



VANESSA MOURA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR
INVESTIGAÇÃO PARA A ANÁLISE DAS
POTENCIALIDADES, DOS DESAFIOS E DOS IMPACTOS DA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MUNDO
CONTEMPORÂNEO**

LAVRAS – MG

2026

VANESSA MOURA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO PARA A
ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES, DOS DESAFIOS E DOS IMPACTOS DA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MUNDO CONTEMPORÂNEO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Especialização *Lato
Sensu* “Ciência é 10!”, para a obtenção do título
de Especialista em Ensino de Ciências.

Orientadora
Prof. Dra. Jennifer Caroline de Sousa

**LAVRAS – MG
2026**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Souza, Vanessa Moura de.

Contribuições do Ensino de Ciências por Investigação para a análise das
potencialidades, dos desafios e dos impactos da Inteligência Artificial no mundo
contemporâneo / Vanessa Moura de Souza. - 2026.

107 p.

Orientadora: Jennifer Caroline de Sousa

Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Lavras, 2026.
Bibliografia.

1. Ensino de Ciências por Investigação. 2. Inteligência Artificial. 3. Pensamento
Crítico. 4. Alfabetização Científica. 5. Formação Docente. I. Sousa, Jennifer Caroline
de. II. Universidade Federal de Lavras. III. Título.

VANESSA MOURA DE SOUZA

**CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO PARA A
ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES, DOS DESAFIOS E DOS IMPACTOS DA
INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MUNDO CONTEMPORÂNEO**

**CONTRIBUTIONS OF INQUIRY-BASED SCIENCE EDUCATION TO THE
ANALYSIS OF THE POTENTIAL, CHALLENGES, AND IMPACTS OF
ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONTEMPORARY WORLD**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal de Lavras, como parte
das exigências do Curso de Especialização *Lato
Sensu* “Ciência é 10!”, para a obtenção do título
de Especialista em Ensino de Ciências.

APROVADA em 16 de maio de 2026.

Profa. Ms. Sofia Domingues Carvalhaes Universidade Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fanley Bertoti da Cunha Instituto Federal de São Paulo

Orientadora
Profa. Dra. Jennifer Caroline de Sousa

**LAVRAS – MG
2026**

*Dedico este trabalho às novas gerações, que herdam não apenas desafios, mas também a
potência de reinventar caminhos — que encontrem na educação uma ferramenta de
autonomia, consciência e transformação do mundo que as cerca.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, aos meus pais, por toda dedicação ao meu desenvolvimento e por todos os valores que me transmitiram ao longo da vida.

Ao meu amor, por me incentivar a continuar este trabalho, quando a vida me chamava para desistir.

À orientadora Jennifer Caroline de Sousa, expresso minha profunda gratidão pelos insights valiosos, pela paciência e pela compreensão diante dos contratempos da vida, que foram fundamentais para a realização deste trabalho.

À tutora Maria Cecilia Lieth Machado Bonacelli, agradeço pela dedicação, pelo suporte contínuo e pela disponibilidade em auxiliar ao longo de toda a trajetória.

Aos meus colegas de turma, pela valiosa troca de experiências, que, sem dúvida, contribuiu para uma compreensão mais ampla e crítica do cenário educacional atual.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Lavras – UFLA, ao Programa de Pós-Graduação no Ensino de Ciências — Ciência é 10!, pela estrutura oferecida e pela oportunidade de realização desta Pós-Graduação.

“Quando não há pressa ecoa a voz da eternidade”.

Vanessa Moura

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Blocos de Descritores e Estratégia de Busca	52
Quadro 2. <i>String</i> final de busca adaptada aos campos de metadados	52
Quadro 3. Propostas de integração da IA em metodologias ativas no ensino de Ciências nos trabalhos analisados.....	64
Quadro 4. Principais ferramentas identificadas no âmbito dos trabalhos envolvendo a interface IA e ensino de Ciências	69
Quadro 5. Principais ferramentas identificadas no âmbito dos trabalhos envolvendo a integração da IA com abordagens investigativas.	70
Quadro 6. Possibilidades de integração da mediação tecnológica em diferentes fases do ciclo investigativo.....	77

LISTA DE SIGLAS

AC	Alfabetização Científica
ABP	Aprendizagem Baseada em Projetos
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
EnCI	Ensino de Ciências por Investigação
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
EYT	Easy <i>YouTube</i>
IA	Inteligência Artificial
IDESP	Índice de Desenvolvimento da Educação do Estado de São Paulo
LLMs	Large Language Models
ML	Machine Learning
ONU	Organização das Nações Unidas
PC	Pensamento Computacional
PhET	Physics Education Technology
PNLD	Programa Nacional do Livro e do Material Didático
POEE	Predict, Observe, Explain and Evaluate
SAEB	Sistema de Avaliação da Educação Básica
SEI	Sequência de Ensino Investigativa
STEAM	Science, Technology, Engineering, Art, and Math
STIs	Sistemas Tutores Inteligentes
UFLA	Universidade Federal de Lavras
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

RESUMO

A emergência da Inteligência Artificial (IA), catalisada pela difusão de sistemas generativos desde 2022, não apenas amplia debates sobre suas potencialidades e riscos, mas instaura uma ruptura que exige a reconfiguração estrutural dos sistemas educacionais. Este artigo, fundamentado em uma revisão de literatura com análise de conteúdo, investiga como o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) pode contribuir para as implicações da IA neste novo cenário educacional. Foram analisados artigos publicados entre 2022 e 2026 em periódicos qualificados da área de Educação em Ciências, artigos e obras indicadas no âmbito da orientação acadêmica, além de referências teóricas fundamentais. Os resultados indicam que: (1) a literatura brasileira sobre IA e EnCI é incipiente, com escassez de estudos empíricos; (2) a IA tem o potencial de apoiar estratégias didático-pedagógicas baseadas no EnCI e expandir suas possibilidades, mas apresenta riscos como dependência tecnológica, imprecisões conceituais e comprometimento da autonomia que requerem intencionalidade na elaboração de sequências didáticas investigativas e formação docente específica; (3) desigualdades estruturais no Brasil tornam profundamente assimétrico o acesso às tecnologias de Inteligência Artificial; (4) evidencia-se que o EnCI constitui uma abordagem didática de reconhecida potência pedagógica, oferecendo um caminho consistente para a formação de sujeitos capazes de compreender e intervir, de forma responsável e reflexiva, em uma realidade crescentemente mediada por sistemas de IA e melhor preparados para enfrentar problemas de alta complexidade e atuar em contextos marcados por rápidas transformações tecnológicas e profissionais. O trabalho também oferece subsídios ao sistematizar diferentes tecnologias que podem ser incorporadas ao campo educacional e discutir suas potencialidades, limitações e possibilidades de integração, confrontando perspectivas utilitaristas e destacando a necessidade de que essas ferramentas sejam incorporadas como instrumentos de apoio aos processos educativos, e não como substitutas da mediação pedagógica e das interações humanas. Conclui-se que a integração crítica da IA ao ensino de Ciências exige formação docente voltada para Alfabetização Científica, diretrizes pedagógicas claras e políticas públicas que garantam equidade de acesso, implementação de estratégias de formação condizentes com a rotina docente e condições institucionais para sua efetiva concretização nas escolas. Nesse contexto, foi colocada em evidência a necessidade de maior coerência entre políticas de formação docente, avaliação e organização do trabalho pedagógico, evidenciada pela contradição entre iniciativas federais e algumas condições institucionais que dificultam sua implementação. Argumenta-se, ainda, que o cenário exige uma abertura para tudo aquilo que está entre, além e através das disciplinas e que uma abordagem transdisciplinar no contexto do EnCI pode contribuir para despertar as reflexões mais profundas que o momento exige, ampliando a percepção sobre o que está por trás desta tecnologia e seus paralelos e implicações frente ao desenvolvimento humano.

Palavras-chave: Ensino de Ciências por Investigação. Inteligência Artificial. Pensamento Crítico. Alfabetização Científica. Formação Docente.

ABSTRACT

The emergence of Artificial Intelligence (AI), catalyzed by the diffusion of generative systems since 2022, not only broadens debates about its potential and risks, but also constitutes a rupture that demands the structural reconfiguration of educational systems. This article, based on a literature review with content analysis, investigates how Inquiry-Based Science Education (IBSE) can contribute to the implications of AI in this new educational scenario. Articles published between 2022 and 2026 in qualified journals in the field of Science Education were analyzed, including articles and works recommended within the scope of academic supervision, as well as foundational theoretical references. The results indicate that: (1) Brazilian literature on AI and IBSE is incipient, with a scarcity of empirical studies; (2) AI can support investigative processes, but presents risks of technological dependence, conceptual inaccuracies, and the undermining of autonomy, which require intentionality in the design of inquiry-based instructional sequences and targeted teacher training; (3) Structural inequalities in Brazil make access to AI profoundly unequal; (4) It becomes evident that Inquiry-Based Science Education (IBSE) constitutes an approach of recognized pedagogical strength, offering a consistent pathway for the formation of individuals capable of understanding and intervening, in a responsible and reflective manner, in a reality increasingly mediated by AI-based systems. It also prepares them to address highly complex problems and to operate effectively in contexts characterized by rapid technological and professional change. Furthermore, this study contributes to the field by systematizing different AI-based technologies that can be incorporated into educational settings and by discussing their potential, limitations, and possibilities for integration. In doing so, it challenges utilitarian perspectives and highlights the need for these technologies to be incorporated as tools that support educational processes rather than as substitutes for pedagogical mediation and human interaction. It is concluded that the critical integration of AI into Science teaching requires teacher education oriented toward Scientific Literacy (understood as a critical and reflective engagement with science), clear pedagogical guidelines and public policies that ensure equitable access, the implementation of training strategies aligned with teachers' professional routines and the institutional conditions necessary for its effective implementation in schools. In this context, the need for greater coherence between teacher education policies, assessment practices, and the organization of pedagogical work was highlighted, as evidenced by the contradiction between federal initiatives and the institutional conditions that hinder their implementation. Furthermore, it is argued that the current landscape demands an openness to everything that lies between, beyond, and across disciplines. A transdisciplinary approach within the context of IBSE can contribute to awakening the profound reflections required by this moment, broadening the perception of what lies behind this technology and its parallels and implications for human development.

Keywords: Inquiry-Based Science Education. Artificial Intelligence. Critical Thinking. Scientific Literacy. Teacher Training.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Fundamentos do Ensino de Ciências por Investigação	20
2.2 Inteligência Artificial.....	23
2.3 Inteligência Artificial na Educação	26
2.4 A Plataformização da Educação.....	30
2.5 Ferramentas de Inteligência Artificial na Educação: Conceitos, Tipos e Aplicações	33
2.5.1 Sistemas Tutores Inteligentes	33
2.5.2 Ferramentas de <i>Feedback</i> Automatizado.....	33
2.5.3 IA Generativa e <i>Chatbots</i> Educacionais	33
2.5.4 IA e Realidade Virtual	34
2.6 Impactos da Inteligência Artificial no Ensino de Ciências	36
2.7 Interfaces entre IA e Ensino Investigativo	39
2.8 Letramento Científico-Digital e Criticidade diante da IA	47
3 METODOLOGIA	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1 Análise da dimensão pedagógica: estratégias e modelos de ensino	54
4.1.1 A IA como Instrumento de Personalização e Autonomia: O Mimetismo do Ensino Tradicional e a Automatização da Educação Bancária?	54
4.1.2 Entre a Formação Investigativa e a Cultura da Performatividade	57
4.1.3 Confluências entre IA e Metodologias Ativas	63
4.2 Mapeamento e funcionalidade das ferramentas tecnológicas no âmbito do Ensino de Ciências	65
4.2.1 Sistemas Tutores Inteligentes	65
4.2.2 Inteligências Artificiais Generativas e <i>Chatbots</i>	66
4.2.3 Simuladores, Realidade Virtual e Aumentada.....	67
4.2.4 <i>Machine Learning</i> e Ciência de Dados	68

4.3 Mapeamento e funcionalidade das ferramentas tecnológicas no âmbito do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI).....	70
4.4 Impactos na aprendizagem científica.....	80
4.5 Desafios Éticos, Práticos e Estruturais na Integração da IA	82
4.5.1 Desafios Éticos e Privacidade de Dados	83
4.5.2 Barreiras Práticas e Infraestrutura Escolar	83
4.5.3 Limitações Técnicas e "Alucinações"	84
4.5.4 Sobre-dependência e Perda de Autonomia	84
4.5.5 Enganando o Sistema (<i>Gaming the System</i>)	85
4.5.6 Formação de Professores: para muito além da técnica	87
4.6 A contribuição do Ensino por Investigação (EnCI) para o cenário da IA	88
4.7 Transdisciplinaridade no Ensino de Ciências por Investigação: fundamentos para uma análise complexa do mundo, da realidade e da vida humana	91
 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	 96
 REFERÊNCIAS.....	 100



CONTRIBUIÇÕES DO ENSINO DE CIÊNCIAS POR INVESTIGAÇÃO PARA A ANÁLISE DAS POTENCIALIDADES, DOS DESAFIOS E DOS IMPACTOS DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO MUNDO CONTEMPORÂNEO

CONTRIBUTIONS OF INQUIRY-BASED SCIENCE EDUCATION TO THE ANALYSIS OF THE POTENTIAL, CHALLENGES, AND IMPACTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE CONTEMPORARY WORLD¹

Vanessa Moura de Souza

<https://orcid.org/0009-0003-3144-523X>

Jennifer Caroline de Sousa

<https://orcid.org/0000-0003-2701-1263>

Resumo: A emergência da Inteligência Artificial (IA), catalisada pela difusão de sistemas generativos desde 2022, não apenas amplia debates sobre suas potencialidades e riscos, mas instaura uma ruptura que exige a reconfiguração estrutural dos sistemas educacionais. Este artigo, fundamentado em uma revisão de literatura com análise de conteúdo, investiga como o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) pode contribuir para as implicações da IA neste novo cenário educacional. Foram analisados artigos publicados entre 2022 e 2026 em periódicos qualificados da área de Educação em Ciências, artigos e obras indicadas no âmbito da orientação acadêmica, além de referências teóricas fundamentais. Os resultados indicam que: (1) a literatura brasileira sobre IA e EnCI é incipiente, com escassez de estudos empíricos; (2) a IA tem o potencial de apoiar estratégias didático-pedagógicas baseadas no EnCI e expandir suas possibilidades, mas apresenta riscos como dependência tecnológica, imprecisões conceituais e comprometimento da autonomia que requerem intencionalidade na elaboração de sequências didáticas investigativas e formação docente específica; (3) desigualdades estruturais no Brasil tornam profundamente assimétrico o acesso às tecnologias de Inteligência Artificial; (4) evidencia-se que o EnCI constitui uma abordagem de reconhecida potência pedagógica, oferecendo um caminho consistente para a formação de sujeitos capazes de compreender e intervir, de forma responsável e reflexiva, em uma realidade crescentemente mediada por sistemas de IA. O trabalho também oferece subsídios ao sistematizar diferentes tecnologias que podem ser incorporadas ao campo educacional e discutir suas potencialidades, limitações e possibilidades de integração, confrontando perspectivas utilitaristas e destacando a necessidade de que essas ferramentas sejam incorporadas como instrumentos de apoio aos processos educativos, e não como substitutas da mediação pedagógica e das interações humanas. Conclui-se que a integração crítica da IA ao ensino de Ciências exige formação docente voltada para Alfabetização Científica, diretrizes pedagógicas claras e políticas públicas que garantam equidade de acesso e a implementação de estratégias de formação condizentes com a rotina

¹ Artigo científico apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Especialização *Lato Sensu* “Ciência é 10”.

docente e condições institucionais para sua efetiva concretização nas escolas. Nesse contexto, foi colocada em evidência a necessidade de maior coerência entre políticas de formação docente, avaliação e organização do trabalho pedagógico, evidenciada pela contradição entre iniciativas federais e algumas condições institucionais que dificultam sua implementação. Argumenta-se, ainda, que o cenário exige uma abertura para tudo aquilo que está entre, além e através das disciplinas e que uma abordagem transdisciplinar no contexto do EnCI pode contribuir para despertar neste cenário as reflexões mais profundas que o momento exige, ampliando a percepção sobre o que está por trás desta tecnologia e seus paralelos e implicações frente ao desenvolvimento humano.

Palavras-chave: Ensino de Ciências por Investigação. Inteligência Artificial. Pensamento Crítico. Alfabetização Científica. Formação Docente.

Abstract: The emergence of Artificial Intelligence (AI), catalyzed by the diffusion of generative systems since 2022, not only broadens debates about its potential and risks, but also constitutes a rupture that demands the structural reconfiguration of educational systems. This article, based on a literature review with content analysis, investigates how Inquiry-Based Science Education (IBSE) can contribute to the implications of AI in this new educational scenario. Articles published between 2022 and 2026 in qualified journals in the field of Science Education were analyzed, including articles and works recommended within the scope of academic supervision, as well as foundational theoretical references. The results indicate that: (1) Brazilian literature on AI and IBSE is incipient, with a scarcity of empirical studies; (2) AI can support investigative processes, but presents risks of technological dependence, conceptual inaccuracies, and the undermining of autonomy, which require intentionality in the design of inquiry-based instructional sequences and targeted teacher training; (3) Structural inequalities in Brazil make access to AI profoundly unequal; (4) It becomes evident that Inquiry-Based Science Education (IBSE) constitutes an approach of recognized pedagogical strength, offering a consistent pathway for the formation of individuals capable of understanding and intervening, in a responsible and reflective manner, in a reality increasingly mediated by AI-based systems. Furthermore, this study contributes to the field by systematizing different AI-based technologies that can be incorporated into educational settings and by discussing their potential, limitations, and possibilities for integration. In doing so, it challenges utilitarian perspectives and highlights the need for these technologies to be incorporated as tools that support educational processes rather than as substitutes for pedagogical mediation and human interaction. It is concluded that the critical integration of AI into Science teaching requires teacher education oriented toward Scientific Literacy (understood as a critical and reflective engagement with science), clear pedagogical guidelines, and public policies that ensure equitable access and the implementation of training strategies aligned with teachers' professional routines and the institutional conditions necessary for its effective implementation in schools. In this context, the need for greater coherence between teacher education policies, assessment practices, and the organization of pedagogical work was highlighted, as evidenced by the contradiction between federal initiatives and the institutional conditions that hinder their implementation. Furthermore, it is argued that the current landscape demands an openness to everything that lies between, beyond, and across disciplines. A transdisciplinary approach within the context of IBSE can contribute to awakening the profound reflections required by this moment, broadening the perception of what lies behind this technology and its parallels and implications for human development.

Keywords: Inquiry-Based Science Education. Artificial Intelligence. Critical Thinking. Scientific Literacy. Teacher Training.

1 INTRODUÇÃO

A emergência da Inteligência Artificial (IA) no cenário educacional contemporâneo representa um dos fenômenos mais disruptivos e controversos da história recente da educação. Desde o lançamento do ChatGPT em novembro de 2022, ferramentas de IA generativa passaram a fazer parte da rotina de muitos estudantes, inclusive na realização das tarefas de casa e na busca de solucionar os problemas que lhes são propostos, o que frequentemente tem ocorrido sem o devido debate pedagógico, ético e epistemológico que tal transformação exige. No contexto brasileiro, marcado por profundas desigualdades estruturais de acesso à tecnologia, baixa proficiência científica e disparidades na infraestrutura educacional que se manifestam em múltiplos contextos, a adoção acrítica e apressada dessas tecnologias pode amplificar vulnerabilidades históricas e comprometer conquistas pedagógicas fundamentais (Claudino; Dermeval; Rodrigues, 2024).

Outra transformação relevante está associada ao avanço da plataformização da educação, fenômeno que tem se materializado, em diferentes redes de ensino, por meio da adoção de plataformas digitais para a organização do currículo, da avaliação, do acompanhamento da aprendizagem e da gestão do trabalho docente. Em estados como São Paulo e Paraná, esse movimento tem sido acompanhado pela ampliação de sistemas digitais que orientam atividades, monitoram o cumprimento de tarefas e vinculam parte significativa dos processos educacionais a indicadores derivados de avaliações padronizadas. São apontados diversos efeitos indesejáveis decorrentes dessas configurações. Entre eles destacam-se a redução da autonomia docente, a padronização de práticas pedagógicas, o fortalecimento de mecanismos de vigilância e controle sobre o trabalho dos professores, a intensificação da responsabilização por resultados, o aumento da sobrecarga administrativa, a ampliação de processos de adoecimento relacionados ao trabalho e o enfraquecimento de espaços destinados à reflexão, à criação pedagógica e à adaptação das atividades às necessidades concretas dos estudantes (Alves; Sousa, 2025; Santos, 2025).

Embora tais iniciativas sejam frequentemente justificadas pela busca de maior eficiência e melhoria dos resultados educacionais, sua expansão ocorre em um momento histórico marcado pelo rápido desenvolvimento de sistemas de inteligência artificial capazes de executar, com elevado desempenho, muitas das tarefas cognitivas estruturadas tradicionalmente valorizadas por esse tipo de avaliação. Nesse contexto, emerge uma questão fundamental: quais capacidades humanas devem ser cultivadas em uma sociedade na qual algoritmos passam a desempenhar, com crescente eficiência, atividades associadas à reprodução de informações, ao

reconhecimento de padrões e à resolução de problemas estruturados? Longe de inaugurar essa discussão, tal cenário fortalece discussões há muito presentes na literatura acerca necessidade de repensar finalidades educacionais centradas predominantemente no treinamento para testes e métricas de desempenho, valorizando, em contrapartida, objetivos formativos relacionadas à investigação, à argumentação, ao pensamento crítico, à criatividade, à tomada de decisões em contextos de incerteza e à compreensão dos impactos sociais, éticos e epistemológicos das próprias tecnologias digitais. Entretanto, sob a forma como esse processo de plataformização tem sido conduzido no contexto desses dois estados, a crescente ocupação do tempo escolar por atividades previamente estruturadas e pelo cumprimento de demandas associadas às plataformas tem reduzido o espaço disponível para práticas voltadas à autonomia intelectual, à problematização da realidade, à investigação e à construção coletiva do conhecimento.

Paralelamente, o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) consolidou-se, nas últimas décadas, como uma abordagem didática capaz de promover o desenvolvimento da autonomia intelectual, do pensamento crítico e do raciocínio científico nos estudantes. Fundamentado em princípios epistemológicos que valorizam a construção ativa do conhecimento, a formulação de hipóteses, a coleta e análise de dados e a argumentação baseada em evidências, o EnCI representa uma resposta pedagógica às demandas contemporâneas por uma educação científica que vá além da memorização de conceitos e prepare os estudantes para compreender, avaliar e intervir criticamente no mundo (Azevedo, 2004; Araújo *et al.*, 2022; Belchior, 2025; Carvalho, 2004; Carvalho, 2013).

Diante desse cenário, emerge uma questão filosófica e pedagógica de grande relevância: a abordagem didática do Ensino de Ciências por Investigação, fundamentada nos princípios de desenvolvimento da autonomia, do pensamento crítico e do raciocínio científico, pode favorecer nos estudantes a análise e a compreensão das potencialidades, dos desafios e dos impactos da Inteligência Artificial no tempo presente?

Para além de seus aspectos técnicos, essa questão toca no cerne do que significa educar em uma era em que máquinas são capazes de processar linguagem natural, gerar textos coerentes, resolver problemas complexos, entre outras inúmeras possibilidades que antes eram executadas somente pelo raciocínio humano. O que significa desenvolver o pensamento científico quando algoritmos podem fornecer respostas instantâneas a perguntas que, tradicionalmente, exigiriam investigação, experimentação e reflexão? Como preservar a dimensão humanizadora da educação investigativa em um contexto em que a mediação tecnológica pode, paradoxalmente, tanto amplificar quanto substituir o processo de construção autônoma do conhecimento?

O presente estudo propõe-se a discutir como a abordagem didática do EnCI pode contribuir nas aulas de Ciências para o debate em torno das potencialidades, dos desafios e dos impactos da Inteligência Artificial no mundo contemporâneo. Para tanto, busca-se: (1) identificar na literatura especializada em Educação em Ciências o que se tem produzido acerca da relação entre Inteligência Artificial e Ensino de Ciências; (2) avaliar implicações do uso da IA no processo de aprendizagem em Ciências com relação ao desenvolvimento da autonomia, do pensamento crítico e da qualidade do raciocínio científico; (3) elencar riscos do uso da IA na educação em Ciências quanto à dependência tecnológica, às respostas incorretas, à falta de criticidade, aos vieses e desigualdades; e (4) discutir como o EnCI pode se constituir ferramenta pedagógica para que estudantes analisem as potencialidades e os desafios da IA no contexto atual.

A relevância deste estudo justifica-se em múltiplas dimensões. Do ponto de vista epistemológico, é urgente compreender como a IA afeta os processos de construção do conhecimento científico escolar e quais mediações pedagógicas são necessárias para que essa tecnologia não seja usada como substituta, mas sim com o objetivo de potencializar o trabalho investigativo. Do ponto de vista pedagógico, é fundamental identificar estratégias que permitam aos professores de Ciências integrar criticamente a IA em suas práticas, de modo a preservar e fortalecer os princípios do EnCI. Do ponto de vista ético e social, é imperativo discutir os riscos de uma adoção tecnológica que ignore as desigualdades estruturais brasileiras e que possa aprofundar exclusões, vieses e dependências, sendo necessário reconhecer que a integração crítica da IA nas escolas não se efetiva apenas pela disponibilização de tecnologias, mas exige condições institucionais que valorizem e viabilizem o trabalho docente, o tempo pedagógico adequado, a formação continuada coerente com a rotina profissional e autonomia para a construção de práticas alinhadas aos objetivos formativos pretendidos.

Além disso, este trabalho insere-se em um momento histórico singular. Um mapeamento sistemático realizado por Martins, Batista e Jardim (2026) identificou que este ainda é um campo de pesquisa em franco crescimento no país, mas ainda marcado por desigualdades e lacunas importantes. Os autores observaram a predominância de estudos voltados ao ensino de Química e, em menor medida, de Física, contrastando com a ausência de produções específicas em Biologia, o que revela um espaço promissor para futuras investigações. A literatura brasileira sobre IA e Ensino de Ciências ainda é incipiente, com produção em processo de consolidação e marcada por lacunas metodológicas e pedagógicas. A partir deste levantamento, foi possível constatar a escassez de pesquisas empíricas, bem como desafios relacionados à formação docente e à ausência de diretrizes consolidadas para o uso educacional da IA em

contextos investigativos. Este trabalho, portanto, busca contribuir para o preenchimento dessa lacuna, oferecendo uma análise crítica e reflexiva que possa subsidiar futuras pesquisas, políticas educacionais e práticas docentes.

Por fim, é importante destacar o tom crítico construtivo que permeia este trabalho. Não se trata assumir uma postura de rejeição da IA nem de celebrá-la acriticamente. Trata-se, antes, de reconhecer que a IA é uma realidade incontornável e que, como toda tecnologia, ela não é neutra, pelo contrário, carrega consigo valores, interesses, possibilidades e riscos. O desafio educacional contemporâneo envolve, portanto, por um lado, formar estudantes capazes de utilizar criticamente essas ferramentas; por outro, formar cidadãos capazes de compreender, avaliar e questionar os fundamentos, os limites e os impactos sociais da IA. E é precisamente nesse desafio que o EnCI pode oferecer contribuições decisivas.

Faz-se necessária, neste ponto, uma reflexão a respeito de que já passamos por outras revoluções tecnológicas em que o trabalho manual veio sendo gradativamente substituído por máquinas. Neste contexto, era claro que, em nosso ciclo evolutivo enquanto humanidade, estávamos sendo chamados a desenvolver aspectos da mente relacionados ao pensamento lógico, analítico e discursivo, e assim viemos fazendo. Ocorre que agora chegamos em uma etapa em que as máquinas gradativamente vem se aprimorando no sentido de poder nos apoiar cada vez mais em atividades que por muito tempo foram consideradas expressão máxima da inteligência humana. O que estamos sendo chamados a desenvolver neste novo contexto? Tudo indica que a resposta a essa pergunta esteja relacionada ao real significado da palavra inteligência. Mas afinal, o que significa inteligência? Seriam essas tecnologias realmente inteligentes, por mais que se aprimorem em tarefas relacionadas ao raciocínio lógico, analítico e discursivo? Talvez a própria etimologia da palavra nos aproxime de uma compreensão.

Essa reflexão sugere que educadores e desenvolvedores de políticas públicas terão que se debruçar cada vez mais sobre a compreensão da verdadeira natureza humana para que estejam realmente aptos a conduzir a humanidade rumo aos novos degraus. E aqui, mais uma vez, o EnCI pode oferecer contribuições decisivas, no sentido de favorecer o desenvolvimento das habilidades necessárias para as reflexões que o momento exige. Nesse contexto, discute-se ainda a adoção de uma perspectiva transdisciplinar, conforme propõe Nicolescu (1999), a fim de favorecer em todo cenário educacional uma abertura para aquilo que está entre, além e através das disciplinas e, com isso ampliar a percepção sobre o que realmente está por trás desta tecnologia, em termos de seus paralelos e implicações para o desenvolvimento humano.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fundamentos do Ensino de Ciências por Investigação

O Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) constitui-se como uma abordagem didática que busca aproximar os estudantes das práticas epistêmicas e metodológicas da ciência, promovendo a construção ativa do conhecimento por meio da investigação de problemas, da formulação de hipóteses, da coleta e análise de dados e da elaboração de explicações baseadas em evidências, da sistematização e comunicação dos resultados. Essa abordagem fundamenta-se em uma concepção de aprendizagem que valoriza o protagonismo do estudante, a mediação docente e a interação social como elementos centrais do processo educativo (Belchior, 2025, Araújo *et al.* 2022).

O EnCI, a partir da análise de estudos realizados por Carvalho (2013), uma das principais referências brasileiras no campo, pode ser entendido como uma estratégia que visa desenvolver nos estudantes habilidades que perpassam as dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais, fundamentais para o processo de alfabetização científica, que não se reduz ao domínio de conceitos, mas envolve, entre outros aspectos, uma leitura crítica do mundo. Pode-se inferir do trabalho da autora que o EnCI não se resume à realização de experimentos práticos, mas envolve um conjunto articulado de atividades que incluem a problematização, a investigação, a sistematização conceitual e a contextualização social do conhecimento científico.

Sasseron e Carvalho (2011) destacam que a alfabetização científica, objetivo central do EnCI, envolve três eixos estruturantes: (1) a compreensão básica de termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais; (2) a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; e (3) o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente. Esses eixos articulam-se de modo a formar estudantes capazes não apenas de compreender conceitos científicos, mas também de avaliar criticamente informações, tomar decisões fundamentadas e participar ativamente de debates sociais que envolvem questões científicas e tecnológicas.

Azevedo (2004) enfatiza a importância da problematização no EnCI. Para a autora, o problema investigativo deve ser genuíno, ou seja, deve representar uma questão que desperte a curiosidade dos estudantes e que não possa ser respondida de forma imediata ou trivial. A problematização adequada é aquela que mobiliza conhecimentos prévios, exige a formulação

de hipóteses, demanda a busca de evidências e conduz à construção de explicações que vão além do senso comum.

As Sequências de Ensino Investigativas (SEI), propostas por Carvalho (2013), representam uma estrutura curricular que organiza as atividades investigativas em atividades chave: (1) na maioria das vezes inicia-se por um problema, experimental ou teórico, contextualizado, que introduz os estudantes no tópico desejado e oferece condições para que pensem e trabalhem com as variáveis relevantes do fenômeno científico central do conteúdo programático; (2) sistematização dos conhecimentos construídos, preferencialmente por meio da leitura de um texto escrito quando os estudantes podem novamente discutir; (3) atividade que promove a contextualização do conhecimento no dia a dia dos estudantes, momento em que podem sentir a importância da aplicação do ponto de vista social. Essa estrutura visa garantir que os estudantes não apenas realizem atividades práticas, mas também reflitam sobre o processo investigativo, sistematizem os conhecimentos construídos e compreendam a relevância social do que aprenderam.

Uma revisão sistemática da literatura conduzida por Belchior (2025) permitiu responder à pergunta de pesquisa sobre quais são as contribuições do EnCI na aprendizagem dos estudantes dos anos iniciais do Ensino Fundamental. Com base nos trabalhos analisados, os autores enfatizaram que o EnCI favorece a construção ativa do conhecimento científico, promovendo o desenvolvimento de conhecimentos conceituais, procedimentais e atitudinais. Além disso, a abordagem investigativa contribui diretamente para a Alfabetização Científica (AC), possibilitando que os estudantes utilizem o conhecimento científico para interpretar fenômenos e tomar decisões fundamentadas.

O estudo de Kotsis (2024), embora fora do contexto nacional, aborda os desafios da implementação da aprendizagem baseada em investigação, como a pressão de avaliações padronizadas e a necessidade de desenvolvimento profissional para capacitar os professores com estratégias eficazes. No contexto brasileiro, observam-se desafios análogos, sobretudo no que se refere à centralidade atribuída às avaliações padronizadas — inclusive aquelas destinadas ao ingresso no ensino superior, como o Exame Nacional do Ensino Médio —, cuja ênfase tende a restringir as possibilidades de práticas pedagógicas orientadas ao desenvolvimento de objetivos formativos mais amplos, para além da mera memorização de conteúdos. Os autores destacam ainda a importância de uma base sólida na educação científica, pois ela desenvolve habilidades de pensamento crítico e resolução de problemas essenciais para compreender a complexidade do mundo natural e, sobretudo a complexidade do cenário tecnológico em que estamos vivendo.

Do ponto de vista epistemológico, o EnCI fundamenta-se em uma concepção construtivista e sociocultural da aprendizagem, particularmente as contribuições de Piaget sobre a construção ativa do conhecimento e de Vygotsky sobre a mediação social da aprendizagem, compreendendo o conhecimento como uma construção social mediada pela linguagem, pela interação e pelos instrumentos culturais. De acordo com Carvalho (2013), esses autores mostraram, com pontos de vistas diferentes, como as crianças e os jovens constroem seus conhecimentos. Inicialmente houve um debate entre esses dois referenciais, no entanto, pesquisas realizadas em ambientes escolares mostraram que o conflito é inexistente e que há, na verdade, uma complementaridade entre essas ideias. Nessa perspectiva, o professor não é um mero transmissor de informações, mas um mediador que cria condições para que os estudantes se engajem em práticas investigativas autênticas, desenvolvam autonomia intelectual e construam uma compreensão profunda e crítica dos fenômenos naturais.

Uma abordagem orientada pela investigação no ensino de Ciências produz dois efeitos relevantes. Em primeiro lugar, a literatura indica ganhos no engajamento e na aprendizagem dos estudantes decorrentes da participação em práticas pedagógicas dessa natureza. Em segundo lugar, a investigação e a descoberta possuem valor intrínseco, na medida em que constituem representações autênticas da participação em práticas reais de pesquisa científica. Nesse sentido, considerando que um dos objetivos da educação científica inicial é fomentar tanto o domínio conceitual quanto o interesse dos estudantes por carreiras científicas, a inserção em experiências autênticas de investigação configura-se, por si só, como uma oportunidade formativa significativa (Joyner; Goel; Goel, 2015).

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (Brasil, 2018a) reconhece a importância do EnCI ao estabelecer, como uma das competências específicas da área de Ciências da Natureza, a capacidade de “investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo...” (Brasil, 2018a, p. 553). O documento também enfatiza a necessidade de que os estudantes desenvolvam o letramento científico, compreendido como a capacidade de compreender e interpretar o mundo natural, social e tecnológico, bem como de transformá-lo com base em aportes teóricos e processuais das ciências.

Cumprе destacar que, na BNCC, o termo competência é definido como "a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho" (Brasil, 2018a, p. 8). Ao definir essas competências, a BNCC reconhece que a “educação deve afirmar valores e estimular ações que

contribuam para a transformação da sociedade, tornando-a mais humana, socialmente justa e, também, voltada para a preservação da natureza” (Brasil, 2013 *apud* Brasil, 2018a, p. 8), mostrando-se também alinhada à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU) (Brasil, 2018, p. 8).

No entanto, análise do *corpus* permite inferir que a implementação efetiva do EnCI nas escolas brasileiras enfrenta desafios significativos, incluindo a baixa proficiência científica, a falta de infraestrutura adequada, a pressão por currículos conteudistas, as exigências de avaliações padornizadas e a ausência de materiais didáticos que efetivamente promovam a investigação. Em alguns contextos estaduais, tem-se ainda o fenômeno de plataformização da educação, que limita a ação dos professores de forma a inviabilizar qualquer estratégia pedagógica que esteja fora do roteiro pré-determinado pelos algoritmos. Esses desafios tornam-se ainda mais complexos no contexto da emergência da IA, que introduz novas possibilidades e novos riscos ao processo investigativo, conforme será discutido nas seções seguintes.

2.2 Inteligência Artificial

De acordo com Carraro (2023, p. 20), a Inteligência Artificial (IA) pode ser definida como sistemas criados usando diferentes tecnologias para realizar tarefas que (em teoria) apenas uma inteligência humana poderia realizar, como a capacidade de raciocínio lógico, memória e o aprendizado com generalização e inferência. Funcionam a partir da alimentação de grande número de dados específicos de determinada área, analisam e categorizam esses dados para tentar encontrar padrões, às vezes com um juiz (humano ou algoritmo de máquina) dando um *feedback* sobre se essa categorização foi satisfatória ou não e, finalmente, usam esses padrões para tentar prever ou saber como agir em estados futuros, com dados para os quais eles não foram treinados. Essas tecnologias são a base para a criação de modernas ferramentas, que podem ser usadas em uma infinidade de aplicações, como reconhecimento de fala, processamento de linguagem natural, visão computacional, controle de veículos autônomos, geração de imagens a partir de texto, e outras incontáveis possibilidades.

A trajetória da IA, tal como descrita por Vicari (2021), é marcada tanto por avanços expressivos quanto por limitações persistentes. Segundo a autora, após 64 anos de seu surgimento, a IA enfrenta o complexo e o incerto dos nossos dias, tendo atravessado períodos de “inverno” (1980 e 1993), nos quais não conseguiu dar respostas adequadas especialmente à compreensão da linguagem e décadas de progressos significativos (2000 e 2010), com avanços

notáveis em tradução automática, reconhecimento de imagens, diagnóstico médico e veículos autônomos.

Segundo Duque-Pereira e Moura (2023, p. 20), a introdução de técnicas avançadas de Aprendizado de Máquina, em especial o "aprendizado profundo", tem permitido que máquinas se aproximem cada vez mais da capacidade cognitiva humana de comunicação e criação. No cerne dessa revolução, encontram-se as Redes Neurais Artificiais, estruturas inspiradas na complexidade do cérebro humano, que processam, aprendem e fazem previsões com uma eficácia surpreendente. Essas "redes neurais" aprendem a ajustar os pesos das conexões entre "neurônios" com base na diferença entre a saída produzida pela rede e a saída que seria esperada. Este processo é geralmente realizado através de um algoritmo chamado *backpropagation* e de algoritmos de otimização (Carraro, 2023, p.72).

Um dos grandes responsáveis pela revolução dos *Large Language Models* (LLMs), como o ChatGPT, que estamos vivendo atualmente, são os *Transformers*. Segundo Vaswani *et. al.* (2017 *apud* Duque-Pereira; Moura, 2023), o modelo utiliza o chamado mecanismo de atenção, inspirado na faculdade cognitiva humana da atenção, para aprender a ver a relação entre as palavras, selecionando as mais importantes para a compreensão geral das sentenças. A partir disso, se utiliza da probabilidade para prever uma sequência de palavras. De acordo com Carraro (2023, p.101), os *Transformers* são um tipo de arquitetura de rede neural introduzido no artigo "*Attention is All You Need*" do Google (Vaswani *et. al.*, 2017), sendo o principal conceito por trás dessa arquitetura do mecanismo de "atenção", que permite que o modelo preste mais "atenção" a algumas palavras do que a outras, o que resulta em uma maior capacidade de entender o contexto e a sintaxe de um texto.

Knight (2017 *apud* Pincelli; Américo; Belda, 2023, p. 64) relata alguns casos em que nem os próprios programadores sabem explicar exatamente o funcionamento de IAs baseadas em aprendizado profundo. Um exemplo é o sistema conhecido como *Deep Patient*, uma IA especializada em pesquisa médica criada pelo Hospital Monte Sinai, nos EUA. Abastecido com dados de prontuários de 700 mil pacientes, *Deep Patient* tem se mostrado bastante preciso no diagnóstico de doenças. O que surpreendeu os pesquisadores é que esse sistema também tem conseguido antecipar casos de esquizofrenia. No entanto, ninguém sabe ao certo como o *Deep Patient* faz isso e tampouco essa IA é capaz de explicar seu raciocínio. É quase como se o reconhecimento profundo de padrões envolvesse algo como uma intuição subconsciente.

Jean Piaget elucidou o processo pelo qual os indivíduos assimilam aspectos do ambiente com base em aprendizados anteriores e, simultaneamente, adaptam-se, alterando comportamentos. Esse ciclo contínuo de assimilação e acomodação leva ao desenvolvimento

de estruturas cognitivas mais complexas, caracterizando a inteligência como uma entidade dinâmica e em constante evolução (Medeiro, 2018, p. 19 *apud* Duque-Pereira; Moura, 2023, p. 7). Dessa forma, a IA pode ser entendida como uma tentativa de replicar, em sistemas programáveis, os mecanismos intrincados que operam no cérebro e na mente humana. A busca é por criar máquinas que não apenas processem informações, mas que também "pensem" e "aprendam" de maneira análoga aos seres humanos. Assim, podemos considerar o "pensar" da IA como sendo uma simulação da inteligência humana caracterizada pela capacidade de resolução de problemas, aprendizado com o ambiente, desenvolvimento de estruturas "cognitivas", orientação e metas (Medeiro, 2018, p. 19 *apud* Duque-Pereira; Moura, 2023, p. 7).

A análise dos fundamentos da IA, que articulam inspirações nos processos cognitivos humanos e sua formalização em estruturas matemáticas, permite compreender não apenas os princípios técnicos que sustentam esses sistemas, mas sobretudo suscita reflexões mais amplas sobre a própria natureza do pensamento lógico, analítico e discursivo. Nesse contexto, a centralidade da modelagem matemática sugere, ainda que de forma indireta, a presença de regularidades que organizam tanto os fenômenos do mundo quanto as formas pelas quais os compreendemos racionalmente. Assim, ao mesmo tempo em que a IA se configura como resultado de determinadas concepções sobre o pensamento lógico, analítico e discursivo, ela também contribui para transformá-las, ao tensionar os limites do que se entende por cognição e inteligência. Sob essa perspectiva, o estudo de seus fundamentos ultrapassa o campo estritamente técnico e passa a integrar um horizonte mais amplo de reflexão sobre a inteligência humana, na medida em que provoca a reconsideração das bases pelas quais interpretamos a realidade e a nós mesmos. Essas questões tornam-se especialmente relevantes no campo educacional, onde as concepções acerca da mente humana orientam diretamente, ainda que de forma implícita, as práticas pedagógicas.

Esse tipo de reflexão torna-se, portanto, fundamental para a delineação das bases da educação do futuro, na medida em que desloca o foco da mera incorporação tecnológica para uma problematização mais profunda sobre aquilo que se entende por pensar, conhecer, evoluir e, sobretudo, o que se entende por inteligência. No âmbito dessa discussão, argumenta-se que os avanços no campo da IA podem sugerir, por exemplo, uma aproximação entre processos formais de natureza matemática e certas dimensões do raciocínio humano, nesse caso, as faculdades tradicionalmente associadas ao pensamento lógico, analítico e discursivo em algum momento poderiam deixar de ser suficientes como eixo central da formação, uma vez que, de fato, as máquinas estariam passando reproduzir com elevado grau de aproximação essas

faculdades mentais. Nesse contexto, a educação passaria a ser interpelada não apenas a integrar novas ferramentas, mas a reconsiderar suas próprias finalidades, incluindo a valorização de dimensões que escapam ao raciocínio lógico, analítico e discursivo. Assim, mais do que preparar indivíduos para operar em um mundo mediado por tecnologias ditas inteligentes, coloca-se em questão o que, de fato, significa inteligência e quais aspectos do humano devem ser cultivados para além daquilo que pode ou que poderá ser reproduzido ou simulado por sistemas artificiais.

2.3 Inteligência Artificial na Educação

A IA tem sido aplicada de diversas formas no contexto educacional, incluindo Sistemas Tutores Inteligentes (STIs), sistemas adaptativos de aprendizagem, ferramentas de *feedback* automatizado, *chatbots* educacionais e, mais recentemente, modelos de IA generativa como o ChatGPT (Barbosa, 2023; Gobert *et al.*, 2024; Kochmar *et al.*, 2021; Leite, 2023; Kilinc *et al.*, 2025). Outras ferramentas, como simuladores de realidade virtual, gamificação inteligente e plataformas de aprendizado inclusivo, também tem emergido como novas possibilidades (Oliveira *et al.*, 2025; Lemos; Silva; Ferreira, 2026; Villan; Santos, 2023). Além disso, a IA tem sido empregada para analisar dados educacionais e identificar padrões que possam ajudar os professores a adaptar suas metodologias de ensino (Barbosa, 2023). Sobre os sistemas adaptativos, Costa Júnior *et al.* (2023 *apud* Fonseca *et al.*, 2026) acrescentam que tem contribuído para personalização da aprendizagem, para a análise de dados educacionais e para o desenvolvimento de sistemas capazes de identificar dificuldades de aprendizagem e oferecer suporte pedagógico mais direcionado aos estudantes.

Barbosa (2023) realizou uma revisão sistemática sobre as transformações no ensino-aprendizagem com o uso da IA para geração automática de textos e concluiu que a personalização e a adaptação da aprendizagem proporcionadas pela IA podem resultar em melhor engajamento e desempenho dos estudantes. Acrescenta ainda que a análise de dados educacionais por meio de algoritmos avançados permite uma compreensão mais profunda das práticas pedagógicas e a identificação de padrões para melhorias no processo educativo. No entanto, o autor enfatiza que é essencial que a IA seja utilizada com cautela e em conjunto com o conhecimento pedagógico dos profissionais da educação, sem que os professores sejam substituídos.

De acordo com Gomes e Carosia (2026), por meio de ferramentas como simulações em realidade virtual e plataformas adaptativas, os estudantes têm acesso a experiências

educacionais mais imersivas e personalizadas, que estimulam habilidades importantes como criatividade, pensamento crítico e a resolução de problemas. Com o apoio dessas tecnologias, os educadores conseguem criar ambientes de ensino mais flexíveis e inclusivos, capazes de atender às diversas necessidades dos estudantes, ao mesmo tempo que se concentram em atividades que valorizam o protagonismo estudantil. Estudos mencionam ainda que a Inteligência Artificial Generativa pode auxiliar professores no planejamento de atividades, na elaboração de conteúdos educacionais e no desenvolvimento de metodologias mais interativas (Fonseca *et al.*, 2026).

Além disso, essas tecnologias têm sido utilizadas como suporte para o desenvolvimento de metodologias ativas de aprendizagem, estimulando a produção textual, a resolução de problemas e o desenvolvimento de projetos educacionais mediados por tecnologias digitais. Nesse sentido, a Inteligência Artificial Generativa pode contribuir para ampliar o engajamento dos estudantes e favorecer processos de aprendizagem mais participativos e colaborativos (Labadze; Grigolia; Machaidze, 2023 *apud* Fonseca *et al.*, 2026).

A partir dos resultados de uma revisão integrativa de literatura, Fonseca *et al.* (2026) afirmam que, de modo geral, essas tecnologias têm potencial significativo para apoiar processos de ensino e aprendizagem, contribuindo para a personalização do ensino, a produção de materiais didáticos e o desenvolvimento de estratégias pedagógicas mais inovadoras. Entretanto, sua integração no contexto educacional deve ocorrer de forma crítica, responsável e pedagogicamente orientada, considerando tanto os benefícios quanto os desafios associados ao uso dessas tecnologias.

O trabalho de Souza *et al.* (2024) analisou as vantagens, os desafios e os riscos do ambiente digital para a educação, com foco no modelo educacional contemporâneo inserido no espaço tecnológico. A investigação buscou compreender como as tecnologias digitais influenciam o processo educacional, destacando aspectos positivos, como a personalização do aprendizado e o engajamento dos estudantes, bem como os riscos, como a desigualdade de acesso e as questões éticas relacionadas à privacidade dos dados. A pesquisa utilizou uma metodologia bibliográfica, baseando-se em literatura especializada e fontes acadêmicas para analisar ferramentas como inteligência artificial, gamificação e realidade virtual. A análise evidenciou que, apesar das oportunidades proporcionadas pelas tecnologias digitais para o ensino, é necessário um planejamento para equilibrar a adoção dessas inovações com a preservação da interação humana e a promoção da inclusão digital. Por fim, o estudo ressaltou a importância de novas pesquisas para compreender os impactos a longo prazo dessas tecnologias na educação.

A pesquisa de Botelho *et al.* (2025) teve como objetivo analisar os impactos da inovação tecnológica, especialmente da IA, no processo de ensino e aprendizagem no contexto educacional brasileiro. A investigação foi conduzida por meio de uma abordagem qualitativa, descritiva, com entrevistas aplicadas a uma amostra de 10 profissionais da educação, incluindo gestores, professores e coordenadores pedagógicos. As perguntas abordaram percepções, experiências práticas, desafios e aspectos éticos do uso da IA em ambientes educacionais. Os resultados apontaram transformações significativas nas formas de ensinar e aprender, sobretudo em relação à personalização do ensino, à automação de tarefas administrativas e à ampliação do acesso ao conhecimento. Contudo, também foram identificadas preocupações com a dependência tecnológica, a privacidade dos dados dos estudantes e o risco de desumanização do processo pedagógico. Os autores concluíram que a adoção de IA na educação exige não apenas inovação técnica, mas também responsabilidade ética e formação contínua dos profissionais.

Vicari (2021) chama a atenção para o fato de que a explicabilidade dos algoritmos e a interpretabilidade dos modelos, até o momento de sua publicação, constituíam objetivos de pesquisa ainda em aberto, o que representava uma limitação importante para o uso pedagógico responsável dessas tecnologias. De modo particularmente relevante para o argumento deste trabalho, a autora destacou que, diferentemente de outras áreas, a IA ainda não produziu ruptura nos sistemas educacionais, e que adaptar sistemas de IA para grupos de indivíduos que precisam colaborar, condição fundamental no EnCI, permanece como um dos grandes desafios não superados. Entretanto, Kotsis (2024) evidencia em seu trabalho possibilidades de articulação da tecnologia com metodologias onde os estudantes podem criticar as perguntas e conclusões uns dos outros, promovendo um ambiente de aprendizagem colaborativa. Pode-se inferir desta análise que essa adaptação das tecnologias de IA para grupos de indivíduos que precisam colaborar está muito mais relacionada às estratégias didático-pedagógicas utilizadas do que a tecnologia em si, que pode ser usada tanto para reforçar metodologias tradicionais, transformando os estudantes em verdadeiros "robôs" de assimilação de conteúdo, quanto para promover metodologias mais alinhadas a objetivos formativos amplos, que se tornam inadiáveis diante das transformações em curso e da crescente necessidade de orientar a educação para uma formação efetivamente integral e humana.

A análise das referências previamente expostas indica que cada uma das aplicações de IA possíveis de serem integradas ao contexto educacional apresenta características, potencialidades e limitações específicas que precisam ser compreendidas para que seu uso pedagógico seja efetivo e responsável. Além disso, convém apontar que as estratégias didático-

pedagógicas precisam estar alinhadas às dimensões da formação humana que o cenário atual nos convoca a desenvolver, sugerindo, ainda, que uma formação docente voltada para o desenvolvimento da Alfabetização Científica (AC) torna-se imprescindível e inadiável.

Cumprido destacar, ainda, que para que seu uso seja implementado de uma forma que realmente atenda às exigências do cenário, faz-se necessário uma ampliação do debate para questões mais profundas. Nesse sentido, Levant (2025) oferece uma perspectiva crítica e filosófica sobre a IA, argumentando que ela se tornou fetichizada no discurso contemporâneo, sendo imaginada como uma força autônoma em vez de trabalho humano coletivo cristalizado. Inspirado na teoria do fetichismo da mercadoria de Marx e em estudos críticos de IA, o autor analisa como a aparente agência dos sistemas de IA mascara sua dependência do trabalho humano. Levant (2025) desafia modelos individualistas de inteligência como computação, favorecendo uma compreensão da cognição como fundamentalmente social e historicamente situada, baseando-se em autores como Vygotsky e Ilyenkov. O autor argumenta que a inteligência coletiva cristalizada nesses sistemas pertence à humanidade como um todo e deve ser reivindicada, uma vez que a IA é poderosa demais para a sociedade deixar nas mãos do oligopólio tecnológico. Ele defende uma IA pública sob controle democrático, reconhecendo que a luta pela IA é inseparável de lutas mais amplas contra a exploração, pela justiça climática e pela democracia genuína.

Essa perspectiva crítica é fundamental para compreender que a IA não é uma tecnologia neutra, mas um artefato sociotécnico que incorpora valores, interesses e relações de poder. No contexto educacional brasileiro, marcado por desigualdades estruturais profundas, a adoção acrítica da IA pode amplificar exclusões e perpetuar injustiças, tornando ainda mais urgente a necessidade de uma abordagem pedagógica crítica e reflexiva.

De acordo com Puertas (2024), se Paulo Freire estivesse vivo hoje, poderia questionar a quem serve a tecnologia educacional e qual é o seu propósito. Ele poderia argumentar que, se a tecnologia reforça o “*banking model*” (educação bancária), então ela é contraproducente. Mas, se a tecnologia serve para empoderar os alunos, promovendo a autogestão, a investigação crítica e a reflexão sobre o mundo, então ela está alinhada com uma pedagogia libertadora (Freire, 1970 *apud* Puertas, 2024, p. 89).

Nesse contexto, faz-se importante ainda compreender que rumos a humanidade está sendo chamada a tomar com esta nova revolução tecnológica. Já passamos por outras revoluções industriais em que o trabalho manual veio sendo gradativamente substituído por máquinas, agora chegamos em uma fase que já é possível delegar a máquinas partes do trabalho racional humano, nos liberando da intensa carga cognitiva a que vínhamos sendo submetidos.

Nesse sentido, que faculdades estamos sendo chamados a desenvolver daqui para frente e como a educação poderá contribuir de forma efetiva para esse desenvolvimento?

Não entrando aqui no mérito relacionado a questões financeiras e dificuldades de acesso, mas pensando no cenário da classe média brasileira, que tem acesso a internet e às tecnologias gratuitas de IA, não podemos deixar de pensar que grande parte dos educadores lida agora com este cenário de grande complexidade em que tarefas escolares comuns perdem sua razão de ser. Urge, portanto, a adoção de estratégias eficazes de ensino que, ao contrário de reprimir, as incorpore de forma estratégica, favorecendo o pleno desenvolvimento dos estudantes no cenário que se descortina. Há quanto tempo estamos sendo chamados, como já apontava Paulo Freire, a colocar em prática uma educação crítica? E o presente cenário parece já estar nos convocando a ir além.

2.4 A Plataformização da Educação

A incorporação crescente de plataformas digitais nos sistemas educacionais tem sido descrita na literatura como um processo de plataformização da educação, entendido como a reorganização do trabalho pedagógico, da gestão escolar e dos processos avaliativos por meio de infraestruturas digitais capazes de monitorar, registrar e orientar continuamente as atividades realizadas por professores e estudantes (Alves; Sousa, 2025; Santos, 2025). Embora frequentemente apresentada sob os discursos da inovação, da modernização e da eficiência, a plataformização tem suscitado debates acerca de seus efeitos sobre a autonomia e sobre a rotina docente, as finalidades educacionais e a limitação das condições de desenvolvimento de práticas pedagógicas críticas e investigativas.

Nas redes estaduais de ensino de São Paulo e Paraná, esse processo tem se materializado por meio da adoção de plataformas digitais que organizam conteúdos curriculares, avaliações, atividades pedagógicas e mecanismos de acompanhamento do desempenho escolar. Segundo Alves e Sousa (2025), tais sistemas são acompanhados por formas de monitoramento que permitem verificar o cumprimento de tarefas, o uso dos materiais disponibilizados e a adesão dos professores às orientações pedagógicas definidas centralmente. Nessa perspectiva, as plataformas deixam de atuar apenas como ferramentas de apoio ao trabalho docente e passam a assumir funções de gestão, controle e responsabilização, influenciando diretamente a organização do cotidiano escolar.

No estado de São Paulo, esse movimento encontra respaldo em políticas gerencialistas implementadas ao longo das últimas décadas, marcadas pela associação entre desempenho em

avaliações externas e mecanismos de responsabilização institucional. Conforme destacam Alves e Sousa (2025), a instituição da bonificação por desempenho vinculada a indicadores como o Índice de Desenvolvimento da Educação do Estado de São Paulo (IDESP) e o Sistema de Avaliação da Educação Básica (SAEB) contribuiu para consolidar uma lógica orientada por resultados mensuráveis, fortalecendo processos de monitoramento e padronização curricular. Nesse contexto, a atuação docente tende a ser progressivamente condicionada ao alcance de metas previamente definidas, frequentemente associadas ao desempenho em avaliações padronizadas.

De acordo os autores, nota-se que o/a professor/a vem virando refém da tecnologia, tornando-se mero/a tarefeiro/a com reduzida atuação nos processos pedagógicos. Sua atuação é cada vez mais dependente de plataformas e registros digitais, atrelada a metas e indicadores de desempenho propagados no discurso da inovação e do empreendedorismo. E a consequência disso é um profundo mal-estar, em que a perda de sentido do trabalho, a instabilidade profissional, a sobrecarga de tarefas e a invisibilização do valor intelectual do/a professor/a geram sofrimento psíquico, cansaço crônico e, não raramente, adoecimento (Alves; Sousa, 2025).

Processo semelhante é identificado por Santos (2025) na rede estadual paranaense. Segundo o autor, a organização do trabalho pedagógico por meio de plataformas digitais tem sido percebida por parte dos docentes como um mecanismo de vigilância e controle que restringe a liberdade de planejamento e reduz as possibilidades de adaptação das práticas pedagógicas às necessidades concretas dos estudantes. Dados apresentados pelo autor, com base em levantamento realizado pelo sindicato dos professores do estado do Paraná, indicam elevados índices de sobrecarga profissional, adoecimento e insatisfação relacionados às exigências de cumprimento de metas e utilização contínua das plataformas digitais.

As implicações desse cenário tornam-se particularmente relevantes diante da emergência contemporânea da IA. Historicamente, parte significativa das políticas de responsabilização educacional foi construída a partir da premissa de que a melhoria dos resultados em avaliações padronizadas constituiria um indicador privilegiado da qualidade da educação. Entretanto, os avanços recentes dos sistemas de IA, que vem demonstrando de forma consistente níveis elevados de desempenho neste tipo de avaliação, tornam ainda mais visíveis os limites de métricas educacionais fundamentadas predominantemente na resolução eficiente de tarefas cognitivas estruturadas. Longe de inaugurar uma preocupação inédita, o aprisionamento do cotidiano escolar por metas e métricas de desempenho reforça as críticas históricas de Paulo Freire (1987) aos modelos educacionais de caráter transmissivo e bancário,

que já questionavam modelos educacionais centrados na reprodução de respostas e defendiam processos formativos voltados à reflexão crítica, à autonomia e à capacidade de intervir conscientemente na realidade. Conforme destacado por Melo (2025), a contribuição de Paulo Freire para a concepção de "inclusão digital" ressalta a necessidade de utilizar a tecnologia de forma crítica e consciente, visando à emancipação e à transformação social. Freire defendia que a tecnologia deveria ser empregada não para manipular ou oprimir, mas sim para promover a reflexão, a autonomia e a participação ativa dos indivíduos na sociedade.

Estudos recentes demonstram que modelos de linguagem de grande porte têm alcançado desempenhos extremamente elevados em exames padronizados, incluindo avaliações educacionais complexas. Em aplicações relacionadas ao Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), modelos contemporâneos obtiveram índices de acerto superiores a 90%, chegando a atingir desempenho integral em determinadas áreas do conhecimento (Pires *et al.*, 2023; Silva *et al.*, 2024). Em desafios matemáticos de alta complexidade, tradicionalmente considerados indicadores de raciocínio lógico avançado, sistemas de IA também vêm demonstrando capacidades inéditas de resolução de problemas (Epoch AI, 2026; Hubert *et al.*, 2026). Seria de grande contribuição para sociedade a formação de um estudante que é orientado prioritariamente a ir bem em provas que um robô realiza infinitamente mais rápido e com grande precisão? Que sentido de propósito e motivação pode ter um estudante que é forçado a realizar este tipo de tarefa que ele mesmo tem ciência de que um robô pode realizar de forma mais eficiente?

Muito pode ser discutido a respeito dos efeitos indesejáveis e prejudiciais tanto aos professores e gestores, quanto aos estudantes, a respeito desse processo específico de plataformação baseado em metas de produtividade, como desgaste físico e emocional, a redução da autonomia docente, com consequente empobrecimento pedagógico, sentimento de desestímulo pela falta de propósito real nos novos objetivos que o trabalho apresenta, aproximação da escola de modelos produtivistas orientados por eficiência e desempenho, fortalecimento da mercantilização da educação e da dependência de fornecedores de plataformas, enfraquecimento da curiosidade e da investigação autônoma, perda de sentido dos estudos quando o foco passa a ser apenas desempenho em avaliações, entre muitas outras. Mas, em última análise, é possível perceber que a raiz do problema se aproxima, na verdade, da falta de entendimento sobre a natureza humana e, com isso, dos verdadeiros objetivos da educação, por parte dos representantes políticos e gestores que planejaram este sistema. O objetivo deles é bater a meta, mas entendem a meta como o resultado de uma avaliação padronizada que até

mesmo um robô pode se sair melhor. Como podem representantes políticos definir os rumos da educação sem antes buscar compreender a natureza humana?

2.5 Ferramentas de Inteligência Artificial na Educação: Conceitos, Tipos e Aplicações

2.5.1 Sistemas Tutores Inteligentes

Os Sistemas Tutores Inteligentes (STIs) são programas computacionais que utilizam técnicas de IA para fornecer instrução personalizada aos estudantes, adaptando o conteúdo, o ritmo e as estratégias de ensino às necessidades individuais de cada aprendiz. Eles podem avaliar o aprendiz de diversas formas, incluindo, mas não se limitando, os seus conhecimentos prévios, os níveis de habilidades e competências, a motivação e os estados afetivos. Estudos recentes sugerem que STIs podem promover a aquisição robusta de práticas de investigação científica e a transferência de habilidades para novos tópicos em contextos de sala de aula em larga escala, mesmo após a retirada dos suportes adaptativos. No entanto, o potencial pedagógico dos STIs depende de modelos diagnósticos sofisticados, de interfaces pedagogicamente adequadas e da adesão docente, fatores que ainda representam desafios significativos (Gobert *et al.*, 2026).

2.5.2 Ferramentas de *Feedback* Automatizado

As ferramentas de *feedback* automatizado utilizam algoritmos de aprendizado de máquina para analisar produções dos estudantes (como argumentos científicos, relatórios de experimentos ou respostas a questões) e fornecer retornos personalizados em tempo real. Essas ferramentas têm o potencial de escalar práticas investigativas, permitindo que professores acompanhem o progresso de um grande número de estudantes e identifiquem dificuldades específicas. Contudo, a literatura aponta que a modelagem diagnóstica é complexa e que *feedbacks* automatizados podem ser insuficientes ou inadequados se não forem cuidadosamente desenhados e validados (Kochmar *et al.*, 2021).

2.5.3 IA Generativa e *Chatbots* Educacionais

A IA generativa, representada por modelos como o ChatGPT e similares, constitui uma das aplicações mais recentes e controversas da IA na educação. Esses modelos são capazes de

gerar textos coerentes, responder a perguntas complexas, produzir explicações, criar materiais didáticos e até mesmo simular diálogos investigativos. No contexto brasileiro, estudos propaedeuticos indicam que o ChatGPT pode agilizar a definição de conceitos químicos e apoiar o processo de ensino-aprendizagem, mas também alertam que precisa ser orientado por um processo de reflexão, de modo que, a partir das respostas geradas pela IA, os estudantes desenvolvam pensamento crítico e o professor trate a ferramenta como mais um recurso didático, entre outros que podem ser mobilizados para garantir que o ChatGPT seja utilizado de forma ética e responsável (Leite, 2023).

Nesse contexto, a literatura aponta também para sistemas conhecidos como *chatbots* educacionais, que são sistemas conversacionais baseados em IA que interagem com os estudantes por meio de linguagem natural, oferecendo suporte, orientação e *feedback* em atividades de aprendizagem. Estudos indicam que *chatbots* podem melhorar a clareza e a especificidade das hipóteses formuladas por estudantes em atividades investigativas, com ganhos de até 84% em clareza e 79% em especificidade de variáveis após interações de coaching digital (Kilinc *et al.*, 2025). No entanto, há preocupações sobre a dependência tecnológica e a possibilidade de que o uso acrítico de *chatbots* reduza o esforço cognitivo e a autonomia dos estudantes.

2.5.4 IA e Realidade Virtual

Plataformas virtuais são comumente usadas para simular o ambiente de sala de aula ou laboratório onde as aulas acontecem. Algumas dessas simulações são utilizadas como um ambiente seguro para testar cenários que seriam muito difíceis ou perigosos de serem realizados no mundo real. A principal vantagem da realidade virtual é permitir que os usuários vivenciem uma experiência imersiva no ambiente virtual e depois transfiram esse aprendizado para o mundo real, onde podem lidar adequadamente com diversas situações. Por exemplo, os estudantes podem caminhar em Marte ou viajar dentro do corpo humano através das células sanguíneas (Atta *et al.*, 2023 *apud* Kouloubritsidou, 2025). É utilizada em plataformas como o *Labster*, em que os estudantes podem realizar experimentos científicos de forma virtual, superando assim as limitações físicas do ensino tradicional. Isso é considerado importante para reduzir as lacunas existentes entre teoria e prática. Dessa forma, inclusive estudantes com deficiência podem lidar com algumas das barreiras físicas, sociais e cognitivas que historicamente dificultaram sua participação nos processos de aprendizagem. Como resultado, sistemas de IA e de realidade virtual desempenham um papel significativo na melhoria do

desempenho acadêmico desses estudantes. Eles também promovem um senso de pertencimento por meio da interação entre grupos diversos de estudantes, contribuindo para a construção de uma sociedade inclusiva, na qual o respeito e a compreensão são fundamentais (Chalkiadakis *et al.*, 2024 *apud* Kouloubritsidou, 2025).

Em seu trabalho, Lemos, Silva e Ferreira (2026) apresentaram algumas possibilidades de utilização pedagógica de ferramentas baseadas em IA que podem contribuir para o Ensino de Ciências a partir de uma abordagem investigativa e destacaram como potencialidade a visualização de fenômenos naturais por meio de simulações e interatividade por meio de *chatbots*. Os autores apresentam a *Lasbter*, uma sugestão de plataforma que possibilita simulações imersivas de laboratório e conta com um “agente”/assistente, o *Dr. One*, que em laboratório acompanha o estudante e oferece dicas, perguntas orientadoras e *feedback* em tempo real. Outra possibilidade apresentada pelas autoras é o simulador *PhetColorado* associado ao uso de um *chatbot* a escolha do docente/estudante para ajudar a ampliar as interpretações sobre os resultados da atividade investigativa.

Os autores argumentam que as simulações mediadas por IA podem possibilitar a participação e a interatividade das crianças ao oferecer ambientes dinâmicos de aprendizagem, nos quais o estudante manipula variáveis, observa efeitos e recebe *feedback* em alguns casos. Esses recursos podem oportunizar a aprendizagem ativa ao possibilitar a exploração, tomada de decisão e testagem de hipóteses em cenários digitais, com apoio adaptativo (por exemplo, pistas, perguntas orientadoras e ajustes de dificuldade) conforme as respostas e ações da criança. Eles corroboram, ainda, com a potencialidade de favorecer a inclusão de estudantes com deficiência intelectual. Entretanto, alertam ser essencial evidenciar que a formação docente, de modo geral, ainda não contempla os conhecimentos necessários para trabalhar com essas ferramentas, enfatizando o quanto é necessário repensar a formação docente, inclusive dos professores de Ciências.

De acordo com Oliveira *et al.* (2025), a realidade virtual demonstra potencial transformador em disciplinas que exigem visualização espacial e simulações práticas, particularmente em ciências, medicina e história. Em seus estudos, os autores constataram que instituições que implementam abordagens integradas destas tecnologias relatam melhorias mensuráveis em indicadores de aprendizagem, retenção de conhecimento e desenvolvimento de habilidades socioemocionais. Concluíram que, embora existam desafios relacionados à acessibilidade tecnológica e capacitação docente, a convergência entre gamificação, IA e realidade virtual representa não uma tendência futura, mas uma realidade presente que está redefinindo os paradigmas educacionais contemporâneos.

2.6 Impactos da Inteligência Artificial no Ensino de Ciências

Claudino, Dermeval e Rodrigues (2024) focalizaram as implicações do uso de IA no ensino de Ciências, considerando os problemas da baixa proficiência científica e da baixa conectividade, que marcam o contexto educacional brasileiro. Os autores identificaram que a implementação de STIs e outras tecnologias de IA enfrenta barreiras significativas de infraestrutura e literacia digital. A revisão sistemática conduzida pelos autores resultou em sete estudos primários que focalizaram o desenvolvimento de habilidades cognitivas e procedimentais, o apoio à formação de professores em serviço e o provimento de *feedback unplugged* a professores e estudantes. Os autores acreditam que o fortalecimento de investigações sobre o potencial das ferramentas desplugadas representam um apoio importante para os professores de ciências notadamente diante das dificuldades que caracterizam os contextos de baixa conectividade. Por outro lado, a revisão sistemática de literatura reafirmou as convicções dos autores de que em qualquer conjuntura analisada o nível de desenvolvimento social, econômico, político e cultural é diretamente proporcional ao nível de proficiência científica e que, portanto, a educação científica precisa ser priorizada como política pública principalmente pelos sistemas educacionais dos países do Sul Global.

A pesquisa de Felix *et al.* (2026) investiga o papel da personalização do ensino como estratégia para atender às singularidades dos estudantes no contexto da cultura digital. O debate foca na integração entre metodologias ativas e recursos tecnológicos, como a IA e a gamificação, para criar percursos de aprendizagem customizados. Por meio de uma análise qualitativa pautada em levantamento bibliográfico, examinam-se experiências práticas em áreas como matemática, ciências, educação física e literatura. Os resultados indicam que o uso de algoritmos e jogos digitais favorece o engajamento e a inclusão ao oferecer desafios adequados ao nível de competência de cada estudante. A investigação destaca que a tecnologia atua como suporte para uma perspectiva formativa que valoriza a ludicidade e a diversidade de afetos no ambiente escolar. Segundo os autores, as reflexões oferecidas buscam subsidiar o desenvolvimento de ações disruptivas que transformem a prática docente em um processo mais flexível, eficiente e sintonizado com os percursos individuais de aprendizagem.

Silva *et al.* (2026) investigam a relevância das tecnologias móveis como suporte fundamental para a implementação de metodologias ativas no ensino contemporâneo. O debate foca na portabilidade e na interatividade desses dispositivos, que permitem a integração de elementos de gamificação em áreas diversas como saúde, matemática, ciências da natureza e educação linguística. Por meio de uma análise qualitativa pautada em levantamento

bibliográfico, examinam-se relatos de experiência no ensino superior e na educação básica que utilizam aplicativos e jogos digitais para ampliar o engajamento. Os resultados indicam que o uso de dispositivos móveis favorece a aprendizagem colaborativa e a inclusão digital ao oferecer recursos como *quizzes* e IA adaptados ao ritmo discente. A investigação destaca que o suporte tecnológico móvel supera barreiras geográficas e incentiva a participação ativa em contextos de educação a distância e presencial.

Melo (2025) investigou as percepções dos professores de Ciências em relação à IA e seu impacto no ensino. O autor argumenta que, ao compreender as visões dos docentes sobre a IA, torna-se possível desenvolver estratégias de capacitação que abordem suas preocupações e forneçam recursos práticos para a integração dessa tecnologia no ambiente escolar. O trabalho fundamenta-se nos princípios de Paulo Freire, cuja contribuição para a concepção de inclusão digital ressalta a necessidade de utilizar a tecnologia de forma crítica e consciente, visando à emancipação e à transformação social. Freire defendia que a tecnologia deveria ser empregada não para manipular ou oprimir, mas sim para promover a reflexão, a autonomia e a participação ativa dos indivíduos na sociedade. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa, reconhecendo o comportamento humano como resultado de diversas influências internas e externas, e utiliza a investigação narrativa como metodologia de análise. Essa metodologia concentra-se na coleta e análise de histórias pessoais e narrativas para compreender a experiência humana em contextos específicos. O público-alvo são os professores que lecionam a disciplina de Ciências na educação básica, totalizando 10 participantes. Para coleta de dados foi escolhida uma escola do município de Deodápolis – MS.

O questionário inicial abordou aspectos gerais da percepção dos professores sobre a IA e o ChatGPT, bem como sua aplicação no ensino de Ciências, permitindo que os docentes expressassem suas opiniões. A partir das percepções coletadas por meio do questionário online e dos apontamentos feitos pelos docentes durante a formação continuada, foi desenvolvida uma apostila prática para a utilização da IA (ChatGPT) no ensino de Ciências. Segundo o autor, embora haja pouco conhecimento em relação ao potencial da IA para transformar o ensino e a aprendizagem, é importante considerar cuidadosamente as implicações éticas, pedagógicas e sociais de seu uso. Ao adotar uma abordagem crítica, reflexiva e centrada no estudante, os educadores podem aproveitar o poder da IA para criar experiências educacionais mais inclusivas, participativas e capacitadoras, em consonância com os ideais de uma educação emancipatória e democrática.

O trabalho de Dzingeski (2025) teve como objetivo integrar a IA às aulas de Biologia utilizando a plataforma *Classroom*, promovendo metodologias inovadoras que incentivem a

autonomia, a responsabilidade e o engajamento dos estudantes, além de permitir a personalização do aprendizado de acordo com o ritmo e as escolhas individuais de cada estudante. A metodologia adotada consistiu em uma pesquisa bibliográfica voltada à análise crítica dos principais conceitos relacionados ao tema, complementada pela aplicação do método descritivo para caracterizar as possibilidades pedagógicas da IA no contexto educacional. Os resultados demonstram que a utilização de tecnologias digitais, ambientes virtuais e recursos interativos pode contribuir para a aproximação dos estudantes com os conteúdos, facilitar a compreensão de conceitos complexos e fortalecer habilidades cognitivas e socioemocionais. Além disso, a exploração da sala de aula virtual possibilitou diversificar estratégias de ensino, integrar os estudantes de forma mais eficiente e promover a construção coletiva do conhecimento, evidenciando, segundo os autores, que o uso planejado da IA e de ferramentas digitais representa uma estratégia significativa para tornar a aprendizagem mais dinâmica, engajadora e eficaz. O estudo conclui que a integração de tecnologias digitais no ensino de Biologia amplia as possibilidades pedagógicas, fortalece a autonomia estudantil e contribui para a formação de competências essenciais, consolidando a IA como uma ferramenta estratégica no contexto educacional contemporâneo.

A pesquisa de Parreira (2025) teve como objetivo analisar como a IA e outras tecnologias educacionais, como sistemas de recomendação, metodologias ativas e simuladores virtuais, podem ser utilizadas de forma complementar para modernizar o ensino de Física, promovendo uma aprendizagem mais dinâmica, personalizada e significativa. A pesquisa qualitativa, de natureza bibliográfica, baseia-se na análise de casos para identificar vantagens, desafios e perspectivas dessas inovações. A investigação revela que a IA pode auxiliar na personalização da aprendizagem e otimização do ensino, superando desafios como capacitação docente e infraestrutura tecnológica. Metodologias ativas, como a Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) e a Sala de Aula Invertida, mostraram-se eficazes para engajar os estudantes e desenvolver habilidades críticas, enquanto ferramentas como o *Easy YouTube* (EYT) e simuladores virtuais, como o *Physics Education Technology* (PhET), diversificam conteúdos e facilitam a compreensão de conceitos complexos.

Leite (2023) realizou uma análise propedêutica do ChatGPT na definição de conceitos químicos, através de uma pesquisa de natureza qualitativa abrangendo uma abordagem descritiva e interpretativa das respostas da IA ChatGPT. O objetivo foi investigar as potencialidades e limitações da ferramenta ChatGPT, na qual foi avaliado seu desempenho na capacidade de responder questões sobre conceitos químicos de forma a contribuir (ou não) com a construção do conhecimento. O autor concluiu que a ferramenta pode ser utilizada no ensino

de Química como auxílio ao processo de ensino-aprendizagem, mas que seu uso precisa ser guiado por um processo de reflexão, de modo que, a partir das respostas da IA, os estudantes apresentem pensamento crítico e o professor a considere como apenas mais um recurso. O autor alerta que, dependendo do conceito químico, a IA pode fornecer respostas coerentes, mas também pode levar os estudantes a dificuldades de compreensão se não houver mediação docente adequada.

De acordo com Pereira e Moreira (2025), o ensino de Ciências no Ensino Fundamental tem enfrentado o desafio de adaptar-se às exigências de uma sociedade cada vez mais tecnológica e conectada. Nesse contexto, segundo os autores, a personalização da aprendizagem mediada por tecnologias digitais baseadas em IA emerge como uma estratégia promissora para atender às necessidades individuais dos estudantes e promover um ensino mais eficaz. O trabalho teve como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de tecnologias digitais com IA voltadas à personalização do ensino de Ciências no Ensino Fundamental. A metodologia adotada baseou-se nas diretrizes de Kitchenham (2004 *apud* Pereira; Moreira, 2025), com a definição de cinco questões de pesquisa, aplicação de uma string de busca e seleção de estudos nas bases *ERIC*, *JSTOR*, *ACM Digital Library*, *IEEE Xplore* e *ScienceDirect*, considerando publicações entre 2019 e 2024. Após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foram analisados nove artigos. Os resultados revelaram o uso predominante de *chatbots*, avaliação automatizada e modelos de linguagem generativa. Segundo os autores, as estratégias mais eficazes identificadas foram o *feedback* personalizado, o aprendizado adaptativo e a gamificação. Entre os principais desafios estão as questões éticas, as limitações de infraestrutura e a resistência docente. A análise aponta que as tecnologias com IA têm grande potencial para transformar o ensino de Ciências, desde que acompanhadas por políticas de formação docente, inclusão digital e avaliação criteriosa dos impactos pedagógicos.

2.7 Interfaces entre IA e Ensino Investigativo

Assim como em outros contextos, a relação entre IA e EnCI é complexa e multifacetada, envolvendo tanto potencialidades quanto riscos significativos. A literatura internacional recente documenta efeitos diretos da IA em etapas investigativas, especialmente na formulação de hipóteses, no *feedback* argumentativo e no monitoramento de progresso (Gobert *et al.*, 2024, Kochmar *et al.*, 2021, Kilinc *et al.*, 2025). No entanto, a literatura brasileira sobre essa interface ainda é incipiente, com poucos estudos empíricos que articulem IA generativa e abordagens

investigativas, optando-se para este trabalho por complementar esta seção com alguns estudos internacionais.

Estudos experimentais indicam que ferramentas de IA podem apoiar o processo investigativo de diversas formas. Gobert *et al.* (2024) realizaram um trabalho sobre a eficácia do suporte instrucional (*scaffolding*) a partir do desempenho dos estudantes em diferentes práticas investigativas, ao longo de distintos intervalos de tempo e em variados conteúdos. O estudo foi realizado na região nordeste dos Estados Unidos, tendo participado 107 estudantes do sexto ano (*sixth-grade students*) e uma escola de ensino fundamental II (*middle school*). Sobre a população de estudantes dessa escola específica, detalha-se que 39,2% são brancos, 20,6% são hispânicos, 23,5% são asiáticos, 11% são negros e os demais são de duas ou mais raças. Os resultados indicaram, de modo geral, que o suporte foi robusto para as práticas de formulação de hipóteses e coleta de dados, uma vez que as competências dos estudantes continuaram a melhorar quando avaliadas após 40, 80 e 170 dias, independentemente da dificuldade do conteúdo. Especificamente, buscaram verificar se o suporte adaptativo aplicado a um determinado tema seria suficiente para sustentar o desempenho dos estudantes em outros temas, realizados em diferentes momentos futuros. Apesar da progressão de conteúdos menos complexos (como células animais e vegetais) para temas mais avançados (como genética e seleção natural), constatou-se que os efeitos do suporte permaneceram altamente robustos no que denominaram desempenho dos estudantes em relação ao primeiro tema investigado. Esse padrão foi consistente nas práticas de formulação de hipóteses e coleta de dados. Para as práticas de interpretação de dados e justificativa de conclusões, o crescimento foi influenciado pela dificuldade do conteúdo, conforme apontado em estudos anteriores. Os achados sugerem que o suporte adaptativo em um único conteúdo, em um sistema tutor inteligente (ITS), pode beneficiar a aprendizagem investigativa mesmo após sua retirada, sendo seus efeitos mantidos ao longo de períodos prolongados.

Segundo os autores, a interpretação dos resultados indica que o suporte procedimental fornecido por *Rex*, o agente pedagógico, contribuiu significativamente para a aquisição e o refinamento de competências que sustentam a investigação dos estudantes. Os efeitos do suporte adaptativo também se mostraram consistentes em diferentes conteúdos das ciências da vida, inclusive aqueles de maior complexidade. Em síntese, os autores concluem que quando adequadamente projetado, o suporte instrucional voltado ao desenvolvimento de competências investigativas pode promover aprendizagens profundas e duradouras, passíveis de transferência para novos contextos, mesmo após longos intervalos de tempo. Embora o estudo de Gobert *et al.* (2024) tenha sido considerado pertinente para ser incluído neste estudo, impõe-se a devida

cautela quanto à possibilidade de viés de uma pesquisa que pode ter sido conduzida com possíveis interesses econômicos vinculados à comercialização das ferramentas em questão.

Li *et al.* (2025) desenvolveram o InquiryGPT, uma versão adaptada do ChatGPT projetada especificamente para apoiar o ensino de ciências baseado em investigação em educação STEAM (*Science, Technology, Engeneering, Art, and Math*). Segundo os autores, o principal objetivo de integrar estratégias de aprendizagem baseada em investigação às atividades de STEAM é criar um ambiente desafiador que estimule a aprendizagem ativa dos estudantes, promovendo, assim, o desenvolvimento do interesse, das habilidades de pensamento e da aplicação prática do conhecimento. Participaram do estudo 62 estudantes universitários (sendo 37 homens e 25 mulheres). Todos eles eram alunos do Departamento de Ciência da Engenharia (*Department of Engineering Science*) e estavam matriculados na disciplina de Sistemas Multicore Heterogêneos Embarcados. O estudo foi realizado na região sul de Taiwan.

Embora o estudo empírico de Li *et al.* (2024) tenha sido originalmente desenvolvido no cenário do ensino superior com estudantes de Engenharia, a fundamentação pedagógica e os mecanismos propostos pelos autores revelam-se plenamente transferíveis para o contexto do Ensino Fundamental, já que a ênfase do trabalho recai em identificar estratégias que se oponham ao uso passivo da IA para cópia de respostas prontas. Essa articulação pedagógica serve como um referencial de como a tecnologia pode mediar as etapas da investigação. Os autores relatam ganhos em habilidades de ordem superior, como criatividade, resolução de problemas e pensamento crítico, quando a ferramenta é utilizada de modo a limitar a dependência direta do modelo e a estruturar a interação investigativa. O estudo enfatiza que o design da ferramenta é crucial: se a IA simplesmente fornece respostas prontas, ela pode comprometer o processo investigativo; se, por outro lado, ela orienta o estudante a formular perguntas, buscar evidências e construir explicações, ela pode potencializar a investigação.

Chang, Park e Park (2023) realizaram um estudo com o objetivo de explorar como utilizar pedagogicamente um chatbot de IA no contexto da investigação científica, por meio do desenvolvimento e aplicação de uma atividade de investigação guiada com esse recurso. A atividade elaborada envolveu o planejamento e a realização de práticas investigativas tendo como tema a transmissão do som. Nesse processo, foi desenvolvido um chatbot denominado Inquirybot, estruturado com fluxos de conversa e roteiros para orientar o desenho das investigações. O estudo contou com a participação de 18 estudantes. Desse grupo, 11 eram do 5º ano e sete eram do 6º ano. Em termos de distribuição de gênero, o grupo era composto por 15 meninos e três meninas. Todos eles eram alunos formalmente identificados como

superdotados/talentosos. A pesquisa foi realizada na Coreia do Sul. Os dados foram coletados dentro de um programa de educação para superdotados em ciências operado por uma universidade. Ao aplicar as atividades e o *Inquirybot* foram identificadas diversas possibilidades práticas e também desafios no uso de *chatbots* de IA em contextos de investigação científica.

O registro das interações permitiu aos docentes acompanhar, de maneira detalhada, o desenvolvimento das ideias dos estudantes ao longo da atividade, reduzindo lacunas de monitoramento em trabalhos em grupo. Contudo, o estudo também evidencia limitações relevantes, especialmente relacionadas à natureza baseada em regras do *chatbot*, que restringe a fluidez das interações, gera dificuldades de compreensão da linguagem natural e tende a promover comunicação unidirecional. Ademais, observou-se uma diminuição progressiva das respostas discursivas dos estudantes, com aumento do uso de respostas pré-formatadas, possivelmente em decorrência dessas limitações técnicas. Apesar desses desafios, a mediação docente e o uso combinado de outras estratégias pedagógicas mitigaram impactos negativos, mantendo a continuidade das investigações. Em síntese, o *Inquirybot* demonstrou potencial para enriquecer atividades investigativas ao promover suporte individualizado e otimizar o papel do professor, embora sua eficácia dependa de um desenho pedagógico cuidadoso e de avanços tecnológicos que aprimorem a naturalidade das interações. Alerta-se também para o risco de que os estudantes se tornem dependentes do *feedback* automatizado e percam a capacidade de avaliar criticamente suas próprias produções.

Os autores chamam a atenção para o fato de que se trata de um estudo de caso exploratório, havendo, portanto, limitações na generalização dos resultados apresentados para um uso mais amplo de *chatbots*. Por exemplo, dependendo da plataforma de *chatbot* selecionada, os dados que professores ou pesquisadores podem coletar podem variar. As abordagens pedagógicas para o uso de *chatbots* também dependem dos serviços e da infraestrutura oferecidos pela plataforma escolhida. Essas diferenças e limitações técnicas precisam ser consideradas como uma variável importante ao projetar e aplicar atividades baseadas em *chatbots* em outros contextos.

O estudo de Kotsis (2024) propõe a integração do ChatGPT ao currículo de Ciências no ensino fundamental, com base na abordagem de ensino por investigação. Trata-se de uma pesquisa de natureza teórico-conceitual, fundamentada em revisão de literatura sobre aprendizagem ativa, tecnologias educacionais e inteligência artificial, realizada pelo Laboratório de Ensino de Física da Universidade de Ioannina, na Grécia. O autor defende que o uso intencional e estratégico do ChatGPT pode favorecer a personalização do ensino,

estimular o pensamento crítico e ampliar o engajamento discente, ao atuar como mediador de interações e investigações científicas. Sugere ainda uma estratégia que se aproxima da proposta deste trabalho, a de que a IA pode ser utilizada como objeto de investigação pelos próprios estudantes, que podem formular hipóteses sobre a acurácia ou os vieses das respostas geradas e projetar experimentos para testá-las, corroborando com a importância do EnCI neste contexto. A partir da articulação de estudos prévios o autor propõe estratégias pedagógicas, incluindo exemplos de atividades, formas de avaliação e diretrizes para formação docente. Os resultados apontados são inferenciais, sugerindo melhorias na aprendizagem e na autonomia dos estudantes, embora o próprio estudo reconheça limitações estruturais, como a pressão por avaliações padronizadas e a necessidade de capacitação docente.

No que concerne às proposições didático-pedagógicas, o estudo de Kotsis (2024) detalha um conjunto articulado de estratégias para a integração do ChatGPT no ensino de Ciências por investigação. No âmbito das atividades, os autor sugere o uso da ferramenta como mediadora de processos investigativos, estimulando os estudantes a formularem questões, elaborarem hipóteses e conduzirem explorações guiadas, por exemplo, por meio de diálogos estruturados sobre temas como ecossistemas, nos quais o sistema auxilia na definição de procedimentos de coleta de dados e análise. Quanto às formas de avaliação, propõe-se uma abordagem multifacetada, centrada em avaliações formativas contínuas, uso de feedback em tempo real, avaliações por pares — onde os estudantes podem criticar as perguntas e conclusões uns dos outros, promovendo um ambiente de aprendizagem colaborativa — e desenvolvimento de projetos, além da construção de portfólios digitais que permitam acompanhar o progresso do estudante de maneira processual e reflexiva. No que se refere à formação docente, o autor enfatiza a necessidade de programas de desenvolvimento profissional abrangentes, incluindo oficinas práticas, planejamento colaborativo e redes de apoio contínuo, bem como o acesso a recursos didáticos específicos e acompanhamento por mentores, de modo a assegurar não apenas a apropriação técnica da ferramenta, mas sua integração pedagógica coerente com os princípios do ensino por investigação.

No contexto brasileiro, Lemos, Silva e Ferreira (2026) discutem o uso da inteligência artificial com abordagem investigativa no ensino de Ciências para crianças, propondo o uso de simuladores interativos e chatbots como suportes pedagógicos que estimulam a curiosidade e a autonomia dos estudantes em atividades práticas. Para tanto, os autores analisam marcos regulatórios brasileiros, como a Base Nacional Comum Curricular, o Projeto de Lei nº 2.614, de 2024, que visa aprovar o Plano Nacional de Educação, e a Lei nº 15.100, de 13 de janeiro de 2025. Tudo isso destacando a transição da tecnologia como simples ferramenta para um objeto

de estudo essencial à alfabetização científica. Contudo, ressaltam a grande importância da mediação docente e a necessidade urgente de formação continuada para que o uso da IA seja ético e seguro, além de favorecer a criticidade e o protagonismo infantil, sem substituir o raciocínio humano por processos automatizados.

Entre os trabalhos nacionais analisados envolvendo o EnCI, destaca-se que o estudo de Araújo e Menezes (2026) constitui a única investigação de natureza empírica identificada, diferenciando-se das demais produções predominantemente teóricas ou de revisão. Os autores descreveram e analisaram uma sequência didática com abordagem investigativa para o ensino de parasitoses humanas em três turmas da segunda série do Ensino Médio de uma escola estadual cearense no município de Ubajara. As turmas foram organizadas em seis equipes de até cinco integrantes, conforme preferência dos próprios discentes. O tempo total dedicado à execução foi de três aulas consecutivas de 50 minutos para cada turma. A IA generativa foi empregada para acelerar a produção e diversificação dos materiais didáticos, com curadoria docente para assegurar coerência didático-científica, com recursos e prompts orientados pelo docente. O estudo indica indícios de viabilidade pedagógica e de maior participação, com explicitação de justificativas na discussão coletiva e apropriação de conceitos-chave, como transmissão, ciclo e profilaxia, embora tenham sido observadas dificuldades recorrentes com vocabulário técnico e disparidades entre as equipes. Os autores concluíram que a articulação entre ensino por investigação e IA pode ser promissora, desde que acompanhada de mediação docente e validação crítica do material, recomendando estratégias de apoio lexical como glossários temáticos e investigações futuras com registros discursivos mais analíticos e sistematizados, destacando limitações de conteúdo, com respostas do ChatGPT podendo conter imprecisões conceituais e levar a dificuldades de compreensão sem verificação docente.

A dinâmica de autoria híbrida, em que professores atuam como curadores e coautores do conteúdo gerado por IA, implica a necessidade de habilidades de curadoria e avaliação crítica por parte dos docentes, dinâmica exige formação específica. A exigência decorrente dessa dinâmica corrobora a maioria dos estudos analisados nesta revisão de conteúdo, os quais evidenciam a importância de uma formação docente adequada para responder às demandas do novo cenário educacional.

Ainda no âmbito do Ensino por investigação, foi encontrado um trabalho em andamento em que os autores se propõem a realizar uma pesquisa com o objetivo de promover o desenvolvimento do Pensamento Computacional (PC) e educação em IA dentro da abordagem STEAM, buscando fortalecer habilidades essenciais do século XXI, como pensamento crítico,

resolução de problemas e criatividade, por meio do Ensino por Investigação. Entre os objetivos específicos, destacam-se a análise de métodos eficazes para integrar conceitos de PC e IA na educação STEAM, o desenvolvimento de um livro-jogo interativo com abordagem lúdica e investigativa, e a implementação desse produto educacional no contexto do projeto de extensão Corte de Lovelace, que visa ensinar PC, programação e robótica a meninas em situação de vulnerabilidade social, em áreas periféricas e do interior do Espírito Santo. Os autores esperam que o livro-jogo promova o desenvolvimento de competências interdisciplinares, autonomia e capacidade de tomar decisões (Andrade; Oliveira; Battetin, 2024).

Alguns trabalhos fundamentados na Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) também foram identificados, evidenciando o uso da inteligência artificial como suporte à condução de atividades investigativas e à promoção do protagonismo discente. Ainda que tais estudos não se vinculem explicitamente ao referencial do EnCI, apresentam aproximações relevantes ao enfatizarem a importância da resolução de problemas, a formulação de questões e o desenvolvimento de investigações orientadas pelos estudantes. Segundo Joyner e Goel (2015), ambas as abordagens derivam do construtivismo, originado das teorias de Jean Piaget e Seymour Papert, que defendem o aprendizado em ambientes abertos, nos quais o aprendiz desempenha um papel significativo na condução dos objetivos e resultados da aprendizagem, estando entre elas a aprendizagem por descoberta, a aprendizagem baseada em problemas, a aprendizagem baseada em projetos, a aprendizagem experiencial e a aprendizagem baseada em investigação.

A primeira investigação identificada que aborda essa temática foi a desenvolvida por Barbosa e Marques (2026). Os autores analisaram a utilização da Inteligência Artificial (IA), representada pela ferramenta ChatGPT, como recurso pedagógico e objeto de investigação no ensino de Ciências. A pesquisa foi realizada com 13 estudantes regularmente matriculados no 8º ano do Ensino Fundamental da Escola Municipal São José do Tarumã situada na comunidade rural ribeirinha Nossa Senhora do Livramento, no município de Manaus – AM, que desenvolveram protótipos com Arduino destinados à análise da umidade e da temperatura do ar, do solo e da água. A metodologia adotada foi a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), conforme Bender (2014 *apud* Barbosa; Marques, 2026), favorecendo a resolução de problemas reais por meio de práticas colaborativas e investigativas. Os resultados mostraram que o uso do ChatGPT auxiliou na superação de dificuldades técnicas relacionadas à programação e à montagem dos protótipos, além de ampliar a autonomia dos estudantes no processo de aprendizagem. Os resultados da pesquisa indicam que a integração entre IA, Arduino e ABP demonstra ser uma estratégia eficaz para o ensino de Ciências, pois amplia a construção de

conhecimentos científicos e tecnológicos em ambientes escolares e fortalece a aprendizagem significativa dos estudantes.

Outro estudo fundamentado na ABP desenvolvido no contexto da educação básica foi o de Villan e Santos (2023). Os resultados evidenciaram que o uso do ChatGPT como coorientador em projetos de pesquisa contribuiu para o aumento do engajamento dos estudantes e para a redução da resistência docente à adoção de metodologias ativas. A investigação, conduzida por meio de pesquisa-ação com aplicação de questionários, entrevistas e observações envolvendo 353 estudantes e 16 professores do Ensino Fundamental na Escola Municipal de Educação Primária de Canoas, no Rio Grande do Sul, indicou ainda que a utilização da IA favoreceu o desenvolvimento de atividades centradas na resolução de problemas e na condução de investigações pelos estudantes, com impactos reconhecidos inclusive em feiras de ciências locais. Embora o estudo não se ancore explicitamente no referencial do Ensino de Ciências por Investigação, seus resultados apresentam convergências importantes com essa abordagem, especialmente no que se refere ao protagonismo discente, à formulação de questões investigáveis e à construção ativa do conhecimento, sugerindo o potencial da IA como mediadora de práticas investigativas no ensino de Ciências.

Com base nos estudos analisados, percebe-se que existem muitas possibilidades e um grande potencial de integração da IA no contexto do Ensino de Ciências por Investigação, desde que as ferramentas sejam projetadas cuidadosamente no sentido de realmente estimular a investigação e que sejam empregadas com planejamento e mediação docente adequada. Isso impõe a necessidade de uma formação docente sólida e epistemologicamente orientada, capaz de articular os pressupostos do EnCI às demandas emergentes de um cenário permeado pela IA.

Por outro lado, a literatura indica que a IA pode ser mobilizada não apenas como ferramenta, mas também como objeto de investigação e análise crítica no contexto do EnCI. Nesse sentido, Ktosis (2024) argumenta que a IA pode constituir-se como objeto de estudo para os próprios estudantes, os quais podem formular hipóteses acerca da acurácia e dos possíveis vieses das respostas geradas, bem como delinear e conduzir investigações com vistas à sua testagem empírica. Nesse sentido, sustenta-se que a prática do EnCI pode ser direcionada para que estudantes avaliem capacidades e riscos da IA, usando a investigação como ambiente para testar e validar produções de modelos. Essa lógica invertida transforma ferramentas de IA em objetos de investigação científica pelos estudantes.

Em síntese, a literatura que articula IA e EnCI evidencia um campo ainda em construção, no qual diferentes propostas buscam integrar o potencial dessas tecnologias aos princípios investigativos do ensino de Ciências. Os estudos analisados apontam possibilidades de uso da

IA em etapas distintas do ciclo investigativo, como, na problematização, na formulação de hipóteses, na análise de dados e na construção de explicações. Ao mesmo tempo, evidenciam a complexidade dessa integração, especialmente no que se refere à necessidade de manter a centralidade da ação intelectual, do uso de evidências e da argumentação. Nesse contexto, argumenta-se que o EnCI, se bem articulado, cria condições para que os estudantes não apenas utilizem tecnologias de IA, mas as examinem de modo crítico e fundamentado, investigando sua confiabilidade, seus limites e seus desdobramentos sociais e éticos. Tal articulação revela-se especialmente potente, na medida em que as se mostram alinhadas aos objetivos formativos que a literatura recente sobre integração da IA na educação vem identificando como centrais diante das transformações contemporâneas, como o pensamento crítico, a autonomia intelectual e a tomada de decisão informada, pois já constituem elementos estruturantes dessa abordagem. Assim, o EnCI apresenta-se como um caminho consistente para formação de sujeitos capazes de compreender e intervir, de forma responsável e reflexiva, em uma realidade crescentemente mediada por sistemas de inteligência artificial.

2.8 Letramento Científico-Digital e Criticidade diante da IA

No contexto da emergência da IA, conceitos como letramento científico-digital, alfabetização científica e a literacia digital tornam-se competências fundamentais para que estudantes e professores possam navegar de forma crítica e responsável em um ambiente educacional cada vez mais mediado por algoritmos.

Brugnera e Barbosa (2025) defendem que a literacia digital emerge como um componente fundamental para o desenvolvimento de competências que possibilitem não apenas o uso instrumental da IA, mas também sua análise crítica e aplicação pedagógica. As autoras afirmam que a literacia digital, entendida como a capacidade de acessar, compreender, avaliar e criar com tecnologias digitais, torna-se imprescindível para que educadores consigam mediar práticas pedagógicas inclusivas que contemplem a diversidade de estudantes e promovam a equidade no acesso ao conhecimento.

Reflexões centradas no campo da formação de professores enfatizaram a necessidade de fortalecer a literacia digital, de modo que educadores fossem capacitados a selecionar, avaliar e integrar criticamente ferramentas baseadas em IA às práticas pedagógicas; assim, autores defendem que o valor da IA na educação não reside apenas na inovação tecnológica, mas em sua aplicação crítica e eticamente orientada, em consonância com objetivos formativos humanísticos (Luckin, 2018 *apud* Silva, 2025).

Sasseron e Carvalho (2011) realizaram um estudo com o objetivo de compreender a natureza e aplicação destes termos. As autoras argumentam que os pesquisadores nacionais que preferem a expressão “Letramento Científico” justificam sua escolha apoiando-se no significado do termo defendido por duas grandes pesquisadores da Linguística: Angela Kleiman e Magda Soares. Soares (1998, p. 18 *apud* Sasseron; Carvalho, 2011, p. 60) define o letramento como sendo “resultado da ação de ensinar ou aprender a ler e escrever: estado ou condição que adquire um grupo social ou um indivíduo como consequência de ter-se apropriado da escrita”. No entanto, justificam no artigo que adotam preferencialmente a expressão “Alfabetização Científica”, alicerçada na ideia de alfabetização concebida por Paulo Freire, porque entendem que, na perspectiva freireana, é possível planejar um ensino que permita aos estudantes interagir com uma nova cultura, com uma nova forma de ver o mundo e seus acontecimentos, podendo modificá-los e a si próprio através da prática consciente propiciada por sua interação cerceada de saberes, de noções e conhecimentos científicos, bem como das habilidades associadas ao fazer científico.

Com base em uma revisão de literatura, Sasseron e Carvalho (2011) explicitam informações comuns que permitem afirmar a existência de convergências entre as diversas classificações de alfabetização científica, sendo ela um processo que envolve não apenas a compreensão de conceitos científicos, mas também a capacidade de avaliar a natureza da ciência, de compreender as relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, e de participar de debates públicos sobre questões científicas e tecnológicas. Essa definição ampliada de alfabetização científica é particularmente relevante no contexto da IA, uma vez que as decisões sobre o uso, a regulação e os impactos sociais da IA são, fundamentalmente, decisões que envolvem conhecimento científico, valores éticos e participação democrática.

A BNCC (Brasil, 2018a, p. 553) reconhece a importância do letramento científico ao estabelecer que os estudantes devem ser capazes de “investigar situações-problema e avaliar aplicações do conhecimento científico e tecnológico e suas implicações no mundo”. Complementando a Base, o Ministério da Educação (Brasil, 2026) publicou o documento orientador “Inteligência Artificial na Educação Básica”, que fornece diretrizes específicas para a integração da IA aos currículos da Educação Básica. Este referencial oficial estabelece a articulação entre os marcos curriculares e resoluções já existentes — como a BNCC (Brasil, 2018a), particularmente em seu complemento “BNCC Computação”, e a Resolução CNE/CEB nº 2/2025, que aborda a Educação Digital e Midiática — e o ensino sobre IA, tratando-a como um objeto de conhecimento científico indispensável para a investigação contemporânea.

Segundo o documento, a Educação Digital e Midiática amplia a dimensão crítica destes conhecimentos, orientando os currículos a uma preocupação mais sistêmica e que repercuta na cidadania, ou seja, no reconhecimento de direitos, deveres e impactos das tecnologias digitais. Finalmente, as aprendizagens sobre IA vêm articular estes documentos curriculares, enfatizando como várias competências, habilidades e conteúdos previstos podem ser orientados para instruir sobre as especificidades da IA (Brasil, 2026).

No contexto da BNCC (Brasil, 2018a), especialmente no campo da Computação, IA passa a ser compreendida como uma tecnologia que envolve conceitos computacionais, análise de dados, automação de processos e impactos sociais. Dessa forma, sua abordagem no currículo permite que os estudantes compreendam as potencialidades, os limites e as implicações sociais dessas tecnologias, fortalecendo sua formação para atuar de maneira crítica, criativa e responsável em uma sociedade cada vez mais mediada por sistemas computacionais (Brasil, 2026).

O documento alerta ainda que o letramento midiático e o letramento em IA requerem conhecimentos e habilidades específicas necessárias para a vida contemporânea. Não se pode esperar que os estudantes exerçam pensamento crítico, expressão criativa, julgamento ético, responsabilidade social ou engajamento cidadão se não forem leitores fluentes, possuírem bases sólidas em ciências e matemática, não tiverem conhecimento aprofundado de pensamento científico crítico e se não forem expostos a um conjunto diverso de conhecimentos, ideias-chave das ciências sociais e das humanidades (Macgilchrist, 2021; Kasneci *et al.*, 2023 *apud* Brasil, 2026, p. 27).

O documento detalha 12 (doze) aspectos fundamentais que permitem aos estudantes compreender o funcionamento técnico, a lógica algorítmica e os limites dos sistemas computacionais, superando uma visão puramente instrumental da tecnologia em favor de uma abordagem investigativa e crítica. Nesse contexto, o letramento científico-digital é fortalecido pela capacidade de avaliar sistematicamente as potencialidades e os riscos da IA. O documento do MEC (Brasil, 2026) orienta o desenvolvimento de competências para identificar vieses algorítmicos, compreender o ciclo de vida dos dados e analisar os impactos socioambientais da infraestrutura física da tecnologia, garantindo que a investigação científica ocorra sob princípios éticos, sustentáveis e de cidadania digital plena.

Com base nestes levantamentos, pode-se inferir que a criticidade diante da IA envolve múltiplas dimensões. Do ponto de vista epistemológico, é necessário que estudantes compreendam como a IA produz conhecimento e reflitam sobre esse processo frente as habilidades e capacidades humanas. Do ponto de vista ético, é fundamental que estudantes

sejam capazes de identificar e questionar vieses algorítmicos, de compreender questões de privacidade e de avaliar os impactos sociais da IA, incluindo questões de desigualdade, exclusão e concentração de poder (Claudino; Dermeval; Rodrigues, 2024; Infante-Malachias; Cunha; Sousa, 2024; Levant, 2025).

Do ponto de vista pedagógico, a criticidade diante da IA implica a capacidade de avaliar a qualidade, a confiabilidade e a adequação das respostas geradas por sistemas de IA, de verificar fontes, de confrontar afirmações com evidências empíricas e de reconhecer os limites e as limitações dessas ferramentas (Infante-Malachias; Cunha; Sousa, 2024; Leite, 2023). Essa capacidade não se desenvolve espontaneamente, ela precisa ser intencionalmente cultivada por meio de práticas pedagógicas que promovam a reflexão, a análise crítica e a investigação.

O EnCI, nesse contexto, pode desempenhar um papel fundamental. Ao promover práticas investigativas autênticas, o EnCI oferece aos estudantes oportunidades de desenvolver habilidades de formulação de perguntas, de busca, seleção e avaliação crítica de evidências, de construção de explicações fundamentadas, de argumentação baseada em dados e de confronto e reformulação de suas próprias ideias à luz de novas evidências e perspectivas. Além disso, favorece o desenvolvimento da capacidade de elaborar hipóteses, interpretar informações, tomar decisões fundamentadas, comunicar resultados de forma estruturada e participar de processos colaborativos de investigação, promovendo uma compreensão mais crítica e reflexiva da ciência como prática social, dinâmica e continuamente sujeita à revisão. Essas habilidades são precisamente aquelas necessárias para avaliar criticamente as produções da IA e para distinguir entre conhecimento genuíno e respostas superficiais ou incorretas.

Além disso, o EnCI pode ser utilizado para transformar a própria IA em objeto de investigação científica. Estudantes podem formular hipóteses sobre o funcionamento, as capacidades e os limites da IA, projetar experimentos para testá-las, coletar e analisar dados e construir explicações fundamentadas. Essa abordagem não apenas desenvolve o pensamento científico, mas também promove uma compreensão mais profunda e crítica da natureza da IA e de seus impactos sociais.

Sob essa perspectiva, a literatura alerta para riscos significativos. O uso não mediado de IA pode reduzir o julgamento independente, favorecer o plágio, comprometer a autonomia intelectual e enfraquecer a produção argumentativa autônoma dos estudantes (Leite, 2023). Esses riscos são particularmente preocupantes no contexto brasileiro, no qual a formação docente é insuficiente e as desigualdades de acesso à tecnologia podem amplificar exclusões (Claudino; Dermeval; Rodrigues, 2024)

De acordo com Souza (2025), a formação docente surge como fator essencial para equilibrar o uso da IA e garantir uma aplicação reflexiva e ética. O autor conclui que a IA pode fortalecer o letramento científico se utilizada com critérios pedagógicos adequados, promovendo uma educação mais acessível, investigativa e democrática. A formação docente emerge, portanto, como uma condição fundamental para que o letramento científico-digital seja efetivamente promovido nas escolas. Para que os professores utilizem a IA de forma pedagógica, é essencial que a formação docente seja pensada de forma estruturada, com foco no desenvolvimento de habilidades práticas e reflexivas que tornem o conhecimento mais acessível e significativo. Entre os principais obstáculos estão a falta de infraestrutura nas instituições, o uso de equipamentos ultrapassados e, em alguns casos, a resistência de professores em adotar novas tecnologias no cotidiano escolar (Meirinhos; Osório, 2019 *apud* Santos, 2026). Os estudos de Santos (2026), no entanto, evidenciam lacunas na formação docente quanto ao uso crítico da IA, sugerindo caminhos formativos híbridos, ainda pouco explorados na literatura, como alternativa para qualificar o processo.

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza bibliográfica, orientada pela análise de conteúdo, conforme os pressupostos de Bardin (2016). A escolha metodológica justifica-se pela necessidade de compreender, de forma aprofundada e crítica, como a interface entre IA e EnCI tem sido abordada na literatura, bem como identificar suas potencialidades, tendências, limites e implicações pedagógicas dessa relação.

A constituição do *corpus* não seguiu um protocolo sistemático rígido, mas pautou-se por uma busca exploratória e intencional, realizada nas bases de dados *Google Scholar* e *Semantic Scholar*. Foram selecionados trabalhos que abordassem a interface entre IA e ensino de Ciências, com especial atenção àqueles que dialogavam com o referencial do EnCI. Estabeleceu-se como recorte temporal o período compreendido entre os anos de 2022 e 2026, intervalo justificado pela vertiginosa expansão e popularização das ferramentas de IA generativa e suas imediatas implicações nos ecossistemas educacionais.

A estratégia de busca foi estruturada a partir da combinação de três blocos conceituais de descritores: (1) termos relacionados à Inteligência Artificial; (2) termos associados à área de Educação e Ensino de Ciências; e (3) termos específicos do referencial do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI). As buscas foram refinadas utilizando descritores em língua portuguesa e estendidas à língua inglesa, medida que foi considerada necessária em decorrência da escassez

de estudos empíricos nacionais que relacionem diretamente o EnCI e a IA. Os blocos foram associados por meio dos operadores booleanos AND (para a intersecção entre os blocos) e OR (para a alternância de sinônimos intra-bloco), conforme sistematizado no Quadro 1.

Quadro 1. Blocos de Descritores e Estratégia de Busca

Bloco Conceitual	Descritores em Português	Descritores em Inglês
Bloco 1: Inteligência Artificial	"Inteligência Artificial" OR "IA" OR "IA Generativa" OR "ChatGPT" OR "Chatbot" OR "LLM"	"Artificial Intelligence" OR "AI" OR "Generative AI" OR "ChatGPT" OR "Chatbot" OR "LLM"
Bloco 2: Ensino de Ciências	"Ensino de Ciências" OR "Educação em Ciências" OR "Ensino de Física" OR "Ensino de Química" OR "Ensino de Biologia"	"Science Education" OR "Science Teaching" OR "Physics Teaching" OR "Chemistry Teaching" OR "Biology Teaching"
Bloco 3: Abordagem Investigativa	"Ensino de Ciências por Investigação" OR "EnCI" OR "Ensino por Investigação" OR "Abordagem Investigativa"	"Inquiry-Based Science Education" OR "IBSE" OR "Inquiry Teaching" OR "Scientific Inquiry"

Fonte: Autoria própria (2026).

A operacionalização das buscas respeitou as especificidades técnicas de cada plataforma consultada. Na base *Google Scholar*, cujos mecanismos de busca permitem a utilização de operadores booleanos, empregou-se o operador OR em caixa alta para a combinação de termos equivalentes, enquanto o operador AND atuou de forma implícita pela simples inserção sequencial dos descritores. A estratégia de busca resultante, aplicada aos campos de metadados (título, resumo e palavras-chave), encontra-se detalhada no Quadro 2. Já na plataforma *Semantic Scholar*, baseada em busca semântica e técnicas de Processamento de Linguagem Natural, a estratégia foi adaptada por meio da combinação de termos-chave exatos delimitados por aspas, complementada pela utilização dos filtros da plataforma para o refinamento dos resultados, preservando-se a coerência com os blocos conceituais previamente definidos.

Quadro 2. *String* final de busca adaptada aos campos de metadados

Em português	("Inteligência Artificial" OR "IA" OR "ChatGPT" OR "Chatbot") AND ("Ensino de Ciências" OR "Educação em Ciências") AND ("Ensino de Ciências por Investigação" OR "EnCI" OR "Investigação")
Em inglês	("Artificial Intelligence" OR "AI" OR "ChatGPT" OR "Chatbot") AND ("Science Education" OR "Science Teaching") AND ("Inquiry-Based Science Education" OR "IBSE" OR "Inquiry")

Fonte: Autoria própria (2026).

Além dos artigos localizados nessas bases, o *corpus* foi complementado por referências teóricas fundamentais sobre EnCI, bem como por artigos e obras indicadas no âmbito da orientação acadêmica. Na busca exploratória priorizou-se artigos produzidos no contexto nacional, entretanto, em decorrência da escassez de estudos empíricos nacionais que relacionem diretamente o EnCI e a IA que foi subsequentemente identificada, optou-se pela inclusão de alguns estudos internacionais que, em exploração intencional, foram considerados pertinentes aos objetivos analíticos da pesquisa.

A análise dos dados foi conduzida com base na técnica de análise de conteúdo, envolvendo as etapas de pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, conforme sistematizado por Bardin (2016). Inicialmente, realizou-se uma leitura flutuante do corpus, seguida da definição de categorias analíticas construídas a partir do diálogo entre os dados e o referencial teórico adotado. Posteriormente, procedeu-se à codificação e interpretação dos conteúdos, buscando identificar padrões, recorrências e tensões nos estudos analisados. Ressalta-se que, em função do caráter não sistemático da busca, os resultados não pretendem esgotar a produção existente, mas oferecer uma análise crítica e interpretativa de tendências relevantes no campo investigado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de conteúdo dos trabalhos selecionados para esta revisão de literatura, fundamentada nos pressupostos metodológicos de Bardin (2016), revela um cenário educacional em transição, marcado pela rápida integração de ferramentas de IA e por uma busca por novas metodologias no Ensino de Ciências. Este processo analítico, estruturado em três fases fundamentais, sendo elas a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados com inferência e interpretação, permitiu desvelar as nuances das propostas pedagógicas que fazem a interface entre o ensino de ciências e as tecnologias digitais.

O referencial teórico que ancora esta análise baseia-se primordialmente na perspectiva de Anna Maria Pessoa de Carvalho, com ênfase nos conceitos de Alfabetização Científica (AC) e Ensino de Ciências por Investigação (EnCI), bem como nas discussões sobre letramento e literacia digital no contexto contemporâneo. A exploração do material permitiu a organização dos dados em sete categorias analíticas principais (divididas em subcategorias, em alguns casos) que emergem das recorrências e contradições presentes no *corpus* documental, a saber: 1. Análise da dimensão pedagógica: estratégias e modelos de ensino; 2. Mapeamento e funcionalidade das ferramentas tecnológicas no âmbito do Ensino de Ciências; 3. Mapeamento

e funcionalidade das ferramentas tecnológicas no âmbito do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI); 4. Impactos na aprendizagem científica; 5. Desafios Éticos, Práticos e Estruturais na Integração da IA; 6. A contribuição do Ensino por Investigação (EnCI) para o cenário da IA; 7. Transdisciplinaridade no Ensino de Ciências por Investigação: fundamentos para uma análise complexa do Mundo, da realidade e da vida humana. Estas categorias estruturam os resultados desta investigação, evidenciando as potencialidades, os riscos éticos e as lacunas que permeiam o uso da IA no ensino de Ciências, bem como permitem apontar estratégias que podem ser de grande contribuição para o cenário educacional contemporâneo.

4.1 Análise da dimensão pedagógica: estratégias e modelos de ensino

4.1.1 A IA como Instrumento de Personalização e Autonomia: O Mimetismo do Ensino Tradicional e a Automatização da Educação Bancária?

Esta categoria engloba trabalhos que apresentam a IA como uma ferramenta capaz de romper com modelos de ensino massificados, permitindo a criação de percursos de aprendizagem customizados que respeitam o ritmo e as singularidades de cada estudante, prometendo um aprendizado mais dinâmico e significativo. No ensino de Ciências, essa abordagem permite monitorar o progresso individual de forma automática para que o estudante receba orientações específicas e materiais complementares para suas dificuldades conceituais, permitindo uma aprendizagem contínua e individualizada que respeita o tempo de resposta de cada sujeito. Nesse contexto, ferramentas como *chatbots* e sistemas de tutoria inteligente (STIs) são apontados como promotores de uma maior autonomia, permitindo que o estudante assuma o papel de sujeito ativo em sua aprendizagem. No ensino de Biologia, por exemplo, Souza e Amaral (2024 *apud* Dzingeleski, 2025) destacam como STIs e assistentes virtuais fortalecem a aprendizagem significativa e reduzem lacunas no conhecimento. De acordo com Pereira e Moreira (2025), a personalização da aprendizagem mediada por tecnologias digitais baseadas em IA emerge como uma estratégia promissora para atender às necessidades individuais dos estudantes e promover um ensino mais eficaz. No entanto, a presente análise chama a atenção para uma ambivalência: a personalização é frequentemente descrita sob uma lógica de feedback imediato e correção automatizada.

A presente análise questiona a própria concepção de personalização subjacente a essa perspectiva. Em muitos casos, aquilo que é denominado personalização restringe-se à adaptação automática do ritmo de aprendizagem, da dificuldade das atividades ou da oferta de feedbacks

imediatos a partir do desempenho previamente registrado pelo sistema. Embora tais recursos possam contribuir para a individualização de percursos instrucionais, eles não contemplam dimensões mais amplas da formação humana, que envolvem diálogo, construção de sentido, problematização da realidade, interação social e desenvolvimento da autonomia intelectual. Nessa perspectiva, corre-se o risco de reduzir a singularidade do estudante a padrões de comportamento passíveis de modelagem algorítmica, confundindo personalização educacional com otimização do desempenho em tarefas previamente estruturadas. Se a personalização se limita à adaptação de conteúdos e exercícios com base em dados de desempenho, em que medida ela é capaz de contemplar a complexidade humana que afirma atender?

A este respeito, Puertas (2024, p. 90) alerta para o “problema dos dois sigmas”, de Benjamin Bloom, que postula que o ensino individualizado pode ajudar os alunos a atingirem um desempenho 98% melhor, quando vivenciam práticas pedagógicas de aprendizagem por domínio e tutoria individual, encontrando na IA uma ferramenta promissora para sua realização em larga escala (Bloom, 1984 *apud* Puertas, 2024, p. 90). A personalização da aprendizagem, central para essa hipótese, pode ser significativamente potencializada pela IA, tornando o ensino individualizado acessível a um número muito maior de estudantes. Essa construção teórica e o problema apresentado por Bloom são um dos argumentos mais utilizados para destacar a potencialidade da IA na educação, no entanto, questionamentos como “desempenho melhor em relação a que?”, “o que estamos medindo para atribuir essa melhora?”, são, na verdade, o ponto-chave de desconstrução dessa retórica.

Nesse sentido, pode-se ainda acrescentar algumas indagações: qual seria o sentido do professor continuar mediando aquilo que a própria IA pode mediar com "eficiência" superior? Nessa lógica, o professor perde então sua razão de ser? Faz sentido continuar cobrando dos estudantes tarefas que uma IA pode resolver em frações de segundo? Que motivação e senso de propósito pode ter um estudante que é obrigado a realizar tarefas que para ele próprio não faz o menor sentido? Por que vamos continuar fazendo o que a própria IA já pode fazer? Não é hora de darmos um passo além?

A questão crítica que emerge é: esta personalização visa fomentar a autonomia intelectual ou apenas acelerar a proficiência em tópicos curriculares para fins de desempenho? Sob a ótica do EnCI, a autonomia se constrói na interação social, no debate coletivo e na defesa de argumentos perante os pares. Ao focar em trajetórias individuais mediadas por algoritmos, existe o risco de se perder a dimensão social, dialógica e crítica da ciência escolar.

No âmbito educacional, de um modo geral, e particularmente no Ensino de Ciências, tem havido uma tendência das tecnologias de IA, em reproduzir e perpetuar modelos de ensino

tradicionais e expositivos. O estudo de caso conduzido por Santiago e Mattos (2025) é enfático nesse sentido, ao demonstrar que a utilização de *prompts* genéricos para a elaboração de planos de aula de Física resulta em propostas pedagógicas que guardam uma semelhança quase absoluta com a estrutura de livros didáticos tradicionais aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), revelando uma abordagem predominantemente expositiva e centrada no professor.

A evidência qualitativa de Santiago e Mattos (2025) permite inferir que a IA generativa, quando não orientada por uma engenharia de prompts *crítica* e fundamentada, alinhada com estratégias didático-pedagógicas coerentes com objetivos formativos mais amplos, tende a organizar o conhecimento de forma fragmentada, focando em explicar conceitos, apresentar fórmulas e resolver exercícios de fixação. Segundo os autores, esta abordagem alinha-se ao que Paulo Freire denomina "educação bancária", na qual o professor, agora mediado pela máquina, atua como o detentor exclusivo do saber que "deposita" informações em um estudante-receptor passivo.

Sob a ótica do que é discutido por Sasseron e Carvalho (2011), este mimetismo digital representa um retrocesso para a Alfabetização Científica (AC). A AC pressupõe que o estudante não apenas aprenda termos, conhecimentos e conceitos científicos fundamentais, mas envolve também a compreensão da natureza das ciências e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática; e, ainda, o entendimento das relações existentes entre ciência, tecnologia, sociedade e meio-ambiente. Quando a IA é utilizada apenas para gerar resumos ou listas de exercícios de forma "eficiente", ela ignora o tempo da dúvida e o ciclo investigativo, elementos essenciais para que o estudante desenvolva as competências científicas e o pensamento crítico.

Essa compreensão de personalização também merece ser problematizada sob a perspectiva histórico-cultural de Vygotski (1991). Ao enfatizar predominantemente a interação entre estudante e sistema, corre-se o risco de reduzir a aprendizagem a um processo individual de adaptação a conteúdos e tarefas. Entretanto, para Vygotski, o desenvolvimento cognitivo constitui-se fundamentalmente nas interações sociais, na linguagem e na mediação realizada por outros sujeitos. Nesse sentido, embora sistemas baseados em inteligência artificial possam oferecer apoio ao processo educativo, dificilmente substituem a riqueza das trocas humanas que possibilitam a negociação de significados, a construção coletiva do conhecimento e o desenvolvimento de funções psicológicas superiores.

A análise crítica deste cenário sugere que a busca pela eficiência conteudista pode estar se tornando o motor da integração da IA nas escolas brasileiras. O discurso da agilidade e da otimização do trabalho docente muitas vezes mascara a manutenção de uma pedagogia de

resultados, em que o sucesso é medido pela capacidade do estudante em reproduzir informações em avaliações padronizadas, e não pela sua capacidade de investigar, atuar criticamente e se tornar um verdadeiro agente de transformação social.

Os resultados indicam que, para que a personalização não se torne uma ferramenta de eficiência conteudista, ela deve ser integrada a metodologias que valorizem o espírito investigativo. A tecnologia deve atuar como um suporte para o desenvolvimento de processos formativos mais complexos e de formas mais profundas de compreensão, reflexão e construção do conhecimento, não apenas como um facilitador da memorização. A teoria da cognição distribuída citada por Nogueira (2023 *apud* Parreira, 2025) sugere que o conhecimento emerge da interação entre o estudante e os artefatos digitais, mas esta interação só é frutífera se houver um planejamento e intencionalidade pedagógica que desafie o estudante a ir além da informação pronta, permitindo que as tecnologias se tornem ferramentas que ampliem o potencial do ensino contextualizado e investigativo.

4.1.2 Entre a Formação Investigativa e a Cultura da Performatividade

A análise dos documentos, estudos e referenciais examinados ao longo desta pesquisa permitiu identificar uma tensão significativa entre os objetivos formativos defendidos por políticas educacionais contemporâneas e determinadas condições institucionais presentes em processos de plataformização observados em algumas redes públicas de ensino. Tal tensão torna-se particularmente evidente quando os dados relacionados ao Ensino de Ciências por Investigação (EnCI), à formação docente, à inteligência artificial e algumas políticas de gestão educacional são analisados de forma integrada.

Nos materiais examinados, especialmente aqueles relacionados às experiências observadas nas redes estaduais de São Paulo e Paraná (Alves; Sousa, 2025; Santos, 2025), as plataformas digitais aparecem associadas a formas específicas de organização do trabalho pedagógico caracterizadas pela padronização curricular, pelo monitoramento contínuo das atividades docentes e pela centralidade atribuída a indicadores de desempenho. Nesse contexto, a tecnologia deixa de ocupar apenas uma função instrumental para assumir um papel estruturante na definição das práticas escolares.

Os estudos examinados apontam que, entre outros fatores igualmente relevantes, esse processo tem produzido impactos significativos sobre a autonomia docente. A adoção de materiais previamente estruturados, roteiros padronizados de aulas, metas de utilização das plataformas e mecanismos de acompanhamento em tempo real tende a reduzir os espaços de

decisão pedagógica dos professores. Longe de inaugurar uma preocupação inédita no que tange o aprisionamento do cotidiano escolar por metas e métricas de desempenho, essas práticas reacendem as críticas históricas de Paulo Freire (1987) aos modelos educacionais de caráter transmissivo e bancário, que já questionavam modelos educacionais centrados na reprodução de respostas e defendiam processos formativos voltados à reflexão crítica, à autonomia e à capacidade de intervir conscientemente na realidade. Até que ponto uma educação orientada predominantemente por avaliações padronizadas consegue contemplar esses objetivos formativos? Sob a perspectiva freiriana (Freire, 1987), o modelo de escola plataformizada que está ocorrendo nesses dois estados representaria o ápice técnico da educação bancária. Se, na crítica original de Freire, o professor era o sujeito depositante e o aluno o receptáculo passivo, a plataformização introduz um terceiro elemento, que seria o algoritmo corporativo como o verdadeiro "arquivista" do saber. O professor é ainda rebaixado à condição de mero repassador de conteúdos pré-programados, cujo principal indicador de sucesso profissional é o percentual de telas avançadas, de tarefas validadas no sistema e de resultados dos estudantes em avaliações padronizadas.

O avanço dos modelos de IA reforçam essas preocupações. Estudos recentes demonstram que modelos de linguagem de grande porte têm alcançado desempenhos extremamente elevados em exames padronizados, incluindo avaliações educacionais complexas. Seria de grande contribuição para sociedade a formação de um estudante que é orientado prioritariamente para ir bem em provas que um robô realiza infinitamente mais rápido e com grande precisão? Que sentido de propósito e motivação pode ter um estudante que é forçado a realizar este tipo de tarefa, sendo que ele mesmo tem ciência de que um robô pode realizar essa mesma tarefa de forma mais eficiente?

Sob a perspectiva histórico-cultural de Vygotski (1991), a aprendizagem constitui-se como um processo fundamentalmente mediado pelas interações sociais, pela linguagem e pelos instrumentos culturais produzidos coletivamente pela humanidade. O desenvolvimento cognitivo não ocorre de forma isolada, mas emerge do diálogo, da colaboração, do confronto de ideias e da participação dos sujeitos em práticas sociais significativas. Nesse contexto, a construção do conhecimento ultrapassa a simples exposição individual a conteúdos ou informações, exigindo espaços de interação nos quais diferentes pontos de vista possam ser compartilhados, questionados e reconstruídos coletivamente. Sob essa ótica, determinadas configurações da plataformização da educação suscitam reflexões importantes, especialmente quando privilegiam trajetórias de aprendizagem excessivamente individualizadas, baseadas na interação predominantemente entre estudante e sistema digital.

Nesse sentido, a crescente capacidade dos sistemas de inteligência artificial de recuperar informações, identificar padrões e resolver problemas estruturados não inaugura esse debate, mas aprofunda de forma inadiável a necessidade de refletir sobre as verdadeiras finalidades da educação. O cenário reforça uma urgência não apenas dessa compreensão mas, sobretudo, da implementação de políticas educacionais efetivamente alinhadas a objetivos formativos mais amplos, que favoreçam o desenvolvimento equilibrado das múltiplas dimensões humanas, e que devem ser aprimoradas em compreensão e implementação à medida que as circunstâncias se modificam. Torna-se pertinente questionar se a formação escolar deve permanecer concentrada prioritariamente no treinamento para desempenhos em tarefas que algoritmos já realizam com eficiência expressivamente superior ou se deve ampliar sua atenção para dimensões mais complexas da experiência humana.

Esse contexto não implica que avaliações externas ou conhecimentos conceituais tenham perdido relevância. Contudo, sugere a necessidade de reexaminar criticamente os pressupostos que orientam determinadas formas de avaliação e estratégias pedagógicas, especialmente aquelas centradas predominantemente na reprodução eficiente de informações e na resolução de tarefas cognitivas altamente estruturadas. Pode ser muito provável e coerente afirmar que um estudante que recebeu um treinamento mediado por um robô, e com foco específico em metas de desempenho na resolução de tarefas cognitivas altamente estruturadas, tenderá a apresentar melhores resultados em uma avaliação padronizada que um estudante que não tenha recebido o mesmo tipo de treinamento. Entretanto, mesmo que essa afirmação seja verdadeira, que contribuições pode ter esse tipo de habilidade, se o próprio robô que mediou o estudo pode resolver uma avaliação dessa natureza com elevado desempenho em tempo expressivamente menor? Seria de grande contribuição para a sociedade e para o pleno desenvolvimento humano a formação de um estudante que aprende unicamente a ir bem em provas que um robô realiza mais rápido e com grande precisão? Não estaria aí outro grande paradoxo? É realmente isso que estamos buscando com a educação diante de um cenário em que as máquinas vem avançando no sentido de poder nos apoiar em processos associados ao pensamento lógico, analítico e discursivo? Vamos mesmo ficar para trás dos robôs aprendendo a realizar tarefas que eles já executam em velocidade infinitamente maior, ou vamos buscar evoluir para além disso? Mas o que significa evoluir para além disso? Como os agentes políticos podem conduzir bem esse processo sem a busca da compreensão da própria natureza humana?

Nessa perspectiva, a discussão pode deslocar-se do foco na importância da simples aquisição de respostas corretas para a capacidade de formular perguntas significativas, construir sentidos, avaliar criticamente evidências, deliberar sobre questões éticas e compreender as

implicações sociais, políticas e epistemológicas do conhecimento produzido. Em vez de preparar estudantes para competir com sistemas computacionais em tarefas que estes realizam com velocidade e escala incomparavelmente superiores, a educação pode ser convocada a fortalecer dimensões relacionadas à autonomia intelectual, ao julgamento crítico, à responsabilidade social, à participação democrática.

Mas, a emergência de uma tecnologia que coloca em evidência questionamentos sobre a própria noção de quem somos, como humanos, por reproduzir nossa linguagem, simular o nosso raciocínio com níveis crescentes de sofisticação, realizando tudo isso com base em operações matemáticas e computacionais sobre grandes volumes de dados, coloca em evidência a urgência de uma estrutura educacional que valorize os aspectos filosóficos da ciência, com vistas a ampliar, sobretudo, a compreensão da natureza humana e da própria estrutura da realidade. Evidências científicas têm demonstrado a capacidade crescente com que essa tecnologia tem realizado tarefas que demandam raciocínio lógico avançado que até mesmo as mentes humanas mais bem treinadas nessas atividades teriam dificuldade em resolver (Epoch AI, 2026; Hubert *et al.*, 2026). Precisamos, portanto, colocar em pauta a discussão se o pensamento lógico, analítico e discursivo seria realmente a mais elevada manifestação da inteligência humana, ou se poderíamos evoluir para aspectos superiores da mente. Essas são questões que tem implicações diretas em como a educação deveria realmente ser conduzida diante desse cenário e, portanto, não deveriam ser tratadas como secundárias ou irrelevantes.

A discussão torna-se ainda mais pertinente quando observada à luz das próprias políticas federais de formação docente voltadas ao ensino de Ciências. Um exemplo significativo é o curso de especialização "Ciência é 10!", promovido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), em articulação com o Ministério da Educação (MEC), o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI) e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no âmbito do Programa Ciência na Escola. Conforme explicitado em seu projeto pedagógico, o curso adota o Ensino de Ciências por Investigação como eixo estruturante da formação docente, enfatizando a problematização, a elaboração de hipóteses, a investigação de fenômenos, a argumentação baseada em evidências e a promoção da alfabetização científica (Brasil, 2018b).

A centralidade atribuída ao EnCI em uma política nacional de formação continuada evidencia o reconhecimento institucional da importância de práticas pedagógicas que favoreçam a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento científico. Entretanto, ao se confrontarem esses pressupostos com as análises da literatura sobre processos de plataformização em algumas redes estaduais de ensino, emerge uma tensão relevante.

Enquanto propostas formativas como o "Ciência é 10!" pressupõem autonomia docente, flexibilidade curricular e disponibilidade de tempo para o desenvolvimento de sequências investigativas, parte dos estudos sobre a plataforma aponta para a ampliação de mecanismos de padronização, monitoramento e responsabilização que podem restringir tais condições (Alves; Sousa, 2025; Santos, 2025). Como essa abordagem pressupõe tempo para exploração de problemas, elaboração de hipóteses, análise de evidências, argumentação e construção coletiva de explicações, ambientes fortemente orientados pelo cumprimento de roteiros padronizados, indicadores de desempenho e monitoramento contínuo limitam severamente as condições necessárias para sua implementação. Em contrapartida, o presente trabalho se propõe a discutir e levantar evidências de que se orientadas adequadamente por objetivos formativos mais amplos, preservando o protagonismo docente e discente, as tecnologias educacionais baseadas em IA podem constituir recursos capazes de ampliar possibilidades pedagógicas e apoiar processos de aprendizagem mais críticos, criativos e reflexivos.

A preocupação central não reside na utilização das tecnologias em si, mas na forma como elas são incorporadas às políticas educacionais. Portanto, essa tensão não deve ser compreendida como uma incompatibilidade necessária entre tecnologias digitais e abordagens investigativas, mas como um indicativo de que os efeitos educacionais das tecnologias dependem das concepções pedagógicas e dos modelos de gestão que orientam sua implementação. Quando subordinadas exclusivamente a lógicas de produtividade, eficiência e controle, as plataformas acabam por restringir espaços de autonomia e investigação. Nesse contexto, emerge uma questão de grande relevância: se o próprio Estado brasileiro investe recursos na formação de professores articulada aos princípios do Ensino de Ciências por Investigação, quais condições institucionais são necessárias para que essas práticas possam efetivamente ocorrer nas escolas?

Essa discussão torna-se ainda mais complexa quando se considera o papel historicamente desempenhado pelos exames de ingresso no ensino superior na organização da educação básica brasileira. Embora concebidos como mecanismos de seleção, o ENEM e os vestibulares passaram a exercer forte influência sobre currículos, práticas pedagógicas e expectativas sociais em relação à escola. Em muitos contextos, a pressão por aprovação imposta por famílias, instituições e pelo próprio mercado educacional contribui para que o processo formativo seja progressivamente subordinado à preparação para exames, favorecendo abordagens centradas na transmissão acelerada de conteúdos, fórmulas e estratégias de resolução de questões. Nesse cenário, o valor atribuído ao estudante corre o risco de ser

reduzido à sua capacidade de acumular informações e converter desempenho em classificação, deslocando para segundo plano dimensões mais amplas da formação humana. Como consequência, práticas voltadas à investigação, à problematização e à construção crítica do conhecimento tendem a ocupar uma posição secundária diante da necessidade de cumprir extensos programas de conteúdos avaliáveis, evidenciando que a efetiva implementação dessas práticas depende não apenas da formação docente, mas também da existência de condições institucionais que viabilizem esse trabalho e de processos avaliativos compatíveis com seus pressupostos e objetivos formativos.

Diante desse cenário, a questão mais relevante não é como incorporar cada vez mais tecnologias à educação, mas quais finalidades educacionais devem orientar sua utilização. Em um contexto no qual sistemas de inteligência artificial passam a desempenhar, com crescente sofisticação, tarefas tradicionalmente associadas ao que por muito tempo foi entendido como desempenho escolar, torna-se necessário refletir sobre as diferentes dimensões que constituem a formação humana e sobre as condições pedagógicas necessárias para promovê-las de forma equilibrada e integrada. Trata-se, em última instância, de questionar se a escola será orientada prioritariamente pela adaptação dos sujeitos às demandas dos sistemas tecnológicos ou pela formação de sujeitos capazes de atribuir sentidos, formular problemas relevantes e participar crítica e ativamente da construção dos futuros que essas próprias tecnologias ajudarão a configurar.

Quando os objetivos educacionais se reduzem à reprodução eficiente de respostas esperadas, tarefas que podem ser executadas de forma mais eficiente por um robô, corre-se o risco de que os próprios estudantes deixem de perceber relevância naquilo que lhes é proposto, uma vez que a atividade passa a parecer desprovida de propósito para além do atendimento às exigências externas. Sem o sentimento de propósito, a desmotivação torna-se inevitável, acompanhada por um sofrimento silencioso decorrente da perda de sentido da própria existência, frequentemente interpretado apenas como um problema mental ou emocional. Tal reflexão remete a questões que acompanham a humanidade há incontáveis gerações e que, embora frequentemente relegadas a um plano secundário pelas demandas de eficiência e desempenho, dizem respeito à própria compreensão do que significa ser humano.

O momento convida a uma ampliação de perspectiva, ele nos desafia a avançar, e não a retroceder. Se as máquinas passam a apoiar, com crescente sofisticação, atividades tradicionalmente associadas ao raciocínio humano, não parece razoável a conclusão de que os seres humanos devam dedicar-se ainda mais intensamente às mesmas tarefas, mas sim que estão sendo convidados a desenvolver faculdades que transcendem aquilo que pode ser automatizado.

Essa contradição mostra que o convite não é para nos afundar ainda mais na pressa de assimilar conteúdos que os robôs assimilam em velocidade incomparavelmente superior à de qualquer estudante, por mais elevado que seja seu desempenho acadêmico. Ao contrário, parece nos convocar a ultrapassar esse horizonte, já que, agora, dentro deste contexto, podemos contar com o apoio dessa tecnologia. A questão que se coloca, portanto, é se utilizaremos essa oportunidade para aprofundar nossa dependência de tarefas que as máquinas já executam com superior eficiência ou para nos elevarmos a um novo patamar de desenvolvimento humano.

Em última instância, toda forma de conduzir a educação expressa uma determinada concepção de ser humano. Por isso, enquanto a natureza humana permanecer insuficientemente compreendida, os sistemas educacionais tenderão a orientar-se por objetivos parciais e transitórios, distanciando-se de sua finalidade mais profunda. Como pode um agente político conduzir bem a gestão educacional sem buscar compreender a própria natureza humana?

4.1.3 Confluências entre IA e Metodologias Ativas

Nesta categoria, encontram-se os trabalhos que utilizam ou sugerem a integração da IA como suporte para metodologias centradas no estudante. A IA é frequentemente proposta como um elemento catalisador das metodologias ativas. Neste contexto, observa-se que a literatura científica recente apresenta uma transição significativa da percepção da IA como um mero recurso instrumental para a sua compreensão como um elemento estruturante da organização didático-metodológica, evidenciando como a intencionalidade pedagógica pode favorecer o desenvolvimento de competências de ordem superior, relacionadas ao discernimento, ao pensamento crítico, à resolução de problemas complexos, à autonomia intelectual, à responsabilidade ética, à compreensão do mundo, das implicações humanas, sociais e ambientais do conhecimento produzido e à capacidade de orientá-lo em favor do bem comum. Estratégias como a ABP e a Sala de Aula Invertida ganham novos contornos quando integradas a ferramentas generativas e simuladores. O Quadro 3 sistematiza as metodologias ativas identificadas nos trabalhos analisados, assim como as respectivas formas de integração da inteligência artificial às estratégias didático-pedagógicas.

Quadro 3. Propostas de integração da IA em metodologias ativas no ensino de Ciências nos trabalhos analisados

Metodologia	Possibilidades de integração da IA
Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP) (Barbosa e Marques, 2026; Martins, Batista e Jardim, 2026; Parreira, 2025; Villan; Santos, 2025)	A IA atua na geração de cenários realistas e complexos que desafiam os estudantes a aplicarem conceitos de Física ou Química na resolução de questões do cotidiano. Chatbots atuam como coorientador em projetos de pesquisa e auxiliam na superação de dificuldades técnicas relacionadas à programação e à montagem dos protótipos. Laboratórios virtuais, simuladores interativos e realidade aumentada, também podem ser utilizadas como ferramentas complementares.
Sala de Aula Invertida (Parreira, 2025, Dzingeski, 2025)	Permite que o acesso ao conteúdo teórico ocorra de forma autônoma fora da sala de aula, muitas vezes mediado por tutores inteligentes que podem auxiliar na exploração inicial de conceitos, hipóteses e formulação de questões necessária para discussões e investigações mais aprofundadas. Isso pode liberar o tempo de aula presencial para discussões profundas, práticas experimentais e intervenções pedagógicas mais precisas do professor. Ao integrar-se a desafios reais, projetos e investigações, o estudo dos conteúdos passa a responder a finalidades mais amplas do que o desempenho em avaliações.
Gamificação (Felix, 2026; Oliveira <i>et al.</i> , 2025; Pereira; Moreira, 2025; Silva <i>et al.</i> , 2026; Souza <i>et al.</i> 2024)	O uso de jogos digitais e elementos de design de games é apontado como uma estratégia eficaz para aumentar o engajamento emocional e a persistência dos estudantes diante de problemas científicos complexos. Argumenta-se que IA potencializa a gamificação ao oferecer desafios equilibrados que evitam a frustração excessiva ou o tédio, adaptando o jogo às necessidades, dificuldades e avanços apresentados pelo aprendiz. Entretanto, o presente trabalho destaca que a adaptação dos desafios deve ser analisada à luz dos objetivos formativos pretendidos, questionando se ela favorece a autonomia intelectual e a reflexão crítica ou apenas torna mais atrativas práticas pedagógicas essencialmente transmissivas, reforçando ainda mecanismos de recompensa, validação externa e competição, evitando que ela se reduza a uma estratégia lúdica de transmissão de conteúdos.
IA como Catalisadora de Investigações (Araújo; Menezes, 2026; Chang; Park; Park, 2023; Gobert <i>et al.</i> , 2024; Kilinc <i>et al.</i> , 2025; Kochmar <i>et al.</i> , 2021; Kotsis, 2024; Li <i>et al.</i> , 2024; Lemos; Silva; Ferreira, 2026; Pereira; Ferreira, 2023 <i>apud</i> Martins; Batista; Jardim, 2026; Villan; Santos, 2023).	Destacam-se propostas que utilizam a IA para apoiar a problematização de fenômenos, a formulação e o refinamento de hipóteses, a análise de dados e a construção de explicações fundamentadas em evidências, ampliando as possibilidades de exploração de questões complexas no contexto do ensino de Ciências; facilitar a criação de cenários de problemas reais ou para a visualização interativa, por exemplo uma visualização molecular no estudo de Química.
Modelagem Qualitativa (Souza, 2019 <i>apud</i> Freitas <i>et al.</i> , 2023)	A tese de Souza (2019 <i>apud</i> Freitas <i>et al.</i> , 2023) aborda o uso de modelos de simulação qualitativos para o ensino de fenômenos químicos e de outras ciências naturais, reforçando que a tecnologia, quando integrada a uma proposta de modelagem, pode favorecer a compreensão sistêmica, um dos pilares da Alfabetização Científica.

Fonte: Autoria própria (2026).

4.2 Mapeamento e funcionalidade das ferramentas tecnológicas no âmbito do Ensino de Ciências

A segunda grande categoria identificada na análise de conteúdo diz respeito ao arsenal tecnológico proposto para o ensino de Ciências. As ferramentas variam desde assistentes conversacionais até laboratórios imersivos e sistemas de modelagem computacional. Os principais achados encontram-se sintetizados no Quadro 4, articulados às suas respectivas funcionalidades pedagógicas.

4.2.1 Sistemas Tutores Inteligentes

No âmbito do ensino de Ciências, os sistemas tutores inteligentes (STIs) e os sistemas adaptativos têm sido frequentemente apresentados como soluções promissoras para a personalização da aprendizagem, ao ajustarem conteúdos, ritmos e níveis de dificuldade às necessidades individuais dos estudantes. Entretanto, conforme discutido em seção anterior, esses sistemas podem induzir a uma fragmentação do conhecimento científico, enfraquecendo dimensões essenciais como a argumentação, a problematização e a construção coletiva de significados.

Além disso, há o risco de reforço de vieses e de cristalização de trajetórias de aprendizagem, na medida em que os algoritmos tendem a reproduzir padrões previamente identificados, limitando a exposição dos estudantes a desafios cognitivos mais complexos. Nesse contexto, inserem-se também os sistemas de recomendação automatizada, especialmente aqueles baseados em filtragem colaborativa, que sugerem conteúdos a partir de padrões de comportamento de usuários com perfis semelhantes. Esses sistemas surgem como resposta à dificuldade docente em selecionar conteúdos digitais de qualidade. Ferramentas como o *Easy YouTube* (EYT) exemplificam essa estratégia com a proposta de economizar tempo de planejamento e garantir que os estudantes acessem vídeos educativos com valor didático comprovado.

Embora possam ampliar o acesso a recursos e diversificar materiais didáticos, tais sistemas levantam preocupações quanto à homogeneização das experiências educativas e à formação de bolhas de aprendizagem, nas quais o estudante é reiteradamente exposto a conteúdos alinhados ao seu histórico, em detrimento de abordagens mais amplas, críticas e interdisciplinares. Assim, a incorporação dessas ferramentas no ensino de Ciências demanda

uma mediação pedagógica intencional, capaz de equilibrar seus potenciais benefícios com a preservação de uma formação científica crítica e contextualizada.

4.2.2 Inteligências Artificiais Generativas e *Chatbots*

O ChatGPT (OpenAI) foi identificado nesta análise como a ferramenta mais citada e investigada, sendo explorada tanto para a criação de planos de aula quanto como um tutor virtual para estudantes. Outras plataformas como *Gemini* (Google), *Copilot* (Microsoft) e *Bing AI* também aparecem em estudos que avaliam a precisão na definição de conceitos químicos e na resolução de problemas físicos. Martins, Batista e Jardim (2026) constataram em sua revisão sistemática que grande parte dos trabalhos que avaliaram o desempenho de IAs generativas indicou que essas ferramentas são propensas a gerar informações imprecisas, superficiais ou até equivocadas. Diante disso, o professor assume o papel de auxiliar os estudantes a questionar, verificar e validar informações geradas e fornecidas pela IA.

O estudo de Parreira (2025) a respeito do uso de chatbots customizados, desenvolvidos em linguagens como *Python*, no ensino de Física, permitiu identificar que as maiores dúvidas de estudantes de ensino médio concentram-se em vetores e movimentos uniformemente variados, gerando relatórios detalhados que podem auxiliar o professor no ajuste de suas estratégias de ensino. Entretanto, sob a ótica do EnCI, ao enfatizar a identificação de lacunas conceituais e a adaptação do ensino a partir de padrões de erro, corre-se o risco de reduzir a aprendizagem a um processo de correção e ajuste, aproximando-se de uma lógica instrucionista. Além disso, a centralidade dos dados gerados pela interação com o sistema pode deslocar o foco da compreensão dos fenômenos para o desempenho em tarefas específicas, sem garantir o desenvolvimento da capacidade de explicação, argumentação e tomada de decisão fundamentada. Nessa direção, a utilização desses relatórios precisa ser mediada por uma intencionalidade pedagógica que vá além da identificação de dificuldades, incorporando tais evidências em propostas investigativas que promovam a problematização, o confronto de ideias e a construção de sentido, de modo a evitar que a tecnologia se limite a otimizar práticas tradicionais, em vez de transformá-las.

Por um lado, essas tecnologias ampliam o acesso à informação, favorecem a personalização da aprendizagem e podem atuar como mediadoras no processo investigativo, oferecendo *feedback* imediato sem entregar respostas prontas, auxiliando na organização de dados e estimulando a formulação de hipóteses e argumentos. Além disso, podem possibilitar a exploração de cenários complexos, contribuindo para o engajamento dos estudantes e para a

aproximação entre ciência escolar e problemas contemporâneos. Por outro lado, sua utilização traz riscos importantes, como a produção de informações imprecisas ou enviesadas, a opacidade dos processos algorítmicos e a tendência à sobredependência, especialmente quando os estudantes passam a utilizá-las como fontes diretas de respostas. Soma-se a isso a possibilidade de reforço de práticas pedagógicas transmissivas, nas quais a tecnologia, em vez de promover a investigação, passa a operar como mecanismo de entrega de conteúdos.

Nesse sentido, Martins, Batista e Jardim (2026) ressaltam um aspecto destacado por Monteiro *et al.* (2024 *apud* Martins; Batista; Jardim, 2026), enfatizando que os docentes devem ajudar os estudantes a compreender os limites e riscos das ferramentas de IA, além de desenvolver estratégias para avaliar a autoria e promover o pensamento crítico. A revisão sistemática conduzida por esses autores também destaca a importância de o professor ensinar estratégias que permitam aos estudantes selecionar, analisar, criticar, comparar, avaliar, sintetizar, comunicar e informar, assegurando que o uso da IA contribua para o desenvolvimento de competências reflexivas e autonomia na aprendizagem.

4.2.3 Simuladores, Realidade Virtual e Aumentada

Plataformas de simulação virtual, como o *PhET Interactive Simulations* e o *Labster*, podem apoiar o ensino de temas abstratos e fenômenos de difícil observação direta. Essas ferramentas permitem que os estudantes visualizem tópicos como processos celulares, evolução estelar e interações atômicas de forma interativa, superando as limitações físicas dos laboratórios escolares. Argumenta-se que estas plataformas facilitam a visualização de conceitos científicos abstratos, tornando-os mais concretos e compreensíveis, entretanto, cabe aqui uma consideração a respeito da importância do desenvolvimento da capacidade de abstração, sugerindo-se equilíbrio ao utilizar estas ferramentas de modo a não limitar no estudante a sua capacidade de imaginação, tão necessária em processos de criação verdadeiramente autênticos.

A realidade aumentada (AR) e a visualização molecular em 3D são propostas para enriquecer a compreensão de estruturas microscópicas e macroscópicas, permitindo que o estudante toque virtualmente nos objetos de estudo. A literatura analisada permite inferir que ambientes imersivos podem favorecer a transição da ação manipulativa, ainda que em contextos virtuais, para a ação intelectual, movimento considerado essencial à construção de constructos teóricos no ensino de Ciências. Nessa direção, Carvalho (2018) destaca que a qualidade do problema proposto é determinante para tal avanço, ao afirmar que um bom problema é aquele

que cria condições para que os estudantes ultrapassem o nível da manipulação e alcancem operações intelectuais mais complexas, como a elaboração e o teste de hipóteses, o desenvolvimento do raciocínio proporcional e a construção da linguagem científica.

4.2.4 *Machine Learning* e Ciência de Dados

Uma tendência emergente é a introdução do aprendizado de máquina (*Machine Learning* - ML) como conteúdo e ferramenta no ensino de Ciências. No estudo de Prates (2023 *apud* Martins, Batista; Jardim, 2026) estudantes de ensino médio são desafiados a utilizar algoritmos de regressão e classificação para modelar fenômenos físicos reais, como o comportamento de um pêndulo simples ou a previsão de dados climáticos. Com isso, abre-se a possibilidade de ampliar o repertório metodológico da investigação científica escolar, incorporando práticas contemporâneas de análise de dados. Essa abordagem pode favorecer a formulação e o teste de hipóteses, a identificação de padrões e a construção de explicações baseadas em evidências, aspectos alinhados aos princípios defendidos por Anna Maria Pessoa de Carvalho.

Quando adequadamente mediado, o uso do aprendizado de máquina pode enriquecer o ciclo investigativo, especialmente nas etapas de análise e interpretação de dados, desde que não substitua o engajamento intelectual do estudante. Para que essa integração seja coerente com o EnCI, é fundamental que os modelos computacionais sejam tratados não como respostas prontas, mas como instrumentos a serem interrogados, comparados e validados à luz de conhecimentos científicos prévios. Isso implica criar situações didáticas em que os estudantes possam confrontar previsões algorítmicas com modelos teóricos clássicos, discutir limites e vieses dos dados e refletir sobre as implicações epistemológicas do uso dessas tecnologias. Assim, conclui-se que o aprendizado de máquina pode contribuir para a educação científica, desde que subordinado a uma abordagem investigativa que preserve a centralidade da compreensão, da argumentação e da autonomia intelectual.

Quadro 4. Principais ferramentas identificadas no âmbito dos trabalhos envolvendo a interface IA e ensino de Ciências

Categoria de Ferramenta	Ferramenta	Funcionalidade Pedagógica Identificada	Trabalho em que a Respetiva Ferramenta foi identificada
IAs Generativas	ChatGPT	Planejamento, tutoria, geração de materiais didáticos, elaboração de avaliações e feedback.	Santiago e Mattos (2025); Lee e Zhai (2024 <i>apud</i> Santiago; Mattos, 2026); Fischer, Juliani e Bleicher, (2024 <i>apud</i> Santos 2026); Zhai, Xiaoming (2023 <i>apud</i> Pereira; Moreira, 2025); Leite (2023). Santos e Eichler (2025); López-Simó e Rezende Jurios (2024); Monteiro <i>et al.</i> (2024); Padilha e Sutil (2024); Ramos e Condotta (2024); Okada <i>et al.</i> (2025); Leite (2024); Eugenio <i>et al.</i> (2023). Fonte secundária: Martins, Batista e Jardim (2026)
	Gemini	Criação de planos de aula e suporte conceitual em Química.	Leite (2024 <i>apud</i> Martins; Batista; Jardim, 2026)
	Copilot	Suporte à escrita técnica e planejamento docente.	Leite (2024 <i>apud</i> Martins; Batista; Jardim, 2026)
	DeepSeek	Processamento de tarefas e geração de respostas textuais.	Santiago e Mattos (2026)
	NotebookLM	Treinamento de contexto aprofundado que pode facilitar a elaboração de aulas mais dialógicas.	Santiago e Mattos (2026)
Assistentes e Chatbots	Dialogflow	Plataforma de desenvolvimento de chatbots e assistentes virtuais criada pelo Google. Permitiu a criação de um chabot para atendimento de dúvidas e suporte ao ensino de Física.	Dantas <i>et al.</i> (2019 <i>apud</i> Parreira, 2025)
	Inquirybot	Suporte personalizado em atividades de investigação científica.	Chang, Park E Park (2023 <i>apud</i> Pereira; Moreira, 2025)
Simuladores e Imersão	PhET	Simulações interativas de fenômenos físicos e químicos.	Lopes, Silva e Souza (2023 <i>apud</i> Parreira, 2025)
	Labster	Laboratórios virtuais e simulações de práticas biológicas.	Must University (2024 <i>apud</i> Dzingeski, 2025)
	VR Labyrinth /	Experiências imersivas em realidade virtual baseadas em teorias.	Lee, Lai e Hung (2023 <i>apud</i> Pereira e Moreira, 2025)
	NMRDB	Visualização direta e indireta de estruturas químicas.	Martins, Batista e Jardim (2026)
Machine Learning (ML)	Scikit-learn	Modelagem científica e resolução de problemas de Física.	Ferreira <i>et al.</i> (2022 <i>apud</i> Martins, Batista e Jardim, 2026)
	Random Forest	Algoritmo de regressão para análise do pêndulo simples.	Prates (2023 <i>apud</i> Martins, Batista e Jardim, 2026)

	Teachable Machine	Ensino de conceitos básicos de ML aplicados à reciclagem.	Martins (2024 <i>apud</i> Martins, Batista e Jardim, 2026)
Gamificação e Apoio	Kahoot / Padlet	Quizzes interativos e murais para construção coletiva.	Must University (2024 <i>apud</i> Dzingeleski, 2025)
	Minecraft Education	Exploração de ambientes e conceitos biológicos em jogos.	Must University (2024 <i>apud</i> Dzingeleski, 2025)
Sistemas e Apps	Google Classroom	Gestão de conteúdo, atividades e devolutivas híbridas.	Souza e Amaral (2024 <i>apud</i> Dzingeleski, 2025)
	Easy YouTube (EYT)	Recomendação de vídeos com valor didático comprovado.	Pinheiro <i>et al.</i> (2018 <i>apud</i> Parreira, 2025)
	SIGEDUC - RN	Acompanhamento da aprendizagem e análise de indicadores.	Oliveira (2019 <i>apud</i> Freitas <i>et al.</i> , 2023)
	iNaturalist	Exploração e registro de biodiversidade em campo.	Must University (2024 <i>apud</i> Dzingeleski, 2025)
Aplicativos de Nicho	Apps Nutricionais	Educação nutricional lúdica na primeira infância.	Silva <i>et al.</i> (2024 <i>apud</i> Silva <i>et al.</i> , 2026)

Fonte: Autoria própria (2026).

4.3 Mapeamento e funcionalidade das ferramentas tecnológicas no âmbito do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI)

Nesta categoria, identificam-se três grandes tipos de ferramentas sendo propostas, sendo elas os Sistemas Tutores Inteligentes (STI), os chatbots de apoio à investigação e os ambientes de simulação mediados por IA. Contudo, o alinhamento com o EnCI varia drasticamente dependendo do design instrucional da ferramenta. Com o objetivo de sistematizar as principais ferramentas identificadas nos trabalhos analisados, o Quadro 5 apresenta uma síntese das tecnologias utilizadas na integração da IA com abordagens investigativas.

Quadro 5. Principais ferramentas identificadas no âmbito dos trabalhos envolvendo a integração da IA com abordagens investigativas.

Categoria de Ferramenta	Ferramenta	Funcionalidade Pedagógica Identificada	Trabalho em que a Respectiva Ferramenta foi identificada
Agente Conversacional / Chatbot	InquiryGPT	Atua como mediador do processo investigativo, oferece feedback restringindo respostas prontas do ChatGPT, estimula a formulação de hipóteses, a argumentação e a reflexão durante as etapas da investigação científica.	Li et al. (2024)
Agente Conversacional / Chatbot	Inquirybot	Orienta o planejamento da investigação científica por meio de diálogos estruturados e fornece orientação durante a investigação.	Chang, Park & Park (2023)

Sistema Tutor Inteligente (STI) com simulações	Inq-ITS	Integra laboratórios baseados em simulações, monitora práticas investigativas, fornece suportes adaptativos (<i>adaptive scaffolds</i>) e avaliação automática durante atividades de investigação científica. Utiliza um agente pedagógico digital chamado Rex que oferece dicas orientadoras.	Gobert et al. (2024)
Sistema de Tutoria Inteligente (STI)	Korbit	Estrutura a aprendizagem fazendo perguntas que visam promover a reflexão ativa. Não entrega a solução imediatamente, mas orientações parciais para guiar o estudante. Com base nessa premissas, oferece feedback adaptativo, explicações personalizadas e acompanhamento da aprendizagem, especialmente em conteúdos conceituais e procedimentais.	Kochmar et al. (2022)
Plataforma de IA Educacional	Aspen	Orienta a elaboração de perguntas de pesquisa e hipóteses incentivando a modelagem do raciocínio científico, fornece feedback imediato. Tem como objetivo estimular a reflexão, a articulação e a explicitação do pensamento.	Kilinc et al. (2025)
Modelo de Linguagem (LLM) / Chatbot	ChatGPT	Coorientação acadêmica em projetos de iniciação científica; Mediação no processo de construção de protótipos de medição ambiental com Arduino; Geração de estudos de caso fictícios e simulação de exames laboratoriais.	Villan e Santos (2023); Barbosa e Marques; (2026)Araújo e Menezes (2026).

Fonte: Autoria própria (2026).

Conforme os pressupostos de Carvalho (2013), o ensino por investigação exige que os estudantes sejam confrontados com problemas autênticos onde a investigação seja a condição para resolvê-los. Ferramentas como o InquiryGPT (Li et al., 2024) e o Inquirybot (Chang, Park & Park, 2023) foram projetadas tendo-se como base esse princípio, e na prática impõem restrições que objetivam direcionar o estudante a percorrer o ciclo investigativo, em vez de fornecerem respostas diretas, sendo desenhadas para atuar como assistentes que os guiam através de etapas estruturadas de investigação, como a formulação de perguntas de pesquisa e o refinamento de hipóteses. Sob a mesma perspectiva, os STIs, como o Inq-ITS (Gobert et al., 2024) e o Korbit (Kochmar et al., 2022), utilizam algoritmos de *machine learning* (ML) e mineração de dados educacionais para avaliar o desempenho dos estudantes em tempo real, fornecendo feedbacks personalizados que se ajustam às dificuldades específicas de cada aprendiz. Apesar de seus potenciais benefícios pedagógicos, essas estratégias não estão isentas das preocupações levantadas no início desta seção, particularmente em relação ao protagonismo estudantil.

Nesse contexto, os autores frequentemente argumentam que a IA pode assumir parte da mediação normalmente realizada pelo professor, especialmente em situações onde o acompanhamento individualizado se torna inviável devido ao elevado número de estudantes. Nessa perspectiva, os sistemas funcionariam como formas de andaimes (*scaffolding*), oferecendo apoio temporário para que os estudantes consigam realizar tarefas investigativas que ainda não conseguiriam executar de forma autônoma. Embora compartilhem o propósito de apoiar, em diferentes níveis, as atividades investigativas, essas ferramentas não operam com as mesmas estratégias pedagógicas. O InquiryGPT aproxima-se de uma perspectiva alinhada ao Ensino de Ciências por Investigação, ao atuar como mediador do processo investigativo, distinguindo-se por estruturar as interações segundo o ciclo POEE (Predizer, Observar, Explicar e Avaliar) e restringir o acesso a respostas prontas do ChatGPT, buscando preservar o engajamento cognitivo dos estudantes durante a investigação. Em vez de fornecer respostas diretas, o sistema procura induzir o estudante a justificar hipóteses, interpretar evidências e revisar seu raciocínio antes de avançar para novas etapas. O Inquirybot, por sua vez, atua como um assistente conversacional que conduz o planejamento da investigação por meio de roteiros e fluxos de diálogo previamente elaborados, conduzindo os estudantes na definição do problema, elaboração do procedimento experimental e organização das ideias. Já o Aspen (Kilinc et al., 2025) concentra sua atuação na elaboração e refinamento de perguntas de pesquisa e hipóteses, oferecendo sugestões para aumentar clareza, testabilidade, coerência lógica, além de feedback progressivo para que os estudantes explicitem seus raciocínios, justifiquem suas escolhas e aprimorem a qualidade científica de suas proposições.

O Inq-ITS configura-se como um sistema tutor inteligente que integra laboratórios baseados em simulações para apoiar a realização de investigações científicas. Nesses ambientes, estudantes do Ensino Fundamental e do Ensino Médio desenvolvem práticas investigativas como a formulação de perguntas e hipóteses, o planejamento e a condução de investigações, a coleta, análise e interpretação de dados e a construção e comunicação de explicações científicas. Ao longo dessas atividades, o sistema monitora continuamente as ações dos estudantes, identifica dificuldades e fornece suportes adaptativos personalizados para auxiliar o desenvolvimento dessas práticas. Ao integrar simulações interativas ao processo investigativo, esse modelo amplia as possibilidades de experimentação e viabiliza o desenvolvimento de práticas científicas autênticas em um ambiente controlado e seguro. O Korbit, embora também se configure como um STI, concentra-se na geração automatizada de feedback adaptativo, fazendo perguntas que visam promover a reflexão ativa, produzindo dicas, e explicações personalizadas para apoiar a resolução de problemas e o desenvolvimento

conceitual. Os autores desse sistema argumentam que as dicas devem funcionar como estímulos ao raciocínio, conduzindo o estudante à recuperação de conhecimentos prévios ou à realização das inferências necessárias para solucionar o problema.

Dessa forma, ainda que todas essas ferramentas possam contribuir, suas implicações pedagógicas e o grau de direcionamento das interações diferem significativamente. Enquanto algumas podem favorecer o protagonismo e a ação intelectual do estudante, outras podem, se não mediadas criticamente, induzir a processos mais dirigidos e potencialmente limitadores da investigação científica. Algumas fundamentam sua atuação em modelos altamente estruturados, nos quais o sistema define previamente quais perguntas devem ser feitas, quais respostas são consideradas adequadas e quais caminhos investigativos são desejáveis. Embora essa organização possa reduzir dificuldades iniciais dos estudantes, ela também tende a limitar características fundamentais da investigação científica. O caso mais evidente é o Inquirybot (Chang, Park & Park, 2023). A ferramenta foi concebida a partir de um fluxo conversacional (scenario flow) previamente planejado pelo professor, no qual são definidos antecipadamente a sequência das atividades, as perguntas que serão apresentadas, os recursos disponibilizados e os diferentes tipos de feedback fornecidos ao estudante. Embora esse desenho tenha como objetivo oferecer apoio durante o planejamento da investigação e reduzir dificuldades iniciais, a própria lógica de funcionamento concentra parte significativa da condução da atividade no sistema. Assim, as oportunidades para que os estudantes formulem autonomamente novos problemas, reorganizem o percurso investigativo ou explorem estratégias alternativas tendem a ser reduzidas, uma vez que a interação ocorre dentro de um roteiro previamente estabelecido.

Situação semelhante pode ser observada no Aspen (Kilinc et al., 2025), embora em um escopo mais restrito. Diferentemente do Inquirybot, o Aspen não organizou toda a investigação no trabalho analisado, mas concentrou sua atuação na elaboração de perguntas de pesquisa e hipóteses. Para isso, o sistema utiliza modelos estruturados para orientar a escrita das hipóteses, solicita sucessivas revisões das respostas dos estudantes e oferece feedback baseado em critérios previamente definidos, como clareza, especificidade, testabilidade, coerência lógica e identificação das variáveis investigadas. Essa estratégia favorece a explicitação do raciocínio científico e pode contribuir para o aprimoramento da qualidade das hipóteses elaboradas. Contudo, sob a perspectiva do EnCI, também suscita uma reflexão importante relacionada aos critérios de qualidade e aos caminhos de reformulação, que passam a ser continuamente determinados pelo sistema e, assim, parte do processo de construção do conhecimento pode deslocar-se da problematização realizada pelos estudantes para a adequação progressiva às expectativas estabelecidas pela inteligência artificial. Ou seja, o feedback pode assumir caráter

fortemente diretivo, indicando ao estudante exatamente quais aspectos devem ser modificados, quais variáveis precisam ser incluídas ou qual estrutura deve ser seguida para que sua resposta seja considerada adequada. Ainda que isso contribua para melhorar indicadores de desempenho ou qualidade formal das respostas, existe o risco de deslocar o foco da investigação para a obtenção da resposta esperada pelo sistema, reduzindo oportunidades para investigação, dúvida, exploração do erro como oportunidade de aprendizagem e construção coletiva do conhecimento.

Os resultados desta análise sugerem que, quanto maior o grau de definição prévia das perguntas, dos critérios de qualidade, dos feedbacks e das trajetórias de interação, maior tende a ser a transferência da condução da investigação para o sistema. Além disso, quando a IA corrige imediatamente os erros, fornece exemplos prontos ou indica sucessivamente os próximos passos da investigação, existe o risco de substituir a problematização pelo direcionamento contínuo da aprendizagem. Sob essa perspectiva, existe o risco de que a investigação seja gradualmente substituída pelo cumprimento de etapas previamente organizadas pela IA, reduzindo oportunidades para que os estudantes definam seus próprios caminhos investigativos, enfrentem situações de incerteza, negociem significados coletivamente e construam explicações originais a partir das evidências produzidas. Em vez de favorecer uma educação dialógica, na qual o conhecimento é construído pela interação crítica entre os sujeitos, algumas propostas podem aproximar-se de uma lógica instrucionista sofisticada, em que o estudante permanece respondendo às intervenções produzidas pelo sistema.

O uso pedagógico dessas ferramentas requer atenção para que a interação entre estudante e sistema não se sobreponha às interações entre os próprios estudantes. Quando incorporadas sem estratégias que promovam a argumentação entre pares, a construção colaborativa de hipóteses e a negociação de significados, há o risco de enfraquecer uma dimensão essencial da aprendizagem científica, deslocando a mediação social para uma mediação algorítmica, enfraquecendo justamente aquilo que está relacionado a essência do EnCI, que é o protagonismo dos estudantes na construção compartilhada do conhecimento científico. Essa tensão não invalida as potencialidades dessas ferramentas, mas evidencia que sua contribuição para o EnCI depende da forma como sua mediação preserva, ou restringe, o protagonismo intelectual dos estudantes.

O referencial de Carvalho e Sasseron (2011) destaca o papel vital da mediação docente na desestabilização das certezas construídas pelos estudantes e na condução à argumentação científica. A esse respeito, a literatura revisada permite inferir que a IA, se adequadamente

integrada, preservando-se as interações sociais, a colaboração e a construção coletiva do conhecimento, pode assumir o papel de coorientadora e fornecedora de "andaimes" (*scaffolding*), estendendo as capacidades de mediação do professor humano. Um achado relevante nesta categoria é o papel do ChatGPT como coorientador na iniciação científica no Ensino Fundamental. No estudo de pesquisa-ação conduzido por o trabalho de Villan e Santos (2023) com 353 estudantes e 16 professores, a IA permitiu que os estudantes explorassem temas transversais que extrapolavam a formação original dos orientadores.

Baseando-se nos princípios de Vygotsky (1991 *apud* Villan; Santos, 2023) os autores argumentam que a IA atuou como um mediador cultural estendido, permitindo a expansão da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) de Vygotsky tanto para estudantes quanto para professores, que puderam abordar tópicos complexos como o desmatamento na Amazônia e inclusão de gênero no esporte com o suporte técnico e organizador da ferramenta. O professor, muitas vezes desconfortável em orientar temas fora de sua área de formação original, utilizou a IA para estruturar informações e propor caminhos investigativos. Essa mediação permitiu que os grupos de estudantes explorassem temas de seu interesse com profundidade científica, sugerindo que a IA pode auxiliar na escassez de tempo e as limitações técnicas dos orientadores humanos se devidamente articulada.

No trabalho de Barbosa e Marques (2026), em um contexto de atividades desenvolvidas com estudantes de escolas rurais ribeirinhas, a utilização do ChatGPT como ferramenta mediadora no processo de construção de protótipos de medição ambiental com Arduino mostrou-se particularmente relevante. Ao auxiliar na superação de dificuldades técnicas relacionadas à programação, a inteligência artificial permitiu que os estudantes direcionassem sua atenção à compreensão do problema investigado, como o monitoramento da umidade e da temperatura do solo e da água. Ao assumir funções de diagnóstico de erros, sugestão de soluções e orientação tanto no nível de software quanto de hardware, o ChatGPT amplia significativamente a capacidade operacional dos estudantes, reduzindo barreiras técnicas que poderiam comprometer o andamento da atividade. Nesse sentido, a ferramenta pode contribuir para a fluidez do trabalho investigativo e para o engajamento dos estudantes, especialmente em contextos nos quais dificuldades instrumentais tenderiam a interromper o processo. Dessa forma, em alguma medida, a atividade ultrapassou o nível meramente instrumental, promovendo a análise, a interpretação de dados e a elaboração de explicações, aspectos que caracterizam a ação intelectual.

No entanto, sob a perspectiva do EnCI — cabe aqui destacar que os autores não trabalharam sob essa perspectiva, mas sim sob o da ABP, conforme Bender (2014 *apud*

Barbosa; Marques, 2026) —, no caso analisado, essa passagem não pode ser afirmada de maneira inequívoca. Embora o uso do ChatGPT tenha favorecido a resolução ágil de problemas técnicos, como a identificação de erros de programação e a orientação na montagem de protótipos, e contribuído para a continuidade das atividades, sob os rigores do EnCI há indícios de que tal mediação possa ter encurtado etapas essenciais do processo investigativo. Ao oferecer soluções prontas, como códigos corrigidos e instruções detalhadas, a ferramenta tende a deslocar o foco do estudante da elaboração de hipóteses, da testagem de alternativas e da compreensão dos erros para a aplicação direta de respostas externas. Nessa dinâmica, o erro deixa de cumprir seu papel formativo, fundamental no EnCI, e a atividade pode permanecer no nível de uma ação manipulativa assistida, ainda que tecnicamente sofisticada. Assim, ainda que se reconheçam avanços no domínio procedimental e na execução das tarefas, não há evidências suficientes de que os estudantes tenham, de fato, alcançado uma ação intelectual autônoma, caracterizada pela capacidade de explicar, justificar e tomar decisões fundamentadas sobre o fenômeno investigado. Nesta análise, entende-se que se a construção do protótipo foi incorporada ao desenho pedagógico, então ela também se torna objeto de aprendizagem e investigação. Consequentemente, a mediação da IA deveria preservar o protagonismo dos estudantes também nesse processo, favorecendo a reflexão, a experimentação e a resolução de problemas, em vez de antecipar soluções completas.

Nesse cenário, o processo investigativo pode ser parcialmente esvaziado, uma vez que etapas essenciais, como a problematização, a testagem de alternativas e a reflexão sobre os resultados, tendem a ser abreviadas. Além disso, a rapidez na identificação e correção de falhas, embora eficiente do ponto de vista técnico, pode reduzir oportunidades de aprendizagem associadas ao erro como elemento formativo, aspecto central no EnCI. O erro, nesse referencial, não é apenas um obstáculo a ser eliminado, mas um recurso didático que impulsiona o raciocínio, a argumentação e a reconstrução conceitual. Quando a IA antecipa soluções, há o risco de deslocar o foco da investigação para a obtenção de resultados funcionais, em detrimento da construção de sentido sobre o fenômeno estudado.

Por outro lado, não se trata de desconsiderar o potencial da ferramenta, mas de situá-la pedagogicamente. Para que sua utilização esteja alinhada ao EnCI, seria necessário que o ChatGPT atuasse menos como um resolvidor de problemas e mais como um mediador que estimula o questionamento, por exemplo, ao sugerir pistas, solicitar explicações dos estudantes ou propor comparações entre diferentes soluções. Assim, a tecnologia poderia efetivamente contribuir para o desenvolvimento da autonomia intelectual, em vez de apenas otimizar a execução de tarefas. Em síntese, o uso do ChatGPT, tal como descrito, revela uma tensão entre

eficiência técnica e profundidade epistemológica, exigindo uma mediação docente intencional para que o processo investigativo não seja reduzido a uma sequência de respostas assistidas.

Nesse sentido, a literatura mostra que a IA, quando bem configurada pedagogicamente e integrada com intencionalidade, pode atuar como um andaime que suporta o raciocínio complexo sem entregar a resposta final ao estudante. Um exemplo de mediação animada pelos princípios do EnCI é o sistema InquiryGPT, conforme proposto por Li *et al.* (2025), que impõe limitações deliberadas ao diálogo com o estudante. Diferente de um chatbot convencional que busca resolver o problema do usuário o mais rápido possível, o assistente investigativo exige que o estudante registre sua previsão antes de ter acesso a informações adicionais. Esse mecanismo força a mobilização do conhecimento prévio, um princípio vital do EnCI. Resultados demonstram que a interação com a IA, quando configurada como *coaching*, melhora significativamente a qualidade das investigações. No estudo de Kilinc *et al.* (2025), 84% dos grupos melhoraram na clareza de suas perguntas de pesquisa e 79% na especificidade de suas variáveis após a interação com o chatbot. Mas cabe ressaltar que, ainda que o uso do chatbot Aspen demonstre potencial para apoiar o desenvolvimento de habilidades investigativas iniciais, sua efetividade, sob a ótica do EnCI, depende de uma integração pedagógica que vá além da melhoria estrutural das produções dos estudantes, garantindo condições para o desenvolvimento da compreensão conceitual, da autonomia intelectual, da reflexão crítica e das interações sociais ao longo de todo o processo investigativo.

As propostas de mediação investigativa frequentemente utilizam ciclos de aprendizagem estruturados. O Quadro 6 detalha como a mediação tecnológica está sendo integrada em diferentes fases do ciclo de investigação científica.

Quadro 6. Possibilidades de integração da mediação tecnológica em diferentes fases do ciclo investigativo

Fase da Investigação	Ação da IA como Mediadora	Habilidade Estimulada
Orientação / Previsão	Bloqueio de respostas; solicitação de hipóteses iniciais	Criatividade e Autonomia de Pensamento
Experimentação/ Observação	Orientação no manuseio de sensores; simulação de variáveis	Rigor Metodológico e Coleta de Dados
Explanação/ Argumentação	Confronto entre previsão e resultado; auxílio lexical	Argumentação baseada em evidências
Avaliação / Reflexão	Geração de relatórios de reflexão e análise de erros	Metacognição e Literacia Digital

Fonte: Autoria própria (2026).

O processo de mediação pedagógica por meio da inteligência artificial pode ser compreendido a partir de diferentes níveis de suporte, conforme evidenciado na arquitetura de sistemas como o Inq-ITS e o chatbot Aspen. Esses níveis estruturam-se em formas complementares que visam sustentar o avanço do estudante ao longo do ciclo investigativo. Inicialmente, destacam-se os andaimes orientadores, que auxiliam o estudante a se situar na tarefa em desenvolvimento, favorecendo o monitoramento do próprio progresso e a organização das etapas da investigação. Em um nível mais aprofundado, os andaimes conceituais oferecem pistas, incentivando a elaboração de estratégias próprias e evitando a simples entrega de respostas prontas, o que é fundamental para a promoção da autonomia intelectual.

Paralelamente, observa-se a atuação do chamado coaching de articulação, no qual sistemas como o Aspen estimulam os estudantes a explicitar e justificar seus raciocínios, podendo contribuir para o fortalecimento da compreensão conceitual e do uso de evidências na construção do conhecimento científico. Por fim, a modelagem de raciocínio especialista constitui outro componente, ao disponibilizar exemplos estruturados de como formular perguntas de pesquisa e hipóteses, como na utilização de esquemas do tipo “se... então... porque...”. Essa estratégia visa elevar o nível das produções dos estudantes, aproximando-as das práticas científicas mais formais, ainda que demande mediação cuidadosa para que a apropriação dessas estruturas decorra do processo investigativo, e não da mera reprodução de padrões. Entretanto, Lemos, Silva e Ferreira (2026) ressaltam a importância crítica da mediação docente para assegurar que o uso da IA seja ético e seguro. O professor deve atuar como um curador que valida a coerência didático-científica, garantindo que o chatbot atue como suporte ao raciocínio investigativo e não como um substituto do pensamento crítico, da reflexão fundamentada e das interações sociais.

Na prática pedagógica aplicada ao ensino de parasitoses (Doença de Chagas), a IA foi utilizada para gerar estudos de caso fictícios e exames laboratoriais simulados. Essa estratégia permitiu que os estudantes de Ensino Médio vivenciassem o ciclo investigativo de Pedaste *et al.* (2015 apud Araújo; Menezes, 2026), onde a IA agiu como um acelerador na produção de materiais didáticos diversificados que o professor/pesquisador curou cuidadosamente para garantir a coerência científica. A mediação, neste caso, não foi apenas direta (estudante-máquina), mas também indireta, onde a IA muniu o professor de recursos para orquestrar discussões coletivas baseadas em evidências laboratoriais simuladas. Os autores concluem que o ensino por investigação, aliado ao uso da IA como ferramenta de produção e diversificação de materiais didáticos, representa uma estratégia promissora para o fortalecimento do ensino de Biologia, desde que haja mediação docente e validação crítica do material gerado, e que

promova a integração entre teoria e prática e estimulando a autonomia intelectual dos discentes e do protagonismo estudantil. Além disso, reconhecem-se limites e possíveis consequências negativas do uso de IA no processo educacional, tais como o risco de respostas incorretas ou alucinações, a superficialização do material produzido, a dependência excessiva de tecnologia, a desigualdade de acesso e a necessidade de orientar checagem de fontes e uso ético da ferramenta (Araújo; Menezes, 2026).

Pode-se inferir das análises que as propostas de integração entre inteligência artificial e ensino de ciências que se mostram mais consistentes do ponto de vista pedagógico são aquelas que articulam, de maneira intencional, suporte tecnológico, exigência cognitiva, construção coletiva do conhecimento, argumentação fundamentada, problematização da realidade, autonomia intelectual, mediação pedagógica qualificada e o desenvolvimento de processos colaborativos de aprendizagem. Isso implica situar a IA não como fonte de respostas, mas como mediadora de processos investigativos, nos quais a problematização assume papel central, orientando a formulação de questões, a elaboração e o teste de hipóteses, o uso de evidências e a construção de explicações fundamentadas. Nessa perspectiva, a tecnologia deve favorecer a explicitação do raciocínio, a argumentação e a validação coletiva do conhecimento, preservando o protagonismo do estudante e a centralidade da ação intelectual. Assim, propostas alinhadas ao EnCI são aquelas que integram a IA a ciclos investigativos estruturados, nos quais o estudante assume papel central na formulação de hipóteses, na coleta e análise de dados, na apresentação e socialização dos resultados, promovendo não apenas o acesso à informação, mas a construção de sentido sobre os fenômenos estudados, em oposição a práticas que reduzem a aprendizagem à assimilação de respostas prontas. Outro aspecto relevante refere-se à expansão do horizonte temático da sala de aula por meio da coorientação digital, da ampliação do repertório de ação docente e da simulação de fenômenos e cenários complexos, que possibilitam o desenvolvimento de investigações interdisciplinares mais autênticas e contextualizadas.

Por fim, conclui-se que, quando adequadamente mediada à luz dos pressupostos do Ensino de Ciências por Investigação (EnCI), a integração da inteligência artificial ao ensino de Ciências pode contribuir significativamente para o fortalecimento da alfabetização científica, na medida em que preparam os estudantes para interagir de forma crítica e reflexiva com tecnologias emergentes, bem como para participar de maneira mais qualificada em uma sociedade atravessada por profundas transformações desencadeadas por uma tecnologia que desafia as bases da compreensão sobre a inteligência humana.

4.4 Impactos na aprendizagem científica

Esta categoria foca nos resultados de aprendizagem sob a ótica dos indicadores de Alfabetização Científica propostos por Sasseron e Carvalho (2011). Pode-se inferir do trabalho das autoras que a Alfabetização Científica (AC) envolve a capacidade dos sujeitos de mobilizar conhecimentos científicos, procedimentos investigativos e formas de linguagem próprias da ciência para compreender, interpretar e intervir na realidade. Tal perspectiva ultrapassa a mera assimilação de conceitos, incluindo o desenvolvimento de habilidades como argumentação baseada em evidências, formulação de hipóteses, análise crítica de informações e tomada de decisões fundamentadas. Nesse sentido, a AC articula dimensões conceituais, procedimentais e atitudinais, permitindo que os indivíduos não apenas compreendam fenômenos naturais, mas também participem de forma crítica e responsável em questões sociais, ambientais e tecnocientíficas que permeiam a vida contemporânea.

A análise dos estudos sugere que a integração entre IA e Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) apresenta potencial para impactar positivamente os três eixos estruturantes da Alfabetização Científica (AC), contudo, tal potencial não se realiza de forma automática, estando condicionado à intencionalidade pedagógica e à qualidade da mediação. No que se refere à compreensão de termos e conceitos fundamentais, o uso de IA generativa na criação de estudos de caso e simulações, por exemplo, pode favorecer a apropriação inicial de conceitos científicos, ao ampliar o acesso a representações e evidências. Entretanto, há indícios de que esse avanço pode permanecer em um nível mais superficial, especialmente quando a mediação prioriza a fluidez na execução de tarefas em detrimento da problematização conceitual.

No eixo da compreensão da natureza da ciência, ferramentas que incorporam ciclos investigativos podem potencializar práticas que se aproximam do fazer científico, ao incentivar a formulação de hipóteses, o controle de variáveis e a análise de dados. Ainda assim, é necessário cautela ao interpretar tais resultados, uma vez que a forte presença de andaimes e modelos pré-estruturados pode induzir à reprodução de procedimentos, sem garantir a internalização dos princípios epistemológicos que fundamentam a atividade científica. Em outras palavras, há o risco de que os estudantes aprendam a seguir o roteiro da ciência sem, necessariamente, compreender sua lógica subjacente.

Por fim, no que diz respeito ao entendimento das relações entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente (CTSA), a integração da IA parece ampliar as possibilidades de contextualização e aplicação do conhecimento, como no caso de projetos com Arduino voltados a problemáticas locais. Essas experiências indicam um avanço na articulação entre saber

científico e realidade vivida, favorecendo o engajamento e a relevância social da aprendizagem. No entanto, também aqui a mediação por IA pode tanto potencializar quanto limitar esse processo, dependendo de como a investigação é orientada. Se centrada excessivamente na rápida resolução técnica de problemas, pode reduzir a complexidade das questões sociocientíficas; por outro lado, se orientada para o questionamento e a reflexão, pode, de fato, contribuir para a formação de sujeitos capazes de interpretar e intervir criticamente em seu contexto. Assim, a contribuição da IA para a AC deve ser compreendida menos como um efeito direto da tecnologia e mais como resultado das escolhas pedagógicas que orientam sua utilização.

Em continuidade à análise anterior, um dos resultados frequentemente destacados refere-se ao desenvolvimento de competências de pensamento de ordem superior. Estudos envolvendo o InquiryGPT indicam diferenças estatisticamente significativas em dimensões como criatividade, resolução de problemas e pensamento crítico quando comparados a grupos que utilizaram IA de forma irrestrita. De modo semelhante, o Inq-ITS aponta avanços em habilidades como planejamento investigativo, gerenciamento de dados e identificação de padrões ou irregularidades, sugerindo impactos que extrapolam medidas tradicionais de desempenho cognitivo. No entanto, à luz de uma leitura crítica alinhada ao EnCI, é necessário problematizar tais evidências. Em primeiro lugar, a mensuração dessas competências nem sempre explicita em que medida os estudantes desenvolveram compreensão conceitual profunda ou autonomia intelectual, podendo refletir, em parte, a internalização de estruturas e estratégias fortemente mediadas pelos próprios sistemas. Além disso, a comparação com usos irrestritos da IA tende a reforçar um contraste que, embora relevante, pode simplificar o problema, ao não considerar diferentes formas de mediação pedagógica possíveis no uso mais aberto dessas ferramentas.

Assim, ainda que os resultados sugiram que ambientes investigativos mediados por IA possam favorecer o desenvolvimento de competências de pensamento de ordem superior, isso parece depender menos da tecnologia em si e mais do modo como ela é integrada ao desenho didático. Em consonância com a análise anterior, o risco de dependência de respostas prontas permanece quando a mediação privilegia eficiência e correção em detrimento da problematização e da reflexão. Por outro lado, quando inserida em propostas investigativas rigorosamente estruturadas, a IA pode contribuir para sustentar processos cognitivos mais complexos. Ainda assim, é preciso cautela para não confundir desempenho em tarefas estruturadas com efetivo desenvolvimento do pensamento científico, especialmente no que se

refere à capacidade de transferir tais habilidades para novos contextos de forma autônoma e crítica.

A análise de conteúdo evidencia, de forma consistente, uma distinção fundamental entre “literacia digital”, entendida como a competência instrumental de uso das tecnologias, e “letramento digital”, que envolve sua apropriação crítica, ética e socialmente situada. Essa distinção é particularmente relevante quando articulada ao conceito de alfabetização científica, que, conforme proposto por Sasseron e Carvalho (2011), não se restringe à assimilação de conceitos, mas envolve a capacidade de analisar, avaliar e posicionar-se criticamente frente a informações e práticas científicas. À luz dessa aproximação conceitual, torna-se evidente que a simples inserção de ferramentas de IA no ensino de Ciências, ainda que favoreça a literacia digital, não garante, por si só, avanços na alfabetização científica, uma vez que esta exige o desenvolvimento de competências críticas que ultrapassem o uso instrumental das tecnologias. Não basta que os estudantes saibam operar sistemas como o ChatGPT; é imprescindível que desenvolvam a capacidade de avaliar a confiabilidade das informações produzidas, reconhecendo os limites epistemológicos dessas tecnologias. Isso implica compreender que a IA não é neutra, podendo gerar conteúdos imprecisos, além de reproduzir vieses, interesses e distorções presentes nos dados que a alimentam.

Sob a perspectiva do EnCI, esse aspecto assume centralidade, pois o trabalho com evidências, a argumentação e a validação de explicações exigem um posicionamento crítico diante das fontes de informação. Nesse sentido, a integração da IA só se alinha aos objetivos formativos da alfabetização científica quando acompanhada de práticas que problematizem seus usos, limites e implicações. Assim, mais do que ampliar o acesso à informação, trata-se de formar sujeitos capazes de interrogá-la, situá-la e utilizá-la de maneira responsável. As tensões e desafios decorrentes desse processo, como a confiabilidade das respostas, a presença de vieses e os riscos de dependência cognitiva, demandam uma análise mais aprofundada, a qual será desenvolvida em categoria específica ao longo deste trabalho.

4.5 Desafios Éticos, Práticos e Estruturais na Integração da IA

Considerando as análises anteriormente desenvolvidas, a integração da inteligência artificial ao ensino de Ciências evidencia um conjunto de desafios que não podem ser compreendidos como aspectos periféricos, mas como elementos estruturantes do próprio processo de incorporação dessas tecnologias. Tais desafios manifestam-se em diferentes dimensões, incluindo questões éticas, práticas e estruturais, e atravessam desde a confiabilidade

e os vieses dos sistemas até as condições concretas de uso nas escolas e a formação docente necessária para sua mediação. Nesse sentido, torna-se fundamental explicitar essas tensões, não como obstáculos isolados, mas como componentes constitutivos de um cenário complexo, no qual o potencial formativo da IA está intrinsecamente ligado às condições sob as quais é apropriado no contexto educativo.

4.5.1 Desafios Éticos e Privacidade de Dados

A privacidade e a segurança dos dados dos estudantes aparecem como uma grande preocupação nas narrativas. O uso extensivo de IA na coleta e análise de dados para fins de personalização levanta riscos de monitoramento indevido e vigilância algorítmica (Puertas, 2024). Além disso, há uma preocupação com relação a perpetuação de desigualdades ao reproduzir vieses presentes em suas bases de dados de treinamento, o que pode resultar em discriminação algorítmica e na exclusão de grupos minoritários. A falta de transparência nos processos de decisão automatizada das plataformas educacionais desafia a autonomia pedagógica e exige uma postura vigilante das instituições (Martins; Batista; Jardim, 2025; Parreira, 2025).

De acordo com Martins, Batista e Jardim (2025) o marco referencial de competências em IA para professores destaca a dimensão ética e de valores, que orienta professores a compreender riscos como vieses algorítmicos, privacidade e desigualdade, além de aplicar princípios éticos de maneira transversal. O documento amplia a contribuição desses estudos, fornecendo estratégias para que a ética não seja apenas objeto de reflexão, mas elemento constitutivo da prática docente.

4.5.2 Barreiras Práticas e Infraestrutura Escolar

A carência de infraestrutura tecnológica adequada é identificada como um obstáculo estrutural que pode aprofundar o abismo de desigualdades de acesso ao mundo digital (Martins; Batista; Jardim, 2025). Isso inclui acesso à internet de alta velocidade, equipamentos tecnológicos adequados, laboratórios virtuais, e suporte técnico contínuo para professores e estudantes. A falta desses recursos em muitas escolas, especialmente em regiões menos favorecidas, é um desafio que precisa ser enfrentado para garantir uma implementação equitativa e eficaz (Parreira, 2025).

A resistência docente também é apontada como um fator crítico. Muitos professores sentem-se inseguros ou desconfiados em relação à IA, muitas vezes devido à falta de formação específica. A análise aponta que a profissão docente tornou-se mais complexa, exigindo que o professor lide com o conhecimento em construção e atue como curador de sistemas tecnológicos que ele nem sempre domina plenamente (Martins; Batista; Jardim, 2025; Parreira, 2025).

4.5.3 Limitações Técnicas e "Alucinações"

No que se refere às limitações técnicas, um dos aspectos mais críticos diz respeito à ocorrência das chamadas “alucinações”, nas quais sistemas de IA, como chatbots, produzem informações imprecisas, inconsistentes ou até mesmo incorretas, frequentemente apresentadas com aparência de rigor científico. Esse fenômeno tensiona diretamente os pressupostos do EnCI, especialmente no que concerne ao trabalho com evidências e à validação do conhecimento. Ao incorporar tais ferramentas no contexto educacional sem a devida problematização, corre-se o risco de legitimar informações equivocadas, comprometendo a construção de significados científicos pelos estudantes. Nesse cenário, a literatura tem enfatizado a necessidade de uma curadoria docente contínua, entendida não apenas como verificação pontual de conteúdos, mas como mediação ativa que envolve a validação crítica das informações geradas, a comparação com fontes confiáveis e o estímulo à dúvida e ao questionamento por parte dos estudantes. Assim, mais do que um suporte à aprendizagem, o uso de IA exige a construção de práticas pedagógicas que tornem explícitos seus limites, deslocando o foco da aceitação acrítica para a análise fundamentada, condição indispensável para a preservação da integridade científica no processo educativo e aspecto para o qual os princípios do EnCI são de grande contribuição.

4.5.4 Sobre-dependência e Perda de Autonomia

A literatura aponta ainda a existência do risco ético de os estudantes se tornarem excessivamente dependentes da IA para respostas diretas, em detrimento do engajamento em processos de investigação e construção do conhecimento. Tal dinâmica pode enfraquecer dimensões centrais da aprendizagem científica, como a formulação de hipóteses, a tomada de decisões fundamentadas e a elaboração de explicações próprias, reduzindo o papel do estudante a um executor de soluções externas. Sob a perspectiva do EnCI, essa questão

assume particular relevância, uma vez que a autonomia intelectual constitui um de seus pilares fundamentais. Nesse sentido, o uso indiscriminado da IA pode interromper o ciclo investigativo, ao substituir etapas essenciais como o enfrentamento do erro, a análise de alternativas e a validação de evidências. Para mitigar esse risco, torna-se imprescindível uma mediação pedagógica intencional, que reposicione a IA não como fonte de respostas, mas como instrumento de problematização, incentivando os estudantes a justificar, confrontar e reconstruir as informações obtidas. Assim, mais do que restringir o uso da tecnologia, o desafio reside em integrá-la de modo a preservar, e potencialmente ampliar, a autonomia dos sujeitos.

Nesse contexto, destaca-se a importância de trabalhar com problemas cuja resolução não possa ser obtida de forma imediata por meio de uma resposta gerada por IA. Questões complexas, contextualizadas e abertas, especialmente quando inseridas em projetos investigativos de maior duração, tendem a exigir dos estudantes a mobilização de diferentes conhecimentos, a coleta e análise de evidências, a tomada de decisões e a construção progressiva de explicações. Nesses casos, a tecnologia pode atuar como fonte de apoio ao longo do percurso, sem substituir o processo investigativo em si. Além de favorecer aprendizagens mais profundas, essa abordagem contribui para atribuir maior sentido às atividades desenvolvidas, uma vez que o conhecimento deixa de ser mobilizado apenas para responder perguntas previamente definidas e passa a ser construído em função de desafios autênticos, cuja resolução demanda envolvimento, persistência e participação ativa dos estudantes. Essa perspectiva dialoga com diversas metodologias ativas identificadas na literatura, como a aprendizagem baseada em projetos e a aprendizagem baseada em problemas, que, podem ser desenvolvidas sob os pressupostos do EnCI, fortalecendo a autonomia intelectual, a capacidade investigativa, a argumentação fundamentada e a construção coletiva do conhecimento, reduzindo a tendência de utilização da IA como mera fonte de respostas prontas.

4.5.5 Enganando o Sistema (*Gaming the System*)

No contexto do uso de sistemas tutores inteligentes, observa-se um fenômeno conhecido como *gaming the system*, no qual os estudantes adotam estratégias para contornar as exigências do sistema, realizando ações repetitivas ou superficiais com o objetivo de obter dicas ou respostas rápidas e, assim, avançar nas tarefas sem engajamento cognitivo efetivo. Esse cenário reforça a necessidade de um desenho pedagógico e tecnológico que valorize a argumentação, a

justificativa e a validação de ideias, dificultando estratégias de evasão cognitiva e promovendo o envolvimento genuíno dos estudantes com os problemas investigados.

Em outras palavras, quando o estudante passa a concentrar seus esforços em descobrir como obter recompensas, pontuações, feedbacks positivos ou concluir tarefas com o menor esforço cognitivo possível, o foco desloca-se da aprendizagem para a otimização do desempenho dentro das regras do sistema. O problema, portanto, não está apenas no comportamento do estudante, mas também na forma como a atividade foi concebida.

Isso dialoga diretamente com as preocupações relacionadas aos processos de plataformização que tem acontecido em estados como São Paulo e Paraná, uma vez que se a educação passa a ser orientada prioritariamente por indicadores, métricas e resultados observáveis, existe o risco de que estudantes aprendam a "jogar o jogo" sem necessariamente desenvolver compreensão profunda, autonomia intelectual ou capacidade investigativa. Nesse sentido, o *gaming the system* guarda certa semelhança com fenômenos observados em avaliações padronizadas, nas quais o objetivo pode deslocar-se da aprendizagem para a maximização do desempenho na prova.

Enfrentar o fenômeno exige o deslocamento do foco em recompensas externas para o significado e o propósito das atividades propostas. Quando os estudantes compreendem a relevância do problema investigado e percebem sentido no processo de aprendizagem, a tendência de buscar apenas estratégias para maximizar pontuações, concluir tarefas rapidamente ou obter validações imediatas tende a ser reduzida. Nesse contexto, torna-se importante propor desafios autênticos, relacionados a questões que despertem curiosidade, envolvimento e interesse genuíno, favorecendo uma motivação que não dependa de mecanismos externos de recompensa. Metodologias ativas orientadas pelos pressupostos do EnCI podem contribuir nesse sentido ao envolver os estudantes em problemas complexos, abertos e socialmente significativos, nos quais o valor da atividade não se encontra apenas no resultado final, mas no próprio percurso investigativo. Dessa forma, a aprendizagem deixa de ser percebida como uma sequência de etapas a serem vencidas para obtenção de recompensas e passa a constituir uma oportunidade de compreender fenômenos, construir conhecimentos e participar ativamente na busca por soluções para problemas considerados relevantes para sociedade.

4.5.6 Formação de Professores: para muito além da técnica

A grande maioria dos estudos analisados nesta revisão de conteúdo evidenciam a importância de uma formação docente adequada para responder às demandas do novo cenário educacional. Martins, Batista e Jardim (2026) alertam para a urgência de uma formação docente que integre dimensões técnicas, pedagógicas e éticas, em sintonia com diretrizes internacionais, como o Marco de Competências em IA para Professores da Unesco, documento que organiza 15 competências em cinco dimensões, apresentando estratégias que orientam os professores a construir conhecimento sobre IA, aplicar princípios éticos em sua prática e promover seu desenvolvimento profissional contínuo. Mais do que dominar ferramentas, os autores entendem que os professores precisam desenvolver competências para refletir criticamente sobre o uso da IA e garantir que ela contribua para aprendizagens significativas. Nesse contexto, torna-se necessário que o professor não apenas saiba usar as ferramentas, mas saiba adaptá-las criticamente ao contexto da ciência escolar.

Sobre esse aspecto, argumentamos que a promoção da alfabetização científica dos estudantes demanda, necessariamente, a constituição de processos formativos que contemplem a alfabetização científica dos próprios professores. À luz das contribuições de Sasseron e Carvalho (2011), não se trata de uma formação centrada na ampliação meramente conteudista, mas no desenvolvimento da compreensão da ciência como prática social, investigativa e argumentativa, que envolve o uso de evidências, a problematização e a tomada de decisões fundamentadas. Nesse sentido, professores que não vivenciaram esse tipo de abordagem em sua própria formação tendem a reproduzir práticas transmissivas, com pouca ênfase na investigação e na construção de sentido pelos estudantes. Tal limitação torna-se ainda mais evidente no contexto contemporâneo, marcado pela crescente presença de tecnologias baseadas em inteligência artificial, cujo uso pedagógico exige competências de análise crítica, validação de informações e compreensão de seus limites epistemológicos.

Assim, investir na alfabetização científica docente constitui condição indispensável para que o professor possa atuar como mediador qualificado, capaz de integrar a IA de forma crítica e intencional ao Ensino de Ciências. O estudo de Kotsis (2024) enfatiza a necessidade de programas de desenvolvimento profissional abrangentes, incluindo oficinas práticas, planejamento colaborativo e redes de apoio contínuo, bem como o acesso a recursos didáticos específicos e acompanhamento por mentores, de modo a assegurar não apenas a apropriação técnica da ferramenta, mas sua integração pedagógica coerente com os princípios do ensino por investigação. No contexto brasileiro, tendo em vista a intensa rotina de trabalho a que boa parte

dos professores já estão submetidos, entendemos que essa formação não deve sobrecarregar ainda mais a rotina docente, mas permeá-la, de modo leve e contínuo. Particularmente, acreditamos que tal proposta seria mais eficaz se realizada em um modelo de gestão colaborativa, onde grupos de especialistas se aproximassem das escolas e promovessem uma rotina envolvente de trabalho, onde os professores pudessem entrar em uma dinâmica, junto aos estudantes, em que o crescimento e a mudança adaptativa sejam permanentes.

4.6 A contribuição do Ensino por Investigação (EnCI) para o cenário da IA

Com base nas evidências levantadas, argumenta-se que o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) configura-se não como uma proposta emergente, mas como um caminho teórico-metodológico já consolidado que pode contribuir de maneira decisiva para a integração crítica da inteligência artificial no ensino de Ciências, permitindo que a IA seja utilizada não como uma fonte de respostas, mas como uma ferramenta que amplia as possibilidades de mediação e exploração do processo de investigação. Conforme discutido, a integração da IA sem a devida intencionalidade pedagógica corre o risco de automatizar a "educação bancária", onde sistemas tutores inteligentes e chatbots educacionais colocam os estudantes em uma postura passiva de receptáculos de informação, fortalecendo modelos tradicionais de ensino que se mostram crescentemente desalinhados dos objetivos formativos demandados pelo contexto contemporâneo. A emergência de uma tecnologia que nos força a revisitar a noção de quem somos como seres humanos — por reproduzir nossa linguagem e avançar crescentemente na execução de tarefas que antes eram exclusivas do raciocínio humano — exige que esses objetivos se aproximem cada vez mais de um desenvolvimento verdadeiramente humano e integral. Em contraste, o EnCI baseia-se na problematização, na construção de hipóteses, no uso de evidências e na argumentação, elementos que tensionam o uso meramente instrumental da IA e exigem a participação ativa dos estudantes. Nesse sentido, ao invés de permitir que a IA conduza o processo de aprendizagem por meio de respostas prontas e automatizadas, o EnCI a reposiciona como mediadora do pensamento, subordinando seu uso a objetivos investigativos mais amplos.

Além disso, ao valorizar o erro como parte constitutiva da aprendizagem, a explicitação do raciocínio e a validação de explicações, o EnCI cria condições para que os estudantes desenvolvam não apenas literacia digital, mas um letramento digital crítico articulado à alfabetização científica. Dessa forma, frente aos riscos de superficialidade, dependência cognitiva e opacificação dos processos de conhecimento associados ao uso da IA, o EnCI

apresenta-se como um referencial capaz de orientar práticas pedagógicas que preservem a centralidade da ação intelectual, da autonomia e da reflexão crítica, contribuindo para a formação de sujeitos aptos a compreender e intervir em uma realidade cada vez mais mediada por tecnologias ditas inteligentes. A força do EnCI reside, portanto, em sua capacidade de ancorar as inovações tecnológicas em princípios pedagógicos sólidos, favorecendo a formação de sujeitos autônomos e conscientes de seu papel na sociedade. A jornada investigativa, agora amplificada pela IA, continua sendo um ato humano de curiosidade e descoberta, uma expressão da vontade e da inquietação diante do desconhecido.

Ao incorporar a investigação como eixo estruturante, promove a contextualização da tecnologia, permitindo que passe a ser compreendida como uma ferramenta a serviço da Alfabetização Científica, de modo a transformar a ciência escolar em uma ferramenta de compreensão e intervenção na realidade. Além disso, o EnCI favorece o protagonismo estudantil ao posicionar o estudantes no centro do processo educativo, enquanto a IA pode atuar como um suporte que amplia sua capacidade de ação e expressão, viabilizando investigações que, em muitos casos, seriam tecnicamente inviáveis no tempo e nas condições da escola.

Nesse contexto, com base na análise do corpus documental, a integração da inteligência artificial ao ciclo investigativo pode ocorrer de forma articulada em diferentes etapas, potencializando a aprendizagem sem substituir o protagonismo discente. Na fase de problematização, a IA pode atuar na geração de cenários complexos e simulações que despertem o interesse e instiguem o desejo de investigar, ampliando as possibilidades de contextualização dos fenômenos estudados. No levantamento de hipóteses, ferramentas como chatbots podem desempenhar o papel de “oponentes lógicos”, questionando suposições iniciais e incentivando os estudantes a refinar seus argumentos com maior rigor científico. Já na etapa de sistematização, a IA pode contribuir para a organização e o tratamento de grandes conjuntos de dados experimentais, permitindo que o foco do estudante se concentre na análise crítica, em vez de se limitar a procedimentos repetitivos de cálculo. Além disso, pode apoiar a construção de argumentos estruturados, fortalecendo a clareza, a coerência e o rigor das explicações produzidas.

No que se refere às limitações técnicas, particularmente às chamadas “alucinações”, o EnCI oferece um referencial particularmente potente para enfrentamento desse desafio. Isso porque, ao estruturar o processo de aprendizagem em torno da problematização, do uso de evidências e da validação de explicações, desloca o foco da aceitação de respostas para sua constante verificação e questionamento. Nessa perspectiva, respostas geradas por chatbots não devem ser tomadas como fontes, mas como objetos de análise, passíveis de confronto com

dados empíricos, literatura científica e argumentação coletiva. Tal abordagem reduz o risco de incorporação acrítica de informações equivocadas, ao mesmo tempo em que transforma as próprias limitações da IA em oportunidades formativas, ao explicitar a necessidade de critérios de validação do conhecimento. Ainda assim, esse processo não prescinde de uma atuação docente intencional, que organize situações investigativas nas quais os estudantes sejam levados a testar, comparar e justificar informações, em vez de apenas utilizá-las. Dessa forma, o EnCI não elimina os riscos associados às “alucinações”, mas cria condições epistemológicas e pedagógicas para que eles sejam reconhecidos, problematizados e incorporados ao processo de construção do conhecimento científico.

O presente estudo evidenciou que, em grande parte dos trabalhos analisados fundamentados no EnCI, a inteligência artificial deixa de ser compreendida apenas como um recurso instrumental e passa a assumir o papel de coorientadora, além ampliar as possibilidades de exploração. À luz da perspectiva de Vygotsky, autores como Villan e Santos (2023) argumentam que a IA pode ser compreendida como um mediador cultural estendido, capaz de ampliar a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) tanto de estudantes quanto de professores. Nessa condição, o coorientador digital possibilita a exploração de temáticas complexas, que frequentemente ultrapassam o domínio técnico imediato do docente.

Ademais, a integração crítica da IA, sob a lógica investigativa, prepara o estudante para viver em uma sociedade onde os algoritmos mediam as relações de poder. O EnCI favorece o desenvolvimento da consciência crítica, o que é fundamental para navegar em um mar de desinformação gerada pelas IAs. O cenário que se descortina não é de substituição do professor por tutores ditos inteligentes com o objetivo de fortalecer a "educação bancária", mas de uma redefinição de seu papel como mediador de um ecossistema de aprendizagem mais dinâmico, personalizado e rico em possibilidades. A integração da IA no Ensino de Ciências não deve ser um fim em si mesma, mas um meio para atingir os objetivos da AC, promovendo uma educação que fortalece a consciência crítica, emancipa o sujeito e o prepara para enfrentar os desafios de um mundo tecnologicamente mediado.

Por outro lado, a literatura indica que a IA pode ser mobilizada não apenas como ferramenta, mas também como objeto de investigação e análise crítica no contexto do EnCI. Nesse sentido, Ktosis (2024) argumenta que a IA pode constituir-se como objeto de estudo para os próprios estudantes, os quais podem formular hipóteses acerca da acurácia e dos possíveis vieses das respostas geradas, bem como delinear e conduzir investigações com vistas à sua testagem empírica. Sustenta-se que a prática do EnCI pode ser direcionada para que estudantes avaliem capacidades e riscos da IA, usando a investigação como ambiente para testar e validar

produções de modelos. Essa lógica invertida transforma ferramentas de IA em objetos de investigação científica pelos estudantes, promovendo atividades como: (1) design experimental para testar hipóteses sobre acurácia ou vieses de respostas de IA; (2) validação empírica de afirmações geradas por IA confrontando-as com evidências empíricas ou bases de referência; (3) análise crítica de fontes para explorar como a IA sintetiza informação, verificando fontes, omissões e generalizações; e (4) reflexão ética e sociotécnica sobre privacidade, representatividade e impactos sociais das aplicações testadas.

Assim, o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) desponta como uma abordagem de reconhecida potência pedagógica para a compreensão das múltiplas dimensões que envolvem a inteligência artificial no mundo contemporâneo. Ao mobilizar práticas como problematização, formulação de hipóteses, análise de evidências e argumentação, o EnCI cria condições para que os estudantes não apenas utilizem tecnologias de IA, mas as examinem de modo crítico e fundamentado, investigando sua confiabilidade, seus limites e seus desdobramentos sociais e éticos. Tal articulação revela-se especialmente potente, na medida em que se mostram alinhadas aos objetivos formativos que a literatura sobre integração da IA na educação vem identificando como centrais diante das transformações contemporâneas, como pensamento crítico, autonomia intelectual e tomada de decisão informada, pois já constituem elementos estruturantes dessa abordagem. O EnCI oferece, assim, um caminho consistente para a formação de sujeitos capazes de compreender e intervir, de forma responsável e reflexiva, em uma realidade crescentemente mediada por sistemas de inteligência artificial.

4.7 Transdisciplinaridade no Ensino de Ciências por Investigação: fundamentos para uma análise complexa do mundo, da realidade e da vida humana

Conforme discutido na revisão de literatura, uma compreensão mais ampla a respeito dos mecanismos que estão por trás da IA tem o potencial de subsidiar reflexões mais profundas sobre o entendimento desses processos em relação ao pensamento humano. Mas afinal, a IA pensa, ou não pensa? Esse tipo de reflexão é fundamental para que se possa delinear adequadamente as bases da educação do futuro. À luz da análise do corpus investigado, evidenciou-se que boa parte de seus mecanismos teve inspiração no próprio cérebro humano e que a matemática permeia todo seu funcionamento. As discussões filosóficas devem envolver, portanto, a busca da compreensão da própria matemática, examinando não apenas seus fundamentos ontológicos, mas também as bases epistemológicas que sustentam sua validade e seu conhecimento. Precisamos refletir não apenas sobre seus resultados, mas também sobre o

que ela é e como chegamos a conhecê-la. Mas afinal, foi o homem que inventou a matemática, ou ela foi descoberta pelo homem? Embora essas pareçam discussões restritas ao contexto filosófico, distantes e desnecessárias para o contexto educacional, e das quais viemos fugindo a bastante tempo, o momento não nos permite mais deixá-las de lado. Se uma tecnologia é capaz de simular nossa linguagem e aspectos do nosso pensamento por meio de operações matemáticas e computacionais, talvez isso esteja nos mostrando algo muito mais profundo sobre a própria estrutura da realidade.

O avanço da ciência moderna foi acompanhado por um processo crescente de especialização do conhecimento. Embora esse movimento tenha possibilitado extraordinários avanços científicos e tecnológicos, também contribuiu para a fragmentação da compreensão da realidade em compartimentos cada vez mais especializados. À medida que os campos do conhecimento se tornaram mais específicos, ampliou-se a capacidade de compreender aspectos particulares dos fenômenos, mas, em muitos casos, reduziu-se a atenção dedicada às relações que conectam esses fenômenos a contextos e perspectivas mais amplas que viabilizariam uma visão mais integrada de tudo que se manifesta. Conforme argumenta Nicolescu (1999), a complexidade do mundo contemporâneo desafia abordagens que se limitam a um único nível de realidade ou a uma única perspectiva disciplinar, exigindo formas de conhecimento capazes de articular diferentes dimensões da realidade e da experiência humana.

Um exemplo frequentemente observado pode ser encontrado na área da saúde. Em abordagens fortemente especializadas, determinados sintomas tendem a ser analisados prioritariamente em sua manifestação local, direcionando a atenção para intervenções pontuais sobre o problema identificado. Em contrapartida, perspectivas mais integradoras procuram compreender o fenômeno em sua inserção em um sistema mais amplo de relações, considerando hábitos de vida, aspectos emocionais, condições ambientais e outros fatores que possam participar de sua origem e desenvolvimento. Sob essa ótica, o organismo é entendido como uma realidade complexa e profundamente interconectada, na qual cada célula, tecido e órgão participa de uma dinâmica mais ampla que não pode ser reduzida ao funcionamento isolado de suas partes. Desse modo, aquilo que se manifesta localmente é também interpretado em relação ao equilíbrio do conjunto, reconhecendo-se que a compreensão dos fenômenos exige atenção não apenas aos seus efeitos imediatos, mas também às redes de relações das quais emergem. Independentemente das especificidades de cada tradição médica, o contraste evidencia uma questão epistemológica mais profunda: compreender um fenômeno não implica apenas analisar suas partes isoladamente, mas também reconhecer as interações que o constituem.

As reflexões anteriores conduzem a uma questão que ultrapassa os limites das discussões estritamente pedagógicas. Se a emergência da inteligência artificial exige uma formação cada vez mais integral, torna-se inevitável perguntar: como se pode falar em formação integral sem uma compreensão mais profunda da própria integralidade do ser humano? Essa questão remete a um desafio que antecede as escolhas metodológicas, curriculares ou tecnológicas da educação. Antes de decidir o que ensinar, como ensinar ou quais tecnologias incorporar ao ambiente escolar, torna-se necessário refletir sobre qual concepção de ser humano orienta tais decisões.

Sob essa perspectiva, a relevância da abordagem transdisciplinar não se limita à articulação entre diferentes áreas do conhecimento. Ela decorre da necessidade de investigar dimensões mais profundas da realidade que frequentemente permanecem ausentes dos debates educacionais. Questões políticas, econômicas, administrativas e tecnológicas possuem inegável importância e produzem efeitos concretos sobre os sistemas de ensino. Contudo, tais fenômenos podem também ser compreendidos como manifestações de pressupostos mais fundamentais acerca da natureza humana, da estrutura da realidade e das finalidades da própria educação. Em outras palavras, aquilo que se expressa nas políticas educacionais, nos modelos de gestão ou mesmo em processos como a plataformização do ensino pode ser interpretado como consequência de concepções prévias — muitas vezes implícitas — sobre o que significa educar, desenvolver um ser humano e, antes de tudo, sobre o que significa ser humano.

Retomando a analogia anteriormente apresentada, pode-se inferir que concentrar toda a atenção nos efeitos, sem investigar suas causas mais profundas, assemelha-se à tentativa de tratar indefinidamente os sintomas de um desequilíbrio sem buscar compreender as suas verdadeiras causas. Evidentemente, os efeitos merecem atenção, pois são eles que se manifestam de forma visível e afetam concretamente a vida das pessoas. Entretanto, uma compreensão verdadeiramente ampla dos fenômenos exige também um movimento em direção às suas raízes, pois o tratamento de seus efeitos, embora muitas vezes necessário, raramente é suficiente para restaurar o equilíbrio quando as causas que lhes deram origem permanecem inalteradas. Toda tentativa de transformação que permaneça restrita aos efeitos tende a produzir apenas soluções provisórias. A transformação efetiva exige a disposição de investigar aquilo que sustenta o problema em sua origem, e não apenas aquilo que se manifesta em sua superfície. A verdadeira superação de um problema requer a compreensão das causas que o geram, pois é nelas que reside a possibilidade de restaurar o equilíbrio e promover mudanças genuínas e duradouras. Os efeitos costumam ser ruidosos e imediatamente perceptíveis; as causas, por sua vez, tendem a permanecer silenciosas, ocultas sob as estruturas que sustentam aquilo que se

torna visível. Assim como as raízes alimentam a árvore sem serem vistas e os alicerces sustentam silenciosamente uma edificação, determinadas concepções sobre a natureza humana e sobre a estrutura da realidade influenciam silenciosamente a organização das instituições, das políticas e dos sistemas educacionais.

Essa discussão adquire contornos ainda mais significativos diante da emergência da inteligência artificial. Frequentemente, os avanços tecnológicos são apresentados como instrumentos destinados a liberar os seres humanos do trabalho. Entretanto, uma leitura alternativa sugere que as grandes transformações tecnológicas da história não eliminam a necessidade do desenvolvimento humano, mas deslocam suas exigências. Cada revolução tecnológica modifica as atividades que ocupam o centro da vida social e, ao fazê-lo, desafia os indivíduos a desenvolver novas formas de compreensão, atuação e participação no mundo. Sob essa perspectiva, a tecnologia não representa apenas um mecanismo de substituição de tarefas, mas também um fator de reorganização das demandas formativas colocadas às sociedades.

Nesse sentido, os desafios suscitados pela inteligência artificial parecem recolocar em evidência questões que permanecem abertas há séculos. Se máquinas passam a desempenhar com crescente eficiência tarefas tradicionalmente associadas ao raciocínio humano, a discussão educacional é impelida a revisitar perguntas ainda mais fundamentais: o que significa ser humano? Quais são as finalidades mais profundas da educação? Que dimensões do desenvolvimento humano merecem ser cultivadas em uma época marcada pela expansão das capacidades tecnológicas? Em que direção deve avançar a educação quando as tecnologias passam a assumir parte crescente das atividades que, até recentemente, eram consideradas expressão máxima da inteligência? O que, de fato, significa inteligência? Continuamos acreditando que a inteligência humana é superior a inteligência artificial? Que aspectos a torna superior? A busca por respostas a essas questões não elimina a importância das análises políticas, econômicas ou pedagógicas, mas pode oferecer um horizonte mais amplo a partir do qual elas próprias possam ser compreendidas.

Essa reflexão permite lançar um novo olhar sobre fenômenos contemporâneos como a própria platformização da educação discutida por Alves e Sousa (2025) e por Santos (2025). Frequentemente, os debates concentram-se em seus efeitos mais visíveis — a perda de autonomia docente, a intensificação do controle, a padronização curricular, a sobrecarga de trabalho ou os impactos sobre a saúde dos profissionais da educação. Embora tais questões sejam inegavelmente relevantes, uma análise mais profunda convida a investigar os pressupostos que tornam tais processos possíveis e desejáveis. Afinal, por quais razões sistemas educacionais passam a considerar desejável a substituição progressiva da autonomia por

mecanismos de controle, da reflexão por indicadores e da formação humana por métricas de desempenho? Sob essa perspectiva, a plataforma pode ser compreendida não apenas como um problema técnico, administrativo ou tecnológico, mas como a manifestação de concepções equivocadas acerca da natureza da realidade, do ser humano e das finalidades da educação. Se essas concepções permanecerem inquestionadas, existe o risco de que diferentes soluções sejam propostas para os mesmos sintomas, sem que as causas que os produzem sejam efetivamente enfrentadas.

Faz-se necessário, neste ponto, uma reflexão a respeito de que já passamos por outras revoluções tecnológicas em que o trabalho manual veio sendo gradativamente substituído por máquinas. Neste contexto, era claro que, em nosso ciclo evolutivo enquanto humanidade, estávamos sendo chamados a desenvolver as faculdades relacionadas ao pensamento lógico, analítico e discursivo, e assim viemos fazendo. Ocorre que agora chegamos em uma etapa em que as máquinas gradativamente vêm se aprimorando no sentido de poder nos apoiar cada vez mais em trabalhos que demandam o exercício dessas faculdades. O que estamos sendo chamados a desenvolver neste novo contexto? Será que a possibilidade de redução do esforço cognitivo, diante das altas demandas por produtividade, não nos convida a avançar no desenvolvimento consciente de faculdades que sejam superiores ao tão valorizado pensamento lógico, analítico e discursivo? Que cenários futuros podemos projetar para os próximos 10, 20 e 30 anos e como o sistema educacional pode realmente se preparar para os novos avanços? Se as máquinas continuarem a se aperfeiçoar naquilo para que foram concebidas, não seríamos convidados a refletir sobre a existência de outras potencialidades humanas ainda pouco exploradas? O que significa ser humano? Seria o pensamento lógico, analítico e discursivo a expressão mais elevada da nossa inteligência ou existiriam dimensões ainda insuficientemente compreendidas que transcendem essas faculdades? Se existem outras faculdades, como podemos desenvolvê-las e como o sistema educacional pode realmente contribuir? Entende-se aqui que educadores e desenvolvedores de políticas públicas terão que se debruçar cada vez mais sobre a compreensão da verdadeira natureza humana e do verdadeiro significado da palavra inteligência para que estejam realmente aptos a conduzir a humanidade rumo aos novos degraus.

Tendo em vista os argumentos expostos, propõe-se que uma perspectiva transdisciplinar, com base nos trabalhos de Nicolescu (1999), pode ser adotada nesse sentido, propiciando uma abertura para tudo aquilo que está entre, além e através das disciplinas. Essa perspectiva, que se opõe a fragmentação do conhecimento, pode favorecer a aproximação de uma compreensão mais ampla a respeito do caminho que estamos sendo convocados a trilhar e

como a educação poderá realmente contribuir para seguirmos avançando, em um momento em que as máquinas estão sendo desenvolvidas no sentido de poder nos apoiar cada vez mais em trabalhos que envolvem o pensamento lógico, analítico e discursivo, ampliando ainda suas possibilidades de trabalho manual. Será que não estamos sendo chamados a ir além?

Sob essa perspectiva, o fortalecimento de práticas transdisciplinares na educação pode ser compreendido também como um compromisso de longo prazo com a formação das futuras gerações. Afinal, as decisões políticas, econômicas e sociais que moldam as instituições não surgem de forma isolada, mas refletem visões de mundo, concepções de ser humano e compreensões da realidade que, consciente ou inconscientemente, orientam a forma como indivíduos e sociedades interpretam a existência e organizam a vida coletiva. Se os desafios contemporâneos possuem raízes profundas, é igualmente nas bases dessas compreensões que devem ser buscadas as condições para sua transformação.

E aqui, mais uma vez, o Ensino de Ciências por Investigação pode oferecer contribuições decisivas, no sentido de favorecer o desenvolvimento das habilidades necessárias para as reflexões que o momento exige. Mas, a fim de despertar nos docentes e discentes um caráter investigativo mais profundo, propõe-se que essas investigações tenham um enfoque transdisciplinar, com abertura para tudo aquilo que está entre, além e através das disciplinas, favorecendo, assim, as reflexões profundas e filosóficas que o momento exige. Neste contexto, propõe-se também práticas relacionadas ao silêncio, ao relaxamento e a abstração que favoreçam o discernimento, a criatividade e a inspiração genuína.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As análises desenvolvidas ao longo deste trabalho permitem sustentar que o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) se configura como uma perspectiva teórico-metodológica potente para promover a análise crítica das potencialidades, dos desafios e dos impactos da Inteligência Artificial no mundo contemporâneo. Ao estruturar-se em torno da problematização, do uso de evidências, da argumentação e da construção de explicações fundamentadas, o EnCI oferece instrumentos epistemológicos que permitem não apenas incorporar a IA de forma estratégica ao Ensino de Ciências, mas também interrogá-la, compreendê-la em seus limites e em seus fundamentos, refletir sobre suas origens e implicações para humanidade, além de situá-la em contextos sociais mais amplos.

Nesse sentido, evidenciou-se que a IA, ao mesmo tempo em que amplia possibilidades de acesso à informação, personalização da aprendizagem, análise de dados e estratégias de

mediação pedagógica, também introduz desafios significativos, como a produção de informações imprecisas, a presença de vieses, a opacidade dos sistemas e os riscos de dependência cognitiva. Cumpre destacar a concepção de aprendizagem subentendida pela admissão da IA na educação, que, ao dar centralidade ao indivíduo com a proposta de personalização, insinua rivalizar com a perspectiva da aprendizagem como um processo cognitivo mediado sócio-culturalmente e que, portanto, não é solitário. Soma-se a isso o fato de que determinadas formas de integração dessas tecnologias podem, paradoxalmente, reforçar lógicas próximas à chamada educação bancária, conforme problematizada por Paulo Freire, ao favorecerem a oferta de respostas prontas, a automatização de explicações e a redução do papel do estudante à recepção passiva de conteúdos. Nesses casos, a IA deixa de atuar como interface de apoio à investigação e passa a operar como um dispositivo de transmissão, esvaziando o potencial investigativo da aprendizagem. Tais aspectos, longe de serem apenas obstáculos técnicos, configuram-se como questões que demandam análise fundamentada, sendo o EnCI um caminho privilegiado para tal, ao promover práticas que incentivam a verificação de evidências, o confronto de fontes, a explicitação do raciocínio e a construção coletiva de argumentos sustentados, em oposição a uma lógica de assimilação acrítica de informações.

Evidenciou-se ainda, que a IA possui potencial significativo para apoiar e ampliar estratégias didático-pedagógicas fundamentadas no EnCI. Quando integrada de forma intencional, pode expandir as possibilidades desse referencial ao favorecer a problematização de fenômenos complexos, a simulação de ambientes investigativos, a análise de dados em maior escala e o acompanhamento mais próximo dos processos de aprendizagem. Nesse contexto, pode ainda atuar como mediadora que sustenta o ciclo investigativo, contribuindo para a formulação e refinamento de hipóteses, a explicitação do raciocínio e a construção de argumentos baseados em evidências. Contudo, tal potencial requer uma mediação pedagógica capaz de assegurar que a tecnologia atue como suporte aos processos de investigação, reflexão, argumentação e construção coletiva do conhecimento, e não como sua substituta, preservando o protagonismo dos estudantes. Além disso, ao favorecer a passagem da ação manipulativa para a ação intelectual, o EnCI contribui para que estudantes não apenas operem tecnologias baseadas em IA, mas desenvolvam condições de analisá-las criticamente, compreendendo suas implicações éticas, sociais e epistemológicas. Essa perspectiva amplia o alcance da alfabetização científica, permitindo que os sujeitos se posicionem de forma mais consciente diante de uma realidade cada vez mais mediada por sistemas de inteligência artificial.

No contexto analisado, verificou-se a emergência de um fenômeno que tem sido descrito na literatura como a plataformização da educação (Alves; Sousa, 2025; Santos, 2025). Em direção oposta ao que tem sido defendido no presente trabalho, a tecnologia deixa de ocupar uma função de suporte às práticas pedagógicas para assumir progressivamente o papel de elemento condutor da organização curricular, dos processos avaliativos e do próprio trabalho docente. Em determinados contextos, como os observados nos estados de São Paulo e Paraná, esse movimento tem se materializado por meio da ampliação de mecanismos de monitoramento, padronização e responsabilização baseados em plataformas digitais e indicadores de desempenho. Embora tais tecnologias apresentem potencial para apoiar processos educativos, sua utilização sob uma lógica predominantemente gerencial tem sido associada à redução dos espaços de autonomia pedagógica, à intensificação do controle sobre o trabalho docente e à diminuição das condições necessárias para o desenvolvimento de práticas investigativas, colaborativas e contextualizadas. Nesse cenário, a tecnologia deixa de atuar como instrumento a serviço dos objetivos educacionais e passa a influenciar a própria definição desses objetivos, produzindo tensões significativas com perspectivas que compreendem a aprendizagem como um processo socialmente mediado e voltado ao desenvolvimento integral dos sujeitos. Em um momento histórico marcado pelo avanço acelerado da inteligência artificial, essa discussão torna-se ainda mais relevante, uma vez que convida a repensar não apenas os meios utilizados, mas, sobretudo, suscitam reflexões sobre quais finalidades a educação deve perseguir e sobre quais condições pedagógicas são necessárias para promover o desenvolvimento equilibrado das múltiplas dimensões da experiência humana.

Observou-se, ainda, uma importante contradição entre diferentes esferas das políticas educacionais brasileiras. Ao mesmo tempo em que iniciativas federais, como o programa Ciência é 10! (Brasil, 2018b), investem na formação docente fundamentada em princípios alinhados ao Ensino de Ciências por Investigação, algumas políticas implementadas em nível estadual têm produzido condições que dificultam a concretização dessas mesmas práticas no cotidiano escolar. Tal cenário evidencia que a efetiva incorporação de abordagens investigativas não depende apenas da qualificação dos professores, mas também da existência de condições institucionais, curriculares e avaliativas compatíveis com seus pressupostos. Nesse sentido, torna-se necessário refletir sobre o papel desempenhado por sistemas de avaliação em larga escala, exames de ingresso no ensino superior e demais mecanismos de responsabilização educacional, uma vez que tais dispositivos frequentemente orientam as prioridades das escolas e influenciam diretamente as possibilidades de implementação de

práticas pedagógicas voltadas à investigação, à problematização da realidade e à construção significativa do conhecimento.

Outro aspecto central que emerge das análises realizadas refere-se à formação docente, condição indispensável para que a integração da IA ao ensino de Ciências se realize de forma crítica e pedagogicamente consistente. Não se trata apenas de capacitar professores para o uso técnico das ferramentas, mas de promover uma formação que os prepare para mediar processos de problematização, argumentação e validação de evidências em contextos permeados por tecnologias digitais. Nessa perspectiva, destaca-se a importância de uma formação voltada à alfabetização científica dos próprios professores, compreendida como desenvolvimento da capacidade de compreender a ciência como prática investigativa, argumentativa e socialmente situada. Tal formação é fundamental para que o docente possa mediar o uso da IA de maneira crítica. Além disso, para que seja efetiva, essa formação precisa estar articulada à rotina concreta do professor, considerando suas condições de trabalho, demandas curriculares e desafios cotidianos.

Entretanto, evidencia-se que a literatura brasileira que articula IA e EnCI ainda é incipiente, sobretudo no que se refere à escassez de estudos empíricos que analisem, de forma situada, as implicações dessa integração no contexto escolar. A ampliação de pesquisas empíricas em nível nacional torna-se, portanto, fundamental não apenas para aprofundar as discussões já existentes, mas também para compreender como essas propostas se materializam nas diferentes realidades educacionais do país, marcadas por desigualdades estruturais e condições heterogêneas de acesso às tecnologias. Além disso, tais investigações podem contribuir para identificar limites, potencialidades e efeitos concretos do uso da IA em práticas investigativas, subsidiando a construção de orientações pedagógicas mais consistentes e contextualizadas, permitindo que professores possam implementar abordagens investigativas de forma sustentável. Nesse sentido, o fortalecimento desse campo de pesquisa mostra-se essencial para evitar a adoção acrítica de tendências internacionais e para promover uma integração da IA ao ensino de Ciências que seja sensível às especificidades do contexto brasileiro.

Conclui-se que o principal contributo do EnCI, no contexto da inteligência artificial, reside em sua capacidade de sustentar uma abordagem investigativa que transforma a tecnologia em objeto de reflexão, e não apenas em ferramenta de uso. Dessa forma, mais do que orientar práticas pedagógicas, o EnCI se apresenta como um referencial capaz de qualificar a compreensão da própria IA como fenômeno contemporâneo, contribuindo para a

formação de sujeitos aptos a analisar, questionar e intervir criticamente nas transformações em curso na sociedade.

Nesse horizonte, a adoção de uma abordagem transdisciplinar revela-se especialmente relevante ao ampliar o escopo da investigação para dimensões que ultrapassam os limites estritos das disciplinas escolares. Ao possibilitar o diálogo entre ciência, filosofia e outras formas de conhecimento, essa perspectiva favorece a problematização de questões mais profundas acerca da própria natureza humana em um contexto marcado pela consolidação da IA. Ao invés de restringir-se à compreensão operacional dessas tecnologias, a transdisciplinaridade abre espaço para indagações sobre os fundamentos do pensamento, da racionalidade e do conhecimento, colocando em tensão as relações entre os sistemas formais que sustentam a IA e as capacidades humanas de compreender, interpretar e atribuir sentido ao mundo. Nesse movimento, torna-se possível refletir não apenas sobre o funcionamento das tecnologias, mas sobre suas implicações, abrindo espaço para a compreensão das dimensões do humano que passam a ser tensionadas e, potencialmente, as que passam a ser convocadas ao desenvolvimento. Tal perspectiva permite vislumbrar que o avanço dessas tecnologias não apenas desafia nossas formas atuais de pensar, mas também pode apontar para a necessidade de ampliação de outras faculdades que não se reduzem ao domínio do raciocínio lógico, analítico e discursivo, podendo contribuir para delineação dos rumos que a educação precisará assumir para garantir a continuidade do desenvolvimento humano em um cenário futuro que já se esboça no presente.

Outro aspecto que se impõe diz respeito às desigualdades estruturais que caracterizam o contexto brasileiro, as quais tornam profundamente assimétrico o acesso às tecnologias de IA. Nesse cenário, há o risco de que a incorporação da IA, se não for criticamente planejada, acentue desigualdades já existentes, ampliando distâncias entre contextos educacionais distintos. Assim, torna-se fundamental que as discussões sobre a integração da IA ao ensino de Ciências considerem essas disparidades, orientando-se por princípios de equidade e justiça social, de modo a garantir que seus potenciais formativos não se restrinjam a contextos privilegiados, mas possam contribuir para a democratização das oportunidades educacionais.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Antonio Luiz de. Educa Ação com Ciência: por uma Sociedade Brasileira de Ensino e Pesquisas em Inteligência Artificial e Letramento Científico . **Revista de Estudos em Educação e Diversidade - REED**, [S. l.], v. 3, n. 7, p. 1–27, 2022. DOI: 10.22481/reed.v3i7.10336.

ALVES, Leandro Cesar; SOUSA, Fabiana Rodrigues de. A plataformização do trabalho docente na rede estadual paulista: da subsunção à precarização. **Colloquium Humanarum**, v. 22, n. 1, p. 1-17, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5747/ch.2025.v22.h658>. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ch/article/view/5208>. Acesso em: 15 jul. 2026.

ANDRADE, Juliana Cristina dos Santos de; OLIVEIRA, Márcia Gonçalves de; BATTETIN, Vanessa. Pensamento computacional e educação em inteligência artificial na educação STEAM: explorando o ensino por investigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (CBIE), 13., 2024, Rio de Janeiro. **Anais estendidos [...]**. Porto Alegre: SBC, 2024. p. 295–301. DOI: https://doi.org/10.5753/cbie_estendido.2024.243453.

ARAÚJO, Alvinio Alves de; SILVA, Josilândia Sousa; SOUZA, Carlos Diego Ferreira de; MOURA, Antonio Reynaldo Meneses. Ensino de ciências por investigação: um olhar nos anais do Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino de Ciências. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS (CONAPESC), 7., 2022. **Anais do VII CONAPESC**. Campina Grande: Realize Editora, 2022. p. 1-12. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2022/TRABALHO_COMPLETO_EV17_7_MD1_ID975_TB455_18092022163225.pdf. Acesso em: 03 maio. 2026.

ARAÚJO, Fábio José de; MENEZES, Jones Baroni Ferreira de. Ensino por Investigação e Inteligência Artificial no ensino de parasitoses: uma proposta de sequência didática sobre doença de chagas. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 1–22, 2026. DOI: 10.51891/rease.v12i3.25168.

AZEVEDO, Murillo Pereira; MACHADO, Leticia Sophia Rocha; BEHAR, Patricia Alejandra. Competências digitais do professor de física da educação básica: o uso de tecnologias digitais e inteligência artificial. **Cuadernos de Educación y Desarrollo**, [S.l.], v. 17, n. 1, p. 01–26, 2025. DOI: <https://doi.org/10.55905/cuadv17n1-107>

AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella de. Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19–33.

BARBOSA, Carlos Roberto de Almeida Correa. Transformações no ensino-aprendizagem com o uso da inteligência artificial: revisão sistemática da literatura. **RECIMA21 – Revista Científica Multidisciplinar**, Jundiaí (SP), v. 4, n. 5, e453103, 2023. DOI: <https://doi.org/10.47820/recima21.v4i5.3103>.

BARBOSA, Marcela dos Santos; MARQUES, Jean Dalmo de Oliveira. Aprendizagem Mediada pela IA: uso do ChatGPT na construção de protótipos de medição ambiental. **Revista DELOS**, São José dos Pinhais, v. 19, n. 76, p. e8195, 2026. DOI: <https://doi.org/10.55905/rdelosv19.n76-014>.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.

BELCHIOR, Edmilson José. **Ensino de ciências por investigação: o uso da horta escolar na promoção da alfabetização científica**. 2025. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo,

2025. Disponível em: https://spo.ifsp.edu.br/images/phocadownload/DOCUMENTOS_MENU_LATERAL_FIXO/POS_GRADUA%C3%87%C3%83O/MESTRADO/Ensino_de_Ci%C3%A4ncias_e_Matem%C3%A1tica/Dissertacoes/2025/Edmilson_Jos%C3%A9_Belchior_-_Disserta%C3%A7%C3%A3o_-_2025_compressed.pdf. Acesso em: 07 abr. 2026.

BOTELHO, Lissandro; FERREIRA, Nilciele Sousa; SANTOS, Leandro dos; GUSMÃO, Emerson Márcio; MELO, Daiane Santana; SILVA, Célio Vinicius Sousa da; SILVA, Luciana Santos da; SIQUEIRA, Thiago Giordano de Souza; FERREIRA, Victor dos Anjos; SILVA, Leandro Alfredo dos Santos; SILVA, Michel dos Reis da; OLIVEIRA, Cláudio Erik Félix de; MENDES, Carina Ferreira; MELO, Karla Adriana Pereira. Inovação tecnológica: Inteligência Artificial (IA) na educação e as transformações sobre o processo de ensino e aprendizagem. **Revista Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 22, n. 12, p. e20540, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n12-071>.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. Brasília: MEC, 2018a. Disponível em: https://www.gov.br/mec/pt-br/escola-em-tempo-integral/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal.pdf. Acesso em: 02 abr. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. **Inteligência Artificial na Educação Básica**: documento orientador sobre caminhos curriculares e práticas éticas de uso de IA nas escolas. Brasília: MEC, 2026. Disponível em: <https://www.gov.br/mec/pt-br/escolas-conectadas/documentos/ia-educacao-basica.pdf>. Acesso em: 04 maio 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Projeto pedagógico do curso**: Especialização em Ensino de Ciências – Anos finais do Ensino Fundamental “Ciência é Dez!” (Atualizado - 2018). Brasília: CAPES, 2018b. Disponível em: https://www.gov.br/capes/pt-br/centrais-de-conteudo/Ciencia_e_10_Projeto_Pedagogico_do_Curso.pdf/@@display-file/file. Acesso em: 15 jul. 2026.

BRUGNERA, Elisângela Dias; BARBOSA, Debora Nice Ferrari. Inteligência artificial e literacia digital: percepções de egressos sobre práticas pedagógicas inclusivas. **Revista Caderno Pedagógico**, [S. l.], v. 22, n. 4, p. e14449, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54033/cadpedv22n4-262>.

CARRARO, Fabrício. **Inteligência Artificial e ChatGPT**: da revolução dos modelos de IA generativa à engenharia de prompt. São Paulo: Casa do Código, 2023. Disponível em: <https://www.everand.com/read/691646348/Inteligencia-Artificial-e-ChatGPT-Da-revolucao-dos-modelos-de-IA-generativa-a-Engenharia-de-Prompt#>. Acesso em: 23 mar. 2025.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). **Ensino de ciências**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Fundamentos teóricos e metodológicos do ensino por investigação. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 18, n. 3, p. 765–794, dez. 2018. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2018183765.

CHANG, Jina; PARK, Joonhyeong; PARK, Jisun. Using an artificial intelligence chatbot in scientific inquiry. **Asia-Pacific Science Education**, [S.l.], v. 9, p. 44–74, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10062>.

CLAUDINO, Osmundo Rocha; DERMEVAL, Diego; RODRIGUES, Luiz. Inteligência artificial em contextos restritos de recursos: uma revisão no ensino de ciências. **Revista Diálogo Educacional**, Curitiba, v. 24, n. 83, p. 1325-1344, 2024. DOI: <https://doi.org/10.7213/1981-416X.24.083.DS03>.

DUQUE-PEREIRA, Ives da Silva; MOURA, Sergio Arruda de. Compreendendo a inteligência artificial generativa na perspectiva da língua. *SciELO Preprints*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.7077>. Acesso em: 23 mar. 2025.

DZINGELESKI, Fabiane de Pellegrin. Aplicações da Inteligência Artificial Contribuições Ao Ensino de Ciências Biológicas. **Revista Tópicos**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 26, p. 1-14, 2025. ISSN: 2965-6672. DOI: <https://doi.org/10.70773/revistatopicos/1763485020>

EPOCH AI. FrontierMath Tier 4 (v2). **Epoch AI**, 2026. Disponível em: <https://epoch.ai/benchmarks/frontiermath-tier-4-v2>. Acesso em: 15 jul. 2026.

FELIX, Francielli Moacir; SILVA, Brenda Dionizio Santos da; VICENTE, Grasyelly Souza dos Santos; FERREIRA, Ivania Lins Pereira; BERGLIN, Lidiane; BARROS, Luana Soares de. A Personalização do Ensino por Meio de Metodologias Ativas e Inteligência Artificial. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 12, n. 2, p. 1–10, 2026. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v12i2.24698>.

FREITAS, Maria Rute Araújo; RIBEIRO, Lucas de Sousa; GUIMARÃES, Marília Duarte; RIBEIRO, Luís Távora Furtado; LEITE, Raquel Crosara Maia. Inteligência artificial e o ensino de ciências: um levantamento de teses publicadas na biblioteca digital de teses e dissertações (2013-2023). **Anais IX CONEDU**. Campina Grande: Realize Editora, 2023. Disponível em: <https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/99101>. Acesso em: 01 maio 2026.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

GOBERT, Janice D.; LI, Haiying; DICKLER, Rachel; LOTT, Christine. Can AI-based scaffolding promote students' robust learning of authentic science practices? *In*: ZHAI, Xiaoming; KRAJCIK, Joseph (ed.) **Uses of Artificial Intelligence in STEM Education**. Oxford: Oxford University Press, 2024. p. 250-268, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1093/oso/9780198882077.003.0012>.

GOMES, Paulo Maurício Costa; CAROSIA, Arthur Emanuel de Oliveira. Aplicações da Inteligência Artificial na educação: possibilidades e potenciais riscos no ensino das ciências da natureza na educação básica. **Revista Sítio Novo**, Palmas, v. 10, p. e1926, 2026. DOI: <https://doi.org/10.47236/2594-7036.2026.v10.1926>.

GREGÓRIO, Maycon de Souza Silva Cunha; SILVA, Ketiuze Ferreira; PRATA-LINHARES, Martha Maria. Educação e inteligência artificial: em busca de referências para pensar/fazer a formação docente. **Ensino e Tecnologia em Revista**, Londrina, v. 9, n. 1, p. 95–106, jan./abr. 2025. DOI: <https://doi.org/10.3895/etr.v9n1.19539>

Hubert, Thomas., Mehta, Rishi., Sartran, Laurent. *et al.* Olympiad-level formal mathematical reasoning with reinforcement learning. **Nature**, V. 651, P. 607–613, 2026. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09833-y> Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-025-09833-y#citeas>. Acesso em: 15 jul. 2026.

JOYNER, David A.; GOEL, Ashok K. Improving inquiry-driven modeling in science education through interaction with intelligent tutoring agents. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT USER INTERFACES (IUI)*, 2015, Atlanta, GA, USA. **Proceedings of the 20th International Conference on Intelligent User Interfaces**. New York: ACM, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1145/2678025.2701398>

INFANTE-MALACHIAS, María Elena; CUNHA, Fanley Bertoti da; SOUSA, Jennifer Caroline de (org.). **Treinar máquinas e formar gente: desafios do educar na era da inteligência artificial**. São Paulo: LF Editorial, 2024. ISBN 978-65-5563-516-4.

KILINC, Selcuk; ALDEMIR, Tugce; SABANWAR, Vivek; BICER, Ali; SONG, Donggil. AI chatbot coaching for elevating student research. *In: Acm Conference on International Computing Education Research (ICER)*, 2025, Charlottesville, VA, EUA. **Proceedings of the 2025 ACM Conference on International Computing Education Research**, v. 2. New York: ACM, 2025. p. 1–2. DOI: <https://doi.org/10.1145/3702653.3744315>.

KOCHMAR, Ekaterina; VU, Dung Do; BELFER, Robert; GUPTA, Varun; SERBAN, Iulian Vlad; PINEAU, Joelle. Automated data-driven generation of personalized pedagogical interventions in intelligent tutoring systems. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, [S.l.], v. 32, p. 323–349, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/S40593-021-00267-X>

KOTSIS, Konstantinos T. Integrating ChatGPT into the inquiry-based science curriculum for primary education. **European Journal of Education and Pedagogy**, [S.l.], v. 5, n. 6, nov. 2024. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejedu.2024.5.6.891>

KOULOUBRITSIDOU, Sofia. Artificial intelligence and virtual reality in learning environments: Perspectives from Preschool to Higher Education. **Advances in Mobile Learning Educational Research**, [S.l.], v. 5, n. 2, p. 1632–1652, 2025. DOI: <https://doi.org/10.25082/AMLER.2025.02.018>.

LEITE, Bruno. Inteligência artificial e ensino de química: uma análise propedêutica do ChatGPT na definição de conceitos químicos. **Química Nova**, São Paulo, v. 46, n. 9, p. 915–923, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230059>

LEMONS, Renata Araújo; SILVA, Sâmia Cristina Martins Ferreira; FERREIRA, Welberth Santos. Inteligência artificial com abordagem investigativa no ensino de ciências para crianças. **Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem (REBENA)**, Rio Largo (AL), v. 15, p. 103–118, 2026. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.19387566>.

LEVANT, Alex. O fetiche da IA: quando cérebros de madeira começam a pensar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 42, n. 2, p. 261–281, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2025.e108832>.

LI, Pin-Hui; LEE, Hsin-Yu; LIN, Chia-Ju; WANG, Wei-Sheng; HUANG, Yueh-Min. InquiryGPT: augmenting ChatGPT for enhancing inquiry-based learning in STEM education. **Journal of Educational Computing Research**, v. 62, n. 8, p. 1937–1966, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1177/07356331241289824>.

MARTINS, Keissy Carla Oliveira; BATISTA, Suziele Galdino; JARDIM, Maria Inês de Affonseca. Inteligência artificial no ensino de Ciências: um mapeamento sistemático de produções no contexto brasileiro. **Educitec - Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico**, Manaus, Brasil, v. 12, n. jan./dez., p. e279926, 2026. DOI: <https://doi.org/10.31417/educitec.v12.2799>.

MELO, Antonio Carlos Stradioto. **Inteligência artificial no ensino de ciências: uma investigação narrativa sobre o papel da Pedagogia Crítica de Paulo Freire na formação continuada de professores de ciências**. 2025. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Dourados, 2025. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/399734820_INTELIGENCIA_ARTIFICIAL_NO_ENSINO_DE_Ciencias_UMA_INVESTIGACAO_NARRATIVA SOBRE_O_PAPEL_D_A_PEDAGOGIA_CRITICA_DE_PAULO_FREIRE_NA_FORMACAO_CONTINUADA_D_E_PROFESSORES_DE_Ciencias. Acesso em: 3 maio. 2026.

NICOLESCU, Basarab. **Manifesto da transdisciplinaridade**. São Paulo: Triom, 1999.

OLIVEIRA LANGE, Julia de; BERVIAN, Paula Vanessa. Integração da Inteligência Artificial na área de ciências: relações entre formação docente e práticas pedagógicas. **Recital - Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, Almenara, v. 6, n. 3, p. 100–118, 2025. DOI: 10.46636/recital.v6i3.623.

OLIVEIRA, Marcos Dione de; COSTA, Flaviana Soares da; LIMA, Daiane Narciso Dias; OLIVEIRA, Ana Paula Pereira Lopes; VIEIRA, Vilma Gomes dos Santos. Gamificação, inteligência artificial e realidade virtual: o futuro da sala de aula, já chegou! **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 4, p. 15954-15968, 2025. DOI: <https://doi.org/10.56238/arev7n4-022>.

PARREIRA, Rodolpho Menegatti. Inteligência artificial no ensino de física: ferramentas para inovação educacional. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v. 7, n. 4, p.18276-18305, 2025. Disponível em: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/view/4431/5943>. Acesso em: 29 abr. 2026.

PEREIRA, Ketileide Moraes; MOREIRA, Leonardo Oliveira. Tecnologias digitais e personalização no ensino de Ciências: uma revisão sistemática. **Cadernos Cajuína**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. e993, 2025. DOI: <https://doi.org/10.52641/cadcajv10i4.993>.

PINCELLI, Renato; AMÉRICO, Marcos; BELDA, Francisco Rolfsen. Reflexões sobre uma possível inteligência artificial subconsciente. In: ALBINO, João Pedro; VALENTE, Vânia Cristina Pires Nogueira (org.). **Inteligência artificial e suas aplicações interdisciplinares**. Rio de Janeiro: e-Publicar, 2023. p. 58-71. Disponível em: <https://doi.org/10.47402/ed.ep.c202320963201>. Acesso em: 23 mar. 2025.

PIRES, Ramon; ALMEIDA, Thales Sales; ABONIZIO, Hugo; NOGUEIRA, Rodrigo. Evaluating GPT-4's Vision Capabilities on Brazilian University Admission Exams. **arXiv**

preprint arXiv:2311.14169, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/2311.14169>. Acesso em: 15 jul. 2026.

PUERTAS, Fernando. Educação e tecnologia: um caminho para emancipação ou para mercantilização? *In*: INFANTE-MALACHIAS, María Elena; CUNHA, Fanley Bertoti da; SOUSA, Jennifer Caroline de (org.). **Treinar máquinas e formar gente: desafios do educar na era da inteligência artificial**. São Paulo: LF Editorial, 2024. p. 77–98.

SANTOS, Douglas Guerhart dos. Plataformização da educação pública paranaense: reflexões sobre autonomia docente, adoecimento controle e vigilância: . **Revista Eletrônica Multidisciplinar de Investigação Científica**, v. 4, n. 22, 2025. DOI: 10.47402/remici.v4n22282825. Disponível em: <https://remici.com.br/index.php/revista/article/view/765>. Acesso em: 15 jul. 2026.

SANTOS, Joelson Monte dos. Inteligência artificial na formação docente em Ciências:: competências digitais, desafios e perspectivas no Ensino Superior. **Redin - Revista Educacional Interdisciplinar**, v. 14, n. 2, p. 54–66, 2026. Disponível em: <https://seer.faccat.br/index.php/redin/article/view/3945>. Acesso em: 3 maio. 2026.

SASSERON, Lúcia Helena; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. Alfabetização científica: uma revisão bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16, n. 1, p. 59–77, 2011. Disponível em: <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/246/172>. Acesso em: 29 abr. 2026.

SILVA, Corina Guedes da; GAMAS, Elci do Carmo; MONTE; Dirlene de Mendonça; BARROS, Luana Soares de; COSTA, Karoline Profiro da; RIBEIRO, Rosângela da Silva Novais. O papel das tecnologias móveis na implementação de metodologias ativas. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 1-10, mar. 2026. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v12i3.24846>

SILVA, Marcos Antonio da Conceição. Inteligência artificial generativa na educação: revisão de literatura sobre aspectos críticos, possibilidades e desafios. **RCMOS - Revista Científica Multidisciplinar O Saber**, [S. l.], v. 1, n. 2, 2025. DOI: <https://doi.org/10.51473/rcmos.v1i2.2025.1653>.

SOUZA, Alysson Felype Martins; WANDERLEY, Alexandra Alves; LACERDA, Bruno Gomes de Araújo; COL, Carina Pasini; VINCO, Maria Lúcia; RIBEIRO, Rita Cantarella; DIAS, Romilda Alves Rodrigues. Ambiente digital na educação: benefícios, desafios e implicações éticas do modelo educacional contemporâneo. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 10, n. 10, p. 5513–5520, 2024. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.16507>.

SOUZA, Ednilson Sergio Ramalho de. Letramento científico e inteligência artificial na educação: desafios e perspectivas para a formação crítica. **Revista Foco**, [S. l.], v. 18, n. 2, p. 1-17, 2025. DOI: <https://doi.org/10.54751/revistafoco.v18n2-160>.

VASWANI, Ashish; SHAZEER, Noam; PARMAR, Niki; USZKOREIT, Jakob; JONES, Llion; GOMEZ, Aidan N.; KAISER, Łukasz; POLOSUKHIN, Illia. Attention is all you need. *In*: ADVANCES IN NEURAL INFORMATION PROCESSING SYSTEMS (NIPS 2017), 31., 2017. Long Beach, CA, USA. p. 5998-6008. Disponível em:

https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf. Acesso em: 23 mar. 2025.

VICARI, Rosa Maria. Influências das tecnologias da inteligência artificial no ensino. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 35, n. 101, p. 73–84, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/VqyZbNzYfnCJ8s8Psft4jZf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 abr. 2026.

VILLAN, Fabiano; SANTOS, Renato P. ChatGPT as co-advisor in scientific initiation: action research with project-based learning in elementary education. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 25, n. 6, p. 60–117, 2023. DOI: <https://doi.org/10.17648/acta.scientiae.7474>.

VYGOTSKY, Lev Semyonovich. **A formação social da mente**. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.