ReTER, Santa Maria, v.7. ISSN:2675-9950 Submissão: 28/08/2026 Aprovação: 03/11/2026 Publicação: 11/11/2026

LETRAMENTO EM IA GENERATIVA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE BIOLOGIA: REVISÃO INTEGRATIVA E *FRAMEWORK* CONCEITUAL PARA USO PEDAGÓGICO RESPONSÁVEL

Ricardo André de Medeiros Maciel
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - prof.ricardomaciel@gmail.com

Resumo: A produção de textos e imagens por inteligência artificial generativa (IAG) coloca problemas de precisão científica, representação e autoria no ensino de Biologia. Este estudo sintetiza contribuições sobre letramento em IA e formação docente para propor o BioIA-Lit, um *framework* conceitual de uso pedagógico responsável. As buscas da revisão integrativa foram feitas em 8 de outubro de 2026 na ERIC e na PubMed, com consultas complementares dirigidas à coleção SciELO e às referências do manuscrito. Foram triados 193 registros únicos e incluídos 54 estudos publicados entre 2023 e 2026, após recuperação integral. A análise híbrida articulou códigos dos estudos a referenciais prévios de letramento e competências. O corpus reúne formação docente, educação científica, protocolos de transparência e avaliação de imagens médicas; sua contribuição para a Biologia depende de transferência contextualizada. Confiança, planejamento e julgamento crítico apresentaram resultados distintos conforme tarefa e mediação. As avaliações visuais registraram falhas e possibilidades delimitadas por objeto e ferramenta. O BioIA-Lit organiza seis dimensões interdependentes, três níveis de autonomia e seis etapas de ação, incluindo verificação e possibilidade de não utilizar IAG. Sua contribuição é tornar examináveis decisões científicas, visuais e pedagógicas próprias da disciplina. A proposta ainda requer validação empírica com professores e licenciandos em Biologia.

Palavras-chave: Letramento em inteligência artificial; Formação de professores; Ensino de Biologia.

GENERATIVE AI LITERACY IN BIOLOGY TEACHER EDUCATION: AN INTEGRATIVE REVIEW AND CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR RESPONSIBLE PEDAGOGICAL USE

Abstract: The production of texts and images by generative artificial intelligence (GenAI) raises issues of scientific accuracy, representation, and authorship in Biology education. This study synthesizes contributions on AI literacy and teacher education to propose BioIA-Lit, a conceptual framework for responsible pedagogical use. Searches for the integrative review were run on October 8, 2026, in ERIC and PubMed, complemented by targeted queries of the SciELO collection and manuscript references. Of 193 unique records screened, 54 studies published between 2023 and 2026 were included after full-text retrieval. Hybrid analysis connected study-derived codes with existing literacy and competency frameworks. The corpus covers teacher education, science education, transparency protocols, and medical image evaluation; its contribution to Biology requires contextualized transfer. Confidence, planning, and critical judgment showed different outcomes depending on tasks and mediation. Visual evaluations reported both limitations and possibilities bounded by objects and tools. BioIA-Lit organizes six interdependent dimensions, three levels of autonomy, and six action stages, including verification and the option not to use GenAI. Its contribution is to make discipline-specific scientific, visual, and pedagogical decisions open to examination. The proposal still requires empirical validation with Biology teachers and preservice teachers.

Keywords: Artificial intelligence literacy; Teacher education; Biology education.

Introdução

A produção de textos e imagens por inteligência artificial generativa (IAG) envolve decisões sobre currículo, ensino e avaliação. A facilidade de gerar planos, questões e recursos pode ocultar limites do sistema e conferir autoridade indevida às suas respostas. Para o professor, importa compreender como esses artefatos são produzidos e decidir o que aceitar, transformar ou recusar conforme a finalidade educativa.

Os modelos de letramento em IA articulam compreensão, uso, criação, avaliação e ética (Long; Magerko, 2020; Ng et al., 2021). Na docência, essas capacidades se relacionam à pedagogia e ao desenvolvimento profissional (Miao; Cukurova, 2024). A leitura sociotécnica de Buzato e Gonsales (2025) acrescenta atenção às condições em que se produz e legitima o conhecimento.

Em experiências formativas, a prática com IAG pode ampliar repertório e autoeficácia, com resultados dependentes da atividade e dos instrumentos utilizados (MacDowell et al., 2024; Meegan; Young, 2025). Huynh et al. (2025) encontraram diferenças entre uma formação centrada em ferramentas e outra que também discutia uma mentalidade humanocêntrica. Esse contraste convida a perguntar que capacidades estão sendo desenvolvidas e por quais evidências elas são reconhecidas.

Na Biologia, mecanismos causais, variabilidade e incerteza articulam fenômenos em diferentes escalas. Diagramas, micrografias e árvores filogenéticas participam dessas relações. A organização convincente de uma saída pode ocultar erros. Planos de Ciências e explicações de Química ilustram problemas de planejamento e conteúdo (Lee; Zhai, 2024; Olczewski; Marcondes; Sens, 2025). Estudos de imagens médicas acrescentam critérios de fidelidade e representação cuja transferência ao ensino escolar requer exame contextual (Noel, 2024; Alon; Shoval; Levkovich, 2026).

Trabalhos da ReTER situam questões formativas próximas. Mallmann e Mazzardo (2020) analisam a integração de recursos educacionais abertos. O estudo de escalas e antecedentes motivacionais de Bertoncini, Serafim e Borba (2023) contribui para distinguir aceitação tecnológica e competência profissional. Rodrigues (2026), em estudo de caso com quatro professores de um pré-vestibular em Boa Vista, registra preparação universitária

percebida como insuficiente para o uso de tecnologias. Esse resultado caracteriza a experiência estudada.

Quais dimensões de letramento em IA podem subsidiar a formação de professores de Biologia para o uso pedagógico responsável da IAG? O objetivo é sintetizar competências, riscos e estratégias da literatura de 2023 a 2026 e interpretá-los à luz das particularidades científico-epistêmicas e visuais da disciplina. Essa aproximação fundamenta o BioIA-Lit, proposta conceitual para formação inicial e continuada, organizada pela agência epistêmica humana e ainda sujeita a validação.

Letramento em IA e especificidades do ensino de Biologia

Do uso funcional à agência crítica

Long e Magerko (2020) associam letramento em IA à avaliação crítica, à comunicação e à colaboração com sistemas em diferentes contextos. Ng et al. (2021) articulam compreensão, uso, avaliação e criação, além das questões éticas. Na formação docente, essas capacidades se relacionam ao conhecimento pedagógico do conteúdo (*Pedagogical Content Knowledge*, PCK), isto é, às formas de representar conteúdos, antecipar dificuldades e organizar sua aprendizagem. A integração tecnológica acrescenta o conhecimento tecnológico, pedagógico e de conteúdo (*Technological Pedagogical Content Knowledge*, TPACK). A opacidade e a variabilidade da IAG exigem examinar como esses conhecimentos profissionais orientam a escolha e a avaliação das ferramentas (Celik, 2023; Mishra; Warr; Islam, 2023).

O referencial da UNESCO reúne 15 competências em cinco dimensões: mentalidade centrada no humano, ética da IA, fundamentos e aplicações, pedagogia da IA e IA para aprendizagem profissional. Sua progressão compreende adquirir, aprofundar e criar (Miao; Cukurova, 2024). Essa estrutura orienta a elaboração do BioIA-Lit; as seis dimensões aqui propostas são uma reorganização disciplinar, não competências descobertas de forma independente desses modelos. Miao e Holmes (2023) fundamentam ainda a atenção à proteção de dados, à validação e à adequação ao contexto. A leitura sociotécnica de Buzato e Gonsales (2025) amplia a análise para pessoas, máquinas, dados, trabalho e infraestrutura, permitindo interrogar a proveniência e a responsabilidade pelo artefato produzido.

No Brasil, a competência geral 5 da BNCC relaciona tecnologias digitais a uso crítico, reflexão, ética e autoria (Brasil, 2018, p. 9). A Resolução CNE/CP nº 4/2024 contempla competências digitais docentes, espaços virtuais de aprendizagem e uso de evidências científicas na prática (Brasil, 2024, art. 7º, VI e VII; art. 10, XIII e XV). Esses documentos situam a formação tecnológica em finalidades educativas, sem prescrever o BioIA-Lit ou uma política específica de IAG.

Conhecimento biológico, evidência e representação

O conhecimento biológico combina observação, modelagem, classificação, inferência histórica e explicação mecanística. Uma resposta pode empregar termos corretos e atribuir intenção à evolução ou confundir correlação com causalidade. A avaliação precisa alcançar as relações que sustentam a explicação, incluindo evidências, fontes e incertezas, e considerar o nível de ensino. Ao tornar a saída da IA um objeto de investigação, o professor abre espaço para que os estudantes justifiquem sua aceitação, revisão ou recusa. A leitura crítica de textos e o diálogo com *chatbots* podem apoiar esse trabalho quando o desenho da atividade solicita razões e contrapontos (Cooper, 2023; Tang; Putra, 2026).

O julgamento disciplinar também alcança a qualidade da tarefa. Em Física, futuros professores que utilizaram um livro didático produziram questões mais claras do que os participantes que utilizaram ChatGPT, apesar de não haver diferença na correção das questões (Küchemann et al., 2023). Nos testes de imagens anatômicas, a avaliação recai sobre estrutura, orientação e relações espaciais em condições específicas de geração (Noel, 2024; Kumar; Burr; Young, 2024). Para transferir esses critérios à Biologia, interessa perguntar que relação a representação ensina e como legenda, escala e correspondência entre texto e imagem participam dessa leitura.

Método

Delineamento e protocolo

Foi realizada uma revisão integrativa, adequada à combinação de estudos empíricos, revisões e contribuições conceituais sobre um fenômeno recente e metodologicamente heterogêneo. O procedimento seguiu as etapas de identificação do problema, busca, avaliação, análise e apresentação propostas por Whittemore e Knafl (2005). O relato da

seleção foi orientado, quando aplicável, pelo PRISMA 2020 (Page et al., 2021), sem caracterizar a revisão como metanálise ou revisão sistemática de efetividade.

As consultas à ERIC e à PubMed foram refeitas em 8 de outubro de 2026, com recorte de publicação de 1º de janeiro de 2023 a essa data. A consulta complementar à coleção SciELO foi atualizada em 20 de outubro, mantendo o recorte, quando se concluiu a conferência dos textos. Os novos totais substituem os anteriores. Pergunta, critérios e seleção estão registrados no Material suplementar. Referências anteriores a 2023 e documentos normativos ficaram fora do corpus. Um único revisor realizou seleção, extração e codificação, sem dupla avaliação independente.

Estratégia de busca e seleção

A ERIC cobriu formação docente e educação científica; a PubMed, avaliações de imagens anatômicas com implicações educacionais. Utilizaram-se seus serviços públicos de consulta. Na ERIC, aplicaram-se ano, revisão por pares e artigo de periódico; a data final foi conferida na elegibilidade. A PubMed foi delimitada a título, resumo e período de publicação. A Tabela 1 sintetiza as consultas. O rastreamento das referências e quatro consultas por mecanismo público, dirigidas à coleção SciELO em 20 de outubro de 2026, completaram a descoberta. Essa rota complementar não constitui cobertura exaustiva da coleção.

Tabela 1: Estratégias de busca e resultados

Fonte e consulta	Escopo e limites	Total
ERIC N1	IAG, formação docente e Ciências/Biologia/STEM.	26
ERIC N2	Letramento em IA, docentes, criticidade e desenvolvimento profissional, com IAG.	53
ERIC N3	IAG, ensino de Ciências/Biologia e docência ou letramento.	81
ERIC N4	Imagens geradas, Biologia/anatomia e educação.	2
PubMed	Imagem gerada, anatomia/histologia/educação médica; título e resumo; 2023 a 8 out. 2026.	29
Complementar	10 candidatos de consultas dirigidas à coleção SciELO e 32 referências do manuscrito; 20 registros novos após deduplicação.	20 novos

Fonte: elaboração própria. ERIC e PubMed consultadas em 8 out. 2026; consulta complementar atualizada em 20 out. 2026. As ocorrências da ERIC incluem repetições entre expressões.

Expressões completas, filtros, URLs e aviso de interpretação da PubMed constam do Material suplementar.

A ERIC retornou 162 ocorrências, com 18 repetições entre estratégias e 144 registros únicos. A PubMed acrescentou 29, sem sobreposição entre bases por DOI normalizado, título, autoria e ano. A consulta à coleção SciELO e as referências acrescentaram 20 registros novos, totalizando 193. Incluíram-se artigos com revisão por pares, em português, inglês ou espanhol, sobre formação ou letramento docente em IA, uso pedagógico de IAG nas Ciências ou validação de conteúdo e imagens com contribuição identificável à docência.

Excluíram-se aplicações clínicas ou computacionais sem contribuição educacional pertinente, trabalhos de outras áreas sem relação com letramento docente e IA não generativa sem contribuição ao objeto. Estudos discentes exigiam análise transferível de mediação ou validação científica. Foram excluídos 91 registros por título e resumo. Dos 102 textos procurados, 46 não foram recuperados; 56 foram lidos integralmente, com 2 exclusões e 54 inclusões. Resumos não substituíram a leitura integral na síntese ou na avaliação de qualidade. A Figura 1 e o suplemento discriminam essas etapas.

Cópias autorais de artigos publicados foram aceitas com identificação da versão consultada, registrada no suplemento.

Figura 1: Identificação, recuperação e seleção na busca refeita



Fonte: elaboração própria, adaptada das recomendações de Page et al. (2021).

Extração, avaliação e síntese

Registraram-se contexto, participantes ou material, desenho, ferramenta, achados e limites de transferência. A avaliação examinou objetivo, adequação do desenho, transparência dos procedimentos, sustentação das conclusões e explicitação de limites. O suplemento apresenta esses cinco critérios por estudo e suas justificativas. A grelha aprecia o relato, sem constituir instrumento validado de risco de viés. Estudos empíricos, revisões e contribuições conceituais receberam interpretação compatível com seu tipo, sem escore agregado de qualidade ou efetividade.

A análise híbrida utilizou eixos dedutivos de Long e Magerko (2020), Ng et al. (2021) e Miao e Cukurova (2024). Achados, dificuldades e práticas dos estudos forneceram códigos, como aceitar fluência como autoridade, confrontar fontes, revisar explicações, auditar relações espaciais, registrar intervenções e decidir pelo não uso. Códigos próximos foram agrupados por responsabilidade docente. A separação entre verificação científica e leitura visual resultou dessa interpretação disciplinar. A Tabela 3 e os exemplos do suplemento tornam examinável a passagem dos códigos às dimensões.

O termo risco de alta consequência designa, nesta análise, situações em que aceitar uma saída pode alterar um mecanismo biológico central, induzir uma relação espacial ou causal incorreta, comprometer a evidência de aprendizagem ou expor dados e direitos. A classificação depende da finalidade didática e de uma justificativa registrada; não é uma medida de frequência ou de probabilidade de dano. Casos favoráveis e desfavoráveis foram cotejados por objeto, ferramenta e condições de mediação, sem combinar seus resultados em um efeito agregado.

Resultados

Perfil e alcance do corpus

O corpus reúne 54 estudos: 4 de 2023, 14 de 2024, 22 de 2025, 14 de 2026. A caracterização individual consta do suplemento. Autorrelatos, planos, ensaios conceituais e auditorias oferecem evidências distintas, sem equivaler a demonstrações de aprendizagem escolar. As revisões incluídas contextualizam e contrastam achados; seus estudos primários não foram somados aos totais nem tratados como observações independentes.

A Tabela 2 utiliza as mesmas quatro vertentes das subseções seguintes. Cada estudo foi alocado uma vez, por sua pergunta e objeto principal. Essa classificação descreve o corpus; na codificação temática, uma fonte pode apoiar várias dimensões. As vertentes organizam os estudos, enquanto as dimensões expressam responsabilidades da proposta conceitual.

Tabela 2: Vertentes do corpus e alcance das evidências

Vertente	Estudos e quantidade	Alcance na presente síntese
Formação docente, confiança e criticidade	n = 24. S01, S04, S05, S06, S07, S08, S09, S10, S11, S12, S13, S14, S16, S17, S19, S40, S44, S45, S46, S47, S48, S50, S51, S53	Formação transversal e em Ciências. Percepções, intervenções, revisões e propostas conceituais; não demonstram competência específica de Biologia.
Verificação científica e mediação disciplinar	n = 14. S02, S03, S20, S21, S22, S23, S25, S26, S27, S28, S29, S41, S49, S52	Planejamento, conteúdo, avaliação e diálogo em Ciências. Parcela de Biologia em S22; S26 discute Biociências. Química e Física fornecem contribuições transferíveis.
Fidelidade e representação visual	n = 11. S24, S30, S31, S32, S33, S34, S35, S36, S37, S38, S39	Educação científica e imagens médicas. Critérios de fidelidade e representação transferidos à Biologia, sem equivalência dos contextos.
Autoria, transparência e governança	n = 5. S15, S18, S42, S43, S54	Autoria, metáforas e protocolo em formação docente. Transferência para práticas e condições de uso em Biologia.

Fonte: elaboração própria. Os identificadores S01 a S54 remetem à caracterização individual e às referências do Material suplementar.

Formação docente, confiança e criticidade

MacDowell et al. (2024), numa experiência com 35 docentes e futuros docentes, analisaram experimentação, produção de recursos e colaboração. Meegan e Young (2025), com 18 licenciandos, registraram ganhos percebidos numa intervenção baseada em cenários. A confiança e a ampliação do repertório dizem respeito ao que foi observado ou declarado nesses contextos; a qualidade científica do recurso e seus efeitos em aula requerem outras evidências.

Huynh et al. (2025), com 57 futuros professores, comparam formação centrada em ferramentas e formação que acrescenta discussão humanocêntrica. Os ganhos de autoeficácia e as preocupações éticas não seguem uma direção uniforme, o que impede tomar confiança como medida substituta de uso responsável. Em dois grupos canadenses, totalizando 212 participantes, Estaiteyeh e Mindzak (2025) identificam maior aceitação do uso pelo futuro

professor do que pelo estudante. A assimetria torna relevantes critérios de finalidade e avaliação que possam ser discutidos com ambos os públicos.

Aksit, Akoglu e Aydin (2025) investigaram 180 licenciandos STEM com um teste de letramento em IA e escalas afetivas. Frequência de uso, interesse e atitude predisseram autoeficácia, enquanto a medida cognitiva não apresentou o mesmo poder preditivo no modelo analisado. O estudo não avaliou diretamente domínio ético. Seu teste de letramento tampouco permite inferir, por si, julgamento sobre conteúdos e representações de Biologia. A interpretação exige distinguir os construtos efetivamente medidos.

Verificação científica e mediação disciplinar

Lee e Zhai (2024) analisaram planos de 29 futuros professores dos anos iniciais, nove deles em temas de Biologia. A evidência é disciplinarmente parcial: não se trata de uma licenciatura específica em Biologia nem de acompanhamento da aprendizagem escolar. Usos diversificados do ChatGPT coexistiram com problemas de precisão e propostas visuais pouco viáveis. Blonder, Feldman-Maggor e Rap (2025), em uma contribuição conceitual, propõem utilizar diálogos de planejamento para tornar visíveis conhecimentos e dificuldades de PCK. Essa possibilidade diagnóstica ainda depende de investigação e não equivale a um instrumento validado.

Entre nove docentes iniciantes, sete de Ciências e dois de Matemática, Smith-Mutegi, Miles e Mohorn-Mintah (2026) encontraram usos para planejamento e reservas sobre precisão, ética e dependência. Williams (2025) discute Biociências no ensino superior por meio de uma conversa criticamente comentada com ChatGPT. A proximidade disciplinar desse ensaio não o transforma em avaliação de formação docente ou aprendizagem.

A auditoria de explicações sobre ácidos e bases de Olczewski, Marcondes e Sens (2025) pertence à Química. O ajuste da linguagem pelo GPT-3.5 coexistiu com confusões entre teorias, contribuindo para discutir validação de conteúdo, sem constituir evidência de formação em Biologia. Tang e Putra (2026), com 21 estudantes de duas escolas, identificaram perspectivas, razões e contrapontos em interações com um *chatbot* configurado para diálogo. Já o ensaio com 26 futuros professores de Física encontrou maior clareza nas questões elaboradas com livro didático (Küchemann et al., 2023). Os resultados mostram condições e limites distintos de uso; não permitem comparar a efetividade das intervenções entre si.

Nguyen e Hayward (2025) examinam a crítica de avaliações de Ciências; de Putter-Smits et al. (2025), perspectivas sobre programas de formação. A revisão de Spasopoulos, Sotiropoulos e Kalogiannakis (2025) amplia esse panorama, relacionando usos de IAG a currículo, raciocínio e planejamento. Essas contribuições oferecem possibilidades de reorganização formativa a investigar.

Fidelidade e representação visual

Noel (2024) avaliou três geradores, em maio de 2023, para ilustrações de crânio, coração e cérebro. Nenhum produziu, nas condições examinadas, representações simultaneamente detalhadas e corretas segundo os critérios anatômicos adotados. Kumar, Burr e Young (2024) discutem outro objeto, sinais faciais de hipotireoidismo e síndrome de Horner, com exemplos de limitações da geração. Não se pode converter esses resultados em uma propriedade universal dos geradores. Alon, Shoval e Levkovich (2026), na revisão de 36 estudos, encontraram relatos de vieses demográficos em 27 estudos e problemas de fidelidade clínica em 17. Essas frequências pertencem àquela revisão e não ao conjunto de estudos deste artigo.

As evidências favoráveis também importam. Haider et al. (2025) encontraram possibilidades para anatomia de superfície, com limitações nas camadas craniofaciais mais profundas. Tabuchi et al. (2024), em um estudo randomizado com 55 estudantes de áreas da visão, observaram melhora nos dois grupos e maior acurácia no pós-teste no grupo da videoaula. O desempenho variou conforme a condição representada. Esses achados impedem concluir que toda imagem gerada seja inadequada. A transferência à Biologia envolve examinar objeto, finalidade e critérios, incluindo representação e estereótipos nas imagens de educação científica (Cooper; Tang, 2024).

Autoria, transparência e governança

Contreras-de la Llave e Ballester-Pardo (2026) analisaram um protocolo numa disciplina de língua e literatura para formação de professores dos anos iniciais, na Espanha. Dos 82 trabalhos de grupos, correspondentes a 246 estudantes, 55 continham o protocolo e 27 não o incluíram. O registro tornou examináveis usos, fontes e contribuição própria; sua ausência limita a interpretação da adesão. Buzato e Gonsales (2025), em plano conceitual,

ajudam a compreender autoria e responsabilidade como práticas situadas em relações sociotécnicas.

A compreensão técnico-crítica informa o modo de verificar uma saída; os resultados da verificação orientam o desenho pedagógico; a leitura visual altera o que se considera evidência de aprendizagem. A governança estabelece condições de acesso, proteção de dados e responsabilidade para essas decisões. A Tabela 3 apresenta seis dimensões produzidas por uma síntese dedutiva e indutiva. Os referenciais de letramento e da UNESCO orientam a interpretação e permanecem distintos dos estudos contados no corpus.

Tabela 3: Dimensões, códigos e apoio no corpus

Dimensão e códigos analíticos	Apoio no corpus	Origem e alcance
D1 Compreensão técnico-crítica. Fluência como autoridade; antropomorfização; limites dos sistemas.	S09, S10, S18, S40, S42, S48	Formação transversal e interpretação conceitual. Long e Magerko e Ng orientam a leitura dedutiva.
D2 Verificação científico-epistêmica. Confronto de fontes; revisão de conceitos e relações causais; recusa da saída.	S20, S22, S27, S29, S49, S52	Parcela de Biologia em S22; transferência de Ciências, Física e Química.
D3 *Design* pedagógico disciplinar. Finalidade de aprendizagem; PCK; mediação e preservação da investigação.	S02, S04, S22, S25, S28, S41, S44	Planejamento e educação científica; S25 e S41 são propostas conceituais.
D4 Letramento visual e multimodal. Estrutura; orientação; escala; coerência entre texto e imagem; representação.	S24, S31, S33, S34, S35, S38, S39	Imagens de Ciências e medicina; critérios transferidos, sem validação em licenciaturas de Biologia.
D5 Autoria, avaliação e transparência. Declaração; versões; justificativas; assimetria entre uso docente e discente.	S10, S15, S43, S45	Formação transversal e protocolo em língua e literatura; aplicação disciplinar proposta.
D6 Ética, equidade e governança. Privacidade; viés; acesso; condições institucionais; responsabilidade.	S07, S11, S18, S30, S31, S42, S46, S51	Formação transversal, revisão de imagens e ensaio sociotécnico; normas fora do corpus.

Fonte: elaboração própria. As associações resultam da análise híbrida. Long e Magerko (2020), Ng et al. (2021) e UNESCO (Miao; Cukurova, 2024) constituem referências dedutivas, fora da contagem dos estudos do corpus.

Framework BioIA-Lit

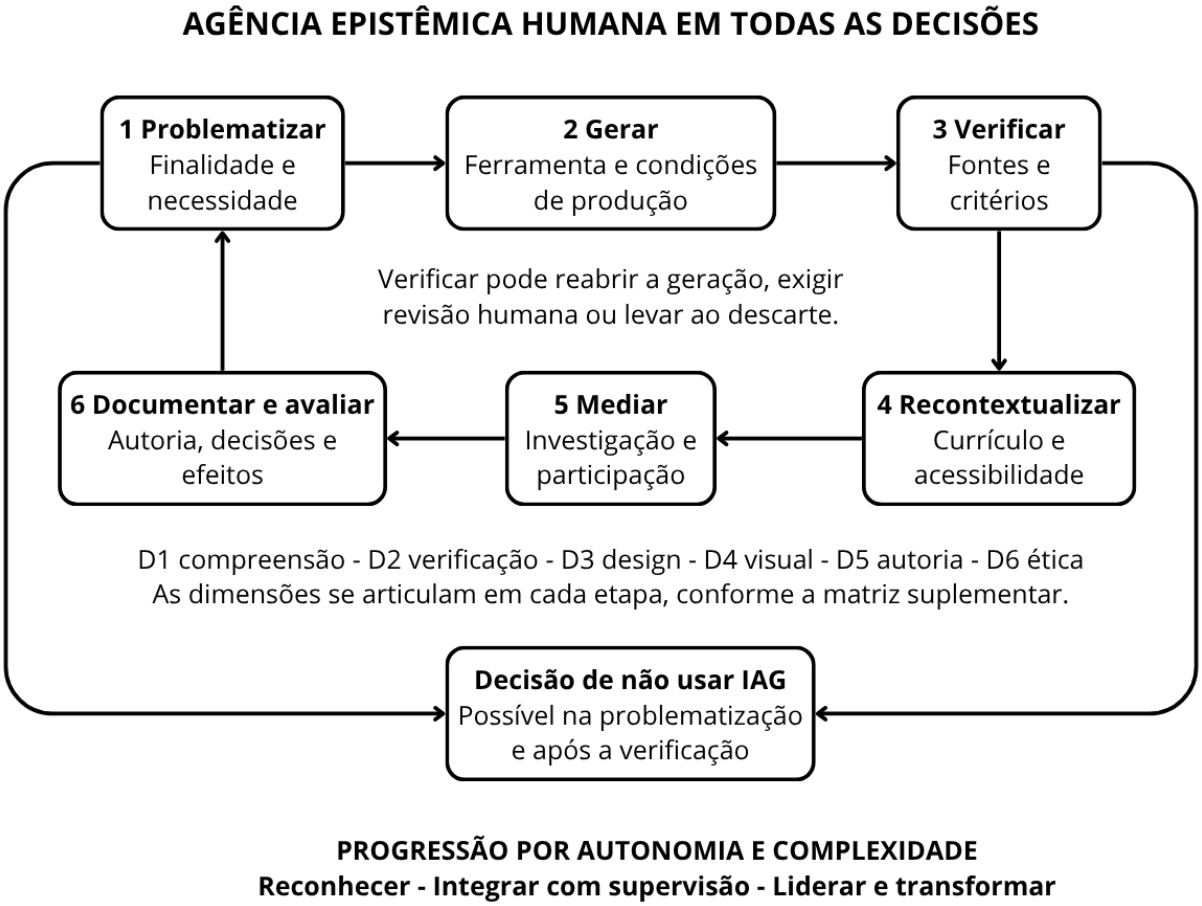
Arquitetura e princípios

O BioIA-Lit organiza a decisão pedagógica documentada. Interessa examinar que finalidade justifica usar ou recusar IAG, quais critérios sustentam a verificação e que intervenção transforma a saída em recurso didático. A proposta apoia investigação e experimentação formativa sem predeterminar marcas ou uma sequência obrigatória.

As seis dimensões são compreensão técnico-crítica (D1), verificação científico-epistêmica (D2), *design* pedagógico disciplinar (D3), letramento visual e multimodal (D4), autoria, avaliação e transparência (D5) e ética, equidade e governança (D6). Numa mesma auditoria, conhecer limites da geração, examinar a representação, relacioná-la à aula e registrar correções mobiliza responsabilidades diferentes. As dimensões não constituem fatores psicométricos ou escala validada.

A agência epistêmica humana sustenta perguntas, escolha de evidências e responsabilidade pelas decisões. A Figura 2 representa seis etapas e explicita a possibilidade de não usar IAG. As dimensões atravessam o percurso; a matriz do Material suplementar exemplifica essas relações. Os níveis formativos aparecem separados do ciclo, pois indicam autonomia e complexidade, e não o número de voltas no percurso.

Figura 2: Etapas de ação e progressão do BioIA-Lit



Fonte: elaboração própria.

Problematizar define a finalidade e permite decidir por um recurso sem IA. Gerar envolve escolher a ferramenta e registrar as condições de produção. Verificar confronta a

saída com fontes e critérios científicos, visuais e éticos; uma inadequação pode exigir nova geração, revisão humana ou descarte. Recontextualizar relaciona o material ao currículo, à turma e à acessibilidade. Mediar organiza a investigação e preserva o trabalho cognitivo que se pretende ensinar. Documentar e avaliar torna visíveis autoria, justificativas e efeitos observados, podendo reabrir o problema inicial. O ciclo descreve possibilidades de trabalho, não uma prescrição universal.

Progressão formativa e evidências observáveis

Reconhecer se dirige a licenciandos e docentes que iniciam contato crítico com IAG, com identificação de princípios, riscos e limites. Integrar com supervisão contempla sobretudo a formação inicial e a inserção profissional, com planejamento delimitado, comparação de fontes e justificativa das decisões. Liderar e transformar é uma possibilidade de formação continuada para professores experientes, formadores e equipes institucionais. Construir e validar conjuntos de referência disciplinares, redesenhar currículos ou coordenar governança não são requisitos atribuídos a todo licenciando. A passagem entre níveis depende do contexto e das oportunidades de atuação. A Tabela 4 relaciona as seis dimensões do BioIA-Lit a práticas e evidências possíveis, indicando formas de atuação nos níveis de progressão propostos.

Tabela 4: Operacionalização e progressão do framework BioIA-Lit

Dimensão	Práticas e evidências possíveis	Reconhecer e integrar com supervisão	Liderar e transformar
D1 Compreensão	Comparação de saídas e explicação de limites.	Identificar princípios; justificar escolhas.	Orientar pares e revisar critérios.
D2 Verificação	Fontes comparadas, correções e justificativas.	Reconhecer problemas; aplicar critérios com apoio.	Construir e avaliar conjuntos disciplinares de referência.
D3 *Design*	Plano, microaula e análise de mediação.	Relacionar uso ao objetivo; planejar com supervisão.	Coordenar formação e revisão curricular.
D4 Visual	Imagem anotada, legenda e descrição alternativa.	Reconhecer anomalias; auditar e justificar.	Desenvolver protocolos e acervos avaliados.
D5 Autoria	Versões, declaração e reflexão sobre contribuição.	Declarar; documentar e explicar decisões.	Coordenar critérios e políticas de avaliação.
D6 Ética	Análise de condições, dados e alternativas sem IA.	Identificar riscos; aplicar salvaguardas.	Articular governança e acompanhamento de equidade.

Fonte: elaboração própria. A última coluna se destina sobretudo à formação continuada de professores experientes, formadores e equipes institucionais. Os níveis são propostos para investigação, sem equivaler a uma escala validada.

Portfólios podem reunir comandos, versões, fontes, erros e justificativas. Na discussão de microaulas, interessa examinar alinhamento conceitual, participação e mediação. A comparação de imagens com atlas e bases científicas permite justificar uma correção ou escolher outra representação. Essas possibilidades de acompanhamento admitem adaptação pelos docentes e formadores.

Exemplos de aplicação em Biologia

Em uma atividade sobre mitose, um grupo pode produzir um diagrama com IAG e registrar ferramenta, data, *prompt* e parâmetros disponíveis. O grupo confronta a imagem com fontes acadêmicas e examina cromossomos, fuso, carioteca, citocinese, sequência das fases e convenções de cores. Depois, adapta o nível de detalhe e a descrição alternativa à turma e planeja perguntas que solicitem evidências para aceitar ou rejeitar componentes do diagrama. A verificação científica e visual orienta o planejamento, enquanto o registro de versões permite discutir autoria.

O produto formativo pode incluir a imagem original, uma versão anotada, fontes e justificativa da decisão. Quando a figura exige reconstrução extensa ou produz uma relação conceitual enganosa, recorrer a um atlas, desenhar coletivamente ou utilizar outro recurso é uma escolha pedagogicamente fundamentada. A qualidade da atividade depende da investigação que a representação permite desenvolver, e o descarte pode ser parte do aprendizado sobre a tecnologia.

Um segundo exemplo trabalha com uma formulação hipotética de saída gerada, construída aqui apenas para fins didáticos: “As bactérias desenvolvem resistência porque precisam sobreviver ao antibiótico”. O professor pode propor que a turma examine a atribuição de intenção e confronte a frase com variação hereditária, mutação e seleção. A versão revisada explicaria que variantes resistentes podem surgir ou ser adquiridas e tornar-se mais frequentes sob a pressão do antibiótico; a necessidade não orienta a produção de uma mutação específica. O registro da frase, das fontes e das alterações permite discutir autoria e sustentação do argumento. O exemplo não relata um teste de ferramenta ou um resultado empírico desta revisão.

Discussão

O que o framework acrescenta

A proximidade com a UNESCO é intencional. O BioIA-Lit utiliza sua perspectiva humanocêntrica, ética, fundamentos, pedagogia e aprendizagem profissional como referência, além dos modelos de Long e Magerko (2020) e Ng et al. (2021). A reorganização em seis dimensões responde a responsabilidades da docência em Biologia, sem reivindicar a descoberta de competências ausentes no referencial internacional. A agência humana passa a ser um princípio transversal; a aprendizagem profissional organiza a progressão. Com isso, a contagem de dimensões deixa de ser uma equivalência entre os dois modelos.

A contribuição disciplinar está em explicitar o que se examina e como uma decisão repercute na atividade. Uma verificação de conteúdo pode aceitar corretamente a definição de mitose e ainda deixar passar uma sequência visual incoerente. D2 focaliza a sustentação da explicação e das relações entre escalas; D4 focaliza estrutura, orientação, legenda e convenções da representação. D5 torna examinável o processo de autoria e avaliação, enquanto D6 trata das condições coletivas de participação e responsabilidade. Esses recortes poderiam ser desenvolvidos em uma leitura disciplinar da UNESCO; o BioIA-Lit procura organizá-los em ações e situações comparáveis para pesquisa, planejamento e acompanhamento formativo.

Implicações para formação inicial e continuada

Na formação inicial, essa organização pode ser explorada em tecnologias educacionais, componentes de conteúdo e estágios. A articulação com PCK e TPACK favorece o exame da relação entre ferramenta, estratégia e conceito (Celik, 2023; Mishra; Warr; Islam, 2023). A auditoria de um material e o planejamento supervisionado podem anteceder a condução de uma sequência. A progressão proposta depende de oportunidades de reflexão e de acompanhamento, sem pressupor que a conclusão de uma atividade certifique uma competência.

Na formação continuada, grupos podem comparar critérios aplicados a árvores filogenéticas, modelos moleculares, anatomia e ecologia. Análise colaborativa de materiais e observação de aulas oferecem formatos de trabalho conforme as condições da escola. A investigação pode acompanhar se os critérios discutidos reaparecem nas decisões em aula.

Implicações para avaliação e política institucional

Avaliar uma atividade com IAG envolve identificar a prática cognitiva que o estudante precisa realizar. A geração de ideias pode apoiar o planejamento; a interpretação de dados, a sustentação de um argumento e a análise de incertezas podem constituir o próprio objeto de aprendizagem. Explicitar previamente usos admitidos e evidências esperadas favorece uma discussão sobre assistência, autoria e responsabilidade adequada à tarefa.

O protocolo de Contreras-de la Llave e Ballester-Pardo (2026) oferece elementos para tornar o processo observável. No BioIA-Lit, a documentação se articula à auditoria científica e multimodal e à adequação pedagógica. Regras sobre dados, direitos, acesso, alternativas sem IA e contestação podem ser construídas com professores e estudantes. A diferença de aceitação entre uso docente e discente relatada por Estaiteyeh e Mindzak (2025) justifica examinar essas assimetrias; não demonstra que a participação, isoladamente, elimine usos ocultos ou desigualdades.

Limitações e agenda de pesquisa

A cobertura da ERIC e da PubMed, a consulta complementar dirigida, o trabalho de um único revisor e a indisponibilidade de textos integrais podem produzir vieses. Entre os não recuperados estão Jeong e Kwon (2026), sobre formação em Biologia, e Coelho et al. (2025), sobre estudantes de cursos biológicos, além de outros estudos do manuscrito anterior. Eles não sustentam a síntese ou a avaliação de qualidade. A parcela de Biologia em Lee e Zhai (2024) envolve planos de futuros professores dos anos iniciais; estudos médicos permitem transferir critérios visuais, sem validar sua aplicação em licenciaturas de Biologia. A versão integral recuperada de Lee e Zhai é um manuscrito anterior à publicação, uma limitação adicional de verificação. Autorrelato, planejamento e testes de saídas também não equivalem a aprendizagem escolar acompanhada.

Estudos com especialistas, licenciandos e professores podem examinar clareza, relevância e viabilidade do BioIA-Lit. O acompanhamento em estágios e escolas pode combinar desempenho, julgamento e autoeficácia. Tarefas em português sobre evolução, botânica, ecologia e microbiologia permitiriam testar os limites da transferência, considerando acesso, diversidade linguística, biodiversidade brasileira e proteção de dados.

Considerações finais

A síntese da literatura, interpretada com referenciais prévios, permitiu propor seis dimensões para a formação de professores de Biologia. O letramento em IA se relaciona à compreensão dos sistemas, à verificação de textos e imagens, às escolhas de mediação, à autoria e às condições éticas e institucionais de uso. A evidência reunida tem alcances distintos e não demonstra uma competência docente única ou um efeito geral da IAG na aprendizagem.

O BioIA-Lit organiza essas responsabilidades em uma proposta conceitual de progressão e ação centrada na agência epistêmica humana. A verificação e a possibilidade de escolher um recurso sem IA integram o percurso. Sua contribuição consiste em tornar observáveis decisões que o produto fluente pode ocultar, oferecendo uma hipótese para investigação e experimentação formativa. A validação do modelo e de suas condições de aplicação permanece como trabalho a realizar.

Referências

AKSIT, Osman; AKOGLU, Kemal; AYDIN, Zeynep. Investigating Preservice STEM Teachers' AI Literacy and Self-Efficacy Beliefs: Are They Ready for AI?. Informatics in Education, v. 24, n. 4, p. 653-679, 2025. DOI: https://doi.org/10.15388/infedu.2025.22. Disponível em: https://doi.org/10.15388/infedu.2025.22. Acesso em: 20 out. 2026.

ALON, Lilach; SHOVAL, Dorit Hadar; LEVKOVICH, Inbar. Bias, representation, and clinical fidelity in AI-generated images for medical education: a systematic literature review. npj Digital Medicine, v. 9, n. 1, 469, 2026. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-026-02608-3. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41746-026-02608-3. Acesso em: 20 out. 2026.

BERTONCINI, Ana Luize Correa; SERAFIM, Mauricio Custódio; BORBA, Eduardo Henrique de. ESCALAS DE MENSURAÇÃO E ANTECEDENTES MOTIVACIONAIS DE AMBIENTES VIRTUAIS DE APRENDIZADO FOMENTADOS PELA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL. Revista Tecnologias Educacionais em Rede, v. 4, n. 1, p. 1-19, 2023. DOI: https://doi.org/10.5902/2675995070381. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reter/article/view/70381. Acesso em: 20 out. 2026.

BLONDER, Ron; FELDMAN-MAGGOR, Yael; RAP, Shelley. Are They Ready to Teach? Generative AI as a Means to Uncover Pre-Service Science Teachers' PCK and Enhance Their Preparation Program. Journal of Science Education and Technology, v. 34, n. 6, p. 1301-1310, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10180-2. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10180-2. Acesso em: 20 out. 2026.

BRASIL. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CP nº 4, de 29 de maio de 2024. Dispõe sobre as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial em Nível Superior de Profissionais do Magistério da Educação Escolar Básica. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 3 jun. 2024. Disponível em: https://mecnormas.mec.gov.br/pesquisa/detalhar/5042. Acesso em: 20 out. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 20 out. 2026.

BUZATO, Marcelo El Khouri; GONSALES, Priscila. Dimensões e enfoques alternativos para um modelo de letramentos críticos de inteligência artificial. Revista Brasileira de Linguística Aplicada, v. 25, n. 2, e44436, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/1984-6398202544436. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1984-6398202544436. Acesso em: 20 out. 2026.

CELIK, Ismail. Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. Computers in Human Behavior, v. 138, 107468, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107468. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0747563222002886. Acesso em: 20 out. 2026.

COELHO, Raquel et al. A Call for Clarity: Biology Students Advocate for Guidelines for the Use of Generative AI in Higher Education. Journal of Science Education and Technology, v. 34, n. 4, p. 853-865, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-025-10216-1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10956-025-10216-1. Acesso em: 20 out. 2026.

CONTRERAS-DE LA LLAVE, Natalia; BALLESTER-PARDO, Ignacio. Uso ético y reflexivo de la Inteligencia Artificial Generativa en la formación docente: análisis de un protocolo universitario en prácticas de lengua. Texto Livre, v. 19, e62511, 2026. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-3652.2026.62511. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-3652.2026.62511. Acesso em: 20 out. 2026.

COOPER, Grant. Examining Science Education in ChatGPT: An Exploratory Study of Generative Artificial Intelligence. Journal of Science Education and Technology, v. 32, n. 3, p. 444-452, 2023. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y. Acesso em: 20 out. 2026.

COOPER, Grant; TANG, Kok-Sing. Pixels and Pedagogy: Examining Science Education Imagery by Generative Artificial Intelligence. Journal of Science Education and Technology, v. 33, n. 4, p. 556-568, 2024. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10104-0. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10104-0. Acesso em: 20 out. 2026.

DE PUTTER-SMITS, L. G. A. et al. Exploring the role of generative AI in science teacher education programs: a qualitative study. International Journal of Educational Research Open, v. 9, 100492, 2025. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100492. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2025.100492. Acesso em: 20 out. 2026.

ESTAITEYEH, Mohammed; MINDZAK, Michael. Building AI Literacy in Pre-Service Teacher Education in Canada: A Case Study of Two Cohorts. Journal of Teaching and Learning, v. 19, n. 4, p. 135-154, 2025. DOI: https://doi.org/10.22329/jtl.v19i4.10041. Disponível em: https://doi.org/10.22329/jtl.v19i4.10041. Acesso em: 20 out. 2026.

HAIDER, Syed Ali et al. A Validity Analysis of Text-to-Image Generative Artificial Intelligence Models for Craniofacial Anatomy Illustration. Journal of Clinical Medicine, v. 14, n. 7, 2136, 2025. DOI: https://doi.org/10.3390/jcm14072136. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jcm14072136. Acesso em: 20 out. 2026.

HUYNH, Luna et al. Mindset matters: Fostering teachers' responsible AI use through professional development. Journal of New Approaches in Educational Research, v. 14, n. 1, art. 23, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s44322-025-00043-y. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s44322-025-00043-y. Acesso em: 20 out. 2026.

JEONG, Da-Kyong; KWON, Yong-Ju. Biology Meets Generative AI: Transforming Preservice Teacher Training for the Digital Age. The American Biology Teacher, v. 88, n. 3, p. 167-175, 2026. DOI: https://doi.org/10.1525/abt.2026.88.3.167. Disponível em: https://doi.org/10.1525/abt.2026.88.3.167. Acesso em: 20 out. 2026.

KUMAR, Ajay; BURR, Pierce; YOUNG, Tim Michael. Using AI Text-to-Image Generation to Create Novel Illustrations for Medical Education: Current Limitations as Illustrated by Hypothyroidism and Horner Syndrome. JMIR Medical Education, v. 10, e52155, 2024. DOI: https://doi.org/10.2196/52155. Disponível em: https://doi.org/10.2196/52155. Acesso em: 20 out. 2026.

KÜCHEMANN, Stefan et al. Can ChatGPT support prospective teachers in physics task development? Physical Review Physics Education Research, v. 19, n. 2, 020128, 2023. DOI: https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.020128. Disponível em: https://doi.org/10.1103/physrevphyseducres.19.020128. Acesso em: 20 out. 2026.

LEE, Gyeong-Geon; ZHAI, Xiaoming. Using ChatGPT for Science Learning: A Study on Pre-service Teachers' Lesson Planning. IEEE Transactions on Learning Technologies, v. 17, p. 1643-1660, 2024. DOI: https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3401457. Disponível em: https://doi.org/10.1109/tlt.2024.3401457. Acesso em: 20 out. 2026.

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

MACDOWELL, Paula et al. Preparing Educators to Teach and Create With Generative Artificial Intelligence. Canadian Journal of Learning and Technology, v. 50, n. 4, p. 1-23, 2024. DOI: https://doi.org/10.21432/cjlt28606. Disponível em: https://doi.org/10.21432/cjlt28606. Acesso em: 20 out. 2026.

MALLMANN, Elena Maria; MAZZARDO, Mara Denize. Políticas públicas e práticas para integração de recursos educacionais abertos (REA) na formação de professores. Revista Tecnologias Educacionais em Rede, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reter/article/view/61941. Acesso em: 20 out. 2026.

MEEGAN, John; YOUNG, Keith. It's a Tool Not a Crutch: A Pilot Generative AI Intervention to Enhance Pre-service Teachers' Self-efficacy and AI Literacy. Technology, Knowledge and Learning, v. 30, n. 4, p. 1895-1916, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10758-025-09875-1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10758-025-09875-1. Acesso em: 20 out. 2026.

MIAO, Fengchun; CUKUROVA, Mutlu. AI competency framework for teachers. Paris: UNESCO, 2024. DOI: https://doi.org/10.54675/ZJTE2084. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000391104. Acesso em: 20 out. 2026.

MIAO, Fengchun; HOLMES, Wayne. Guidance for generative AI in education and research. Paris: UNESCO, 2023. DOI: https://doi.org/10.54675/EWZM9535. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693. Acesso em: 20 out. 2026.

MISHRA, Punya; WARR, Melissa; ISLAM, Rezwana. TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. Journal of Digital Learning in Teacher Education, v. 39, n. 4, p. 235-251, 2023. DOI: https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480. Disponível em: https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480. Acesso em: 20 out. 2026.

NG, Davy Tsz Kit; LEUNG, Jac Ka Lok; CHU, Samuel Kai Wah; QIAO, Maggie Shen. Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. Computers & Education: Artificial Intelligence, v. 2, 100041, 2021. DOI: https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666920X21000357. Acesso em: 20 out. 2026.

NGUYEN, Ha; HAYWARD, Jake. Applying Generative Artificial Intelligence to Critiquing Science Assessments. Journal of Science Education and Technology, v. 34, n. 1, p. 199-214, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10177-x. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10956-024-10177-x. Acesso em: 20 out. 2026.

NOEL, Geoffroy P. J. C. Evaluating AI-powered text-to-image generators for anatomical illustration: A comparative study. Anatomical Sciences Education, v. 17, n. 5, p. 979-983, 2024. DOI: https://doi.org/10.1002/ase.2336. Disponível em: https://doi.org/10.1002/ase.2336. Acesso em: 20 out. 2026.

OLCZEWSKI, Elisson; MARCONDES, Renato; SENS, Larissa. ChatGPT NO ENSINO DE QUÍMICA: ANÁLISE DAS EXPLICAÇÕES SOBRE ÁCIDOS E BASES PARA O NOVO ENSINO MÉDIO E ENSINO SUPERIOR. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte), v. 27, e56809, 2025. DOI: https://doi.org/10.1590/1983-2117-56809. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1983-2117-56809. Acesso em: 20 out. 2026.

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

RODRIGUES, Jucilene. LETRAMENTOS DIGITAIS DE PROFESSORES EM UM CURSO PRÉ-VESTIBULAR: ESTUDO DE CASO EM RORAIMA. Revista Tecnologias Educacionais em Rede, v. 7, n. 1, e3, p. 1-22, 2026. DOI: https://doi.org/10.5902/2675995089598. Disponível em: https://periodicos.ufsm.br/reter/article/view/89598. Acesso em: 20 out. 2026.

SMITH-MUTEGI, Demetrice; MILES, Monica; MOHORN-MINTAH, Olayinka. The Perceptions of GenAI Tools in Lesson Planning: Implications for Science Teacher Education. Contemporary Issues in Technology and Teacher Education (CITE Journal), v. 26, n. 2, 2026. Disponível em: https://citejournal.org/volume-26/issue-2-26/science/the-perceptions-of-genai-tools-in-lesson-planning-implications-for-science-teacher-education/. Acesso em: 20 out. 2026.

SPASOPOULOS, Theodoros; SOTIROPOULOS, Dimitris; KALOGIANNAKIS, Michail. Generative AI in Pre-Service Science Teacher Education: A Systematic Review. Advances in Mobile Learning Educational Research, v. 5, n. 2, p. 1501-1523, 2025. DOI: https://doi.org/10.25082/amler.2025.02.007. Disponível em: https://doi.org/10.25082/amler.2025.02.007. Acesso em: 20 out. 2026.

TABUCHI, Hitoshi et al. Comparative educational effectiveness of AI generated images and traditional lectures for diagnosing chalazion and sebaceous carcinoma. Scientific Reports, v. 14, 29200, 2024. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-024-80732-4. Disponível em: https://doi.org/10.1038/s41598-024-80732-4. Acesso em: 20 out. 2026.

TANG, Kok-Sing; PUTRA, Gde Buana Sandila. Generative AI as a Dialogic Partner: Enhancing Multiple Perspectives, Reasoning, and Argumentation in Science Education with Customized Chatbots. Journal of Science Education and Technology, v. 35, n. 1, p. 128-140, 2026. DOI: https://doi.org/10.1007/s10956-025-10240-1. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10956-025-10240-1. Acesso em: 20 out. 2026.

WHITTEMORE, Robin; KNAFL, Kathleen. The integrative review: updated methodology. Journal of Advanced Nursing, v. 52, n. 5, p. 546-553, 2005. DOI: https://doi.org/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x. Disponível em: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2648.2005.03621.x. Acesso em: 20 out. 2026.

WILLIAMS, Andrew. Critical Evaluation of the Potential of Large Language Models in Bioscience Higher Education: A Conversation with ChatGPT. International Journal of Research in Education and Science, v. 11, n. 3, p. 667-701, 2025. DOI: https://doi.org/10.46328/ijres.1302. Disponível em: https://doi.org/10.46328/ijres.1302. Acesso em: 20 out. 2026.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0).