

<https://doi.org/10.56117/resbenq.2026.v7.e072612>

Usos técnicos e críticos de Sistemas de Inteligência Artificial em práticas do Ensino de Química e Ciências: tensões emergentes

*Technical and critical uses of artificial intelligence systems in chemistry
education practices: emerging tensions*

*Usos técnicos y críticos de sistemas de inteligencia artificial en prácticas de la
enseñanza de la Química: tensiones emergentes*

Gildo Giroto Junior (ggirotto@unicamp.br)
Universidade Estadual de Campinas
<https://orcid.org/0000-0001-9933-100X>

Lívia Correia Chotolli (l195636@dac.unicamp.br)
Universidade Estadual de Campinas
<https://orcid.org/0000-0003-4792-9805>

Victória Lessa da Silva (v2555916@dac.unicamp.br)
Universidade Estadual de Campinas
<https://orcid.org/0009-0000-2816-1410>

Maria Laura Alves Pedro (m250705@dac.unicamp.br)
Universidade Estadual de Campinas
<https://orcid.org/0009-0006-4448-175X>

Mayara de Carvalho Santos (decarvalho.mayara@gmail.com)
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", campus de Bauri
<https://orcid.org/0000-0003-1204-0184>

Resumo

O uso crescente de Sistemas de Inteligência Artificial (SIA) no campo educacional, em especial no Ensino de Química, tem suscitado expectativas e preocupações relacionadas às suas implicações pedagógicas, epistemológicas e socioculturais. Diante desse cenário, o presente artigo tem como objetivo analisar de que forma o uso de SIA tem sido reportado em um conjunto de estudos relevantes da área do Ensino de Química, à luz das perspectivas de uso técnico e crítico das tecnologias. Para isso, constrói-se inicialmente uma tessitura teórica fundamentada nas concepções de tecnologia de Pacey e Cupani e na Teoria da Ação Mediada de Wertsch, permitindo caracterizar o uso



Este texto é licenciado pela [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

técnico como instrumental, utilitarista e produtivista, e o uso crítico como aquele que integra dimensões contextuais, culturais, epistemológicas e pedagógicas. Metodologicamente, a pesquisa foi desenvolvida em duas etapas. A primeira consistiu em um mapeamento bibliométrico exploratório na base de dados *Web of Science*, com o intuito de identificar tendências, temas recorrentes e autores de destaque na produção científica sobre Inteligência Artificial no Ensino de Química. A partir desse mapeamento, foram selecionados trabalhos fortemente citados para compor o corpus da segunda etapa, dedicada a uma análise qualitativa de conteúdo, orientada teoricamente a partir da leitura integral do corpus e que permitiu identificar características de uso técnico ou crítico dos SIA. Os resultados indicam a coexistência de diferentes abordagens nos estudos analisados. Parte das investigações enfatiza o uso técnico dos SIA, priorizando a eficiência, a automação de tarefas e a otimização de processos como avaliação, planejamento e produção de materiais didáticos, ancoradas em uma lógica produtivista e mercadológica. Em contrapartida, outros trabalhos evidenciam uma perspectiva crítica, ao problematizar limites epistemológicos, riscos de reprodução de concepções alternativas, questões éticas, integridade acadêmica e os impactos da mediação tecnológica nas práticas educativas. Conclui-se que a incorporação dos SIA no Ensino de Química não é neutra e que o tipo de mediação construída (técnica ou crítica) influencia diretamente os valores, as práticas pedagógicas e o papel do professor e do estudante. O estudo busca propiciar subsídios teóricos e analíticos para a construção de propostas educacionais que superem o uso meramente instrumental dos SIA, favorecendo a apropriação crítica dessas tecnologias no contexto da Educação Química.

Palavras-chave: Sistemas de Inteligência Artificial; Perspectiva técnica; Perspectiva Crítica; Mediação tecnológica.

Abstract

The increasing use of Artificial Intelligence Systems (AIS) in the educational field, especially in Chemistry Education, has raised both expectations and concerns related to its pedagogical, epistemological, and sociocultural implications. Given this scenario, this article aims to analyze how AIS has been reported in relevant studies in the field of Chemistry Education, in light of the perspectives on the technical and critical uses of technologies. To this end, a theoretical framework is initially constructed based on Pacey and Cupani's conceptions of technology and Wertsch's Theory of Mediated Action, allowing us to characterize technical use as instrumental, utilitarian, and productivist, and critical use as integrating contextual, cultural, epistemological, and pedagogical dimensions. Methodologically, the research was developed in two stages. The first consisted of an exploratory bibliometric mapping in the Web of Science database, aimed at identifying trends, recurring themes, and prominent authors in the scientific literature on Artificial Intelligence in Chemistry Education. Based on this mapping, highly cited works were selected to compose the corpus for the second stage,

dedicated to a qualitative content analysis theoretically guided by emerging categories that identified characteristics of the technical or critical use of AIS. The results indicate the coexistence of different approaches in the analyzed studies. Some investigations emphasize the technical use of AIS, prioritizing efficiency, task automation, and process optimization, such as evaluation, planning, and production of teaching materials, anchored in a productivist and market-driven logic. In contrast, other works highlight a critical perspective, problematizing epistemological limits, risks of reproducing alternative conceptions, ethical issues, academic integrity, and the impacts of technological mediation on educational practices. It is concluded that the incorporation of AIS into Chemistry teaching is not neutral, and that the type of mediation constructed (technical or critical) directly influences values, pedagogical practices, and the roles of the teacher and the student. This study aims to contribute by providing theoretical and analytical support for the development of educational proposals that go beyond the merely instrumental use of information and communication technologies. It aims to promote a critical appropriation of these technologies in the context of chemical education.

Keywords: Artificial Intelligence Systems; Technical Perspective; Critical Perspective; Technological Medication.

Resumen

El creciente uso de los Sistemas de Inteligencia Artificial (SIA) en el ámbito educativo, especialmente en la Educación Química, ha suscitado expectativas e inquietudes sobre sus implicaciones pedagógicas, epistemológicas y socioculturales. Ante este panorama, este artículo se propone analizar cómo se ha reportado el uso de los SIA en estudios relevantes en el campo de la Educación Química, desde las perspectivas del uso técnico y el uso crítico de las tecnologías. Para ello, se construye inicialmente un marco teórico basado en las concepciones de tecnología de Pacey y Cupani, y en la Teoría de la Acción Mediada de Wertsch, lo que permite caracterizar el uso técnico como instrumental, utilitarista y productivista, y el uso crítico como aquel que integra dimensiones contextuales, culturales, epistemológicas y pedagógicas. Metodológicamente, la investigación se desarrolló en dos etapas. La primera consistió en un mapeo bibliométrico exploratorio en la base de datos Web of Science, con el objetivo de identificar tendencias, temas recurrentes y autores destacados en la producción científica sobre Inteligencia Artificial en la Educación Química. Con base en este mapeo, se seleccionaron trabajos altamente citados para componer el corpus de la segunda etapa, dedicada a un análisis de contenido cualitativo, teóricamente guiado por categorías emergentes que permitieron identificar características del uso técnico o crítico de las SIA (Tecnologías Aumentativas y Alternativas). Los resultados indican la coexistencia de distintos enfoques en los estudios analizados. Algunas investigaciones enfatizan el uso técnico de las SIA, priorizando la eficiencia, la automatización de tareas

y la optimización de procesos como la evaluación, la planificación y la producción de materiales didácticos, ancladas en una lógica productivista y de mercado. En contraste, otros trabajos adoptan una perspectiva crítica, problematizando los límites epistemológicos, los riesgos de reproducir concepciones alternativas, las cuestiones éticas, la integridad académica y los impactos de la mediación tecnológica en las prácticas educativas. Se concluye que la incorporación de las SIA en la enseñanza de la Química no es neutral y que el tipo de mediación construida (técnica o crítica) influye directamente en los valores, las prácticas pedagógicas y el rol del docente y del estudiante. Este estudio pretende contribuir brindando sustento teórico y analítico para el desarrollo de propuestas educativas que vayan más allá del uso meramente instrumental de las tecnologías de la información y la comunicación, promoviendo una apropiación crítica de estas tecnologías en el contexto de la educación química.

Palabras clave: Sistemas de Inteligencia Artificial; Perspectiva Técnica; Perspectiva Crítica; Mediación Tecnológica.

Introdução

O crescente uso de ferramentas de Inteligência Artificial tem gerado, simultaneamente, entusiasmo e preocupação. A implementação de tais ferramentas tem sido reportada em inúmeras áreas do conhecimento, desde sistemas de gerenciamento ambiental (Allen et al., 2025) até estudos em áreas da medicina (Scarinci et al., 2021). Neste trabalho adotaremos o termo Sistemas de Inteligência Artificial (SIA) para nos referirmos a esse conjunto de ferramentas.

SIA são reportados desde os anos 1940, baseados no aprendizado por máquinas a partir da interpretação de dados (Sobreira, 2025). Em 2017, a arquitetura de redes *Transformers*, apresentada por pesquisadores do *Google Brain* na *31st Conference on Neural Information Processing Systems* (Vaswani et al., 2017), revolucionou o acesso, trabalho e reformulação de dados por máquinas, tornando-se a base dos SIA atuais.

A popularização dos SIA modernos ocorreu em 2022 com a disponibilização gratuita do ChatGPT pela OpenIA, uma ferramenta de Inteligência Artificial Generativa com essa nova arquitetura de rede (OpenAI, 2023). Hoje, novos SIA surgem constantemente para diversas tarefas (sociais, de trabalho, para educação), gerando uma mudança massiva de atitudes e comportamentos. Casos antes ficcionais invadem a realidade, como a nomeação de um gestor governamental máquina (Presse, 2025) e o preparo de materiais didáticos e aulas usando SIA (Alves et al., 2025; Freitas, 2024).

A inegável evolução tecnológica dos SIA reside em sua base comum: um conjunto de códigos e algoritmos que processa e executa tarefas a partir da análise estatística de um grande volume de dados, visando a objetivos específicos (Kaufman & Santaella, 2020). Entretanto, e também por esta razão, é necessário um olhar minucioso sobre os diferentes usos destas ferramentas, reconhecendo quais são os conhecimentos necessários para compreender sua estrutura e funcionamento.

No campo educacional, em particular no Ensino de Química, um conjunto de publicações tem sido reportado na literatura sobre o tema (Cardoso et al., 2023; Leite, 2023; Li et al., 2024; Rodrigues & Rodrigues, 2023). Periódicos internacionais da área lançaram números especiais sobre a temática. Periódicos nacionais, como este próprio, têm se preocupado em publicar trabalhos que visam trazer reflexões sobre o uso de SIA no Ensino de Química e na pesquisa. Nota-se a diversidade de trabalhos sobre o tema, com estudos que envolvem a criação de *chatbots* (Young et al., 2024), a criação de conteúdo (Emenike & Emenike, 2023), a capacidade de interpretação de produtos educacionais (Costa et al., 2024), entre outras aplicações.

Estudos indicam limitações no uso utilitarista de SIA na Educação. O aprendizado dessas tecnologias, fundamental por sua contemporaneidade e caráter disruptivo, não se limita ao domínio técnico. Envolve também conhecimentos contextuais, sociais, culturais e epistemológicos sobre a natureza do conhecimento tecnológico.

Nesse artigo, investigamos como o uso de SIA tem sido relatado na área de Ensino de Química, analisando perspectivas teóricas de tecnologia e mediação pedagógica. Com base em referenciais de tecnologia, exploramos o uso técnico ou crítico de SIA, focando nas razões, valores e potencial da mediação tecnológica. O objetivo é subsidiar o planejamento de atividades que integrem o SIA ao Ensino de Química com uma perspectiva crítica.

Este estudo analisa como o uso de SIA no Ensino de Química se caracteriza, analisando valores e o papel da mediação tecnológica nas práticas educativas. Diante disso, a pergunta de pesquisa que se coloca é: Como estudos fortemente citados do campo do Ensino de Química descrevem, justificam e integram o uso de SIA e, em que medida, essas abordagens evidenciam perspectivas de uso técnico ou crítico das tecnologias?

Associadas a essas questões, nossos objetivos de pesquisa são:

- Analisar de que modo os trabalhos analisados descrevem e justificam o uso dos SIA, identificando ênfases de caráter técnico ou crítico;
- Identificar e discutir os elementos instrumentais, contextuais, pedagógicos e epistemológicos mobilizados nesses estudos.

Procuramos, nas próximas seções, discorrer sobre diferentes perspectivas teóricas sobre o uso de recursos tecnológicos (em particular, os SIA) no contexto educacional. Esse exercício de interlocução tem por objetivo caracterizar o que denominamos uso técnico e uso crítico, compreender as razões pelas quais optamos por usar tais sistemas em práticas educacionais e as implicações deste uso.

Fundamentação teórica

Perspectivas para o Uso dos SIA: Estabelecendo Tessituras

Os termos “uso técnico” ou “uso crítico” das tecnologias assumem significados distintos a depender do campo de aplicação e do referencial teórico mobilizado. Neste trabalho, tais noções são categorias analíticas, não classificações rígidas, e são construídas para interpretar diferentes formas de mediação tecnológica no Ensino de Química. São tratadas como ideias para identificar ênfases e tensões na integração dessas tecnologias às práticas educativas.

As noções de uso técnico e uso crítico mobilizadas neste estudo são fundamentadas em referenciais que problematizam a neutralidade da tecnologia e sua inserção em contextos sociais, culturais e pedagógicos. A perspectiva Ciência-Tecnologia-Sociedade (CTS) é utilizada como lente analítica para compreender os SIA como construções sociotécnicas, cujos usos no Ensino de Química expressam valores, intencionalidades e formas específicas de mediação pedagógica.

As contribuições de Pacey (2000) e Cupani (2020) permitem situar os SIA para além de sua dimensão instrumental, compreendendo-os como práticas atravessadas por aspectos organizacionais, culturais e éticos. Nessa direção, o uso técnico caracteriza-se pela ênfase no desempenho funcional e na eficiência operacional, enquanto o uso crítico envolve a incorporação reflexiva da tecnologia às práticas educativas, considerando seus limites epistemológicos, implicações pedagógicas e impactos sobre a agência de professores e estudantes.

Nessa articulação teórica, a noção de mediação, fundamentada na Teoria da Ação Mediada (TAM) (Wertsch, 1998), permite compreender os SIA como ferramentas culturais que participam da organização das práticas educativas. A distinção entre domínio e apropriação é mobilizada como operador analítico para interpretar diferentes formas de uso da tecnologia, distinguindo abordagens centradas na operação técnica dos sistemas daquelas que incorporam reflexões sobre seus limites, implicações pedagógicas e efeitos sobre a agência no Ensino de Química.

A partir dessas tessituras teóricas, as categorias de uso técnico e uso crítico operam, neste estudo, como instrumentos analíticos para interpretar como os SIA têm sido descritos, justificados e integrados nas produções do campo do Ensino de Química analisadas.

Inteligência Artificial como Mercadoria

No contexto educacional, as discussões sobre o uso de recursos tecnológicos perpassam sua crescente inserção em práticas educacionais e a diversidade de expectativas que acompanham seu uso. A análise das razões que sustentam a adoção dos SIA torna-se relevante, uma vez que tais razões não se restringem a aspectos técnicos, mas envolvem dimensões econômicas, organizacionais e culturais que influenciam a forma como essas tecnologias são compreendidas e mobilizadas no ensino.

Os SIA são produtos de mercado com potencial lucrativo. De acordo com a empresa Gartner¹, uma das mais influentes no campo das tecnologias, os SIA estão momentaneamente no denominado “vale da desilusão”, no qual, após um momento de grande euforia, usuários e empresas estão avaliando as reais possibilidades de uso para além de uma perspectiva “fantasiosa”. Uma das preocupações associadas ao uso é a inserção desses sistemas no campo educacional.

Nesse sentido, Levant (2025) traz uma discussão sobre os SIA para além de um produto tecnológico, sendo concebidos como uma *commodity* moderna. Em seu trabalho, o autor apresenta o conceito marxista de “fetiche de mercadoria” e propõe interpretar a IA como um artefato que tende a ser supervalorizado, especialmente em

¹ Gartner Inc. é uma empresa que desenvolve pesquisas e realiza consultorias na área de tecnologias.

discursos que atribuem a esses sistemas capacidades autônomas ou solucionadoras de problemas complexos. A discussão é que, pela sua inserção como mercadoria considerada, atualmente, como indispensável, inspira “todos” a quererem usá-la. Essas características acabam por compor um conjunto de razões para a incorporação dos SIA às diferentes ações cotidianas.

No Ensino de Ciências, a justificação para o uso de Sistemas de Inteligência Artificial (SIA) muitas vezes se baseia na incorporação de elementos teóricos como redes neurais e cognição de máquinas. Esses conceitos reforçam a noção de que a IA é um agente autônomo.

Paralelamente, há, do ponto de vista da concepção de inteligência, o debate de que a aparente agência das máquinas não pode ser compreendida separadamente das relações sociais concretas nas quais elas estão inseridas (Levant, 2025). Ainda, a “inteligência” tem sido questionada em termos de ser imitação e não inteligência, uma vez que não se trata de um aprendizado, mas de um conjunto de reproduções de padrões expressos pelos seres humanos que os criaram (Ilyenkov et al., 2024).

Argumentamos que o desconhecimento mais amplo do funcionamento, contexto de surgimento, implementação e das relações sociais dos SIA leva a um uso focado apenas em tarefas rápidas e “eficientes”. No entanto, nem todas as tarefas devem seguir essa lógica de produtividade.

No campo educacional, parte da literatura tem questionado a transposição direta de lógicas produtivistas para práticas como o planejamento didático, a avaliação e a elaboração de materiais pedagógicos. Nesse sentido, a incorporação dos SIA suscita debates sobre em que medida critérios como rapidez, automação e eficiência contribuem - ou tensionam - processos formativos que envolvem interação, mediação pedagógica e construção de sentido.

Tecendo aproximações sobre estas possíveis razões para o uso de SIA com as ideias anteriormente abordadas, recorreremos a outra ideia trazida por Cupani denominada mentalidade tecnológica. Segundo o autor, *“a mentalidade tecnológica nos estimula a pensar que os problemas serão resolvidos se utilizarmos a tecnologia correta. (...) Isso acaba por nos levar à inserção de produtos tecnológicos no campo educacional sem a devida criticidade, carregados por um sistema imediatista (...)”* (Cupani, 2020, p. 86).

A compreensão dos SIA como tecnologias inseridas em contextos econômicos e culturais mais amplos contribui para analisar criticamente as razões que sustentam sua adoção no campo educacional. Mais do que determinar efeitos fixos, essa perspectiva permite investigar como diferentes formas de uso podem ampliar ou restringir a agência dos sujeitos, dependendo do tipo de mediação pedagógica construída.

Sumarizando, a figura 1 busca sistematizar as articulações que buscamos estabelecer e que nos servirão de base para as análises realizadas posteriormente.

Figura 1

Sistematização dos referenciais teóricos para o uso técnico, crítico e implicações do uso das tecnologias.



Na sequência, prosseguimos com a metodologia e análise dos dados, retomando a intencionalidade de investigar de que forma o uso de SIA tem sido reportado dentre alguns estudos na área de Ensino de Química.

Metodologia

A investigação foi estruturada em duas fases interdependentes, concebidas para articular um panorama exploratório da produção científica com uma análise interpretativa situada sobre o uso de SIA no Ensino de Química. O estudo não tem como

objetivo representar o campo em sua totalidade, mas examinar tendências e abordagens presentes em um recorte específico da literatura, a partir de critérios bibliométricos e analíticos claramente delimitados.

Inicialmente, desenvolveu-se um mapeamento bibliométrico exploratório (Donthu et al., 2021) na base *Web of Science – Core Collection* (WoS), selecionada por sua relevância e consistência na indexação de estudos na área de Educação em Ciências. Não foi aplicado recorte temporal, uma vez que o objetivo dessa etapa consistiu em identificar padrões de publicação, temas recorrentes e redes de citação associadas ao uso de SIA no Ensino de Química. Reconhece-se, entretanto, que a centralidade atribuída aos indicadores de citação privilegia trabalhos com maior visibilidade e circulação internacional, o que pode implicar a sub-representação de produções recentes ou contra-hegemônicas. Tal limitação é assumida como parte do delineamento metodológico adotado.

Utilizou-se a *string* de busca: (“Artificial Intelligence” OR “Inteligência Artificial”) AND (“Chemistry Education” OR “Educação em Química” OR “Ensino de Química”). O critério de inclusão envolveu a seleção de resultados exclusivamente das áreas de pesquisas educacionais e disciplinas de educação científica (*Education Educational Research* e *Education Scientific Disciplines*). Portanto, documentos que não se enquadravam neste contexto foram excluídos, o que resultou em 130 documentos.

Elaborou-se um arquivo de sinônimos destinado à padronização de termos recorrentes antes da geração dos mapas bibliométricos no *software VOSviewer*. Esse procedimento reduziu ruídos semânticos e permitiu um melhor agrupamento conceitual dos dados. Em seguida, foram construídos mapas de coocorrência de palavras-chave, cocitação de autores, coautoria por país e frequência de referências citadas. A interpretação desses mapas possibilitou identificar temas centrais e autores que têm um conjunto grande de citações e conexões entre suas redes.

As tendências observadas no mapeamento bibliométrico orientaram a seleção de um conjunto restrito de investigações para a segunda etapa do estudo. Foram priorizados trabalhos fortemente citados, inseridos em redes de cocitação e alinhados às temáticas identificadas, compondo um corpus analítico de natureza intencional e exploratória. Essa escolha visa aprofundar a análise qualitativa de abordagens

representativas desse recorte específico da literatura, sem pretensão de generalização para o campo do Ensino de Química ou Ciências.

A análise qualitativa foi conduzida por meio de uma análise de conteúdo (Bardin, 1977) de natureza temático-interpretativa, orientada pelos objetivos da pesquisa e pelo referencial teórico adotado. As categorias analíticas foram construídas a partir da leitura integral dos trabalhos que compuseram o corpus, em diálogo com as perspectivas de uso técnico e uso crítico das tecnologias e com a Teoria da Ação Mediada. Esse processo envolveu leitura, codificação, definição e refinamento das categorias, bem como a validação interpretativa entre os autores, permitindo identificar diferentes ênfases e formas de mediação tecnológica reportadas nos estudos analisados.

Resultados e discussões

Após a busca inicial, a aplicação dos filtros definidos e eliminação de duplicatas, foram identificados 130 documentos indexados na *Web of Science*. A análise de coocorrência de termos permitiu reconhecer tendências temáticas recorrentes no recorte analisado, como o uso de IA generativa, avaliação automatizada, planejamento didático mediado por tecnologias e formação docente em contextos educacionais. Esses resultados oferecem um panorama exploratório das abordagens predominantes nesse conjunto específico de publicações, sem pretensão de representar a totalidade da produção na área de Ensino de Química.

A partir dos dados de citação, foram selecionados cinco trabalhos (Tabela 1) fortemente citados que apresentavam uso explícito de SIA e inserção em redes de diálogo consolidadas no recorte analisado. Esses estudos compuseram o corpus da análise qualitativa, sendo considerados não como representantes do campo em sua totalidade, mas como casos analíticos que permitem examinar tendências, enfoques e tensões presentes na literatura de maior circulação sobre SIA no Ensino de Química.

Tabela 1

Trabalhos mais citados na busca na Web of Science.

Autores	Título	Número de citações
Vicente Talanquer	<i>Interview with the Chatbot: How Does It Reason?</i>	143
Xiaoming Zhai, Peng He e Joseph Krajcik	<i>Applying machine learning to automatically assess scientific models</i>	102
Field M. Watts, Amber J. Dood, Ginger V. Schultz e Jon-Marc G. Rodriguez	<i>Comparing Student and Generative Artificial Intelligence Chatbot Responses to Organic Chemistry Writing-to-Learn Assignments</i>	60
Gyeng-Geon Lee e Xiaoming Zhai	<i>Using ChatGPT for Science Learning: A Study on Pre-service Teachers' Lesson Planning</i>	58
Sebastian Tassoti	<i>Assessment of Students Use of Generative Artificial Intelligence: Prompting Strategies and Prompt Engineering in Chemistry Education</i>	41

Análise do Uso Técnico ou Crítico

Na análise dos trabalhos que compõem o corpus, buscou-se identificar elementos que permitem interpretar diferentes formas de uso dos SIA, considerando as categorias analíticas de uso técnico e uso crítico. Essas categorias são mobilizadas como instrumentos interpretativos, permitindo examinar ênfases, combinações e tensões presentes nas abordagens adotadas pelos autores, sem pressupor classificações rígidas ou excludentes. As categorias identificadas foram:

- Categoria 1 (C1): Abordagem e uso do SIA;
 - Subcategoria 1 (SC1.1): procedimental/instrumental;
 - Subcategoria 2 (SC1.2): abordagem contextual;
- Categoria 2 (C2): Foco temático pedagógico.

Procederemos na sequência com a análise, a qual optamos por realizar individualmente para os trabalhos, com uma posterior síntese e discussão do caráter técnico ou crítico em diálogo com os referenciais. Destacamos que todas as unidades

de significado (US), foram traduzidas do inglês para o português pelos autores deste trabalho.

Categoria 1 (C1): Abordagem e uso do SIA.

Subcategoria 1 (C1.1): Procedimental/instrumental

No estudo de Tassotti (2024), observa-se uma ênfase no desenvolvimento de estratégias procedimentais para a interação com sistemas de IA generativa, com foco na formulação de *prompts* e na organização das solicitações feitas ao sistema. O objetivo central do trabalho consiste em aprimorar a qualidade técnica das respostas obtidas, a partir do domínio de estruturas específicas de interação, como o método *Five S*, conforme ilustra a unidade de significado (US) apresentada a seguir.

US1: Considerando que os alunos inicialmente parecem carecer de estratégias de estímulo, mas podem aprimorá-las quando recebem uma orientação como a estrutura de estímulo dos Cinco S, o uso dessas estruturas e estratégias pode ser uma maneira importante de melhorar o uso da IA generativa pelos alunos” (p. 2481).

A análise do estudo indica uma priorização de aspectos operacionais do uso da IA, nos quais a aprendizagem está associada à capacidade de formular comandos mais eficazes e interpretar tecnicamente as respostas geradas. Nessa abordagem, o desenvolvimento de competências relacionadas ao uso da ferramenta ocupa posição central, enquanto reflexões sobre implicações pedagógicas mais amplas aparecem de forma menos explícita.

O estudo de Zhai, He e Krajcik (2022) investiga o uso de técnicas de *machine learning* para automatizar a avaliação de modelos científicos produzidos por estudantes. A proposta enfatiza a capacidade dos algoritmos em processar diferentes tipos de representações, com destaque para ganhos de escala e consistência no processo avaliativo, conforme evidenciado na unidade de significado a seguir.

US2: A modelagem é difícil de incluir nas práticas de avaliação em sala de aula devido ao desafio de fornecer feedback oportuno aos alunos. A alta precisão da pontuação automática [...] aumentaria a confiança dos professores no uso da modelagem para práticas de avaliação em sala de aula (p. 1789).

A análise das unidades de significado sugere que o uso do SIA é mobilizado como resposta a limitações operacionais associadas ao tempo e à complexidade da avaliação de tarefas de modelagem. Nessa abordagem, a automação é apresentada como estratégia para viabilizar práticas avaliativas em larga escala, enquanto os efeitos pedagógicos dessa mediação são abordados de forma mais pontual.

Essa discussão sobre tecnologias na educação levanta preocupações com a mecanização e mercantilização da docência, e a possível diminuição da interação professor-aluno na avaliação. Embora as máquinas forneçam relatórios, há risco de vieses e perda de informações. Essa visão prioriza a eficiência, valorizando a tecnologia para analisar dados, padronizar julgamentos e escalar avaliações, caminhando para um cenário de automatização e foco no desempenho.

O destaque reside na densa argumentação de que o conhecimento tecnológico (teorias de *machine learning*) pode mitigar falhas no processo, reproduzindo a ideia de fetiche de mercadoria. Contudo, ignora-se que a questão central não é a inserção da tecnologia, mas sim a exclusão de elementos essenciais das teorias de aprendizado e da didática, o que limita a possibilidade pedagógica.

O estudo de Lee e Zhai (2024) também mostra uma intencionalidade predominante: a IA é vista principalmente como um recurso a ser integrado eficientemente no planejamento de aulas de futuros professores, e não como uma tecnologia que transforma epistemologias ou dinâmicas socioculturais. O uso do modelo GenAI-TPACK confirma essa abordagem, focando na coerência técnico-operacional entre objetivos, estratégias e funções da IA na avaliação dos planos de aula (US3).

US3: Especificamente, observamos quatro aspectos do planejamento de aulas examinando: 1) o alinhamento entre os objetivos curriculares e os usos do ChatGPT; 2) o alinhamento entre métodos/estratégias instrucionais e os usos do ChatGPT; 3) a seleção da função do ChatGPT; 4) a medida em que os objetivos curriculares, métodos/estratégias instrucionais e a seleção da função do ChatGPT se 'encaixam' (se ajustam) (p. 1646).

Deste modo, o estudo concentra-se em como o ChatGPT pode ser utilizado corretamente, quais funções são adequadas ou inadequadas e como otimizar seu

emprego no *design* instrucional, mas sem aprofundar discussões sobre impactos na autoria docente, nas formas de aprender ciências ou na mediação crítica dos saberes gerados pela IA.

A análise da categoria 1 indica que, nos trabalhos examinados, os SIA são mobilizados a partir de uma ênfase nos aspectos operacionais e funcionais de seu uso. Essas abordagens priorizam o domínio técnico das ferramentas e a otimização de processos específicos (Cupani, 2020), ainda que apresentem diferentes níveis de problematização pedagógica e contextual. Tais resultados não configuram categorias excludentes, mas evidenciam predominâncias e tensões nas formas como os SIA são integrados às práticas educacionais reportadas na literatura analisada.

Nesses casos, a defesa sugere um uso das ferramentas ao nível de domínio, mas sem a devida apropriação. Embora o contexto seja o Ensino de Química, ele é secundário, focado na reificação e mais no artefato do que na atitude humana, reforçando o uso técnico e uma visão idealizada dos SIA (Cupani, 2020; Levant, 2025).

Subcategoria 2 (SC1.2): Abordagem contextual

No estudo de Talanquer (2023), o uso de *chatbots* é analisado a partir da natureza do conhecimento produzido pelas respostas geradas pelos sistemas. O autor examina padrões explicativos presentes nas respostas da IA, como a recorrência de explicações teleológicas e a ocorrência de informações incorretas ou inventadas, articulando essa análise a discussões da literatura sobre aprendizagem em Química. As unidades de significado a seguir ilustram esses aspectos.

US4: Neste caso, a resposta do ChatGPT revela explicitamente uma abordagem teleológica na construção de explicações, na qual a força motriz dos processos é atribuída às necessidades e desejos de certas entidades em um sistema (p. 2822).

A análise dessas unidades de significado evidencia que o autor problematiza os limites epistemológicos das respostas geradas pelos *chatbots*, destacando que tais sistemas incorporam padrões explicativos e concepções presentes nos dados de treinamento. Nessa abordagem, a tecnologia é situada em um contexto social e cultural mais amplo, permitindo discutir seus efeitos potenciais sobre a construção do conhecimento científico no Ensino de Química.

O estudo de Dood et al. (2023) examina produções textuais de estudantes de Química Orgânica e respostas geradas por *chatbots*, com foco na identificação de características do raciocínio mecanicista. A análise compara padrões presentes nas respostas humanas e artificiais, discutindo implicações relacionadas à integridade acadêmica e ao uso ético da IA em atividades de escrita. As unidades de significado a seguir exemplificam esses aspectos.

US5: Desenvolver nossa compreensão sobre as capacidades da IA generativa é necessário para criar ambientes de aprendizagem nos quais os alunos possam desenvolver suas próprias percepções e avaliações sobre se o uso da IA generativa é academicamente honesto (p. 3813).

A análise das unidades de significado indica que os autores enfatizam a necessidade de considerar o uso da IA em atividades acadêmicas a partir de pressupostos de honestidade intelectual e de compreensão das limitações dos sistemas. Nessa abordagem, a comparação entre respostas de estudantes e de *chatbots* é utilizada como recurso para problematizar formas de avaliação, autoria e aprendizagem no contexto do Ensino de Química (US6):

US6: Partimos do pressuposto de que a intenção dos alunos é se comportar de maneira academicamente honesta e nos concentramos em compreender os usos éticos da IA generativa em tarefas de sala de aula (p. 3806).

Os trabalhos analisados nesta subcategoria mobilizam, em diferentes graus, elementos contextuais, sociais e epistemológicos na discussão sobre o uso dos SIA. Nessas abordagens, os aspectos técnicos não são ignorados, mas são articulados a reflexões sobre limites, riscos e implicações do uso da tecnologia no processo de ensino e aprendizagem em Química, evidenciando formas de mediação que extrapolam o uso estritamente instrumental dos SIA.

Categoria 2 (C2): Foco temático pedagógico.

A categoria 2 tem como foco examinar de que modo o uso dos SIA é articulado a práticas pedagógicas específicas, como avaliação, planejamento didático, ensino e formação docente. Diferentemente da categoria anterior, que enfatiza abordagens e formas de uso da tecnologia, esta análise busca compreender como a mediação

pedagógica é configurada nos trabalhos analisados e quais papéis são atribuídos aos SIA nesses processos.

O estudo de Lee e Zhai (2024) analisa planos de aula elaborados por professores em formação inicial com apoio do ChatGPT, investigando os papéis atribuídos à tecnologia no planejamento didático (US7). Os autores descrevem usos do SIA como provedor de informações, gerador de materiais e assistente no *design* instrucional, evidenciando como os futuros docentes integram a tecnologia às decisões pedagógicas relacionadas a objetivos, estratégias e atividades de ensino.

US7: Nessas instâncias, o ChatGPT foi usado para criar materiais de aprendizagem essenciais para a aula, mas não diretamente envolvidos no fornecimento de informações aos alunos. Por exemplo, o Participante_13 usou o ChatGPT para gerar cenários para uma atividade de interpretação de papéis sobre o sistema imunológico, enquanto o Participante_21 o utilizou para criar itens de quiz para uma atividade baseada em jogos. (p.1650)

O estudo focaliza as decisões dos futuros professores sobre quando incluir a tecnologia em atividades de aprendizagem e quais funções ela desempenha nesse processo. No entanto, não há uma discussão mais pragmática de sentido na incorporação do SIA como elemento que compõe o planejamento pedagógico, enfatizando seus usos operacionais sem desenvolver discussões associadas às dimensões sociotécnicas ou críticas da tecnologia.

Ainda que Lee e Zhai (2024) destaquem preocupações sobre o uso dos SIA, esta problemática é discutida pelos autores em termos do desenvolvimento de competências docentes necessárias para integrar a IA de forma funcional ao ensino de ciências. A discussão leva então a inferências que direcionam a uma formação mais técnica dos professores, dando ênfase às capacidades profissionais de decidir quando e para quê utilizar o ChatGPT durante o planejamento das aulas.

O trabalho de Zhai, He e Krajcik (2022) aborda o uso de SIA na avaliação de modelos científicos elaborados por estudantes, destacando a automação da correção como estratégia para lidar com a complexidade e o tempo envolvidos nesse processo. A mediação pedagógica é configurada de modo a atribuir aos algoritmos parte das tarefas tradicionalmente realizadas pelo professor, especialmente no que se refere à

análise de representações gráficas e textuais, enquanto os impactos dessa redistribuição sobre a prática docente são discutidos de forma mais limitada.

Os autores direcionam o foco na análise de como o SIA pode atuar como ferramenta de avaliação, mostrando como algoritmos podem automatizar a correção de modelos científicos produzidos por estudantes, uma tarefa normalmente complexa, demorada, mas fundamental para o professor compreender aspectos da aprendizagem dos estudantes. Compreender que a automatização de uma ação complexa que envolve diferentes dimensões do processo educacional possa ser realizada mecanicamente é julgar que a máquina, por sua capacidade de processamento de dados, tem os mesmos domínios que o professor. Deste modo, desvirtua-se o domínio de conhecimentos profissionais do professor, colocando-o no mesmo patamar de um agente de IA produzido por meio de códigos.

No estudo de Tassotti (2024), a mediação pedagógica está associada ao desenvolvimento do letramento em IA, com ênfase na aprendizagem de estratégias de interação com sistemas generativos. A formação dos participantes é analisada a partir da evolução no uso dos *prompts* e da percepção sobre a qualidade das respostas obtidas, indicando um foco no domínio técnico da ferramenta, acompanhado de reflexões iniciais sobre seus limites e possibilidades educacionais. O estudo demonstra que, mediante o uso de métodos adequados, a IA deixa de ser uma fonte de respostas genéricas para se tornar um assistente eficaz. A tecnologia é vista como um meio para facilitar o acesso à informação e apoiar o aluno, como destacado em:

US8: De forma geral, com a melhoria das instruções por meio de estratégias de estímulo, a satisfação percebida pelos alunos com as respostas aumentou significativamente em todas as categorias de avaliação (p. 2481).

Portanto, há uma articulação entre os domínios técnicos e críticos na mediação pedagógica com foco no desenvolvimento do letramento digital, ou seja, no desenvolvimento de conhecimentos sobre a tecnologia.

De modo mais crítico, o foco temático de Talanquer (2023) recai sobre a cognição, comparando o raciocínio da IA com o de estudantes novatos em Química. Ao olhar para aspectos da cognição, compreende-se a ótica do aprendizado de máquinas como distinta do aprendizado humano, não atribuindo os mesmos valores a ambos. O

autor demonstra que ambos operam de forma fragmentada, ativando recursos disponíveis para gerar respostas satisfatórias, mesmo que incorretas, quando questionados. No entanto, os SIAs trabalham com modelos causais profundos falhos, limitando-se a associações probabilísticas, diferentemente do pensamento intuitivo que promove os erros nas respostas dos estudantes. Assim:

US9: Dessa perspectiva, o objetivo de um chatbot é produzir uma resposta plausível e não necessariamente uma resposta "verdadeira" [...] Ambos dependem da ativação de recursos armazenados, acionados por contextos específicos e guiados por padrões comuns extraídos dos dados (p. 2823).

O autor propõe o uso da IA como ferramenta de suporte pedagógico, isto é, não foca em sua utilidade substitutiva, mas na investigação das respostas imperfeitas dos *chatbots* como material para análise crítica em sala de aula, como destacado em:

US10: A entrevista também me ajudou a perceber o potencial educativo de envolver os alunos na análise das respostas geradas por chatbots para diferentes perguntas, não necessariamente para avaliar se essas respostas estão corretas ou incorretas, mas para analisar e discutir os padrões de raciocínio que podem ter levado a respostas falhas, principalmente quando as ideias ou formas alternativas de explicação se alinham com as dos alunos (p. 2823).

Dood et. al (2023) comparou o raciocínio mecanicista entre estudantes e *chatbots* em uma tarefa de escrita, observando divergências e convergências. Os autores concluíram que os alunos incluem mais sentenças sobre características mecanicistas, especialmente as fundamentais da Química Orgânica, em contraste com os *chatbots*, que ainda carecem de sofisticação avançada. O estudo, assim como o anterior, problematiza o processo de aprendizagem e o desenvolvimento do raciocínio sobre modelos.

Os autores defendem que os Sistemas de IA (SIA), por serem persistentes nos ambientes de aprendizagem, devem ser usados como ferramenta pedagógica. É fundamental aproveitar suas capacidades e limitações para desenvolver o pensamento crítico (análise, revisão e problematização dos conteúdos gerados) e promover um debate transparente sobre integridade acadêmica e uso ético. Assim, a IA pode

aprimorar atividades, avaliações e a obtenção de informações por estudantes e educadores.

Essa segunda categoria evidencia diferenças entre os alinhamentos concebidos sob a perspectiva de domínio e apropriação. Enquanto no campo do uso mais técnico há a prevalência do domínio, os elementos contextuais e a apropriação pedagógica ocorrem quando os elementos contextuais são explícitos, demonstrando apropriação. Nesse sentido, as formas de domínio e apropriação podem moldar o uso dos SAI e, uma vez superada a dependência da técnica por meio da incorporação de uma perspectiva pedagógica, a lógica da construção de sentido passa a sobrepor-se à lógica algorítmica.

Os resultados do mapeamento bibliométrico indicaram que a produção recente sobre Sistemas de Inteligência Artificial (SIA) em contextos educacionais apresentam-se associados ao uso de IA generativa para produção de conteúdos, a avaliação automatizada de atividades, o planejamento didático mediado por tecnologias e a formação docente para integração dessas ferramentas. Essas tendências observadas encontram-se na análise dos cinco trabalhos selecionados, que permite ter indícios de como esses elementos assumem contornos específicos no campo do Ensino de Química.

Implicações dos usos de SIA para o Ensino de Química

Diferentemente de outras áreas do conhecimento, a aprendizagem em Química envolve a articulação simultânea entre diferentes níveis, macroscópico, submicroscópico e simbólico. A construção do conhecimento químico requer o estabelecimento de relações significativas entre esses domínios, processo frequentemente reconhecido como uma das principais dificuldades enfrentadas por estudantes. Nesse contexto, os SIA apresentam potencial para atuar como ferramentas mediadoras capazes de favorecer a produção de explicações, visualizações, simulações e representações alternativas que auxiliem na compreensão de conceitos químicos complexos.

Entretanto, os trabalhos analisados sugerem que esse potencial não se concretiza automaticamente. Quando utilizados sob uma lógica predominantemente técnica, os SIA tendem a assumir funções relacionadas à rapidez na obtenção de respostas, geração automática de textos ou resolução imediata de problemas, sem que

haja necessariamente reflexão sobre a qualidade epistemológica das explicações produzidas. Nessa perspectiva, conceitos químicos podem ser simplificados excessivamente ou mesmo apresentados de forma incorreta, contribuindo para o fortalecimento de concepções alternativas já amplamente documentadas na literatura da área.

As análises desenvolvidas por Talanquer (2023) evidenciam essa problemática ao demonstrar que sistemas conversacionais de IA frequentemente reproduzem padrões explicativos semelhantes aos observados em estudantes iniciantes de Química. Em diversas situações, os chatbots apresentaram interpretações teleológicas e explicações conceitualmente limitadas para fenômenos químicos, atribuindo, por exemplo, intenções ou finalidades a entidades químicas e reproduzindo equívocos relacionados à energia de ligação e à estabilidade molecular. Mesmo quando confrontados com questionamentos adicionais, os sistemas frequentemente reformulavam suas respostas sem superar integralmente os problemas conceituais identificados.

Esses resultados sugerem que a utilização acrítica dos SIA pode reforçar interpretações simplificadas do conhecimento químico, especialmente quando estudantes não dispõem de conhecimentos suficientes para avaliar criticamente as respostas produzidas.

Sob outra perspectiva, o estudo de Dood et al. (2023) demonstra que as limitações dos SIA tornam-se particularmente evidentes em atividades que exigem raciocínio mecanicista, elemento central da aprendizagem em Química Orgânica. Ao comparar respostas produzidas por estudantes e por diferentes sistemas de IA em tarefas de escrita voltadas à explicação de mecanismos de reação, os autores observaram que os chatbots raramente incorporavam aspectos fundamentais do raciocínio químico, especialmente discussões relacionadas ao movimento eletrônico, considerado um componente essencial para a compreensão mecanística das transformações químicas.

Embora os textos gerados apresentassem organização linguística e aparente coerência argumentativa, frequentemente deixavam de explicitar relações conceituais necessárias para a compreensão dos fenômenos químicos. Tal resultado problematiza propostas de avaliação automatizada fundamentadas exclusivamente em critérios

formais ou linguísticos, indicando que a análise do desenvolvimento do raciocínio químico exige referenciais específicos que ultrapassam a mera verificação da correção textual.

Essa discussão torna-se particularmente relevante diante de uma das tendências identificadas no mapeamento bibliométrico: o uso crescente de sistemas automatizados para avaliação educacional. A análise realizada neste trabalho sugere que a adoção de mecanismos automáticos de correção ou feedback, quando orientada exclusivamente por critérios técnicos de eficiência e produtividade, corre o risco de negligenciar dimensões fundamentais da aprendizagem química. A compreensão de conceitos, a elaboração de modelos explicativos, o desenvolvimento da argumentação científica e a construção do raciocínio mecanicista constituem processos que demandam interpretações contextualizadas e pedagogicamente orientadas. Assim, a utilização crítica dos SIA pressupõe reconhecer tanto suas potencialidades quanto seus limites na avaliação da aprendizagem.

De forma semelhante, os resultados de Tassoti (2024) indicam que o uso educacional de IA generativa depende significativamente da qualidade das interações estabelecidas pelos usuários com os sistemas. O autor observou que estudantes frequentemente recorrem a estratégias simples de cópia e solicitação direta de respostas, apresentando dificuldades para elaborar comandos mais elaborados e avaliar criticamente os resultados obtidos. A implementação de estratégias estruturadas de elaboração de prompts favoreceu respostas consideradas mais satisfatórias pelos participantes, reforçando a importância do desenvolvimento de conhecimentos específicos para a interação com essas tecnologias. No contexto do Ensino de Química, essa constatação adquire relevância adicional, uma vez que a qualidade das respostas produzidas pelos sistemas depende diretamente da capacidade de mobilizar conceitos químicos adequados, formular questões relevantes e interpretar criticamente os resultados apresentados.

Esses elementos remetem também à formação docente. O uso crítico dos SIA não depende apenas do domínio operacional das ferramentas, mas da articulação entre conhecimentos tecnológicos, pedagógicos e de conteúdo. Em disciplinas como Química, essa integração torna-se ainda mais necessária devido às particularidades

epistemológicas da área, envolvendo múltiplas representações, modelização de fenômenos invisíveis e construção de explicações baseadas em entidades teóricas.

Professores que desenvolvem conhecimentos tecnológicos articulados aos conhecimentos específicos da Química e aos princípios pedagógicos possuem maiores condições de selecionar, adaptar e problematizar o uso dessas ferramentas em sala de aula, transformando-as em instrumentos de mediação da aprendizagem e não apenas em mecanismos de automatização de tarefas.

Nessa direção, os resultados analisados permitem compreender que a distinção entre uso técnico e uso crítico dos SIA não se restringe às funcionalidades das ferramentas, mas às formas pelas quais elas são incorporadas às práticas educativas. Enquanto usos técnicos tendem a enfatizar produtividade, rapidez e substituição de atividades intelectuais, usos críticos favorecem processos de reflexão, argumentação, avaliação de evidências e construção conceitual. No caso específico do Ensino de Química, essa distinção torna-se particularmente relevante porque a aprendizagem envolve a elaboração de modelos explicativos complexos, cuja compreensão não pode ser reduzida à simples obtenção de respostas corretas. Assim, a apropriação crítica dos SIA demanda processos formativos que possibilitem aos professores compreender tanto os fundamentos tecnológicos desses sistemas quanto suas implicações epistemológicas e pedagógicas para a construção do conhecimento químico.

Considerações finais

Neste trabalho, analisamos como o uso de Sistemas de Inteligência Artificial (SIA) tem sido reportado em um conjunto específico de estudos fortemente citados do campo do Ensino de Química, à luz das perspectivas de uso técnico e uso crítico das tecnologias. A análise qualitativa do corpus evidenciou a coexistência de diferentes abordagens, com predominância de usos orientados por critérios operacionais e funcionais, associados à automação de tarefas e à otimização de processos pedagógicos e, em menor número, abordagens que incorporam reflexões contextuais, epistemológicas e pedagógicas mais amplas.

Os resultados indicam que, nos estudos analisados, a incorporação dos SIA não é neutra, uma vez que o tipo de mediação construída influencia valores, práticas pedagógicas e a agência de professores e estudantes. Enquanto usos de caráter técnico

tendem a priorizar o domínio funcional das ferramentas, abordagens mais críticas mobilizam os limites e potencialidades dos sistemas como elementos de problematização do conhecimento, favorecendo discussões sobre autoria, integridade acadêmica e riscos epistemológicos.

No que se refere à formação docente, observa-se que o uso dos SIA é frequentemente discutido em termos do desenvolvimento de competências para integrar a tecnologia ao planejamento e à avaliação. Em alguns casos, essa abordagem enfatiza o domínio técnico das ferramentas, enquanto reflexões mais sistemáticas sobre mediação pedagógica e papel do professor aparecem de forma menos recorrente.

Este estudo apresenta limitações inerentes ao delineamento adotado, especialmente no que se refere à seleção do corpus a partir de uma única base de dados e ao critério de centralidade das citações. Assim, os resultados devem ser compreendidos como interpretações situadas, referentes a um recorte específico da literatura, e não como generalizações sobre o campo do Ensino de Química como um todo.

Por fim, as análises apontam para a relevância de investigações futuras que aprofundem o estudo dos SIA não apenas como ferramentas aplicadas ao ensino, mas como tecnologias que reconfiguram práticas pedagógicas, formas de mediação e relações de agência no Ensino de Química.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto de Química da Universidade Estadual de Campinas.

Referências

- Allen, A., Markou, S., Tebbutt, W., Requeima, J., Bruinsma, W. P., Andersson, T. R., Herzog, M., Lane, N. D., Chantry, M., Hosking, J. S., & Turner, R. E. (2025). End-to-end data-driven weather prediction. *Nature*, 641(8065), 1172–1179. <https://doi.org/10.1038/s41586-025-08897-0>
- Alves, A. C., Viana, H., Lima, J., Manhani, C., & Netto, V. (2025, 31 de Janeiro). Ensino começa a integrar inteligência artificial no Brasil; especialistas veem oportunidade, mas com riscos. *G1*. Disponível em: <https://g1.globo.com/politica/noticia/2025/01/31/ensino-comeca-a-integrar-int>

eligencia-artificial-no-brasil-especialistas-veem-oportunidade-mas-com-riscos.gh
ml. Acesso em 18/05/2026

Bardin, L. (1977). *Análise de Conteúdo* (1st ed., Vol. 1). Edições 70.

Cardoso, F. S., Pereira, N. da S., Braggion, R. C., Chaves, P., & Andrioli, M. (2023). uso da Inteligência Artificial na Educação e seus benefícios. *Revista Ciência Em Evidência*, 4(FC), e023002. <https://doi.org/10.47734/rce.v4iFC.2332>

Costa, G. G., J. D. Nascimento Júnior, W., Mombelli, M. N., & Giroto Júnior, G. (2024). Revisiting a Teaching Sequence on the Topic of Electrolysis: A Comparative Study with the Use of Artificial Intelligence. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 3255–3263. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00247>

Cupani, A. (2020). Modalidades da tecnologia e suas consequências culturais. *Revista Dialectus - Revista de Filosofia*, (17), 82–95. <https://doi.org/10.30611/2020n17id60609>

Donthu, N., Kumar, S., Mukherjee, D., Pandey, N., & Lim, W. M. (2021). How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 133, 285–296. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.04.070>

Dood, A. J., Watts, F. M., Shultz, G. V., & Rodriguez, J.-M. G. (2023). Comparing Student and Generative Artificial Intelligence Chatbot Responses to Organic Chemistry Writing-to-Learn Assignments. *Journal of Chemical Education*, 100(10), 3806–3817. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00664>

Emenike, M. E., & Emenike, B. U. (2023). Was This Title Generated by ChatGPT? Considerations for Artificial Intelligence Text-Generation Software Programs for Chemists and Chemistry Educators. *Journal of Chemical Education*, 100(4), 1413–1418. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00063>

Freitas, A. G. S. G. T. (2024, 17 de Abril). Governo de SP avalia utilizar inteligência artificial para ‘aprimorar’ conteúdo digital nas escolas estaduais. *G1 São Paulo*. [Online]. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2024/04/17/governo-de-sp-avalia-utilizar-inteligencia-artificial-para-aprimorar-conteudo-digital-nas-escolas-estaduais.shtml>. Acesso em 18/05/2026

Ilyenkov, E., Arsen'ev, A., & Davydov, V. (2024). The Machine and the Human, Cybernetics and Philosophy. *Marxism & Sciences*, 3(2), 155. <https://doi.org/10.56063/MS.2408.03209>

Kaufman, D., & Santaella, L. (2020). O papel dos algoritmos de inteligência artificial nas redes sociais. *Revista FAMECOS*, 27(1), e34074. <https://doi.org/10.15448/1980-3729.2020.1.34074>

Lee, G.G., & Zhai, X. (2024). Using ChatGPT for Science Learning: A Study on Pre-service Teachers' Lesson Planning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1643–1660. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3401457>

- Leite, B. (2023). Inteligência artificial e ensino de química: uma análise propedêutica do chatgpt na definição de conceitos químicos. *Química Nova*. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20230059>
- Levant, A. (2025). The AI Fetish: When Wooden Brains Begin to Think. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 42(2), 261–281. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2025.e108832>
- Li, X., Zhang, L., Yang, J., & Teng, F. (2024). Role of Artificial Intelligence in Medical Image Analysis: A Review of Current Trends and Future Directions. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 44(2), 231–243. <https://doi.org/10.1007/s40846-024-00863-x>
- OpenAI. (2023). *ChatGPT: Optimizing language models for dialogue*. <https://Openai.Com/Blog/Chatgpt/>.
- Pacey, A. (2000). *The Culture of Technology* (9th ed., Vol. 9). MIT Press Cambridge.
- Presse, F. (2025, 13 de Setembro). Albânia nomeia ministra gerada por IA, a primeira do mundo. *G1*. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2025/09/13/albania-nomeia-ministra-gera-da-por-ia-a-primeira-do-mundo.ghtml>. Acesso 18/05/2026
- Rodrigues, O. S., & Rodrigues, K. S. (2023). A inteligência artificial na educação: os desafios do ChatGPT. *Texto Livre*, 16. <https://doi.org/10.1590/1983-3652.2023.45997>
- Scarinci, I. E., Pérez, P., & Valente, M. (2021). Heuristic algorithm for pet images' segmentation using artificial intelligence techniques. *Anales AFA*, 31(4), 165–171. <https://doi.org/10.31527/analesafa.2020.31.4.165>
- Sobreira, V. (2025). Um panorama da História da Inteligência Artificial e suas aplicações na pesquisa histórica. *Varia Historia*, 41. <https://doi.org/10.1590/0104-87752025v41e25035>
- Talanquer, V. (2023). Interview with the Chatbot: How Does It Reason? *Journal of Chemical Education*, 100(8), 2821–2824. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c00472>
- Tassotti, S. (2024). Assessment of Students Use of Generative Artificial Intelligence: Prompting Strategies and Prompt Engineering in Chemistry Education. *Journal of Chemical Education*, 101(6), 2475–2482. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00212>
- Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. In I. Guyon, U. V. Luxburg, S. Bengio, H. Wallach, R. Fergus, S. Vishwanathan, & R. Garnett (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems 30* (NeurIPS 2017) (pp. 5998–6008). Neural Information Processing Systems Foundation.
-

https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2017/file/3f5ee243547dee91fbd053c1c4a845aa-Paper.pdf

Wertsch, J. V. (1998). *Mind as action*. Oxford University Press.

Young, J. D., Dawood, L., & Lewis, S. E. (2024). Chemistry Students' Artificial Intelligence Literacy through their Critical Reflections of Chatbot Responses. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00154>

Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2022). Applying machine learning to automatically assess scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(10), 1765–1794. <https://doi.org/10.1002/tea.21773>

Submetido em: 28/01/2026

Aceito em: 28/07/2026

Publicado em: 25/09/2026

Periódico organizado pela Sociedade Brasileira de Ensino de Química – SBEnQ



Este texto é licenciado pela Creative Commons Attribution 4.0 International License.