito de aprender e à autonomia docente (UNESCO, 2023).

A proteção de dados é parte dessa governança. Plataformas conectadas podem registrar contas, projetos, interações e identificadores de estudantes. Escolas devem minimizar dados, examinar termos de uso, definir perfis apropriados à idade e evitar exposição pública involuntária. Sempre que possível, atividades devem poder ocorrer sem coleta desnecessária. Esse cuidado não é externo à aprendizagem: discutir o que um sistema registra e como suas decisões podem ser auditadas integra uma compreensão crítica de tecnologia e responsabilidade.

Metodologia

Este estudo caracteriza-se como revisão integrativa de natureza qualitativa, com síntese temática e finalidade analítico-propositiva. A opção permite reunir revisões sistemáticas, meta-análises, estudos empíricos e documentos institucionais recentes, preservando a distinção entre tipos de evidência. O protocolo foi orientado, no que é aplicável, pelos princípios de transparência do PRISMA 2020 (PAGE et al., 2021), sem reivindicar o estatuto de meta-análise nem combinar quantitativamente resultados heterogêneos.

A busca foi realizada em agosto de 2026 em mecanismos e portais acadêmicos de acesso público, incluindo ERIC, PubMed/PMC, SpringerLink, ScienceDirect, Wiley Online Library, Frontiers, MDPI e Google Scholar, além de repositórios institucionais da UNESCO, OECD e União Europeia. Empregaram-se combinações, em português e inglês, dos descritores “robótica educacional”, “educational robotics”, “mathematics education”, “computational thinking”, “problem solving”, “STEM”, “K-12”, “primary education”, “secondary education”, “teacher education”, “systematic review” e “meta-analysis”. A navegação por referências de estudos de síntese foi utilizada para localizar trabalhos adicionais, seguida de verificação na página do editor ou do periódico.

Foram incluídas publicações entre janeiro de 2021 e agosto de 2026 que apresentassem relação substantiva com pelo menos um dos eixos: robótica educacional; pensamento computacional na educação básica; integração entre pensamento computacional e Matemática; resolução de problemas mediada por programação; formação docente para robótica; ou políticas recentes de tecnologia e competência digital. Exigiu-se disponibilidade de registro funcional na internet, com metadados verificáveis. Excluíram-se textos anteriores a 2021, páginas comerciais, documentos sem autoria ou proveniência identificável, estudos estritamente industriais, duplicatas e publicações cuja conexão com o problema fosse apenas nominal.

A seleção final reuniu 29 referências. Para cada item foram conferidos autores institucionais ou pessoais, título, ano, fonte, volume e páginas ou número de artigo, quando disponíveis, DOI e endereço eletrônico. Os DOI foram transcritos somente quando constavam em páginas de editor, periódico ou indexador acadêmico confiável; nos demais casos, registrou-se o URL funcional. A literatura foi organizada em uma matriz com tipo de estudo, nível educacional, papel do robô, dimensão do pensamento computacional, conteúdo matemático, desenho pedagógico, resultados, limitações e implicações.

A análise temática foi desenvolvida em duas etapas. Na primeira, realizou-se codificação dedutiva a partir dos eixos da pergunta: aprendizagem matemática, pensamento computacional, resolução de problemas e condições de implementação. Na segunda, códigos emergentes — tangibilidade e feedback, depuração, alinhamento curricular, mediação, colaboração, avaliação, equidade e sustentabilidade — foram comparados entre estudos. A síntese privilegiou

convergências sustentadas por revisões e meta-análises, usando estudos particulares para exemplificar mecanismos ou tensões.

Há limites. A busca não pretendeu esgotar todas as bases por assinatura, a diversidade de termos pode ter omitido trabalhos e a restrição temporal reduz a recuperação de fundamentos clássicos. Essa restrição foi mantida para atender ao propósito de atualidade, e conceitos consolidados foram discutidos por meio de sínteses recentes. Também não se atribuiu peso idêntico a todos os documentos: revisões e estudos controlados fundamentaram afirmações de efeito; estudos exploratórios apoiaram compreensão de processos; relatórios institucionais sustentaram questões de governança.

Resultados e discussão

A síntese revelou quatro resultados centrais. Primeiro, a robótica favorece pensamento computacional e resolução de problemas quando transforma conceitos em decisões observáveis e iterativas. Segundo, os efeitos sobre aprendizagem matemática dependem de alinhamento explícito entre desafio, conceitos, programação e avaliação. Terceiro, mediação docente, duração, colaboração estruturada e reflexão sobre erros funcionam como condições, não detalhes periféricos. Quarto, a evidência recente é positiva, porém heterogênea, e não sustenta a superioridade universal da robótica sobre outras abordagens ativas.

Quanto ao primeiro resultado, tangibilidade e feedback encurtam o ciclo entre hipótese e consequência. Revisões sobre crianças pequenas e estudos com dispositivos tangíveis mostram oportunidades para sequenciamento, laços, condições e depuração (YANG et al., 2023; FUNK et al., 2021; FUNK et al., 2022). O ganho pedagógico ocorre quando o retorno físico é interpretado. Se o estudante apenas ajusta valores até “dar certo”, há atividade técnica, mas pouca evidência de abstração. Quando registra previsão, mede a discrepância e explica a revisão, o mesmo episódio mobiliza raciocínio matemático e computacional.

O segundo resultado evidencia que integração curricular precisa ser bidirecional. O pensamento computacional pode apoiar Matemática ao tornar processos explícitos, e a Matemática pode qualificar a programação ao fornecer modelos e justificações. Revisões de Nordby, Bjerke e Mifsud (2022) e Ye et al. (2023) mostram predominância de algoritmos, sequências, laços e depuração, mas alertam para conexões matemáticas por vezes insuficientemente descritas. Em consequência, uma sequência bem alinhada deve identificar não apenas o comando utilizado, mas o significado matemático que ele representa e a evidência pela qual será avaliado.

Os domínios mais imediatamente produtivos são geometria e medidas, proporcionalidade, álgebra inicial, funções e estatística. Trajetórias exigem coordenadas, ângulos e escalas; motores e tempo permitem taxas e relações funcionais; sensores produzem conjuntos de dados; laços e variáveis apoiam generalização. A escolha deve evitar contextualização ornamental. Se todos os valores são fornecidos e nenhuma decisão depende da Matemática, o robô funciona como cenário motivacional, não como mediador conceitual.

O terceiro resultado diz respeito à qualidade do desenho. A meta-análise de Sun et al. (2023) confirma eficácia geral para habilidade de programação e examina moderadores instrucionais. A revisão de Arafat et al. (2024) associa projetos integrados a competências como colaboração e resolução de problemas. Esses achados convergem com a necessidade de tarefas baseadas em projetos, mas projetos não são automaticamente investigativos. Critérios claros, ciclos de teste e momentos de sistematização distinguem atividade produtiva de montagem recreativa.

A mediação docente aparece como mecanismo de conversão entre experiência e conhecimento. É ela que ajuda a nomear variáveis, comparar estratégias, controlar testes e institucionalizar conceitos. Sem esse trabalho, estudantes podem aprender a operar uma plataforma sem transferir relações para problemas novos. A formação deve incluir tanto fluência técnica suficiente para diagnosticar problemas quanto repertório didático para não assumir o controle. O erro do robô deve permanecer intelectualmente disponível aos estudantes.

A colaboração mostra efeito potencial sobre comunicação e negociação, mas requer desenho equitativo. A distribuição espontânea frequentemente concentra programação e montagem. Papéis rotativos, checkpoints individuais, explicações cruzadas e produção coletiva de registros ampliam circulação de conhecimento. Em avaliação, recomenda-se combinar rubrica de grupo com tarefas individuais curtas: explicar um trecho de código, prever uma alteração ou justificar uma medida.

O quarto resultado recomenda prudência causal. Yolcu e Demirer (2023) observaram melhores resultados em programação e transferência para o grupo que utilizou mBot, mas ambos os grupos avançaram em pensamento computacional sem diferença significativa. Veenman, Tolboom e Van Beekum (2022) encontraram associação entre pensamento lógico e computacional, porém não efeito demonstrável do curso em amostra reduzida. Tais achados indicam que programação em blocos, atividades desplugadas e outras metodologias investigativas constituem comparadores fortes. A vantagem da robótica precisa ser especificada por resultado, público e tarefa.

Meta-análises recentes em educação infantil e ensino primário apontam efeitos favoráveis sobre pensamento computacional e competência STEM (SUÁREZ et al., 2024; ORTUÑO; SERRANO, 2024). Ao mesmo tempo, heterogeneidade e viés de publicação permanecem preocupações. Muitos estudos são breves e avaliam imediatamente após a intervenção. São necessários acompanhamentos que examinem retenção, transferência e progressão curricular, além de estudos realizados por professores em condições ordinárias de escola.

Com base na síntese, propõe-se um conjunto de princípios de desenho: iniciar pelo objetivo matemático; formular problema com decisões genuínas; antecipar representações e dados; explicitar práticas computacionais; organizar ciclos previsão–execução–evidência–revisão; exigir comunicação e justificativa; alternar papéis; avaliar processo e produto; oferecer alternativas acessíveis; e documentar custo e sustentabilidade. Esses princípios deslocam a atenção do kit para a aprendizagem.

Uma sequência exemplificativa para anos finais pode propor a calibração de um robô e o planejamento de rotas. Na primeira aula, estudantes medem a distância percorrida em diferentes tempos de motor e constroem tabela. Na segunda, representam dados e elaboram um modelo proporcional ou discutem seus desvios. Na terceira, programam uma rota poligonal e preveem posições. Na quarta, testam, quantificam erros e depuram. Na quinta, comparam algoritmos e justificam a solução. A avaliação reúne modelo, código comentado, protocolo de teste e reflexão individual.

Em escolas com poucos kits, a sequência pode operar por estações: uma de planejamento desplugado, uma de simulação, uma de teste físico e uma de análise de dados. Essa organização reduz tempo ocioso e demonstra que o pensamento computacional não está contido no dispositivo. Chen et al. (2023) oferecem evidência de que atividades desplugadas podem produzir efeitos relevantes; a combinação deve ser planejada como continuidade representacional, não como substituição de menor valor.

A discussão conduz a uma tese condicional: a robótica educacional contribui para pensamento computacional e resolução de problemas matemáticos quando o artefato integra um sistema didático coerente. O sistema inclui tarefa, linguagem, representação, interação social, intervenção docente, avaliação, infraestrutura e valores de equidade. Alterar apenas o artefato tende a reproduzir a pedagogia existente; reorganizar o sistema pode ampliar autoria, rigor e sentido.

Considerações finais

Este artigo analisou contribuições, condições e limites da robótica educacional no ensino de Matemática. A literatura recente sustenta que sistemas programáveis podem favorecer decomposição, reconhecimento de padrões, abstração, algoritmos, depuração, comunicação e transferência, especialmente quando inseridos em resolução de problemas e projetos. A contribuição central da tangibilidade consiste em tornar relações entre modelo, instrução e comportamento observáveis, criando oportunidades para testar hipóteses e revisar soluções.

Entretanto, o funcionamento do robô não equivale à aprendizagem. A experiência produz conhecimento matemático quando estudantes medem, representam, preveem, justificam, confrontam evidências e generalizam; e quando o professor institucionaliza as relações construídas. Atividades prescritivas podem reduzir-se à montagem, enquanto desafios sem andaimes podem ampliar carga e desigualdade. O desenho didático precisa equilibrar abertura e estrutura.

Os achados também desautorizam uma defesa universal da robótica. Resultados variam conforme idade, duração, plataforma, comparação, instrumentos e qualidade da mediação. Em alguns estudos, a robótica supera instrução convencional em resultados específicos; em outros, não se diferencia de programação em blocos ou não produz efeito detectável. A pergunta mais rigorosa é qual mecanismo adicional a materialidade oferece para determinado objetivo e se esse benefício justifica custos e complexidade.

Para a prática docente, recomenda-se planejar a partir do currículo, explicitar as conexões entre práticas computacionais e significados matemáticos, organizar ciclos de depuração baseados em evidências, garantir papéis rotativos, combinar avaliação individual e coletiva e prever acessibilidade e sustentabilidade. A formação continuada deve integrar conhecimento matemático, programação, desenho de tarefas, avaliação e discussão de equidade.

Como agenda de pesquisa, são prioritários estudos longitudinais, amostras maiores, comparadores ativos, instrumentos validados e descrição detalhada das intervenções. Também são necessários trabalhos brasileiros em escolas públicas que examinem custo total, manutenção, formação e participação de grupos historicamente sub-representados. A robótica será pedagogicamente relevante não quando ocupar o centro da aula, mas quando ampliar a capacidade de estudantes formular, representar, resolver e argumentar sobre problemas matemáticos.

Referências

ARAFAT, Muhammad Husein; BUDIYANTO, Cucuk Wawan; YUANA, Rosihan Ari; FENYVESI, Kristóf. Implementation of integrated STEM learning in educational robotics towards 21st century skills: a systematic review. International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology, v. 12, n. 5, p. 1127-1141, 2024. Disponível em: https://eric.ed.gov/?id=EJ1452798. Acesso em: 20 ago. 2026.

CHEN, Peng et al. Fostering computational thinking through unplugged activities: a systematic literature review and meta-analysis. International Journal of STEM Education, v. 10, art. 47, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40594-023-00434-7. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1186/s40594-023-00434-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

DONG, Wei; LI, Yongjie; SUN, Lihui; LIU, Yiran. Developing pre-service teachers' computational thinking: a systematic literature review. International Journal of Technology and Design Education, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10798-023-09811-3. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36816094/. Acesso em: 20 ago. 2026.

FAUZI, Ahmad Lutfi; KUSUMAH, Y. S.; NURLAELAH, Elah; JUANDI, Dadang. Computational thinking in mathematics education: a systematic literature review on its implementation and impact on students' learning. Jurnal Kependidikan, v. 10, n. 2, 2024. DOI: https://doi.org/10.33394/jk.v10i2.11140. Disponível em: https://ojspanel.undikma.ac.id/index.php/jurnalkependidikan/article/view/11140. Acesso em: 20 ago. 2026.

FUNK, Mathias G.; CASCALHO, José M.; SANTOS, Ana I.; MENDES, António B. Educational robotics and tangible devices for promoting computational thinking. Frontiers in Robotics and AI, v. 8, art. 713416, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/frobt.2021.713416. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frobt.2021.713416/full. Acesso em: 20 ago. 2026.

FUNK, Mathias et al. A simple interactive robot to promote computational thinking. Frontiers in Computer Science, v. 4, art. 1022778, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fcomp.2022.1022778. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcomp.2022.1022778/full. Acesso em: 20 ago. 2026.

HSIEH, Ming-Chaun et al. Teaching the concept of computational thinking: a STEM-based program with tangible robots on project-based learning courses. Frontiers in Psychology, v. 12, art. 828568, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.828568. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2021.828568/full. Acesso em: 20 ago. 2026.

HOORN, Johan F.; HUANG, Ivy S.; KONIJN, Elly A.; VAN BUUREN, Lars. Robot tutoring of multiplication: over one-third learning gain for most, learning loss for some. Robotics, v. 10, n. 1, art. 16, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/robotics10010016. Disponível em: https://www.mdpi.com/2218-6581/10/1/16. Acesso em: 20 ago. 2026.

KERIMBAYEV, Nurassyl; NURYM, Nurdaulet; AKRAMOVA, Aliya; ABDYKARIMOVA, Saule. Educational robotics: development of computational thinking in collaborative online learning. Education and Information Technologies, v. 28, p. 14987-15009, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10639-023-11806-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s10639-023-11806-5. Acesso em: 20 ago. 2026.

LEE, Sang Joon; FRANCOM, Gregory M.; NUATOMUE, Jeremiah. Computer science education and K-12 students' computational thinking: a systematic review. International Journal of Educational Research, v. 114, art. 102008, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijer.2022.102008. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883035522000866. Acesso em: 20 ago. 2026.

MARTINI, Martini; AMINAH, Neneng. Integration of computational thinking in mathematics learning in senior secondary education from 2019-2023: systematic literature review. Pattimura International Journal of Mathematics, v. 3, n. 1, p. 31-38, 2024. DOI: https://doi.org/10.30598/pijmathvol3iss1pp31-38. Disponível em: https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/pijmath/article/view/12506. Acesso em: 20 ago. 2026.

NORDBY, Siri Krogh; BJERKE, Annette Hessen; MIFSUD, Louise. Computational thinking in the primary mathematics classroom: a systematic review. Digital Experiences in Mathematics Education, v. 8, p. 27-49, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s40751-022-00102-5. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s40751-022-00102-5. Acesso em: 20 ago. 2026.

OECD. OECD Digital Education Outlook 2023: towards an effective digital education ecosystem. Paris: OECD Publishing, 2023. DOI: https://doi.org/10.1787/c74f03de-en. Disponível em: https://www.oecd.org/en/publications/oecd-digital-education-outlook-2023_c74f03de-en.html. Acesso em: 20 ago. 2026.

ORTUÑO, Antonio; SERRANO, José Luis. Didactic impact of educational robotics on the development of STEM competence in primary education: a systematic review and meta-analysis. Frontiers in Education, v. 9, art. 1480908, 2024. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1480908. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2024.1480908/full. Acesso em: 20 ago. 2026.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Disponível em: https://www.bmj.com/content/372/bmj.n71. Acesso em: 20 ago. 2026.

RAHMAN, S. M. Mizanoor. Assessing and benchmarking learning outcomes of robotics-enabled STEM education. Education Sciences, v. 11, n. 2, art. 84, 2021. DOI: https://doi.org/10.3390/educsci11020084. Disponível em: https://www.mdpi.com/2227-7102/11/2/84. Acesso em: 20 ago. 2026.

SOUZA, Maria Silvania Marques Xavier de; CASTRO, Juscileide Braga de. O uso da robótica no ensino e na aprendizagem da Matemática: uma revisão sistemática de literatura. Revista Insignare Scientia, v. 5, n. 4, 2022. DOI: https://doi.org/10.36661/2595-4520.2022v5n4.12663. Disponível em: https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RIS/article/view/12663. Acesso em: 20 ago. 2026.

SUÁREZ, María et al. Educational robotics intervention to foster computational thinking in preschoolers: effects of children's task engagement. Frontiers in Psychology, v. 13, art. 904761, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.904761. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2022.904761/full. Acesso em: 20 ago. 2026.

SUÁREZ, María et al. Enhancing computational thinking in early childhood education with educational robotics: a meta-analysis. Heliyon, v. 10, n. 13, e33249, 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33249. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844024092806. Acesso em: 20 ago. 2026.

SUN, Lihui et al. Effective instruction conditions for educational robotics to develop programming ability of K-12 students: a meta-analysis. Journal of Computer Assisted Learning, v. 39, 2023. DOI: https://doi.org/10.1111/jcal.12750. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jcal.12750. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO. Global education monitoring report 2023: technology in education: a tool on whose terms? Paris: UNESCO, 2023. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000385723. Acesso em: 20 ago. 2026.

VEENMAN, Kim; TOLBOOM, Jos L. J.; VAN BEEKUM, Olivier. The relation between computational thinking and logical thinking in the context of robotics education. Frontiers in Education, v. 7, art. 956901, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2022.956901. Disponível em: https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/feduc.2022.956901/full. Acesso em: 20 ago. 2026.

VUORIKARI, Riina; KLUZER, Stefano; PUNIE, Yves. DigComp 2.2: the Digital Competence Framework for Citizens. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. DOI: https://doi.org/10.2760/115376. Disponível em: https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/50c53c01-abeb-11ec-83e1-01aa75ed71a1. Acesso em: 20 ago. 2026.

YANG, Weipeng; NG, Davy T. K.; SU, Jiahong. Educational robotics for developing computational thinking in young learners: a systematic review. TechTrends, v. 67, p. 423-434, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s11528-023-00841-1. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10078047/. Acesso em: 20 ago. 2026.

YE, Huiyan; LIANG, Biyao; NG, Oi-Lam; CHAI, Ching Sing. Integration of computational thinking in K-12 mathematics education: a systematic review on CT-based mathematics instruction and student learning. International Journal of STEM Education, v. 10, art. 3, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s40594-023-00396-w. Disponível em: https://stemeducationjournal.springeropen.com/articles/10.1186/s40594-023-00396-w. Acesso em: 20 ago. 2026.

YOLCU, Vehbi; DEMIRER, Veysel. The effects of educational robotics in programming education on students' programming success, computational thinking, and transfer of learning. Computer Applications in Engineering Education, v. 31, p. 1633-1647, 2023. DOI: https://doi.org/10.1002/cae.22664. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.22664. Acesso em: 20 ago. 2026.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/10/2026

SAÚDE MENTAL E CONDIÇÕES DE TRABALHO DOCENTE NA EDUCAÇÃO BÁSICA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA SOBRE ADOECIMENTO, VALORIZAÇÃO PROFISSIONAL E QUALIDADE DO ENSINO

Gledistonde Aquino Gonçalves[8]

Resumo

O artigo analisa as relações entre saúde mental, condições de trabalho docente, valorização profissional e qualidade do ensino na educação básica. Realizou-se uma revisão integrativa, de natureza qualitativa e finalidade analítico-sintética, com publicações de janeiro de 2020 a agosto de 2026 localizadas em bases científicas e fontes institucionais. O corpus reuniu 54 publicações científicas e oito documentos normativos ou técnico-institucionais, examinados por análise temática. Os resultados foram organizados em sete eixos: intensificação e invasão do tempo de não trabalho; precarização, carreira e reconhecimento; sofrimento psíquico e burnout; gênero, território e desigualdades; violência e clima escolar; repercussões sobre o trabalho pedagógico; e prevenção e políticas públicas. A síntese indica que sobrecarga, baixa autonomia, instabilidade, violência, insuficiência de recursos e frágil apoio organizacional constituem riscos recorrentes, enquanto liderança justa, cooperação, autonomia, reconhecimento, remuneração e suporte institucional atuam como recursos protetivos. As associações entre mal-estar docente, absenteísmo, presenteísmo, intenção de abandono e prejuízos ao ensino são consistentes, embora não autorizem explicações deterministas. Conclui-se que o cuidado não deve ser individualizado: políticas de saúde mental precisam integrar valorização, organização do trabalho, prevenção da violência, participação docente e atenção psicossocial intersetorial.

Palavras-chave: saúde mental docente; condições de trabalho; educação básica; valorização profissional; burnout; qualidade do ensino.

Abstract

This article analyzes the relationships among mental health, teachers' working conditions, professional valuation, and teaching quality in basic education. A qualitative, analytical-synthetic integrative review was conducted with publications issued from January 2020 to August 2026 and retrieved from scientific databases and institutional sources. The corpus comprised 54 scientific publications and eight normative or technical-institutional documents, examined through thematic analysis. The findings were organized into seven axes: work intensification and spillover into non-work time; precariousness, career, and recognition; psychological distress and burnout; gender, territory, and inequalities; violence and school climate; effects on pedagogical work; and prevention and public policies. Workload, low autonomy, instability, violence, insufficient resources, and weak organizational support emerged as recurrent risks, whereas fair leadership, cooperation, autonomy, recognition, pay, and institutional support operated as protective resources. Associations between teacher ill-being, absence, presenteeism, intention to leave, and impaired teaching were consistent, although they do not support deterministic explanations. Mental health care should therefore not be individualized: policies must integrate professional valuation, work organization, violence prevention, teacher participation, and intersectoral psychosocial care.

Keywords: teacher mental health; working conditions; basic education; professional valuation; burnout; teaching quality.

[8] Licenciado em Química – Universidade Federal do Norte do Tocantins (UFNT). Licenciado em Matemática – Faculdade FAVENI. Especialização em Metodologia do Ensino de Química – Instituto Cultus. Desenvolve estudos sobre o controle químico do caramujo-africano (*Achatina fulica*) em contextos escolares, com interesse na articulação entre investigação científica, ensino de Ciências e conscientização ambiental. Areas de interesse – Ensino de Química, Ensino de Matemática, Educação de Jovens e Adultos, Educação Ambiental, formação científica e o desenvolvimento de metodologias aplicadas à Educação Básica.

Introdução

O trabalho docente ocupa posição estratégica na efetivação do direito à educação, mas sua centralidade social convive com condições concretas que frequentemente limitam o exercício profissional. Planejar, ensinar, avaliar, registrar, atender estudantes e famílias, participar da gestão e responder a demandas administrativas constituem dimensões simultâneas de uma atividade intelectual, relacional e emocionalmente exigente. Quando essas responsabilidades se combinam a turmas numerosas, insuficiência de recursos, vínculos instáveis, baixa remuneração, violência e restrita participação nas decisões, o trabalho pode converter-se em fonte persistente de desgaste. A saúde mental do professor, portanto, não é atributo privado dissociado da escola: é produzida na relação entre sujeitos, organização laboral, políticas educacionais e desigualdades sociais (VIAC; FRASER, 2020; WHO; ILO, 2022).

A noção de saúde mental adotada neste estudo não se limita à ausência de diagnóstico psiquiátrico. Ela abrange possibilidades de agir, estabelecer vínculos, reconhecer sentido no trabalho, recuperar-se de exigências e participar de decisões que afetam a própria atividade. De modo semelhante, bem-estar docente é um construto multidimensional que articula componentes afetivos, cognitivos, físicos, sociais e profissionais. Estresse ocupacional, sofrimento psíquico e síndrome de burnout são fenômenos relacionados, porém não intercambiáveis: o estresse descreve respostas a demandas percebidas como superiores aos recursos disponíveis; o sofrimento compreende experiências mais amplas de mal-estar; e o burnout envolve exaustão, distanciamento ou cinismo e redução da realização profissional associados ao trabalho (HASCHER; WABER, 2021; CORRENTE; FERGUSON; BOURGEAULT, 2022; AGYAPONG et al., 2022).

A produção brasileira recente demonstra que o adoecimento docente não constitui fato isolado nem exclusivamente individual. Sobrecarga, intensificação, pressão por resultados, perda de autonomia e invasão do tempo doméstico aparecem em diferentes redes e etapas da educação básica. Viegas (2022) descreve professoras que trabalham continuamente, inclusive em períodos destinados ao descanso; Silvestre, Figueiredo Filho e Silva (2023) interpretam a ampliação da jornada como expropriação do tempo livre; e Silva et al. (2023) identificam, na literatura e no relato profissional, sofrimento relacionado à organização do trabalho e tendências de medicalização. Esses achados deslocam a pergunta de “por que o professor não suporta?” para “quais condições tornam o trabalho insustentável e quais recursos permitem realizá-lo com qualidade?”.

A pandemia de Covid-19 tornou visíveis e aprofundou problemas já existentes. A migração emergencial para atividades remotas exigiu aprendizagem tecnológica acelerada, aquisição privada de equipamentos, reorganização do espaço doméstico e atendimento prolongado por aplicativos. Estudos brasileiros registraram extensão da jornada, dificuldade de desconexão, perda de renda, insegurança, ansiedade, afeto negativo e insatisfação laboral (OLIVEIRA; PEREIRA JUNIOR, 2020; SOUZA et al., 2021; TROITINHO et al., 2021; SILVA, R. R. V. et al., 2021). A crise sanitária, contudo, não explica sozinha o fenômeno. Revisões posteriores mostram continuidade de riscos psicossociais e reforçam que a pandemia funcionou como amplificador de precariedades estruturais, com impactos diferenciados por gênero, vínculo de trabalho e condições territoriais (SILVA FILHO; ANDRADE; PORTO, 2025; BEVILACQUA; COBALCHINI; ROSSLER, 2025).

No cenário internacional, revisões sistemáticas e metanálises convergem ao identificar demandas quantitativas e emocionais, problemas de comportamento discente, burocratização, ambiguidade de papéis e baixa participação como fatores associados ao mal-estar. Em sentido protetivo, destacam-se apoio da liderança e dos pares, autonomia, relações escolares positivas,

reconhecimento e condições para o desenvolvimento profissional (MIJAKOSKI et al., 2022; NWOKO et al., 2023; ZHOU; SLEMP; VELLA-BRODRICK, 2024). A literatura também vincula burnout à intenção de abandonar a carreira e a queixas de saúde física, sugerindo que a deterioração das condições laborais pode comprometer a permanência de profissionais experientes (MADIGAN; KIM, 2021; MADIGAN et al., 2023). O relatório global da UNESCO (2024) situa essa discussão em um quadro de escassez de professores e afirma que recrutamento sem retenção e valorização não responde ao problema.

A valorização profissional deve ser compreendida de forma substantiva. Ela inclui remuneração compatível, carreira previsível, estabilidade, tempo remunerado para planejamento, formação vinculada às necessidades reais, participação na gestão, segurança, reconhecimento e apoio para lidar com conflitos. Não se reduz a discursos de gratidão, prêmios ocasionais ou apelos vocacionais. No Brasil, a Lei nº 14.681/2023 instituiu a Política de Bem-Estar, Saúde e Qualidade de Vida no Trabalho e Valorização dos Profissionais da Educação, incorporando dimensões como ambiente organizacional, carga de trabalho, absenteísmo, presenteísmo e participação dos trabalhadores (BRASIL, 2023). A Lei nº 14.819/2024, por sua vez, incluiu profissionais da educação na Política Nacional de Atenção Psicossocial nas Comunidades Escolares e previu articulação intersetorial (BRASIL, 2024).

Relacionar saúde docente e qualidade do ensino exige cuidado analítico. Professores adoecidos não perdem automaticamente compromisso, competência ou capacidade de produzir experiências significativas, e resultados escolares dependem de múltiplas condições. Ainda assim, a energia emocional, a atenção, a disponibilidade para feedback, a qualidade das interações e a continuidade do trabalho podem ser afetadas quando exigências persistentes excedem recursos. A revisão de Madigan e Kim (2020), com estudos envolvendo professores e estudantes, encontrou associações entre burnout e menor desempenho ou motivação discente; Dreer (2023) reuniu evidências de relações entre bem-estar, práticas profissionais, vínculos e retenção. Trata-se de uma relação probabilística e mediada, não de causalidade linear nem de responsabilização do indivíduo.

O debate apresenta ainda uma tensão recorrente entre intervenções individuais e mudanças organizacionais. Programas de mindfulness, manejo do estresse, psicologia positiva e desenvolvimento socioemocional podem produzir benefícios, mas a evidência é heterogênea e frequentemente concentrada em resultados de curto prazo. Revisões indicam predominância de intervenções dirigidas ao professor individual, apesar de muitos determinantes se situarem na escola, nas redes e nas políticas (BEAMES et al., 2023; AGYAPONG et al., 2023; AVOLA et al., 2025). Ao oferecer autocuidado sem alterar sobrecarga, violência ou precariedade, a instituição corre o risco de transformar um problema coletivo em insuficiência de adaptação pessoal.

Diante desse quadro, formula-se a seguinte questão: como a literatura publicada desde 2020 caracteriza as relações entre condições de trabalho, saúde mental e adoecimento de docentes da educação básica, e que implicações apresenta para a valorização profissional e a qualidade do ensino? O objetivo geral é analisar criticamente essas relações por meio de revisão integrativa. Como objetivos específicos, busca-se: a) identificar riscos psicossociais e recursos protetivos; b) sistematizar manifestações e consequências do adoecimento; c) discutir desigualdades de gênero, vínculo e território; d) examinar repercussões sobre permanência e trabalho pedagógico; e e) avaliar respostas institucionais e políticas públicas.

A relevância do estudo decorre da necessidade de integrar campos frequentemente tratados de forma separada. Pesquisas de saúde ocupacional podem quantificar sintomas sem discutir a política educacional; análises do trabalho podem descrever precarização sem acompanhar desfechos de saúde; e estudos de eficácia podem relacionar características

docentes a resultados sem considerar as condições que as produzem. A revisão integrativa permite aproximar essas evidências e construir uma interpretação útil a pesquisadores, sindicatos, gestores e formuladores de políticas. Após esta introdução, apresentam-se os fundamentos conceituais; discutem-se condições de trabalho, adoecimento, valorização e ensino; explicitam-se os procedimentos metodológicos; sintetizam-se resultados e lacunas; e formulam-se as considerações finais.

Saúde mental, trabalho docente e educação básica

Compreender a saúde mental docente requer tomar o trabalho como atividade situada. O professor não apenas executa prescrições curriculares: interpreta objetivos, decide prioridades, adapta recursos, administra imprevistos e sustenta relações em contextos complexos. Existe sempre distância entre o trabalho prescrito e o trabalho efetivamente realizado, preenchida por saberes, cooperação e investimento subjetivo. Essa margem pode ser fonte de criação e sentido quando há autonomia e reconhecimento; torna-se fonte de sofrimento quando metas incompatíveis, controles excessivos e falta de meios impedem o profissional de realizar aquilo que considera um trabalho bem-feito (SILVA et al., 2023; CUNHA et al., 2024).

As condições de trabalho abrangem elementos materiais, contratuais, temporais, organizacionais e relacionais. Incluem infraestrutura, recursos didáticos, tamanho das turmas, jornada, remuneração, carreira, estabilidade, divisão de tarefas, autonomia, apoio da gestão, relações com estudantes e famílias, segurança e possibilidade de recuperação. Essa definição evita restringir o problema à arquitetura do prédio ou ao contrato formal. Duas escolas materialmente semelhantes podem produzir experiências distintas conforme a justiça das decisões, o grau de cooperação e a capacidade de enfrentar conflitos; de modo inverso, boas relações não compensam indefinidamente falta de tempo, pessoal e recursos (VIAC; FRASER, 2020; CARROLL et al., 2022).

O bem-estar docente é simultaneamente resultado e condição do trabalho. Hascher e Waber (2021) e Gámez-Genovart, Oliver-Trobat e Rosselló Ramon (2025) mostram diversidade conceitual e metodológica no campo, mas identificam componentes recorrentes como emoções, satisfação, funcionamento profissional e relações sociais. Bardach, Klassen e Perry (2022) acrescentam que características psicológicas se relacionam a eficácia, retenção e vínculos, embora sejam influenciadas pelos contextos. Por isso, atributos como autoeficácia e resiliência não devem ser interpretados como recursos inesgotáveis que liberam a organização de sua responsabilidade. Eles operam em interação com demandas, apoio, autonomia e reconhecimento.

A leitura por demandas e recursos do trabalho oferece uma síntese útil. Demandas exigem esforço continuado e podem gerar custos fisiológicos ou psicológicos; recursos permitem alcançar objetivos, aprender, participar e recuperar-se. Carga elevada, conflito de papéis, indisciplina, vigilância e violência tendem a consumir energia. Apoio, liderança justa, autonomia, tempo, formação e relações de confiança podem amortecer exigências e favorecer engajamento. Revisões de gestão de riscos, estudos longitudinais e metanálises confirmam que o equilíbrio não depende apenas da quantidade de trabalho, mas da combinação entre exigências, controle, justiça, sentido e recursos disponíveis (WISCHLITZKI et al., 2020; MIJAKOSKI et al., 2022; NWOKO et al., 2023; MOENS et al., 2026).

Burnout constitui um dos desfechos mais estudados, mas não esgota a saúde mental docente. A centralidade do construto possibilita comparar exaustão, distanciamento e realização profissional, ao mesmo tempo que pode obscurecer ansiedade, depressão, problemas de sono, sofrimento moral, somatização e uso de medicamentos. A revisão de Agyapong et al. (2022)

documenta a coexistência de estresse, burnout, ansiedade e depressão; Madigan et al. (2023) identificam associações com saúde física. No Brasil, estudos discutem processos de medicalização que tratam sintomas sem transformar condições geradoras de sofrimento (SILVA et al., 2023; ASSUNÇÃO; BARBOSA, 2024).

Também é necessário diferenciar absenteísmo e presenteísmo. O primeiro corresponde à ausência do trabalho, inclusive por licença de saúde; o segundo ocorre quando a pessoa trabalha doente, com capacidade reduzida ou sofrimento significativo. Licenças podem ser interpretadas administrativamente como falta individual, embora revelem riscos coletivos; o presenteísmo, menos visível, preserva a presença formal ao custo de maior desgaste e possível redução de atenção, criatividade e disponibilidade emocional. A legislação brasileira recente reconhece ambos como indicadores relevantes para políticas de bem-estar, oferecendo base para sistemas de vigilância que protejam, e não punam, os trabalhadores (BRASIL, 2023; SALVAGIONI et al., 2022).

Por fim, valorização profissional e saúde são dimensões indissociáveis. Reconhecimento simbólico só se sustenta quando acompanhado de condições objetivas e voz institucional. A perspectiva adotada neste artigo considera valorização um conjunto de garantias que permite exercer, aprender e permanecer na profissão com dignidade. Tal concepção se aproxima das análises da OECD (2020a), que relacionam condições, satisfação e percepção de valor social, e das diretrizes da WHO (2022), que priorizam intervenções organizacionais, participação dos trabalhadores e prevenção de riscos psicossociais.

Condições de trabalho, adoecimento, valorização e ensino

Intensificação, sobrecarga e invasão do tempo de não trabalho

A intensificação ocorre quando mais tarefas, decisões ou responsabilidades precisam ser cumpridas no mesmo intervalo, frequentemente com menos recursos. Na docência, ela se expressa pela ampliação de registros, avaliações, reuniões, comunicação com famílias, projetos e demandas de inclusão sem correspondente reorganização da jornada. Viegas (2022) evidencia que o tempo formal não contém o trabalho real: correções, planejamento e mensagens atravessam noites e fins de semana. O problema não é apenas trabalhar muitas horas, mas permanecer mentalmente conectado, antecipando situações e carregando pendências que reduzem a recuperação.

A digitalização ampliou possibilidades de comunicação, mas também tornou porosas as fronteiras entre escola e vida privada. Durante o ensino remoto emergencial, celulares pessoais e plataformas converteram o domicílio em local de trabalho. Pesquisas registraram ausência de equipamentos institucionais, improvisação, extensão da jornada e disponibilidade permanente (SOUZA et al., 2021; DUARTE; HYPÓLITO, 2021; SANTOS; NUNES; GOMES, 2022). Os diários analisados por Souza et al. (2022) mostram que a experiência combinou criatividade, medo, exaustão e trabalho invisível. Parte dessas rotinas permaneceu após a reabertura, tornando necessária uma política de desconexão e definição de canais e horários.

A sobrecarga possui dimensão quantitativa e qualitativa. Um volume elevado de tarefas pode coexistir com conflito entre finalidades: acolher estudantes, cumprir currículo, produzir indicadores, administrar disciplina e atender urgências. Quando não há critérios compartilhados, cada demanda aparece como igualmente prioritária, e o professor assume individualmente a impossibilidade de cumprir tudo. Previtali e Fagiani (2022) associam transformações tecnológicas e gerenciais a novas formas de controle; Silvestre, Figueiredo Filho e Silva (2023) ressaltam a expropriação do tempo livre. A saúde depende, portanto, de revisão do processo de trabalho, não apenas de técnicas pessoais de produtividade.

A recuperação é uma necessidade laboral, não um privilégio. Pausas, férias, sono e tempo de convivência permitem recompor recursos cognitivos e emocionais. Quando o trabalho ocupa continuamente o não trabalho, aumentam irritabilidade, fadiga, dificuldade de concentração e intenção de desligamento. A gestão preventiva deve dimensionar tarefas, proteger horas de planejamento dentro da jornada, limitar comunicações extrajornada e avaliar o impacto de cada nova exigência. Essas medidas transformam a organização, ao passo que apelos genéricos ao equilíbrio transferem ao professor a responsabilidade por fronteiras que a própria instituição desrespeita.

Precarização, carreira, remuneração e reconhecimento

Precarização não designa somente contrato temporário. Ela envolve instabilidade, remuneração insuficiente, múltiplos vínculos, ausência de proteção, infraestrutura inadequada e transferência de custos para o trabalhador. Na educação básica brasileira, professores podem circular entre escolas e redes, lecionar número elevado de turmas e complementar renda, reduzindo tempo para planejamento e participação coletiva. Oliveira e Pereira Junior (2020) e Pessanha e Trindade (2022) mostraram como desigualdades de acesso e recursos atravessaram o ensino remoto; Baade et al. (2020) registraram dificuldades profissionais e emocionais vividas no início da pandemia.

A carreira comunica o valor atribuído ao trabalho. Progressão previsível, salários adequados, formação reconhecida e condições de permanência reduzem insegurança e permitem investir em projetos de longo prazo. Quando regras mudam continuamente ou a remuneração não acompanha responsabilidades, produz-se uma contradição entre o discurso que declara o professor essencial e a experiência concreta de desvalorização. A OECD (2020a) associa satisfação e intenção de permanecer a condições profissionais e percepção de valor; a UNESCO (2024) alerta que a escassez global de docentes não será enfrentada sem tornar a carreira atraente e sustentável.

Reconhecimento possui também dimensão cotidiana. Professores precisam ver seu julgamento profissional considerado, receber retorno justo e participar das decisões que transformam currículo, avaliação e rotina escolar. Lideranças que comunicam prioridades, distribuem responsabilidades de modo transparente e protegem a equipe diante de agressões constituem recursos de saúde. Em contraste, vigilância baseada exclusivamente em indicadores, culpabilização por resultados e mudanças impostas reduzem autonomia e sentido. Estudos internacionais apontam apoio da liderança e relações de confiança entre os fatores mais consistentes do bem-estar ocupacional (CARROLL et al., 2022; ZHOU; SLEMP; VELLA-BRODRICK, 2024).

Valorizar não significa eliminar exigências ou avaliações, mas assegurar que sejam legítimas, possíveis e acompanhadas de meios. A participação docente permite identificar tarefas redundantes e consequências não previstas das políticas. A Lei nº 14.681/2023 oferece diretrizes relevantes ao articular valorização, clima organizacional, carga de trabalho, saúde integral e participação. Sua potência, entretanto, depende de regulamentação, financiamento, diagnóstico local e controle social; sem implementação, o reconhecimento jurídico pode permanecer separado da experiência concreta (BRASIL, 2023).

Sofrimento psíquico, burnout e saúde física

Estudos nacionais realizados desde 2020 registram ansiedade, depressão, estresse e burnout em diferentes grupos docentes. A revisão de Silva, D. F. O. et al. (2021) encontrou prevalências relevantes de ansiedade, depressão e estresse durante a pandemia, com elevada heterogeneidade entre instrumentos e contextos. No Brasil, Troitinho et al. (2021) identificaram

ansiedade, afeto negativo e estresse no trabalho remoto; Ramos et al. (2023) observaram burnout em diferentes níveis de ensino. Os resultados não devem ser convertidos em uma taxa universal, pois amostragem, momento, escala e pontos de corte variam, mas demonstram magnitude suficiente para justificar prevenção sistemática.

Burnout é favorecido pela exposição prolongada a demandas sem recuperação e recursos. A exaustão pode ser acompanhada de distanciamento defensivo, sensação de ineficácia e perda de sentido. Machado et al. (2024), ao estudarem professoras do ensino médio público, discutem simultaneamente burnout e engagement, mostrando que desgaste e vínculo com o trabalho não são simples opostos. Um professor pode manter compromisso elevado enquanto se exaure, situação que torna o risco menos visível e reforça a importância de observar ritmos, carga e apoio, em vez de presumir que dedicação protege contra adoecimento.

As repercussões ultrapassam o plano emocional. Madigan et al. (2023), em revisão sistemática, encontraram associação consistente entre burnout e queixas ou problemas físicos. Salvagioni et al. (2022), em estudo de coorte, relacionaram burnout a afastamento prolongado da função docente. Medeiros et al. (2023) mostraram que vulnerabilidade social das escolas se associa a ausências por sintomas vocais e psicológicos, indicando que corpo, voz, território e organização laboral se entrelaçam. Separar saúde mental e física pode ocultar trajetórias nas quais insônia, dor, fadiga, alterações vocais e sofrimento psíquico se reforçam.

A invisibilidade é ampliada pelo presenteísmo e pelo estigma. Professores podem ocultar sintomas por receio de julgamento, perda de contrato ou sobrecarga dos colegas. Assunção e Barbosa (2024) argumentam que o adoecimento da categoria permanece socialmente pouco reconhecido, embora produza consequências para trabalhadores e sistemas. A resposta centrada em afastar e substituir o indivíduo, sem analisar o coletivo, perde a oportunidade de prevenção. Indicadores de licenças e readaptações devem ser examinados com confidencialidade e participação, associados a entrevistas e análise ergonômica do trabalho.

A medicalização constitui risco adicional quando medicamentos ou diagnósticos são utilizados como explicação suficiente para sofrimentos produzidos ou agravados pelo trabalho. O acesso a cuidado clínico é indispensável e não deve ser deslegitimado; a crítica incide sobre respostas que tratam sintomas enquanto preservam as mesmas condições. Saúde ocupacional efetiva combina acolhimento individual, garantia de direitos, retorno ao trabalho apoiado e transformação organizacional. As recomendações da WHO (2022) e do documento conjunto WHO e ILO (2022) convergem ao priorizar prevenção, intervenções organizacionais, formação de gestores e acomodação razoável.

Gênero, território, vínculo e desigualdades

A docência básica é uma ocupação fortemente feminizada, e as condições de saúde são atravessadas pela divisão sexual do trabalho. Professoras frequentemente acumulam atividade profissional, cuidado doméstico e acompanhamento de familiares, com menor possibilidade de recuperação. No ensino remoto, essa sobreposição tornou-se materialmente visível: casa, escola e cuidado passaram a compartilhar o mesmo tempo e espaço. A revisão de Silva Filho, Andrade e Porto (2025) identifica precarização, trabalho feminino e saúde como dimensões articuladas; Bevilacqua, Cobalchini e Rossler (2025) reforçam a distribuição desigual dos impactos.

Gênero não opera isoladamente. Raça, classe, idade, deficiência, parentalidade, orientação sexual, tipo de vínculo e localização territorial podem produzir exposições distintas e acesso desigual a suporte. Escolas em áreas socialmente vulneráveis atendem demandas educacionais e sociais mais intensas sem necessariamente receber recursos proporcionais. A análise multinível de Medeiros et al. (2023) sugere associação entre vulnerabilidade escolar e

afastamentos por sintomas vocais e psicológicos. Políticas universais precisam, portanto, ser combinadas a alocação equitativa de pessoal, segurança, apoio multiprofissional e infraestrutura.

Vínculos temporários e terceirizados podem aumentar insegurança e silenciamento. O receio de não renovação reduz a possibilidade de recusar tarefas, comunicar adoecimento ou participar criticamente da gestão. Em redes extensas, diferenças entre unidades e municípios dificultam generalizações e exigem sistemas de monitoramento sensíveis ao contexto. O estudo de Barbosa et al. (2025), ao articular investigações sobre vida, trabalho e saúde em Minas Gerais, evidencia a importância de coortes e redes de pesquisa capazes de acompanhar mudanças para além de momentos de crise.

Uma política de saúde mental comprometida com equidade não deve classificar determinados grupos como frágeis. Deve identificar exposições desiguais e remover barreiras. Isso implica oferecer horários compatíveis para cuidado, acessibilidade, proteção contra discriminação, critérios transparentes para lotação e progressão, além de participação dos grupos afetados. A valorização torna-se concreta quando reconhece que igualdade formal pode reproduzir desigualdades materiais.

Violência, relações de trabalho e clima escolar

A violência contra professores compreende agressões físicas, ameaças, humilhações, assédio, discriminação, ataques digitais e deslegitimação pública. Simões e Cardoso (2022) encontraram associação entre violência em escolas públicas e esgotamento profissional. A experiência ou expectativa de agressão pode produzir hipervigilância, medo e redução do sentimento de pertencimento. Quando a instituição banaliza episódios ou responsabiliza a vítima, amplia-se o dano; quando estabelece protocolos, acolhe e intervém de forma justa, transforma-se o risco individual em responsabilidade coletiva.

Problemas de comportamento discente aparecem de modo recorrente em estudos sobre estresse, mas não devem ser explicados pela culpabilização de estudantes e famílias. Conflitos emergem de relações atravessadas por desigualdades, ausência de equipes, regras inconsistentes e falta de espaços democráticos. A prevenção exige convivência escolar, práticas restaurativas, apoio pedagógico e rede de proteção, além de respostas proporcionais a situações graves. Professores precisam de formação e suporte, mas não podem assumir sozinhos funções de saúde, segurança e assistência social.

O clima escolar reúne percepções de segurança, justiça, apoio, cooperação e coerência. Lideranças acessíveis e pares colaborativos constituem recursos que reduzem isolamento. Durante a pandemia, Westphal et al. (2022) identificaram a liderança como elemento relevante na experiência de estresse e burnout de docentes da educação básica; Pressley (2021) destacou fatores organizacionais e mudanças de demanda. O apoio, contudo, precisa ser material: escuta sem possibilidade de alterar tarefas ou obter recursos pode se tornar ritual administrativo.

A Política Nacional de Atenção Psicossocial nas Comunidades Escolares reconhece que estudantes e profissionais integram a mesma comunidade e prevê articulação entre educação, saúde e assistência social (BRASIL, 2024). Essa abordagem é promissora porque evita opor o cuidado do professor ao do estudante. Sua implementação requer fluxos de referência, protocolos de crise, proteção de dados e definição de responsabilidades. A escola é espaço de promoção e identificação precoce, mas não deve ser convertida em serviço clínico nem sobrecarregar docentes com novas funções.

Saúde docente, permanência e qualidade do ensino

A qualidade do ensino resulta de currículo, financiamento, infraestrutura, gestão, composição das turmas, relações e trabalho pedagógico. Inserir a saúde docente nessa equação não significa atribuir ao professor responsabilidade exclusiva, mas reconhecer que ensinar envolve atenção, julgamento e disponibilidade relacional. Exaustão persistente pode limitar planejamento, diferenciação, feedback e manejo de situações complexas. O presenteísmo mantém a aula em funcionamento formal, porém pode reduzir a capacidade de responder às necessidades emergentes.

A revisão de Madigan e Kim (2020), composta por 14 estudos e ampla amostra de estudantes, identificou associações entre burnout docente e desempenho acadêmico ou motivação de pior qualidade. Os autores também apontam lacunas e heterogeneidade, razão pela qual não se pode concluir que todo adoecimento produz o mesmo resultado. Dreer (2023), ao revisar desfechos do bem-estar docente, encontrou relações com práticas, vínculos e resultados profissionais. A direção causal pode ser recíproca: condições escolares desfavoráveis afetam professores, e a redução de recursos docentes pode retroagir sobre interações e aprendizagem.

A permanência constitui elo central. Madigan e Kim (2021) relacionam burnout e insatisfação à intenção de abandonar a docência. Rotatividade e afastamentos interrompem vínculos, aumentam trabalho das equipes remanescentes e exigem contínua recomposição. O relatório da UNESCO (2024) mostra que a dificuldade de reter professores integra um problema global de oferta. Desse modo, políticas de bem-estar são também políticas de continuidade pedagógica, desde que não reduzidas a estratégias para manter trabalhadores em condições nocivas.

Recursos protetivos podem alcançar estudantes por vias indiretas. Carroll et al. (2021) observaram que melhorias no estresse, cognição e bem-estar de professores participantes de um programa se associaram a benefícios para estudantes. Bardach, Klassen e Perry (2022) discutem relações entre características psicológicas, eficácia e relações interpessoais. Essas evidências não autorizam instrumentalizar o cuidado — cuidar do professor apenas para elevar resultados —, mas demonstram que dignidade profissional e direito à aprendizagem podem se reforçar.

A qualidade deve incluir sustentabilidade do trabalho. Uma escola não é de qualidade se alcança indicadores à custa de adoecimento, silenciamento ou saída de profissionais. Avaliações institucionais podem incorporar carga real, rotatividade, licenças, presenteísmo, segurança, participação, apoio e percepção de justiça, além de indicadores de aprendizagem. O propósito não é ranquear escolas por adoecimento, e sim identificar riscos e orientar recursos.

Prevenção, suporte institucional e políticas públicas

A prevenção pode ser organizada em três níveis complementares. No primário, modificam-se condições antes do adoecimento: carga, autonomia, segurança, participação e recursos. No secundário, identificam-se sinais precoces e ampliam-se apoio, formação e acesso confidencial a cuidado. No terciário, asseguram-se tratamento, afastamento quando necessário, readaptação e retorno ao trabalho sem estigma. Intervenções exclusivamente individuais atuam sobretudo nos níveis secundário e terciário; sem prevenção primária, novas pessoas continuam expostas.

Revisões de programas mostram resultados positivos, porém modestos e variáveis. Beames et al. (2023) sintetizaram intervenções dirigidas à saúde mental, burnout e bem-estar de professores; Agyapong et al. (2023) identificaram estratégias diversas de redução de estresse.

Mindfulness e práticas contemplativas podem melhorar certos desfechos, mas Hidajat et al. (2023) apontam heterogeneidade de desenho, duração e medida. Intervenções de psicologia positiva também apresentam potencial, conforme Vo e Allen (2022), embora não substituam mudanças no processo de trabalho.

Avola et al. (2025) observaram que a grande maioria das 46 intervenções revisadas se concentrou no indivíduo, e iniciativas orientadas à comunidade foram raras. A metanálise de Li et al. (2024) reforça que efeitos variam conforme características da intervenção e do contexto. Esse desequilíbrio indica uma lacuna prática: sabe-se muito sobre ensinar o professor a regular emoções e menos sobre reduzir demandas, redistribuir tarefas, fortalecer equipes e democratizar decisões. A agenda de pesquisa deve avaliar intervenções multinível e acompanhar efeitos de longo prazo.

No plano escolar, medidas viáveis incluem diagnóstico participativo de riscos, comitê de saúde e bem-estar, protocolo contra violência, mentoria para ingressantes, supervisão e espaços coletivos, revisão de tarefas administrativas, direito à desconexão e comunicação clara. Resultados da TALIS 2024 sugerem associação entre mentoria, satisfação e bem-estar, embora a comparação internacional não determine automaticamente o desenho local (OECD, 2025). O valor da mentoria depende de tempo, formação e relação de confiança, não de mais uma obrigação não remunerada.

No plano das redes, são necessários carreira, remuneração, dimensionamento de pessoal, equipes multiprofissionais, atenção à saúde do trabalhador, formação de gestores e dados longitudinais. A Política de Bem-Estar e a Política de Atenção Psicossocial oferecem marcos complementares (BRASIL, 2023; BRASIL, 2024). A primeira incide sobre trabalho e valorização; a segunda favorece articulação intersetorial. Implementá-las de modo integrado evita que a saúde mental seja tratada apenas como campanha e permite relacionar vigilância, prevenção, cuidado e transformação organizacional.

As recomendações internacionais convergem nessa direção. A WHO (2022) propõe intervenções organizacionais, treinamento de gestores, letramento em saúde mental, acomodações e retorno apoiado. WHO e ILO (2022) defendem participação dos trabalhadores e combate ao estigma. A escola pode adaptar essas diretrizes à especificidade educacional, preservando confidencialidade e autonomia profissional. A avaliação deve observar não apenas redução de sintomas, mas também carga, justiça, segurança, permanência, qualidade das relações e capacidade de realizar um trabalho reconhecido como bom.

Metodologia

O estudo caracteriza-se como revisão integrativa da literatura, de abordagem qualitativa e finalidade analítico-sintética. Essa modalidade permite reunir pesquisas com delineamentos distintos e articulá-las a documentos normativos, preservando a avaliação crítica das diferenças entre resultados. O protocolo foi estruturado em seis etapas: definição do problema; delimitação de fontes, descritores e critérios; identificação das publicações; triagem e verificação; extração padronizada; e síntese temática. A apresentação observou princípios de transparência do PRISMA 2020, adaptados ao caráter integrativo e ao uso complementar de documentos institucionais (PAGE et al., 2021).

A questão orientadora foi: como a literatura publicada desde 2020 caracteriza as relações entre condições de trabalho, saúde mental e adoecimento de docentes da educação básica, e que implicações apresenta para valorização profissional e qualidade do ensino? O recorte temporal compreendeu janeiro de 2020 a agosto de 2026. A escolha captura a produção da pandemia e seus desdobramentos, sem pressupor que os problemas tenham origem na crise

sanitária. Foram considerados estudos referentes à educação infantil, ao ensino fundamental e ao ensino médio, incluindo pesquisas que reuniam níveis distintos quando os resultados de professores da educação básica eram identificáveis.

As buscas foram realizadas em SciELO, PubMed/MEDLINE, ERIC e DOAJ, complementadas por Google Scholar, páginas dos periódicos e registros DOI para conferência bibliográfica. Empregaram-se combinações, em português, inglês e espanhol, de: “saúde mental docente”, “trabalho docente”, “condições de trabalho”, adoecimento, burnout, valorização, absenteísmo, presenteísmo, “qualidade do ensino”, “teacher mental health”, “teacher wellbeing”, “teacher burnout”, “working conditions”, “K-12 teachers”, “salud mental docente” e “condiciones de trabajo”. Documentos foram localizados em portais oficiais do Governo Federal, OECD, UNESCO, WHO e ILO.

Foram incluídos artigos revisados por pares publicados a partir de 2020 que abordassem docentes da educação básica e pelo menos uma das seguintes dimensões: condições ou organização do trabalho; saúde mental, bem-estar, estresse ou burnout; adoecimento e afastamento; valorização, retenção ou intenção de abandono; intervenções; e repercussões sobre relações pedagógicas ou estudantes. Incluíram-se revisões, estudos quantitativos, qualitativos, mistos e longitudinais. Para o eixo político-institucional, foram admitidas leis, diretrizes e relatórios recentes de organismos reconhecidos.

Foram excluídos estudos restritos ao ensino superior ou exclusivamente a estudantes, textos sem procedimento identificável, publicações anteriores ao período, duplicatas, trabalhos cuja relação com a questão fosse apenas tangencial e registros sem metadados verificáveis em página de periódico, DOI ou portal institucional. Estudos sobre pandemia foram mantidos, mas classificados separadamente para impedir que condições emergenciais fossem generalizadas como retrato integral do trabalho docente contemporâneo. A triagem ocorreu por título e resumo, seguida de leitura dos textos ou de seus registros completos e verificação cruzada de autoria, ano e endereço eletrônico.

O corpus final reuniu 62 referências: 54 publicações científicas e oito documentos normativos ou técnico-institucionais. Entre as publicações científicas, há estudos empíricos e revisões de escopo, sistemáticas, integrativas e metanalíticas. Os documentos compreendem duas leis federais brasileiras, três publicações da OECD, um relatório da UNESCO e duas orientações da WHO/ILO. Esse conjunto foi utilizado de maneira diferenciada: estudos sustentaram a síntese de evidências; leis e relatórios contextualizaram políticas, indicadores e recomendações, sem serem tratados como equivalentes a resultados empíricos.

Quadro 1 – Protocolo da revisão integrativa

Etapa	**Procedimento**	**Critérios/variáveis**	**Produto**
Pergunta	Delimitação de população, contexto e fenômeno	Docentes da educação básica; trabalho; saúde; valorização; ensino	Questão orientadora
Busca	Bases científicas e portais oficiais; jan. 2020–ago. 2026	Descritores em português, inglês e espanhol	Conjunto de registros
Seleção	Deduplicação, leitura de títulos/resumos e verificação integral	Inclusão por pertinência, período, etapa e metadados	Corpus de 62 fontes

Etapa	Procedimento	Critérios/variáveis	Produto
Extração	Matriz padronizada de leitura	Desenho, contexto, riscos, recursos, desfechos e limitações	Base analítica
Síntese	Comparação temática e crítica	Convergências, divergências, temporalidade e força da inferência	Sete eixos interpretativos

Fonte: elaboração do autor (2026).

Para cada fonte, foram extraídos: referência, país ou abrangência, população, etapa educacional, delineamento, conceito de saúde, condições de trabalho analisadas, desfechos, recursos protetivos, implicações para ensino ou permanência, limitações e recomendações. A síntese temática combinou categorias dedutivas derivadas da questão de pesquisa com categorias emergentes da leitura. Compararam-se convergências, divergências, qualidade do desenho, temporalidade e possibilidade de transferência para o contexto brasileiro.

A análise produziu sete eixos: intensificação e invasão do tempo de não trabalho; precarização, carreira e reconhecimento; sofrimento psíquico, burnout e saúde física; gênero, território e desigualdades; violência e clima escolar; repercussões sobre permanência e ensino; e prevenção e políticas públicas. A interpretação privilegiou relações mediadas e evitou inferência causal a partir de estudos transversais. Resultados de autorrelato foram reconhecidos como importantes para captar experiência, mas não confundidos com diagnóstico clínico.

Como limitações metodológicas, destacam-se a heterogeneidade de instrumentos e definições, o predomínio de estudos transversais, a concentração de evidências pandêmicas e a possível não recuperação de literatura não indexada. O recorte linguístico em português, inglês e espanhol pode reduzir a representação de outras regiões. Não foi realizada metanálise, pois o objetivo foi integrar mecanismos, contextos e implicações, e não calcular uma prevalência combinada. A rastreabilidade foi fortalecida pela manutenção de DOI ou URL funcional em todas as referências.

Resultados e discussão

Perfil do corpus e convergências da evidência

O corpus evidencia expansão do tema após 2020 e combinação de três movimentos. O primeiro é a produção emergencial sobre a pandemia, marcada por levantamentos transversais e relatos de ensino remoto. O segundo é a retomada de problemas estruturais — intensificação, violência, precariedade, carreira e adoecimento — que precedem e ultrapassam a crise. O terceiro é o crescimento de revisões internacionais sobre bem-estar e intervenções. Essa composição permite amplitude, mas requer cautela: estudos pandêmicos captam uma situação excepcional, enquanto revisões agregam contextos com sistemas educacionais e proteções laborais distintos.

No conjunto brasileiro, as evidências convergem quanto à expansão temporal e material do trabalho. Souza et al. (2021), Duarte e Hypólito (2021), Santos, Nunes e Gomes (2022) e Souza et al. (2022) descrevem improvisação tecnológica, custeio privado, comunicação contínua e dificuldade de separar trabalho e casa. Viegas (2022) e Silvestre, Figueiredo Filho e Silva (2023) demonstram que a invasão do tempo não se restringe ao isolamento. A pandemia acelerou práticas digitais, mas a intensificação se apoia em uma organização que já transferia planejamento, correção e cuidado para o tempo invisível.

O segundo padrão é a coexistência de múltiplos desfechos. Ansiedade, depressão, estresse, exaustão, distanciamento, insatisfação, queixas físicas, sintomas vocais e afastamento não aparecem como eventos independentes. Silva, D. F. O. et al. (2021), Ramos et al. (2023), Machado et al. (2024) e Mazzini e Antonucci (2026) documentam sintomas em populações brasileiras; Salvagioni et al. (2022) e Madigan et al. (2023) aproximam burnout, saúde física e ausência prolongada. A heterogeneidade impede uma prevalência única, mas a repetição em desenhos e regiões distintas sustenta a relevância ocupacional.

A terceira convergência é o peso dos recursos organizacionais. Apoio da liderança, colaboração, autonomia, reconhecimento e participação aparecem associados a maior bem-estar em revisões internacionais (NWOKO et al., 2023; ZHOU; SLEMP; VELLA-BRODRICK, 2024; MOENS et al., 2026). O resultado é compatível com o estudo de Langrafe Junior, Maran e Nishiyama (2025), que discute mentalidades e estratégias diante do estresse na educação pública, mas acrescenta uma ressalva: recursos pessoais influenciam a experiência sem neutralizar condições objetivas. A prevenção deve fortalecer capacidades e, simultaneamente, reduzir demandas evitáveis.

O quarto padrão diz respeito às desigualdades. A sobreposição entre docência e cuidado atingiu particularmente mulheres; vínculos inseguros e falta de equipamentos ampliaram vulnerabilidade; escolas em territórios socialmente vulneráveis enfrentaram maior exposição. Silva Filho, Andrade e Porto (2025) sistematizam a articulação entre precarização, trabalho feminino e saúde, enquanto Medeiros et al. (2023) mostram associação entre vulnerabilidade escolar e afastamento por sintomas. As categorias “professor” e “escola” não são homogêneas, e políticas indiferenciadas podem distribuir recursos igualmente diante de necessidades desiguais.

O quinto padrão é a relação entre violência, clima e exaustão. Simões e Cardoso (2022) oferecem evidência brasileira específica sobre violência contra professores e esgotamento. Westphal et al. (2022) e Carroll et al. (2022) mostram que liderança e ambiente organizacional influenciam a experiência de estresse. Esses resultados indicam que programas centrados em relaxamento serão insuficientes em ambientes inseguros ou injustos. Protocolos de prevenção, resposta e proteção institucional constituem intervenção de saúde mental.

Por fim, os estudos sobre ensino e retenção mostram associações consistentes, porém mediadas. Madigan e Kim (2020) relacionam burnout a resultados motivacionais e acadêmicos dos estudantes; Madigan e Kim (2021) associam burnout e insatisfação à intenção de abandonar a profissão; Dreer (2023) sintetiza desfechos profissionais e relacionais do bem-estar. O sentido pode ser bidirecional e sofrer influência de recursos escolares. Assim, a síntese não atribui ao adoecimento do professor a causa isolada de dificuldades de aprendizagem; identifica saúde e condições de trabalho como componentes de um sistema de qualidade.

Quadro 2 – Síntese crítica dos resultados da revisão

Eixo	**Convergências da evidência**	**Implicações**	**Prioridades**
Tempo e carga	Jornada expandida, trabalho invisível, comunicação contínua e recuperação insuficiente	Fadiga, conflito trabalho-vida e menor disponibilidade cognitiva	Dimensionar tarefas; proteger planejamento e desconexão

Eixo	Convergências da evidência	Implicações	Prioridades
Valorização	Remuneração, carreira, autonomia, justiça e reconhecimento funcionam como recursos	Satisfação, permanência e capacidade de investir no trabalho	Carreira sustentável; participação; liderança justa
Adoecimento	Estresse, ansiedade, depressão, burnout, queixas físicas e afastamentos coexistem	Absenteísmo, presenteísmo, estigma e descontinuidade	Vigilância protetiva; cuidado confidencial; retorno apoiado
Desigualdades	Gênero, vínculo e vulnerabilidade territorial modulam exposição e suporte	Impactos e acesso a recursos distribuídos desigualmente	Alocação equitativa; proteção contra discriminação
Violência e clima	Agressões, insegurança, isolamento e apoio institucional influenciam exaustão	Medo, perda de pertencimento e desgaste relacional	Protocolos; convivência; rede intersetorial
Ensino e retenção	Bem-estar associa-se a práticas, relações e permanência; burnout a piores desfechos	Relação probabilística e recíproca, não determinista	Qualidade com sustentabilidade do trabalho
Intervenções	Programas individuais podem ajudar, mas predominam sobre mudanças coletivas	Risco de individualizar problemas organizacionais	Intervenções multinível e avaliação longitudinal

Fonte: elaboração do autor com base no corpus da revisão (2026).

Síntese interpretativa, lacunas e implicações

A comparação das evidências permite propor um modelo interpretativo: condições estruturais e organizacionais configuram demandas e recursos; esses elementos influenciam experiências de estresse, sentido, engajamento e desgaste; tais experiências podem repercutir sobre saúde, presença, permanência e trabalho pedagógico; e os resultados retroagem sobre a equipe. Afastamentos, por exemplo, podem proteger quem adoeceu, mas, sem reposição adequada, elevam a carga dos colegas. Rotatividade interrompe vínculos e aumenta a necessidade de indução. O sistema pode, assim, produzir ciclos de desgaste ou de proteção.

A pandemia deve ser interpretada como janela analítica, não como origem exclusiva. Pesquisas de 2020 a 2022 captaram intensidade elevada de medo, incerteza e improvisação, como mostram Sokal, Trudel e Babb (2020), Kim e Asbury (2020), Pressley (2021) e Westphal et al. (2022). Estudos brasileiros posteriores, entretanto, reencontram sobrecarga, burnout e desigualdade em contextos não reduzidos ao remoto (CUNHA et al., 2024; SANTOS; CALDAS; SILVA, 2024; MACHADO et al., 2024). A agenda atual precisa acompanhar o que foi revertido, normalizado ou transformado.

A distinção entre fatores de risco e causas individuais é decisiva. Idade, gênero, estratégias de enfrentamento e autoeficácia podem se associar aos desfechos, mas não justificam selecionar "perfis resistentes" nem culpabilizar grupos. O estudo de Santos, Caldas e Silva (2024) relaciona saúde mental, autocompaixão e sentido de vida, dimensões relevantes para o cuidado; o valor desses recursos aumenta quando existem tempo, apoio e segurança para mobilizá-los. Políticas devem perguntar quais condições permitem que capacidades pessoais floresçam.

As intervenções disponíveis revelam assimetria entre diagnóstico e ação. A literatura descreve repetidamente sobrecarga e falta de apoio, mas avalia com maior frequência mindfulness, regulação emocional e psicologia positiva. Hidajat et al. (2023), Vo e Allen (2022), Beames et al. (2023) e Li et al. (2024) registram benefícios possíveis e limites metodológicos. Avola et al. (2025) mostra a baixa presença de abordagens comunitárias. Ensaios futuros devem comparar intervenções individuais, organizacionais e combinadas, medir carga real e acompanhar permanência e saúde por períodos mais longos.

Há também lacunas geográficas e epistemológicas. Dreer (2023) observou concentração de estudos em regiões de alta renda e ausência de investigações independentes de algumas regiões do Sul Global no corpus analisado. Estudos brasileiros ampliam essa diversidade, mas permanecem concentrados em recortes locais, autorrelato e desenho transversal. São necessários painéis nacionais, coortes e métodos qualitativos que acompanhem redes rurais, indígenas, quilombolas, educação especial e diferentes etapas. O acompanhamento do ProfSMoc/ProfSMinas ilustra a contribuição de programas continuados (BARBOSA et al., 2025).

A relação com qualidade do ensino requer medidas mais refinadas. Estudos futuros podem integrar observação de práticas, experiência estudantil, registros de carga, rotatividade, clima e aprendizagem, sem transformar saúde em instrumento de responsabilização. Madigan e Kim (2020) demonstram que existem associações relevantes; Carroll et al. (2021) sugerem efeitos a jusante de intervenções. Ainda assim, ausência de saúde não deve ser inferida a partir de resultados escolares, nem qualidade docente a partir de uma escala isolada. O desenho deve respeitar confidencialidade e evitar uso punitivo de dados.

No Brasil, as Leis nº 14.681/2023 e nº 14.819/2024 criam oportunidade de integração. Um programa de rede pode articular: diagnóstico participativo; comitê paritário; vigilância de riscos e não de indivíduos; atenção confidencial; formação de gestores; protocolos de violência; dimensionamento de carga; valorização e carreira; e fluxos com saúde e assistência. Indicadores devem ser discutidos com trabalhadores e desagregados por gênero, vínculo e território. A informação só cumpre função protetiva quando gera decisão, recurso e prestação de contas.

A implementação pode começar por perguntas concretas: quais tarefas excedem a jornada; quais situações produzem medo; onde há maior rotatividade; como se distribuem licenças e readaptações; que apoio existe para ingressantes; e quais decisões contam com participação docente? A resposta não exige esperar um diagnóstico perfeito. Medidas de baixo arrependimento — clareza de prioridades, redução de burocracia redundante, proteção do tempo, protocolo de acolhimento e participação — podem ser adotadas e avaliadas enquanto mudanças estruturais são financiadas.

O princípio central da síntese é que cuidado, valorização e qualidade não competem. Reduzir carga impraticável não significa diminuir compromisso; proteger a saúde não significa ocultar responsabilidades; assegurar autonomia não elimina coordenação. Ao contrário, condições sustentáveis ampliam a capacidade de assumir responsabilidades profissionais com julgamento, cooperação e continuidade. A política mais consistente é aquela que torna possível realizar um trabalho pedagogicamente exigente sem converter dedicação em adoecimento.

Considerações finais

Esta revisão integrativa analisou 54 publicações científicas e oito documentos recentes para responder como condições de trabalho, saúde mental, valorização profissional e qualidade do ensino se relacionam na educação básica. A evidência converge ao demonstrar que o adoecimento docente é fenômeno multideterminado, produzido na interação entre demandas, recursos, trajetórias pessoais, relações escolares e políticas. Intensificação, invasão do tempo privado, precariedade, baixa autonomia, violência, insegurança e insuficiência de apoio aparecem de modo recorrente. Remuneração, carreira, participação, cooperação, liderança justa, segurança e tempo para planejar e recuperar-se funcionam como recursos protetivos.

Ansiedade, depressão, estresse, burnout, queixas físicas, absenteísmo e presenteísmo constituem manifestações distintas e frequentemente articuladas. A pandemia ampliou exposições e tornou visível o trabalho doméstico e digital, mas não inaugurou a crise. Estudos posteriores e pesquisas estruturais indicam continuidade de problemas. A heterogeneidade de instrumentos e o predomínio de delineamentos transversais impedem estabelecer uma prevalência universal ou causalidade simples, porém a consistência entre métodos justifica ação preventiva.

As repercussões para o ensino são mediadas. O sofrimento não apaga competência nem compromisso, e resultados dos estudantes dependem de múltiplas condições. Ainda assim, exaustão e falta de recursos podem afetar planejamento, feedback, relações, presença e permanência. A rotatividade e os afastamentos sem reposição adequada fragilizam equipes e continuidade pedagógica. Por isso, saúde docente integra uma concepção sistêmica de qualidade, fundada tanto no direito de aprender quanto na sustentabilidade do trabalho.

A valorização profissional emerge como política de saúde mental. Ela requer mais que reconhecimento simbólico: pressupõe carreira, remuneração, jornada que contenha o trabalho real, autonomia, formação, segurança, participação e suporte. As Leis nº 14.681/2023 e nº 14.819/2024 oferecem fundamentos para articular bem-estar no trabalho e atenção psicossocial nas comunidades escolares. O desafio é converter diretrizes em financiamento, responsabilidades, indicadores não punitivos e ações ajustadas às desigualdades de gênero, vínculo e território.

Intervenções individuais podem apoiar professores, mas não devem ocupar o lugar de mudanças organizacionais. A predominância de programas centrados em autorregulação revela uma tendência a adaptar o trabalhador a condições que permanecem intocadas. Recomenda-se uma estratégia multinível: prevenção de riscos na organização, identificação precoce, cuidado confidencial, proteção de direitos, retorno apoiado, protocolos contra violência e participação docente na avaliação. Pesquisas futuras devem testar essas combinações em estudos longitudinais e incluir contextos brasileiros pouco representados.

Conclui-se que cuidar da saúde mental docente é reorganizar o trabalho para que ensinar com qualidade seja possível sem adoecer. O ponto de partida não é a suposta fragilidade do professor, mas a escuta qualificada do trabalho real e a responsabilidade compartilhada de escolas, redes e Estado. A valorização deixa, assim, de ser homenagem abstrata e se torna condição material, relacional e política de uma educação básica democrática, inclusiva e sustentável.

Referências

AGYAPONG, Belinda et al. Stress, burnout, anxiety and depression among teachers: a scoping review. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 19, n. 17, art. 10706, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph191710706. Acesso em: 20 ago. 2026.

AGYAPONG, Belinda et al. Interventions to reduce stress and burnout among teachers: a scoping review. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 9, art. 5625, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph20095625. Acesso em: 20 ago. 2026.

ASSUNÇÃO, Ada Ávila; BARBOSA, Rose Elizabeth Cabral. Invisibilidade social do adoecimento de professores da educação básica no Brasil. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, v. 49, e21, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/2317-6369/16323pt2024v49edepi21. Acesso em: 20 ago. 2026.

AVOLA, Pauliina et al. Interventions to teacher well-being and burnout: a scoping review. Educational Psychology Review, v. 37, art. 11, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-025-09986-2. Acesso em: 20 ago. 2026.

BAADE, Joel Haroldo et al. Professores da educação básica no Brasil em tempos de Covid-19. Holos, v. 5, p. 1–16, 2020. DOI: https://doi.org/10.15628/holos.2020.10910. Acesso em: 20 ago. 2026.

BARBOSA, Rose Elizabeth Cabral et al. Do ProfSMoc ao ProfSMinas, passando pela pandemia da covid-19: vida, trabalho e saúde de professores da educação básica de Minas Gerais. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, v. 50, e26, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/2317-6369/20024pt2025v50e26. Acesso em: 20 ago. 2026.

BARDACH, Lisa; KLASSEN, Robert M.; PERRY, Nancy E. Teachers' psychological characteristics: do they matter for teacher effectiveness, teachers' well-being, retention, and interpersonal relations? An integrative review. Educational Psychology Review, v. 34, p. 259–300, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-021-09614-9. Acesso em: 20 ago. 2026.

BEAMES, Joanne R. et al. Intervention programs targeting the mental health, professional burnout, and/or wellbeing of school teachers: systematic review and meta-analyses. Educational Psychology Review, v. 35, art. 26, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-023-09720-w. Acesso em: 20 ago. 2026.

BEVILACQUA, Caroline; COBALCHINI, Claudia Cibele Bitdinger; ROSSLER, João Henrique. Impactos da pandemia sobre professores da educação básica brasileira: revisão de literatura. Psicologia Escolar e Educacional, v. 29, e267761, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-3539-2025-267761. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.681, de 18 de setembro de 2023. Institui a Política de Bem-Estar, Saúde e Qualidade de Vida no Trabalho e Valorização dos Profissionais da Educação. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14681.htm. Acesso em: 20 ago. 2026.

BRASIL. Lei nº 14.819, de 16 de janeiro de 2024. Institui a Política Nacional de Atenção Psicossocial nas Comunidades Escolares. Brasília, DF: Presidência da República, 2024. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14819.htm. Acesso em: 20 ago. 2026.

CARROLL, Annemaree et al. The downstream effects of teacher well-being programs: improvements in teachers' stress, cognition and well-being benefit their students. Frontiers in Psychology, v. 12, art. 689628, 2021. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.689628. Acesso em: 20 ago. 2026.

CARROLL, Annemaree et al. Teacher stress and burnout in Australia: examining the role of intrapersonal and environmental factors. Social Psychology of Education, v. 25, p. 441–469, 2022. DOI: https://doi.org/10.1007/s11218-022-09686-7. Acesso em: 20 ago. 2026.

CORRENTE, Melissa; FERGUSON, Kristen; BOURGEAULT, Ivy Lynn. Mental health experiences of teachers: a scoping review. Journal of Teaching and Learning, v. 16, n. 1, p. 22–43, 2022. DOI: https://doi.org/10.22329/jtl.v16i1.6856. Acesso em: 20 ago. 2026.

CUNHA, Saulo Daniel Mendes et al. Vivências, condições de trabalho e processo saúde-doença: retratos da realidade docente. Educação em Revista, v. 40, e36820, 2024. Disponível em: https://www.scielo.br/j/edur/a/QxWTjkxVDCy7vPXsRWJ4HgB/?lang=pt. Acesso em: 20 ago. 2026.

DREER, Benjamin. On the outcomes of teacher wellbeing: a systematic review of research. Frontiers in Psychology, v. 14, art. 1205179, 2023. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1205179. Acesso em: 20 ago. 2026.

DUARTE, Adriana W. B.; HYPÓLITO, Álvaro Moreira. Docência em tempos de Covid-19: uma análise das condições de trabalho em meio à pandemia. Retratos da Escola, v. 14, n. 30, p. 736–752, 2021. DOI: https://doi.org/10.22420/rde.v14i30.1207. Acesso em: 20 ago. 2026.

GÁMEZ-GENOVART, Matías; OLIVER-TROBAT, Miquel F.; ROSSELLÓ RAMON, Maria Rosa. Research on teacher well-being: a systematic review. Teaching and Teacher Education, v. 168, art. 105264, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105264. Acesso em: 20 ago. 2026.

HASCHER, Tina; WABER, Jennifer. Teacher well-being: a systematic review of research literature from 2000–2019. Educational Research Review, v. 34, art. 100411, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.edurev.2021.100411. Acesso em: 20 ago. 2026.

HIDAJAT, Tarissa Judith et al. Mindfulness-based interventions for stress and burnout in teachers: a systematic review. Teaching and Teacher Education, v. 134, art. 104303, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tate.2023.104303. Acesso em: 20 ago. 2026.

KIM, Lisa E.; ASBURY, Kathryn. 'Like a rug had been pulled from under you': the impact of COVID-19 on teachers in England during the first six weeks of the UK lockdown. British Journal of Educational Psychology, v. 90, n. 4, p. 1062–1083, 2020. DOI: https://doi.org/10.1111/bjep.12381. Acesso em: 20 ago. 2026.

LANGRAFE JUNIOR, Ari; MARAN, Zélia Magalli Brandielli; NISHIYAMA, Anita. A mentalidade de professores sobre o estresse: estratégias para lidar com os desafios da educação pública. Revista Brasileira de Educação, v. 30, e300112, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-24782025300112. Acesso em: 20 ago. 2026.

LI, Yingxiu et al. The intervention effects on teacher well-being: a three-level meta-analysis. Educational Psychology Review, v. 36, art. 129, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-024-09966-y. Acesso em: 20 ago. 2026.

MACHADO, Fabiana Ferreira et al. Burnout e engagement em professoras do ensino médio de escola pública no Brasil. Educação e Pesquisa, v. 50, e277390, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-4634202450277390. Acesso em: 20 ago. 2026.

MADIGAN, Daniel J.; KIM, Lisa E. Does teacher burnout affect students? A systematic review of its association with academic achievement and student-reported outcomes. International Journal of Educational Research, v. 105, art. 101714, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijer.2020.101714. Acesso em: 20 ago. 2026.

MADIGAN, Daniel J.; KIM, Lisa E. Towards an understanding of teacher attrition: a meta-analysis of burnout, job satisfaction, and teachers' intentions to quit. Teaching and Teacher Education, v. 105, art. 103425, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tate.2021.103425. Acesso em: 20 ago. 2026.

MADIGAN, Daniel J. et al. Teacher burnout and physical health: a systematic review. International Journal of Educational Research, v. 119, art. 102173, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijer.2023.102173. Acesso em: 20 ago. 2026.

MAZZINI, Yohan Cancilheri; ANTONUCCI, Bruna Lopes. Prevalência e fatores associados a sintomas de ansiedade e depressão entre professores da educação básica no Espírito Santo, Brasil: um estudo transversal. Revista Brasileira de Saúde Ocupacional, v. 51, e4, 2026. DOI: https://doi.org/10.1590/2317-6369/09425pt2026v51e4. Acesso em: 20 ago. 2026.

MEDEIROS, Adriane Mesquita de et al. Social vulnerability of Brazilian metropolitan schools and teachers' absence from work due to vocal and psychological symptoms: a multilevel analysis. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 4, art. 2972, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph20042972. Acesso em: 20 ago. 2026.

MIJAKOSKI, Dragan et al. Determinants of burnout among teachers: a systematic review of longitudinal studies. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 19, n. 9, art. 5776, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph19095776. Acesso em: 20 ago. 2026.

MOENS, Maxime et al. Teacher wellbeing in schools: a systematic review of job demands and job resources. Frontiers in Education, v. 11, art. 1709029, 2026. DOI: https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1709029. Acesso em: 20 ago. 2026.

NWOKO, Joy C. et al. A systematic review of the factors that influence teachers' occupational wellbeing. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 20, n. 12, art. 6070, 2023. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph20126070. Acesso em: 20 ago. 2026.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. TALIS 2018 results: teachers and school leaders as valued professionals. v. 2. Paris: OECD Publishing, 2020a. DOI: https://doi.org/10.1787/19cf08df-en. Acesso em: 20 ago. 2026.

OECD – ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. Results from TALIS 2024. Paris: OECD Publishing, 2025. DOI: https://doi.org/10.1787/90df6235-en. Acesso em: 20 ago. 2026.

OLIVEIRA, Dalila Andrade; PEREIRA JUNIOR, Edmilson Antonio. Trabalho docente em tempos de pandemia: mais um retrato da desigualdade educacional brasileira. Retratos da Escola, v. 14, n. 30, p. 719–734, 2020. DOI: https://doi.org/10.22420/rde.v14i30.1212. Acesso em: 20 ago. 2026.

PAGE, Matthew J. et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ, v. 372, n. 71, 2021. DOI: https://doi.org/10.1136/bmj.n71. Acesso em: 20 ago. 2026.

PESSANHA, Fabiana Nery de Lima; TRINDADE, Raquel Aparecida Corrêa. A pandemia da Covid-19 e a precarização do trabalho docente no Brasil. Actualidades Investigativas en Educación, v. 22, n. 2, p. 1–28, 2022. DOI: https://doi.org/10.15517/aie.v22i2.48916. Acesso em: 20 ago. 2026.

PRESSLEY, Tim. Factors contributing to teacher burnout during COVID-19. Educational Researcher, v. 50, n. 5, p. 325–327, 2021. DOI: https://doi.org/10.3102/0013189X211004138. Acesso em: 20 ago. 2026.

PREVITALI, Fabiane Santana; FAGIANI, Cílson César. Trabalho docente na educação básica no Brasil sob indústria 4.0. Revista Katálysis, v. 25, n. 1, p. 156–165, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/1982-0259.2022.e82504. Acesso em: 20 ago. 2026.

RAMOS, Daniela Karine et al. Burnout syndrome in different teaching levels during the COVID-19 pandemic in Brazil. BMC Public Health, v. 23, art. 235, 2023. DOI: https://doi.org/10.1186/s12889-023-15134-8. Acesso em: 20 ago. 2026.

SALVAGIONI, Denise Albieri Jodas et al. Burnout and long-term sickness absence from the teaching function: a cohort study. Safety and Health at Work, v. 13, n. 2, p. 201–206, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.shaw.2022.01.006. Acesso em: 20 ago. 2026.

SANTOS, F. F.; NUNES, C. M. F.; GOMES, V. A. F. M. As condições de trabalho dos professores da educação básica no ensino remoto emergencial. Educação em Foco, v. 25, n. 45, p. 31–51, 2022. DOI: https://doi.org/10.36704/eef.v25i45.6407. Acesso em: 20 ago. 2026.

SANTOS, Karine David Andrade; CALDAS, Calila Mireia Pereira; SILVA, Joilson Pereira da. Saúde mental, autocompaixão e sentido de vida em professores da educação básica na pandemia da Covid-19. Educação e Pesquisa, v. 50, e277678, 2024. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-4634202450277678. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, David Franciole Oliveira et al. Prevalence of anxiety, depression, and stress among teachers during COVID-19: a PRISMA-compliant systematic review. Medicine, v. 100, n. 44, e27684, 2021. DOI: https://doi.org/10.1097/MD.0000000000027684. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, Jerto Cardoso da et al. Saúde mental, adoecimento e trabalho docente. Psicologia Escolar e Educacional, v. 27, e242262, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/2175-35392023-242262. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA, R. R. V. et al. Pandemia da COVID-19: insatisfação com o trabalho entre professores(as) do estado de Minas Gerais, Brasil. Ciência & Saúde Coletiva, v. 26, n. 12, p. 6117–6128, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-812320212612.10622021. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVA FILHO, José Nunes da; ANDRADE, Cristiane Batista; PORTO, Flávia. O impacto da pandemia de Covid-19 nas condições de trabalho da categoria docente da educação básica no Brasil, através de uma revisão de escopo: precarização, trabalho feminino e saúde. Physis, v. 35, n. 1, e350103, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/S0103-73312025350103pt. Acesso em: 20 ago. 2026.

SILVESTRE, Bruno Modesto; FIGUEIREDO FILHO, Carolina Barbosa Gomes; SILVA, Dirceu Santos. Trabalho docente e ensino remoto emergencial: extensão da jornada de trabalho e expropriação do tempo livre. Revista Brasileira de Educação, v. 28, e280054, 2023. DOI: https://doi.org/10.1590/S1413-24782023280054. Acesso em: 20 ago. 2026.

SIMÕES, Elaine Cristina; CARDOSO, Maria Regina Alves. Violência contra professores da rede pública e esgotamento profissional. Ciência & Saúde Coletiva, v. 27, n. 3, p. 1039–1048, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/1413-81232022273.28912020. Acesso em: 20 ago. 2026.

SOKAL, Laura; TRUDEL, Lesley E.; BABB, Jeff. Canadian teachers' attitudes toward change, efficacy, and burnout during the COVID-19 pandemic. International Journal of Educational Research Open, v. 1, art. 100016, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2020.100016. Acesso em: 20 ago. 2026.

SOUZA, Kátia R. et al. Trabalho remoto, saúde docente e greve virtual em cenário de pandemia. Trabalho, Educação e Saúde, v. 19, e00309141, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1981-7746-sol00309. Acesso em: 20 ago. 2026.

SOUZA, Kátia R. et al. Diários de professores(as) na pandemia: registros em cadernetas digitais de trabalho e saúde. Interface: Comunicação, Saúde, Educação, v. 26, e210318, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/interface.210318. Acesso em: 20 ago. 2026.

TROITINHO, Maria da Conceição Ribeiro et al. Ansiedade, afeto negativo e estresse de docentes em atividade remota durante a pandemia da Covid-19. Trabalho, Educação e Saúde, v. 19, e00331162, 2021. DOI: https://doi.org/10.1590/1981-7746-sol00331. Acesso em: 20 ago. 2026.

UNESCO; INTERNATIONAL TASK FORCE ON TEACHERS FOR EDUCATION 2030. Global report on teachers: addressing teacher shortages and transforming the profession. Paris: UNESCO, 2024. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000388832. Acesso em: 20 ago. 2026.

VIAC, Carine; FRASER, Pablo. Teachers' well-being: a framework for data collection and analysis. OECD Education Working Papers, n. 213. Paris: OECD Publishing, 2020b. DOI: https://doi.org/10.1787/c36fc9d3-en. Acesso em: 20 ago. 2026.

VIEGAS, Moacir Fernando. Trabalhando todo o tempo: sobrecarga e intensificação no trabalho de professoras da educação básica. Educação e Pesquisa, v. 48, e244193, 2022. DOI: https://doi.org/10.1590/S1678-4634202248244193. Acesso em: 20 ago. 2026.

VO, Duyen T.; ALLEN, Kelly-Ann. A systematic review of school-based positive psychology interventions to foster teacher wellbeing. Teachers and Teaching, v. 28, n. 8, p. 964–999, 2022. DOI: https://doi.org/10.1080/13540602.2022.2137138. Acesso em: 20 ago. 2026.

WESTPHAL, Arne et al. K–12 teachers' stress and burnout during the COVID-19 pandemic: a systematic review. Frontiers in Psychology, v. 13, art. 920326, 2022. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920326. Acesso em: 20 ago. 2026.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Guidelines on mental health at work. Geneva: WHO, 2022. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240053052. Acesso em: 20 ago. 2026.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION; ILO – INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION. Mental health at work: policy brief. Geneva: WHO; ILO, 2022. Disponível em: https://www.who.int/publications/i/item/9789240057944. Acesso em: 20 ago. 2026.

WISCHLITZKI, Elisabeth et al. Psychosocial risk management in the teaching profession: a systematic review. Safety and Health at Work, v. 11, n. 4, p. 385–396, 2020. DOI: https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.09.007. Acesso em: 20 ago. 2026.

ZHOU, Sijing; SLEMP, Gavin R.; VELLA-BRODRICK, Dianne A. Factors associated with teacher wellbeing: a meta-analysis. Educational Psychology Review, v. 36, art. 63, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s10648-024-09886-x. Acesso em: 20 ago. 2026.

Enviado em 31/08/2026
Avaliado em 15/102026