

IA com intencionalidade pedagógica: percepções, limites e possibilidades na formação de professores de Química

Maria das Graças Cleophas¹

¹Doutora em Ensino de Ciências (Modalidade Química) pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Docente da Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA)

AI with Pedagogical Intentionality: Perceptions, Limits, and Possibilities in Chemistry Teacher Education



ABSTRACT

Informações do Artigo

Palavras-chave:

Intencionalidade pedagógica; Formação de professores; Inteligência artificial na educação; Ensino de Química; TPACK-IA.

Key words:

Pedagogical intentionality; Chemistry teacher education; Artificial intelligence in education; Chemistry teaching; AI-TPACK.

E-mail: maria.porto@unila.edu.br



This article examines the intentional integration of generative AI in pre-service chemistry teacher education, using AI-TPACK, Johnstone's Triangle and Mahaffy's Tetrahedron as complementary lenses. In an exploratory intervention with pre-service chemistry teachers, ChatGPT supported prompt-based activities, lesson planning and critical appraisal of AI-generated responses, aiming to understand students' perceptions and the perceived pros and cons of AI use. Thematic analysis indicates that students see AI as a resource for supporting teacher authorship, expanding examples and mediating across macroscopic, submicroscopic, symbolic and contextual levels, while also highlighting risks of dependence, superficiality, bias and ethical concerns. The study argues that AI, when deliberately curated by the teacher with clear learning goals and quality criteria, can enhance reflection, planning and formative assessment without replacing students' cognitive processes, and presents the C.A.R.D.S. model for designing reflective prompts in chemistry education.

INTRODUÇÃO

O avanço da Inteligência Artificial (IA) no campo educacional tem promovido transformações significativas na forma como professores e estudantes interagem com o conhecimento e com os processos de ensino e aprendizagem. Com isso, o surgimento de ferramentas baseadas em IA generativa, como o ChatGPT, tem ampliado as discussões sobre suas possibilidades e limitações, especialmente no contexto da formação inicial de professores, em que se torna fundamental compreender como essas tecnologias podem ser integradas de forma intencional, pedagógica e, sobretudo, ética às práticas docentes. No ensino de química, essas discussões se tornam particularmente relevantes, considerando que a disciplina envolve a construção de conhecimentos

químicos que demandam a articulação de diferentes formas de representação, macroscópica, submicroscópica, simbólica (JOHNSTONE, 1992) e contextual (MAHAFFY, 2006). Não é à toa que as dificuldades na aprendizagem química são relatadas na literatura (JOHNSTONE, 1991; GABEL, 1999; CARDELLINI, 2012) já que ela é vista como uma disciplina difícil, complexa e abstrata, requerendo talentos intelectuais e muito esforço para ser compreendida. Dessa forma, compreender como as tecnologias de IA podem apoiar os professores na organização de atividades voltadas à aprendizagem de conceitos químicos que favoreçam a diminuição da carga cognitiva e, consequentemente, o aumento da memória de trabalho é uma necessidade atual, especialmente no cenário da formação de futuros professores de química.



No entanto, para que essa integração seja efetiva, se faz necessário que os professores desenvolvam conhecimentos que vão além do domínio do conteúdo e do conhecimento pedagógico, incluindo também a compreensão sobre como as tecnologias digitais, em especial a IA, podem ser utilizadas de modo intencional no processo educativo. Recentemente, o modelo AI-TPACK, proposto por Ning et al. (2024), ampliou a estrutura clássica do TPACK (MISHRA; KOEHLER, 2006) ao incorporar o domínio da IA para que o professor planeje, organize e execute práticas de ensino que combinem conhecimento do conteúdo, estratégias pedagógicas, recursos tecnológicos e, sobretudo, o uso consciente e eficaz da inteligência artificial.

Diante desse cenário, este artigo tem como objetivo analisar uma proposta pedagógica que integra a IA na formação inicial de professores de química, se estruturando nos modelos do Triângulo de Johnstone, do Tetraedro de Mahaffy e do recente AI-TPACK. Nessa direção, este estudo pretende colmatar uma lacuna integrativa ao abordar as seguintes questões de investigação: (a) Como os alunos percebem o ChatGPT no contexto da aprendizagem em Química? e, (b) Quais são os prós e contras do ChatGPT na perspectiva dos alunos? Com esse intuito, a proposta é apresentada a partir de uma experiência vivenciada no ensino superior, no qual o ChatGPT foi utilizado como ferramenta de apoio às atividades de ensino, com o intuito de investigar as percepções dos alunos e os registros da professora pesquisadora quanto as vantagens e limitações dessa tecnologia às práticas de ensino. Objetivamente, este artigo busca discutir como os alunos utilizam o ChatGPT durante as atividades propostas e, a partir dessa análise, identificar possibilidades e limites para o uso pedagógico da IA na formação de professores de química. Essa reflexão permite extrair lições que podem orientar o desenvolvimento de atividades que integrem a IA de maneira eficaz, se configurando como suporte à aprendizagem, e não como substituto dos processos cognitivos dos estudantes. Por fim, o artigo propõe o modelo C.A.R.D.S. para a criação de *prompts* reflexivos no

ensino de química, apresentando exemplos e sugestões que podem contribuir, ainda que de maneira não prescritiva, para a prática docente.

Nesse enquadramento, além desta introdução, o artigo se organiza da seguinte forma: (i) apresentação da revisão de literatura, a fim de elucidar os aspectos característicos da IA, do TPACK, do Triângulo de Johnstone e do Tetraedro de Mahaffy; (ii) descrição dos procedimentos metodológicos que sustentaram a operacionalização deste estudo; e, (iii) exposição dos principais resultados. Por fim, apresentamos o modelo C.A.R.D.S. e, na sequência, registramos as considerações finais, acompanhadas das limitações da pesquisa e de oportunidades para investigações futuras.



Breve cenário atual e desafios na integração crítica da IA

Os avanços recentes no campo da IA têm gerado impactos vultuosos na sociedade, gerando reflexões e preocupações no mundo inteiro no que tange à prática docente. Obviamente que o emprego da IA tende a reconfigurar os modos de ensinar e aprender, suscitando ponderações e desafios para sua incorporação efetiva e pedagógica no contexto educacional de todos os níveis de ensino da química. Por isto, são fortemente necessárias agregar discussões sobre como a IA deve ser incorporada às aulas de química, se tornando, neste modo, fundamental que os professores desenvolvam, inicialmente, as habilidades e competências necessárias relacionadas ao uso da IA (BERBER et al., 2025). O que denota, portanto, que há uma emergência em compreender e utilizar modelos de linguagem generativa, como o ChatGPT, pois amplia as discussões sobre as potencialidades dessas ferramentas para apoiar os processos de aprendizagem, assim como sobre os riscos de um uso acrítico e superficial (ZAWACKI-RICHTER et al., 2019; NING et al., 2024).

No contexto educacional, se observa que, embora a IA apresente grande potencial para contribuir com o desenvolvimento de atividades de ensino e aprendizagem, muitas das práticas que vêm sendo adotadas permanecem centradas em um uso passivo e instrumental dessas tecnologias (LUCKIN et al., 2016; LEITE, 2023). Na maioria das vezes, a IA tem sido utilizada para responder perguntas, gerar textos ou resolver problemas de forma automatizada, o que, por um lado, oferece ganhos operacionais, mas, por outro, suscita preocupações quanto ao favorecimento de práticas de cópia, dependência tecnológica e superficialização da aprendizagem (CABERO-ALMENARA et al., 2022). Esse cenário aponta para a necessidade de compreender que o simples acesso às ferramentas de IA não garante, por si só, sua apropriação pedagógica adequada, pois a integração efetiva dessas tecnologias requer que os docentes desenvolvam competências que lhes permitam

planejar atividades, nas quais a IA seja utilizada como um recurso de mediação, capaz de favorecer a compreensão de conceitos, a construção de modelos, a análise crítica e a resolução de problemas, e não como um substituto para os processos cognitivos dos estudantes (CLEOPHAS; BEDIN, 2022; SANTOS, 2023; BEDIN; CLEOPHAS, 2022).

No caso específico do ensino de química, esse desafio se amplia, justamente por considerar as características próprias da disciplina, que demandam a articulação de múltiplas representações macroscópica, submicroscópica, simbólica e contextual, para que os estudantes consigam construir uma compreensão efetiva dos fenômenos químicos, o que faz com que a ausência de referenciais pedagógicos claros sobre como a IA pode apoiar essa articulação resulte, frequentemente, em usos limitados, instrumentais ou descontextualizados da tecnologia, restringindo seu potencial educativo. Ademais, em um estudo recente, Mishra, Warr e Islam (2023) chamam a atenção para a incorporação de tecnologias baseadas em IA, pois, segundo os autores, ela impactará diversos elementos dos sistemas educacionais, incluindo o conhecimento dos professores, o planejamento dos cursos, a organização dos conteúdos e as estratégias pedagógicas adotadas.

Diante do exposto, consideramos que tais desafios reforçam a importância de modelos formativos como o AI-TPACK (NING et al., 2024), ao ampliar o referencial tradicional do TPACK (MISHRA; KOEHLER, 2006) na adoção do domínio da IA como um saber indispensável no desenvolvimento profissional docente na atualidade. Logo, o cenário atual revela não apenas a expansão das tecnologias baseadas em IA na educação, mas também a urgência de construir práticas formativas que possibilitem aos professores utilizarem essas ferramentas de maneira crítica, reflexiva, criativa e alinhada às demandas do ensino de química, por meio de uma alfabetização em IA (SIQUEIRA; BEDIN; GRANDO, 2025). Nesse contexto, é cabível compreender a IA não como substituta do trabalho docente ou dos processos de aprendizagem dos alunos, mas como uma aliada na construção de atividades que favoreçam a exploração dos diferentes níveis de representação da química, bem como sua conexão com os contextos sociais, ambientais e culturais. Nesse ínterim, estudos vêm revelando que a alfabetização em IA são competências tecnológicas essenciais para sua integração efetiva no ensino (KOĆ-JANUCHTA et al., 2002; KORAISHI, 2023; YIK; DOOD, 2024; DAHER, 2025; BERBER et al., 2025), sendo, portanto, indispensáveis no contexto atual e paradigmático que estamos vivenciando em função da IA.

Do triângulo ao tetraedro: a inclusão da dimensão humana à química



O modelo conhecido como ‘Triângulo de Johnstone’ surgiu a partir das pesquisas de Alex H. Johnstone, professor e pesquisador escocês da Universidade de Glasgow. Nesse percurso, ocorrido entre as décadas de 1970 e 1980, Johnstone investigou profundamente as dificuldades enfrentadas por estudantes na aprendizagem em química, identificando que muitas dessas dificuldades derivavam da complexidade conceitual e representacional inerente à disciplina (JOHNSTONE, 1982; 1991). Assim, por meio de um influente artigo publicado em 1991, Johnstone formalizou um modelo de ‘Triângulo Representacional’, definindo claramente três níveis essenciais para a compreensão química, sendo: o nível macroscópico, que inclui fenômenos observáveis diretamente pelos sentidos; o nível submicroscópico, referente às explicações moleculares e atômicas invisíveis diretamente ao observador; e o nível simbólico, que envolve representações gráficas, matemáticas e simbólicas dos fenômenos químicos (JOHNSTONE, 1991).



Vale salientar que este modelo nasceu da observação empírica de que alunos repetidamente experimentavam dificuldades específicas ao transitar entre estes diferentes níveis de compreensão durante as aulas. Sobre isto, Johnstone argumentava que o ensino tradicional frequentemente não fornecia uma mediação explícita suficiente entre essas dimensões, causando confusão e desmotivação nos estudantes. Assim, desde sua proposição inicial, o Triângulo de Johnstone tornou-se um referencial central na educação química. No entanto, embora tal modelo continue influenciando pesquisas subsequentes sobre as maneiras necessárias para a construção do conhecimento químico e práticas pedagógicas no mundo inteiro, ele não contempla explicitamente as dimensões sociais, culturais, ambientais e éticas que permeiam a ciência e, consequentemente, o ensino de química. Tal lacuna foi reconhecida por Mahaffy (2006), que propôs a expansão do modelo para um tetraedro, adicionando o vértice denominado contexto humano.

Em suma, a proposta de Mahaffy (2006) parte da compreensão de que a Química, como ciência central, não está desvinculada das questões que afetam a sociedade e o meio ambiente. Pelo contrário, ela desempenha papel central na construção de soluções para os desafios contemporâneos, como a sustentabilidade, a transição energética, o desenvolvimento de novos materiais, a mitigação dos impactos ambientais, entre tantos outros. Nesse sentido, a inclusão do contexto humano no modelo representa não apenas uma ampliação da perspectiva teórica, mas uma orientação prática para o ensino, pois permite que os professores desenvolvam atividades que conectem os conceitos químicos aos problemas, desafios e demandas do mundo real (SJÖSTRÖM, 2013; WOHLFART; WAGNER; WAGNER, 2023). Assim, com a inclusão desse quarto vértice, o tetraedro amplia as possibilidades de abordagem no ensino de química, incentivando práticas

pedagógicas que não se restrinjam à compreensão dos fenômenos e de suas representações, mas que também promovam reflexões sobre os impactos da química na sociedade, no ambiente e na vida cotidiana. Além disso, esse modelo favorece o desenvolvimento de abordagens interdisciplinares, por exemplo, a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS), o trabalho com metodologias ativas de aprendizagem, Didatização Lúdica (CLEOPHAS; SOARES, 2018), estudos de caso e discussões de questões sociocientíficas, etc., tornando o ensino de química mais significativo e conectado às demandas atuais (SJÖSTRÖM, 2013; BEDIN; CLEOPHAS, 2022; LEITE, 2023), ou seja, em alinhamento com os desafios do século XXI.

IA, Modelos e Aprendizagem no Ensino de Química

No ensino de química, a compreensão dos conceitos não se dá de forma linear nem puramente descritiva. Ela exige a capacidade de transitar entre diferentes formas de representação, ou melhor, observação macroscópica, explicações submicroscópicas, linguagem simbólica e conexão com contextos humanos, sociais e ambientais (JOHNSTONE, 1991; MAHAFFY, 2006). Esse processo, no entanto, tem se mostrado desafiador tanto para estudantes quanto para professores, especialmente quando se considera as dificuldades históricas na construção de modelos que articulem essas diferentes dimensões (GRANDO; CLEOPHAS, 2022; ARAÚJO et al., 2024).

No entanto, quando redirecionamos as nossas atenções às tecnologias no contexto educacional, é sabido que um dos modelos mais consolidados no campo da integração efetiva da tecnologia na práxis educativa em qualquer área do conhecimento é o TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*). Ele foi proposto por Mishra e Koehler (2006), e busca descrever os conhecimentos que os professores precisam mobilizar para integrar de forma efetiva a tecnologia ao seu fazer pedagógico. Esse modelo articula três domínios centrais de conhecimento, ou melhor, o CK (*Content Knowledge*/ conhecimento do conteúdo); PK (*Pedagogical Knowledge*/ conhecimento sobre práticas e métodos pedagógicos); e TK (*Technological Knowledge*/ conhecimento sobre o uso e funcionamento de tecnologias). Desta forma, o intercurso do processo de formação do TPACK se constitui na intersecção desses três domínios, indicando que o uso eficiente da digitalidade no ensino (THYSSEN et al., 2023; BEDIN; CLEOPHAS, 2024) não depende apenas de habilidades técnicas, mas da integração equilibrada entre conhecimento pedagógico, tecnológico e de conteúdo.

Contudo, recentemente, um estudo promissor fez uma proposição de um modelo, especialmente voltado para promover uma integração bem-sucedida das tecnologias digitais à construção do conhecimento químico (BEDIN; MARQUES; CLEOPHAS, 2023) (Figura 1). Desde então,

com o advento da IA, surgiu uma oportunidade promissora para apoiar o ensino de química, particularmente no que se refere à construção e uso de modelos, simulações, ideação de recursos didáticos, construção de rubricas, representações e soluções para problemas didáticos, entre diversos usos. Por exemplo, ferramentas de IA permitem gerar simulações tridimensionais de interações moleculares, animações que representam a formação e quebra de ligações químicas e visualizações dinâmicas de mecanismos de reação (HWANG et al., 2020; Leite, 2023). Tais recursos podem contribuir diretamente para que os estudantes consigam compreender os processos submicroscópicos, que tradicionalmente são fontes de grande dificuldade de aprendizagem.

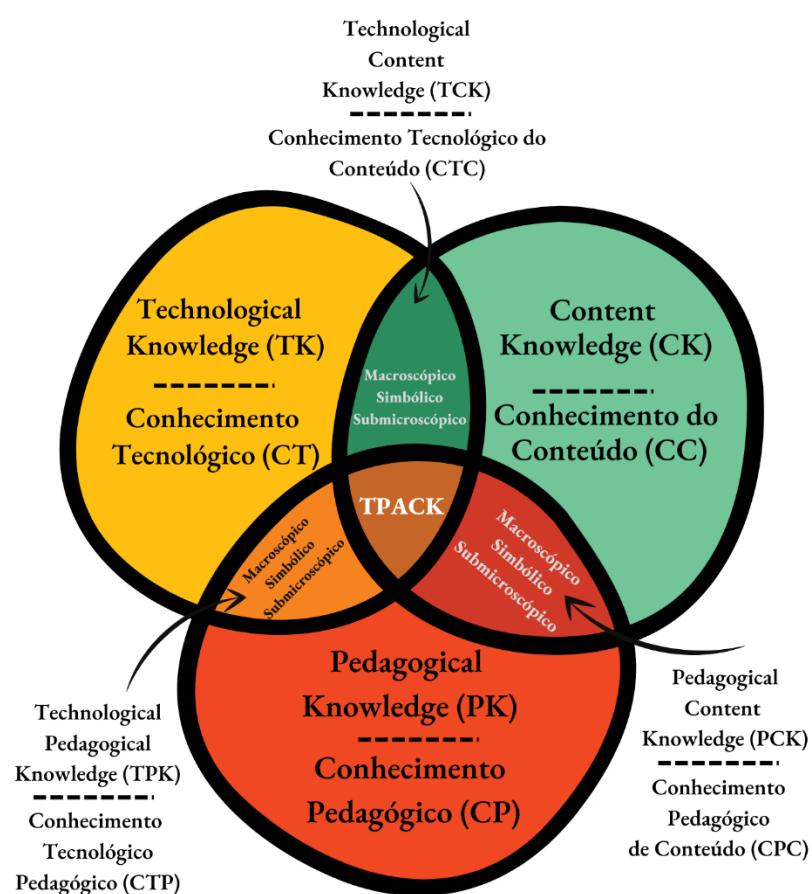


Figura 1: Integração entre TPACK e o triângulo de Johnstone (1991).

Fonte: Adaptada de Bedin, Marques e Cleophas (2023, p. 6).

No que se refere ao nível macroscópico, a IA também oferece possibilidades para a simulação de experimentos, análise de dados experimentais e modelagem de fenômenos que não são facilmente reproduzíveis no ambiente escolar, seja por questões de segurança, custo ou tempo (CABERO-ALMENARA et al., 2022). Isso permite que os estudantes observem, analisem e reflitam sobre os fenômenos químicos, mesmo que de maneira virtual, ampliando suas oportunidades de

aprendizagem. Já ao nível simbólico, a IA pode auxiliar na construção de representações formais, como equações químicas, gráficos de cinética, diagramas de energia ou balanços de massa, além de apoiar a conversão de linguagem natural em linguagem matemática e simbólica da química (AKESSON-NILSSON; ADBO, 2024). Essa mediação é particularmente relevante no desenvolvimento da competência dos alunos em operar com as linguagens específicas da disciplina, o que pode impactar diretamente sua compreensão e desempenho.

Todavia, quando se observa o vértice relacionado ao contexto humano, a IA permite ao professor e aos estudantes simular e analisar, de maneira integrada, os impactos sociais, ambientais, econômicos e éticos dos processos e produtos químicos. Entretanto, cabe destacar que a efetividade da IA como mediadora da construção de modelos no ensino de química não é automática. Ela depende, fundamentalmente, da capacidade do professor em orquestrar a integração entre conteúdo, pedagogia, tecnologia e IA, tal como é proposto no modelo AI-TPACK (NING et al., 2024). Isto sublinha o papel curador do professor, pois é ele quem define quando, como e por que utilizar a IA, ou seja, elaborando atividades e conduzindo discussões que favoreçam não só a visualização, mas a compreensão crítica dos modelos gerados. Diante do exposto, podemos alçar voos que vá além da base original do TPACK e avance ao AI-TPACK, provocando, desse modo, uma evolução necessária para a formação docente na era da IA.

Contudo, a emergência das tecnologias baseadas em IA, especialmente dos modelos de linguagem generativa, sistemas preditivos e algoritmos de aprendizagem de máquina, trouxe novos desafios para a atuação docente. Assim, nessa esteira acelerada de novidades que emergem dia a dia, as competências tecnológicas descritas no TPACK não são mais suficientes para que os professores lidem com as especificidades, os riscos, os benefícios e os impactos que a IA impõe ao campo educacional (NING et al., 2024). Diante dessa realidade, os autores supracitados propuseram uma evolução conceitual do modelo, denominada AI-TPACK, que amplia a estrutura original ao incorporar o domínio específico do conhecimento sobre IA (AI-K – *Artificial Intelligence Knowledge/Conhecimento da Inteligência Artificial*). Esse novo componente não substitui os conhecimentos tecnológicos (TK), mas adiciona um nível de sofisticação e profundidade, considerando que o uso da IA demanda competências distintas, como, por exemplo, compreender os princípios de funcionamento dos sistemas de IA (modelos de linguagem, redes neurais, algoritmos preditivos); avaliar criticamente os resultados gerados por ferramentas de IA, considerando possíveis vieses, imprecisões ou limitações; elaborar comandos (*prompts*) eficientes para gerar saídas alinhadas aos



objetivos pedagógicos; e, por fim, refletir sobre as implicações éticas, sociais e educacionais do uso da IA no ensino.

Diante dessas acepções, essa evolução não representa uma ruptura com o modelo TPACK, mas um avanço adaptativo necessário frente às demandas contemporâneas. Ela reconhece que, no atual cenário, não basta que os professores dominem recursos tecnológicos tradicionais, já que o modelo AI-TPACK expande o modelo original ao reconhecer que a IA não pode ser tratada como uma tecnologia convencional ao considerar que ela opera como um agente cognitivo colaborativo, capaz de gerar, transformar e adaptar informações, o que exige dos professores novas formas de planejamento, mediação e avaliação no contexto da aprendizagem. No entanto, é necessário que sejam capazes de compreender o funcionamento da IA e utilizá-la de maneira crítica e estratégica, sobretudo, conduzir práticas pedagógicas que favoreçam a aprendizagem dos estudantes sem renunciar à intencionalidade, da sua criatividade, da autoria docente e, sobretudo, da responsabilidade ética. Contudo, como lacuna, não encontramos na literatura modelos que promovam a integração do AI-TPACK com modelos que ajudem os professores a pensarem modos de facilitar a compreensão os níveis de processamento necessários para descrever e explicar os fenômenos químicos numa perspectiva holística da química em sua plena indissociabilidade com a complexidade humana.



DESENHO METODOLÓGICO

Caracterização da Pesquisa

Esta pesquisa se caracteriza como de abordagem qualitativa, objetivo exploratório e descritivo, adotando um procedimento do tipo intervenção pedagógica (DAMIANI et al., 2023). De acordo com Creswell (2010), esse tipo de investigação envolve a constituição de dados no contexto natural dos participantes, com análises construídas de forma indutiva, partindo de aspectos particulares em direção à elaboração de temas mais amplos, a partir das interpretações realizadas pelo pesquisador sobre o significado dos dados produzidos. No contexto deste estudo, a pesquisa qualitativa também foi empregada devido ao seu foco em compreender em profundidade as particularidades, as interpretações e os contextos que envolvem o fenômeno em investigação (LIMA; ROSA; AGUIAR, 2022), que, neste caso, visava o desenvolvimento, a implementação e a análise de uma atividade inovadora que integrou a IA, especificamente o uso do ChatGPT como ferramenta pedagógica no ensino de química para professores em formação inicial. Assim, a proposta se concentra na compreensão das percepções dos estudantes sobre o uso intencional da

IA como suporte à construção de conhecimento químico e nas reflexões da professora-pesquisadora diante da observação do contexto vivenciado e que serão naturalmente incorporados à discussão.

Contexto e Participantes

A pesquisa foi realizada numa instituição pública federal brasileira, no curso Química - Licenciatura, durante às aulas de uma disciplina do eixo formativo atrelado à Educação Química. Nesta intervenção pedagógica, adotamos o método de amostragem proposital para determinar os participantes deste estudo, pelo fato de a pesquisadora atuar como professora da disciplina na qual ocorreu a atividade (STRATTON, 2021). Participaram do estudo 17 licenciandos em Química, sendo 12 do gênero feminino e 5 do gênero masculino, com média de idade de 23,25 anos. Eles estavam regularmente matriculados na disciplina no segundo semestre letivo vigente no ano de 2023. Vale destacar que os participantes foram convidados a aderir voluntariamente à pesquisa, com garantia de sigilo, anonimização dos dados e respeito às normas éticas vigentes. Portanto, quando necessário, aos trechos declarados pelos participantes nas suas respostas atribuídas, serão identificados como Pi (Professor/a em formação Inicial), ou seja, Pi1, Pi2, ..., Pi17.



Desenho da Intervenção Pedagógica usando o chatbot de IA (ChatGPT)

Conforme mencionado anteriormente, o presente estudo teve como propósito central analisar as percepções de estudantes em formação inicial em química sobre uma proposta de intervenção pedagógica que integrou um *chatbot* de Inteligência Artificial Generativa (IAG) em sala de aula, equipada com computadores. Para tanto, adotamos as recomendações Yik e Dood (2025) ao utilizar o ChatGPT-3.5, desenvolvido pela empresa OpenAi (CANFRAN, 2023), tal adoção se justifica por meio de três razões principais, sendo: (a) o fato de o ChatGPT figurar entre os *chatbots* mais amplamente utilizados, contabilizando mais de 100 milhões de usuários ativos por semana em novembro de 2023 (MALIK, 2023), conforme dados recentes; (b) sua disponibilidade gratuita, o que favorece o acesso por parte dos estudantes e, consequentemente, amplia seu potencial pedagógico; e (c) a ampla presença do ChatGPT-3.5 na literatura educacional em química, o que possibilita estabelecer comparações com investigações prévias que também se debruçaram sobre os usos dessa versão específica do modelo de linguagem, diferentemente de outras ferramentas IAG gratuitas, como o Microsoft Copilot ou o Gemini, cujo emprego ainda, naquela ocasião, era mais restrito em estudos sobre o tema.

Nessa direção, a intervenção pedagógica foi planejada com o objetivo de ampliar compreensões sobre os modelos teóricos consolidados no ensino de química, ou seja, o Triângulo

de Johnstone e o Tetraedro de Mahaffy, à luz da integração crítica da IA, sustentada no referencial AI-TPACK (NING et al., 2024). Assim, construímos uma sequência didática estruturada para promover a aprendizagem ativa e reflexiva dos alunos, com foco no desenvolvimento de competências relacionadas ao raciocínio químico e ao uso ético e produtivo da IA. Portanto, as macroetapas que compuseram a intervenção pedagógica foram estruturadas para acontecer em quatro aulas ininterruptas de 50 minutos. A intervenção pedagógica aplicada, composta por cinco macroetapas, está descrita a no Quadro 1, abaixo.

Quadro 1: Macroetapas da intervenção pedagógica aplicada

Macroetapa	Descrição Sintética
1. Levantamento e Formulação de Dúvidas	Os estudantes identificam dúvidas conceituais em Química e iniciam o processo de questionamento via IA.
2. Interação Inicial e Refinamento com IA	Interagem livremente com o ChatGPT, sem nenhuma orientação prévia.
3. Pesquisa e Compreensão Teórica	Realizam buscas acadêmicas sobre os modelos de Johnstone e Mahaffy, interagem com o ChatGPT, refinando seus comandos ao aplicar o modelo C.A.R.D.S para melhorar a qualidade explicativa.
4. Sistematização e Produção de Registros	Organizam os registros das interações (capturas de tela, quadros conceituais, histórico, etc.) e os armazenam.
5. Ampliação Reflexiva e Humanística	Aplicação do questionário reflexivo e uma sessão de <i>debriefing</i> sobre a atividade vivenciada e sobre os impactos da IA para a formação de professores.

Fonte: Elaborado pela autora.

Instrumentos de Coleta de Dados e análise

Ao término da aplicação das macroetapas de 1 a 4, a experiência foi avaliada por meio da aplicação de um questionário cujo objetivo era levantar as percepções dos estudantes sobre o uso do chatGPT como ferramenta de apoio à aprendizagem no contexto universitário, em específico, numa turma de formação inicial de professores de química. Vale lembrar que a técnica de questionário é utilizada para obter dados na forma de respostas e, portanto, ele foi composto por 01 questão aberta e 26 itens assertivos (Quadro 2), dispostos por meio de uma escala ordinal, do tipo Likert. Para sua construção, foi utilizado o google Forms. Os itens fechados foram adaptados de um instrumento previamente validado na literatura (SHOUFAN, 2023). No entanto, optamos em elaborar uma escala de 10 pontos, sem o neutro (CLEOPHAS; CUNHA 2020), já que ela permite obter dados ainda mais granulares e precisos para o contexto da pesquisa, assim, cada item exigia que os alunos indicassem seu nível de concordância sobre uma determinada afirmação.

Quadro 2: Questionário utilizado na pesquisa.

Item	ASSERTIVAS (questões fechadas)
1	Estou maravilhado com as capacidades do chatGPT!
2	O chatGPT é melhor do que outros motores de busca como o google!
3	O chatGPT é uma tecnologia útil e eficaz para o meu aprendizado.
4	O chatGPT pode ser uma ferramenta complementar para o meu aprendizado.
5	O chatGPT me permite estudar com mais eficiência.
6	O chatGPT pode ser uma ferramenta útil para planejar planos de aula sobre a química.
7	O chatGPT é bastante interessante.
8	Me sinto motivado/a usar mais o chatGPT.
9	O chatGPT dá boas explicações.
10	As respostas do chatGPT estão bem estruturadas.
11	Acho que a qualidade do chatGPT vai melhorar continuamente.
12	O chatGPT é fácil de usar.
13	O chatGPT não erra.
14	As respostas do chatGPT são precisas.
15	O chatGPT não é perfeito e precisa ser melhorado.
16	Para utilizar o chatGPT você ainda precisa da inteligência humana.
17	Para utilizar o chatGPT você precisa de algum conhecimento prévio sobre a sua pergunta.
18	O chatGPT facilitará a trapaça acadêmica.
20	O chatGPT afetará o aprendizado negativamente porque os alunos encontrarão respostas e soluções sem esforços.
21	O chatGPT não entendeu minhas perguntas.
22	Formular perguntas no chatGPT é complicado.
23	Se eu não souber dar comandos eficientes ao chatGPT, terei problemas.
24	O chatGP ameaçará o papel do/a professor/a.
25	Estou preocupado/a com o impacto do chatGPT na educação.
26	Me sinto bastante incerto/a sobre o impacto do chatGPT e como ele vai mudar a nossa vida.
QUESTÃO ABERTA	
O que você acha do ChatGPT? Pense profundamente e escreva tudo o que vem a sua mente.	

Fonte: Adaptado de Shoufan (2023).

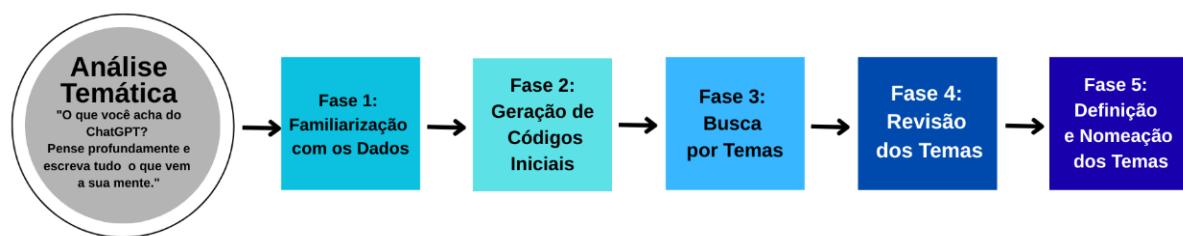


Figura 2: Escala Likert utilizada.

Fonte: Elaborada pela autora.

As médias dos itens da escala Likert utilizada (Figura 2) foram interpretadas conforme diretrizes de estudos que analisaram o comportamento psicométrico e perceptivo de escalas com 10 pontos. Ainda, para as questões fechadas, os dados obtidos foram tematizados e interpretados a partir de uma abordagem qualitativa, tendo como suporte o software Microsoft Excel®, versão 2020. Portanto, para fins de caracterização da amostragem proposital, as informações foram

sistematizadas em gráficos e tabelas. Já os dados referentes à questão aberta permitiram que os alunos expressassem seus pensamentos sem limitações, favorecendo a análise das percepções observadas e sinalizadas a partir dos instrumentos de recolha de dados. Logo, eles foram analisados por meio da análise temática (BRAUN; CLARKE, 2012), utilizada para caracterizar esses pensamentos em padrões (códigos e temas), além disso, utilizamos a plataforma Voyant Tools¹. Porém, optamos pela construção indutiva das categorias analíticas, em vez da utilização de categorias previamente estabelecidas, a fim de possibilitar que os significados emergissem diretamente dos dados (HSIEH; SHANNON, 2005). As etapas empregadas na AT estão exibidas na Figura 3.



458

Figura 3: Etapas da AT.

Fonte: Adaptada a partir de Braun e Clarke (2012).

Prontamente após obter as respostas dos alunos sobre o questionário ao final da intervenção, foi realizada uma sessão *debriefing* mediada pela professora-pesquisadora. Além disso, a professora utilizou o diário de campo durante todas as etapas e macroetapas da intervenção, já que ele se constitui como “ferramenta de intervenção ao provocar reflexões sobre a própria prática de pesquisa e das decisões em relação ao planejamento, desenvolvimento, método de análise e divulgação científica” (KROEF; GAVILLON; RAMM, 2020, p. 466). Logo, as observações registradas no diário também foram usadas para legitimar os temas elaborados. Por fim, os dados foram sistematicamente apresentados em função da análise das percepções dos estudantes que compuseram a amostragem proposital por meio de gráficos, quadros e, se necessário, tabelas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados desta pesquisa serão apresentados em seções. A primeira trará os dados referentes à análise temática da questão aberta. A segunda traz as discussões referentes à análise

¹ Segundo Sinclair e Rockwell (2021), o Voyant Tools é uma plataforma online e aberta para análise de textos digitais. Com base em algoritmos computacionais, ela gera em poucos segundos indicadores linguísticos e estatísticos a partir de textos de diferentes tamanhos, gêneros e idiomas. O acesso é gratuito e depende apenas de conexão à internet e do envio de um conjunto de textos, isto é, um *corpus*. Por ser intuitiva, pode ser utilizada por pessoas com níveis variados de conhecimento técnico para explorar padrões e extrair *insights* que caracterizam seus textos.

descritiva dos itens Likert sobre as percepções autodeclaradas dos futuros professores de química sobre o uso do ChatGPT, que se alinham com os achados da literatura internacional sobre integração de IA na educação.

Seção 1 - Análise Temática dos Dados Qualitativos

A análise temática das respostas à pergunta aberta revelou quatro temas principais que foram usados para caracterizar as percepções dos 17 futuros professores de química sobre o ChatGPT, especificamente. Estes temas emergiram de forma consistente nos dados, demonstrando padrões claros nas percepções dos participantes, conforme apresentado na Figura 4.

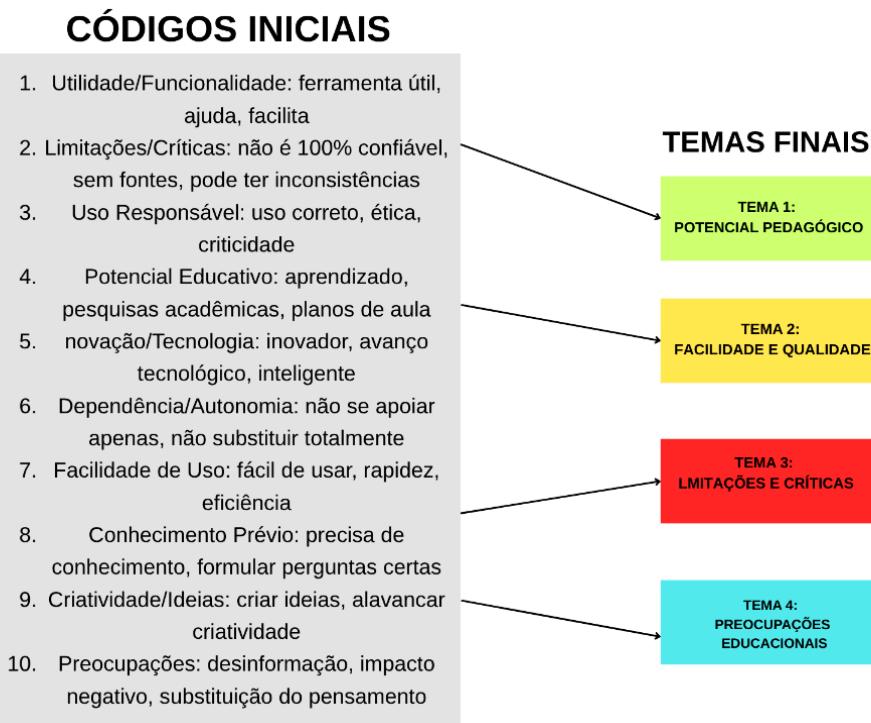


Figura 4: Códigos e temas oriundos da AT.

Fonte: Dados da pesquisa.

O Tema 1 “Potencial Pedagógico”, esteve presente em 94,1% das respostas (16 de 17 participantes), revelando que o reconhecimento generalizado do valor educativo do ChatGPT como ferramenta de apoio ao aprendizado e no ensino de química. Além disso, os futuros professores demonstraram compreender as possibilidades práticas da IA para facilitar processos educativos, desde a busca por informações até o planejamento de atividades pedagógicas. Por exemplo, este reconhecimento se manifesta na fala do participante P6 expressa claramente esta percepção ao afirmar que considera o ChatGPT *“sumamente útil y necesario para facilitar el aprendizaje sin*

necesidad de perder mucho tiempo buscando respuestas". Tal perspectiva é corroborada pelo participante P12, que destaca "Considero um recurso extremamente útil não só no meio acadêmico, mas também da vida como geral. Utilizo sempre que preciso de alguma ideia, para resumir artigos muito longos e formatar corretamente algum texto que eu escrevi".

Já a dimensão do planejamento pedagógico emergiu como particularmente relevante para a formação de professores de química. Como prova disso, o participante P13 enfatiza que "além de ser fácil de usar, ela ajuda a resolver a maioria das questões e problemas que enfrentamos. Além de mostrar o passo a passo nas respostas, ela também propor exemplos bem concretos; o que geralmente ajuda a compreender a explicação dada". Esta percepção se alinha com as demandas específicas da formação de professores e o uso da IA, embora percebamos que é necessário dar condições aos professores de incorporar essa ferramenta de forma reflexiva e estratégica em suas práticas pedagógicas, conforme alerta Blass, Rhoden e Pereira (2024), especialmente quando se comprehende a IA não como recurso tecnológico, mas como um elemento que tensiona e reconfigura as articulações entre conhecimento pedagógico, tecnológico e de conteúdo, tal como discutido no âmbito do modelo TPACK e suas expansões contemporâneas (SIQUEIRA; BEDIN; GRANDO, 2025).

O tema “Facilidade e Qualidade” foi identificado em 88,2% das respostas (15 de 17 participantes), refletindo percepções predominantemente positivas sobre a usabilidade e a qualidade das respostas geradas pelo ChatGPT. O tema emergiu a partir de códigos relacionados à facilidade de uso (como “fácil de usar”, “rapidez” e “eficiência”) e ao conhecimento prévio necessário para o manuseio adequado da ferramenta (por exemplo, “precisa de conhecimento” e “formular perguntas certas”). Embora os participantes reconheçam que o ChatGPT é uma ferramenta intuitiva e acessível, apontam que seu uso eficaz requer competências específicas de formulação e análise crítica. A participante P12 exemplifica essa visão ao afirmar que “é importante ter criticidade para analisar e ver se a resposta dele está de acordo com os conhecimentos que eu já tenho sobre o assunto”. Essa percepção evidencia uma compreensão mais sofisticada sobre a natureza interativa da IA ressaltando que o domínio conceitual prévio, especialmente em temas da Química, é essencial para que o uso do ChatGPT seja produtivo e ético. Estes achados reforçam a necessidade de alinhar as aplicações de IA aos objetivos de aprendizagem específicos, a fim de evitar implementações superficiais ou meramente instrumentais (JAUHIAINEN; GARAGORRY GUERRA, 2024).

De modo complementar, o participante P13 destacou a qualidade estrutural das respostas do ChatGPT, à título de exemplificação, “além de mostrar o passo a passo nas respostas, ela também



propõe exemplos bem concretos, o que geralmente ajuda a compreender a explicação dada". Essa característica é particularmente valorizada no ensino de química, uma vez que o entendimento de fenômenos complexos depende de níveis graduais de detalhamento e exemplificação. Assim, os resultados sugerem que professores que integram a IA em suas práticas pedagógicas tendem a utilizá-la tanto para aperfeiçoar suas estratégias de ensino quanto para proporcionar experiências de aprendizagem mais ativas e reflexivas aos estudantes, favorecendo a construção de conhecimento mediado pela interação humano-máquina, tal como já defendido por Ouyang e Jiao (2021).

O tema “Limitações e Críticas” foi identificado em 82,4% das respostas (14 de 17 participantes), revelando um grau significativo de maturidade acadêmica entre os futuros professores, que demonstraram consciência quanto às limitações da inteligência artificial e à necessidade de um uso crítico e responsável. O tema se manifesta a partir de códigos relacionados a limitações e críticas (como “não é 100% confiável”, “sem fontes” e “pode ter inconsistências”) e ao uso responsável (tais como “uso correto”, “ética” e “criticidade”). Por exemplo, a participante P2 exemplifica essa postura ao afirmar que “não deve ser levada como total afirmação, pois ele pode ter inconsistência, pois é uma inteligência artificial que é alimentada, mas não verificada. O ChatGPT pode ser usado em todas as áreas, mas não como verdade absoluta. Pode ser usado como criador de ideias que serão melhoradas por você”. Essa declaração evidencia uma compreensão crítica sobre a natureza generativa da IA e seus limites epistemológicos, reconhecendo a importância da mediação humana na interpretação das respostas. Em consonância, Darling-Hammond et al. (2017) destacam que a adoção eficaz de tecnologias educacionais baseadas em IA exige formação docente contínua e prática reflexiva, a fim de promover um uso pedagógico mais consistente e ético.

O participante P9 reforça essa percepção ao observar que “as respostas também são sem fonte, não dá para se apoiar sobre ela para resolver tudo da universidade”. Essa observação é particularmente relevante no contexto acadêmico, em que a verificabilidade e a fundamentação das informações constituem princípios essenciais para a credibilidade científica. Ainda, esse achado converge com as considerações de Yin, Karumbaiah e Acquaye (2025), segundo as quais o uso responsável da IA em contextos educacionais deve priorizar a transparência e a confiabilidade das fontes. De forma contrastante, os resultados também indicam que aspectos como autonomia discente e desempenho técnico da IA foram percebidos como menos críticos pelos participantes, sugerindo que a preocupação central recai sobre a qualidade epistemológica das respostas e sobre o papel formativo da IA no desenvolvimento do pensamento crítico.

Por fim, o tema 4, “Preocupações Educacionais”, foi identificado em 70,6% das respostas (12 de 17 participantes) e expressa inquietações dos futuros professores quanto aos possíveis impactos negativos da IA na educação. Esse tema emergiu a partir de códigos relacionados à dependência e autonomia (como “não se apoiar apenas” e “não substituir totalmente”) e às preocupações ético-pedagógicas (tais como “desinformação”, “impacto negativo” e “substituição do pensamento”). Nesse bojo, a participante P3 articula de maneira clara essa preocupação ao afirmar: “Ele é uma ferramenta muito útil, porém, não podemos nos apoiar apenas nela. Não podemos ter medo do avanço da inteligência artificial, e sim, do atraso mental da sociedade. A inteligência artificial é muito útil, mas não devemos nos basear somente nela; devemos utilizá-la como artifício para alavancar nossa criatividade e nos ajudar”. Essa reflexão revela uma compreensão equilibrada sobre o papel da IA como ferramenta de apoio complementar, e não como substituta da ação humana. Além disso, reforça a importância de que professores utilizem a IA de modo estratégico e criativo, especialmente em momentos de saturação cognitiva, se valendo da tecnologia para estimular a formulação de perguntas complexas e manter o rigor pedagógico no processo de ensino e aprendizagem (TRIPATHI et al., 2025).

A participante P15 expressa preocupação semelhante ao afirmar que “usarla mucho evita que analicemos y pensemos por cuenta propia”. Essa observação evidencia a percepção de que o uso excessivo da IA pode reduzir a autonomia intelectual e o exercício do pensamento crítico, convergindo com os resultados de Yin, Karumbaiah e Acquaye (2025), que identificaram preocupações docentes quanto ao potencial da IA de minar a reflexão independente e a tomada de decisão autônoma. Essas considerações remetem à discussão sobre a competência digital docente, compreendida como a capacidade do professor de utilizar as tecnologias digitais de forma crítica, reflexiva e integrada às dimensões pedagógicas de sua prática (LUCAS et al., 2024). Nesse sentido, convém destacar a necessidade de que os cursos de formação inicial e continuada revisem seus currículos, a fim de proporcionar condições para que os futuros professores desenvolvam o uso intencional, ético e pedagógico da IA garantindo que ela seja empregada como aliada à criatividade e não como substituta do pensamento educacional crítico ou ainda, apenas como adorno à prática pedagógica. Na sequência, utilizamos a plataforma web de análise textual, denominada de Voyant Tools para identificar a ocorrência de palavras-chave que emergiram no *corpus* de textos, obtidos com as respostas dos alunos, conforme exibida na Figura 5.



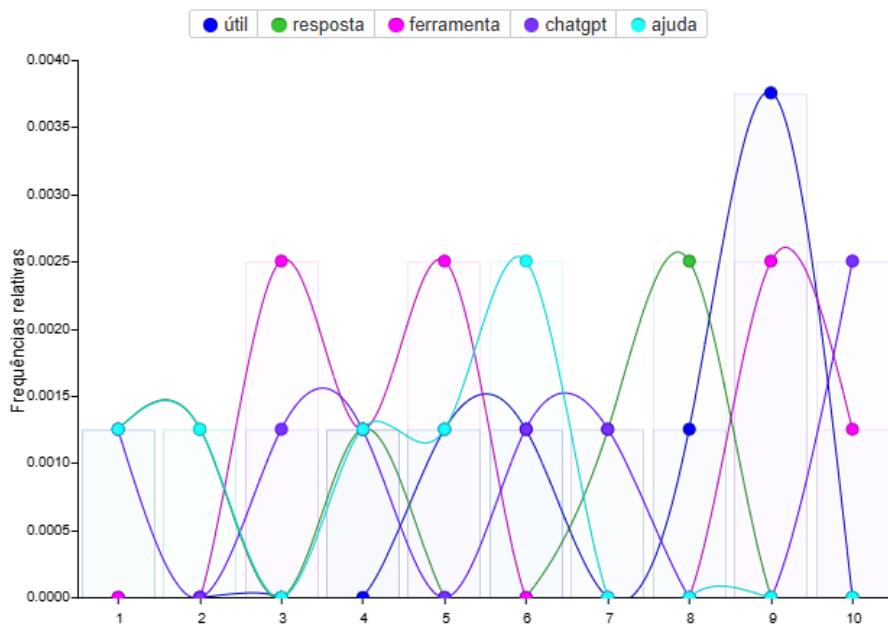


Figura 5: Gráfico de tendências para ‘O que você acha do ChatGPT? Pense profundamente e escreva tudo o que vem a sua mente’ observadas no *corpus* de texto da questão aberta.

Fonte: Dados da pesquisa.

Na Figura 5 acima, apresentamos o gráfico Trends (Tendências) obtido na plataforma Voyant Tools. Por meio dela, é possível observar que as frequências relativas dos termos “útil”, “resposta”, “ferramenta”, “chatgpt” e “ajuda” foram distribuídas ao longo de dezessete segmentos textuais, o que permite visualizar a progressão lexical do *corpus*. Assim, se observa que “ChatGPT” predomina sobretudo no miolo do texto (\approx segmentos 3 a 7), indicando a fase de contextualização e descrição da tecnologia. Em seguida, “ajuda” atinge pico intermediário (\approx segmento 6), sugerindo um momento em que o discurso enfatiza apoio e mediação pedagógica. Posteriormente, “resposta” cresce no terço final (\approx segmento 8), enquanto “ferramenta” apresenta dois picos (\approx segmentos 3 e 9–10), o que sinaliza, primeiro, o enquadramento da IA como objeto de análise e, depois, sua consolidação como recurso didático. Por fim, “útil” se concentra fortemente no fecho (\approx segmentos 9–10), o que evidencia um movimento avaliativo que destaca a utilidade percebida. Em conjunto, esses padrões apontam para uma progressão retórica do *corpus*, ou seja, da nomeação e descrição da tecnologia, passando por usos de apoio, até avaliações de qualidade, utilidade e enquadramento como ferramenta. Convém notar que as medidas são relativas ao tamanho de cada segmento, o que possibilita comparações equânimis entre trechos e reforça a consistência dos picos observados.

Seção II - Análise descritiva dos dados da Escala Likert



A análise dos dados quantitativos da escala Likert (1-10) corroborou com os padrões consistentes sobre os temas identificados na análise qualitativa. Das 26 assertivas do questionário, 15 foram selecionadas para análise após processo de refinamento metodológico, sendo agrupadas em quatro categorias temáticas que correspondem aos temas qualitativos identificados e já discutidos. O Quadro 3 apresenta a distribuição das assertivas por categoria temática e a Figura 6 apresenta as médias obtidas para cada item/assertiva.

Quadro 3: Distribuição das Assertivas por Categoria Temática

Categoria Temática	Assertivas Incluídas	Média
Potencial Pedagógico	4 assertivas (3, 4, 5, 6)	8,8
Facilidade e Qualidade	4 assertivas (7, 9, 10, 12)	8,4
Limitações e Críticas	3 assertivas (15, 16, 17)	8,2
Preocupações Educacionais	4 assertivas (18, 19, 23, 24)	5,2

Fonte: Dados da pesquisa.

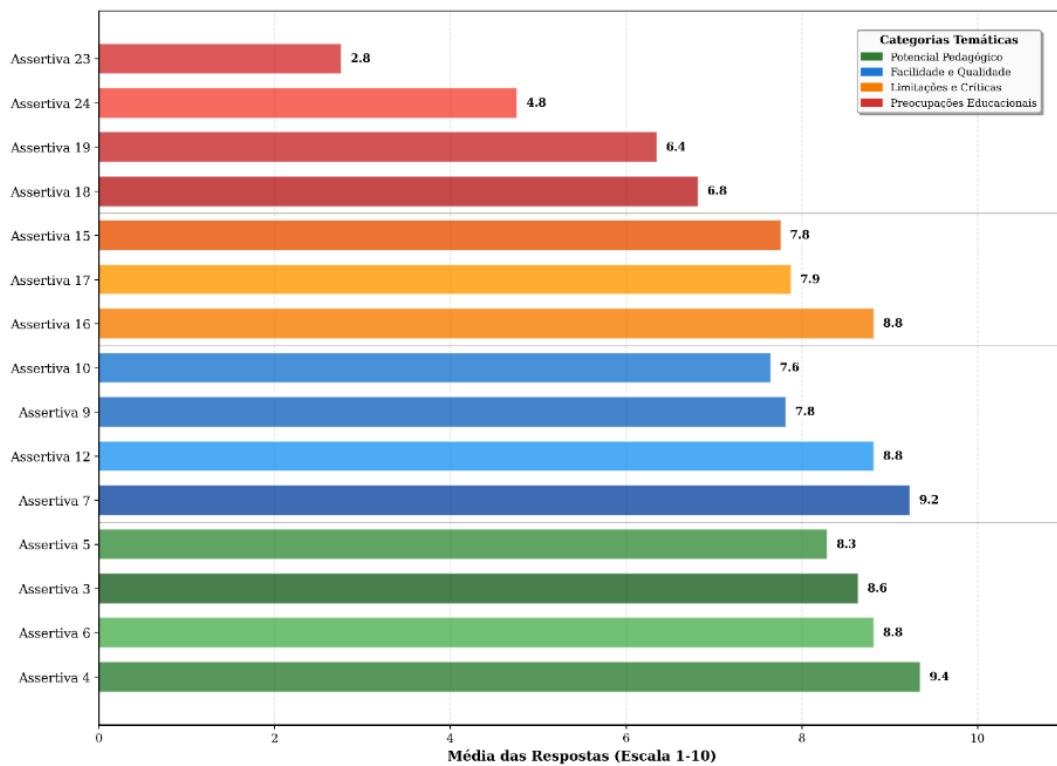


Figura 6: Médias das assertivas incluídas na análise.

Fonte: Dados da pesquisa.

Vale mencionar que algumas assertivas foram excluídas da análise. Diante disso, fizemos a exclusão de 11 das 26 assertivas seguindo critérios metodológicos estabelecidos por Braun e Clarke (2006) para análise temática, eliminando, desse modo, sobreposições conceituais, experiências

individuais específicas e aspectos não-pedagógicos que não contribuíam para a compreensão dos padrões temáticos centrais. Assim, segundo DeVellis (2017), itens redundantes podem inflar artificialmente a consistência interna sem agregar valor conceitual, justificando a exclusão de assertivas como 'As respostas do chatGPT são precisas' (assertiva 14), gerando sobreposição com categoria "Facilidade e Qualidade" e 'Estou maravilhado com as capacidades do chatGPT!' (assertiva 1), agregava uma natureza puramente emocional. Já a triangulação metodológica (CRESWELL; PLANO CLARK, 2017) validou este refinamento analítico, demonstrando que os quatro temas emergentes dos dados qualitativos encontraram correspondência direta nas 15 assertivas incluídas, confirmando que as exclusões fortaleceram a robustez conceitual sem comprometer a saturação temática (GUEST et al., 2012). A Figura 7 traz as médias obtidas para cada categoria temática.

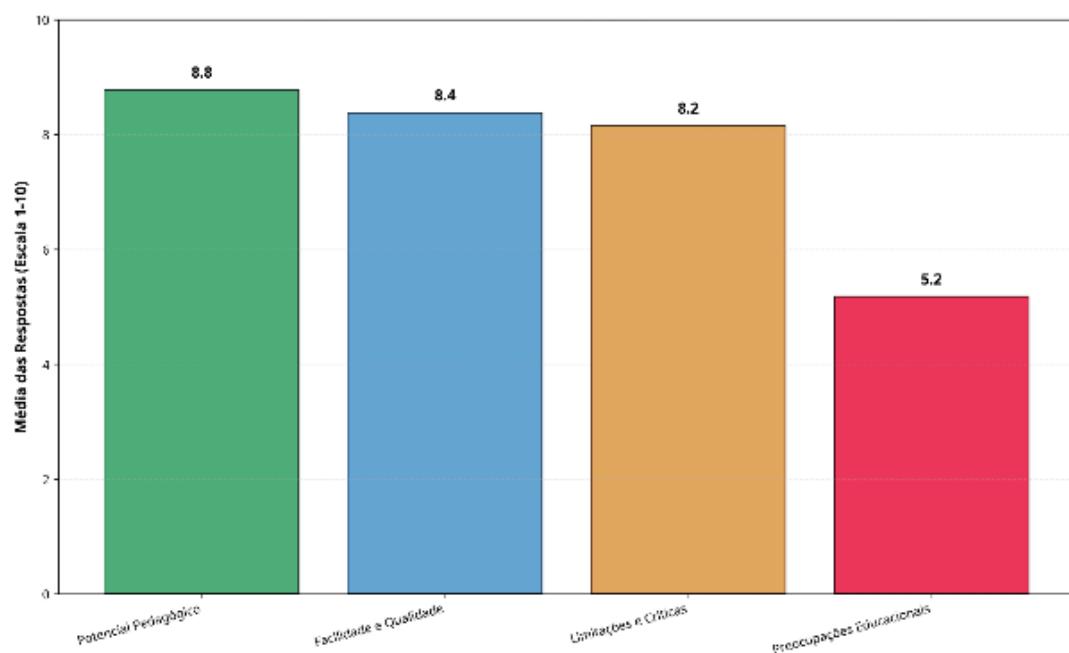


Figura 7: Médias por categoria temática obtidas a partir das percepções dos professores em formação inicial.

Fonte: Dados da pesquisa.

Como é possível observar na Figura 7, a categoria "Potencial Pedagógico" obteve a maior média geral ($M = 8,8$), confirmando o reconhecimento dos participantes sobre o valor educativo do ChatGPT. Como exemplo, assertivas com maiores pontuações nesta categoria foram "O chatGPT pode ser uma ferramenta complementar para o meu aprendizado" ($M = 9,4$) e "O chatGPT pode ser uma ferramenta útil para planejar planos de aula sobre a química" ($M = 8,8$). Estes resultados são particularmente relevantes para a formação de professores de química porque denotam o alto reconhecimento do potencial da IA para apoiar o planejamento pedagógico específico da disciplina,

indicando que os futuros professores compreendem as possibilidades de integração da tecnologia em sua futura prática docente. Além disso, tal resultado vai ao encontro com o de Lee e Zhai (2024), pois identificaram que futuros professores de ciências demonstram capacidade de integrar o ChatGPT em diferentes domínios científicos, incluindo química (7 de 29 planos de aula analisados), com pontuações altas em estratégias instrucionais. Esta convergência pode sugerir, portanto, que o reconhecimento do valor educativo da IA transcende contextos culturais e geográficos específicos.

Já a categoria "Facilidade e Qualidade" apresentou média de 8,4, refletindo a percepção positiva dos participantes sobre a usabilidade e qualidade das respostas do ChatGPT. Assim, o item "O chatGPT é bastante interessante" obteve alta pontuação ($M = 9,2$), seguido por "O chatGPT é fácil de usar" ($M = 8,8$). A percepção positiva sobre facilidade e qualidade (88,2% dos participantes; $M = 8,38$) encontra validação em Shoufan (2023), que investigou 56 estudantes de engenharia e identificou que consideram o ChatGPT "fácil de usar" e apreciam sua "interface semelhante à humana que fornece respostas bem estruturadas". Choi (2025), analisando 1200 respostas do ChatGPT em ciências elementares, encontrou que 94,2% das respostas eram cientificamente válidas e 70,6% eram claras, oferecendo perspectiva sobre a qualidade das respostas da ferramenta.



No entanto, a categoria "Limitações e Críticas" apresentou média de 8,2 (DP = 1,89), demonstrando que os participantes reconhecem claramente as limitações da tecnologia, por exemplo, o item "Para utilizar o chatGPT você ainda precisa da inteligência humana" obteve alta concordância ($M = 8,8$; DP = 2,2), evidenciando a consciência sobre a necessidade de mediação humana no uso da IA. Ademais, a consciência crítica demonstrada (82,4% dos participantes; $M = 8,16$) reflete maturidade que encontra eco na literatura. Shoufan (2023) identificou que estudantes reconhecem que as respostas do ChatGPT nem sempre são precisas" e que "requer bom conhecimento de base para trabalhar. Sob tal perspectiva, Mai et al. (2024) identificaram 10 fraquezas do ChatGPT na educação, incluindo preocupações sobre precisão factual e potencial para desinformação, se alinhando com as percepções dos participantes desta pesquisa sobre a necessidade de verificação crítica.

Por fim, a categoria "Preocupações Educacionais" apresentou a menor média ($M = 5,2$), indicando que os participantes não consideram o ChatGPT como uma ameaça significativa ao processo educacional. Isto foi corroborado, por exemplo, pela análise do item "O chatGPT ameaçará o papel do professor" obteve média baixa ($M = 2,8$), sugerindo que os futuros professores não percebem a IA como substituta de sua função docente. Desse modo, o referido resultado de que futuros professores não percebem o ChatGPT como ameaça ao papel docente ($M = 2,8$) converge

com Lee e Zhai (2024), que identificaram que futuros professores antecipam benefícios como questionamento de alta qualidade e suporte de aprendizagem individualizado.

Modelo C.A.R.D.S.: uma proposição para a criação de *prompts* reflexivos no ensino de química

O modelo C.A.R.D.S. é um acrônimo projetado para guiar professores de química na construção de *prompts* eficazes e pedagogicamente pensados para interagir com ferramentas de IA, como o ChatGPT, embora seu uso possa ser empregado em qualquer IAG. A sigla representa cinco pilares essenciais a serem considerados antes de formular um comando, sendo eles, o Conteúdo (o cenário educacional e o público-alvo), a Atribuição (a persona ou papel que a IA deve assumir), o Resultado (o formato específico do produto desejado), as Dimensões (a conexão explícita com os níveis de representação da química) e as Salvaguardas (restrições e refinamentos do pedido). O objetivo do modelo é transformar a interação com a IA, movendo-a de uma simples busca por respostas para um exercício consciente de design instrucional, no qual a intencionalidade do professor em formação (seja inicial ou em atuação) possa moldar a qualidade e questionar com criticidade a relevância do material gerado. Dessa maneira, acreditamos que ao implementar uma proposta metodológica baseada em IA, poderemos gerar benefícios significativos que podem ser alcançados no desenvolvimento do pensamento crítico e de habilidades de resolução de problemas complexos, tal como sinalizado por Zawacki-Richter et al. (2019), bem como por Siqueira, Bedin e Grando (2025).

Segundo Thurzo et al. (2023), o conteúdo curricular e as práticas pedagógicas nas universidades precisam ser revisados e atualizados à luz da recente mudança de paradigma que a IA vem impondo aos contextos educacionais. Por isso, longe de ser uma solução definitiva, acreditamos que o grande diferencial do modelo C.A.R.D.S. reside na proposição da etapa "Dimensões", que se integra diretamente o Tetraedro de Mahaffy (MAHAFFY, 2006) ao processo de criação do *prompt* em alinhamento com os níveis de conhecimento químico, ou seja, simbólico, macroscópico, submicroscópico e humano (que visa conectar a química às questões sociais, ambientais, éticas, históricas, tecnológicas, econômicas, etc.). Desse modo, ao solicitar que o professor especifique se a resposta deve focar nos aspectos macroscópico, submicroscópico, simbólico ou no contexto humano, o modelo garante que a IA produza conteúdos que promovam uma compreensão mais holística e contextualizada da química. Essa abordagem estruturada força uma reflexão prévia sobre os objetivos de aprendizagem dos alunos e de ensinagem do professor, resultando em respostas da IA que são menos genéricas, mais alinhadas ao nível dos alunos e,



consequentemente, com maior valor pedagógico para o planejamento de aulas eficazes e multifacetadas. O modelo pode ser visto na Figura 8, sendo que o Quadro 4 traz os elementos e seus respectivos objetivos.

**(C): Conteúdo
(A): Atribuição
(R): Resultado
(D): Dimensões
(S): Salvaguardas**



468

Figura 8: Modelo C.A.R.D.S.

Fonte: Autora.

Quadro 4: Elementos constituintes do modelo C.A.R.D.S., seus objetivos e exemplos de perguntas que devem ser feitas pelos professores Elementos do Modelo C.A.R.D.S	Objetivo	Exemplos de perguntas-guia para o professor
C – Contexto 	Definir o cenário educacional. A IA precisa entender "onde" e "para quem" a informação será usada para adequar a complexidade e o escopo.	Qual é o tema central da minha aula? (Ex: Estequiometria, Ligações Químicas). Para qual série/nível de ensino se destina o material? (Ex: Ensino Médio, 1º ano; Ensino Superior, Química ral). Qual o conhecimento prévio que meus alunos já possuem sobre este tema? Em que momento da aula este recurso será utilizado? (Ex: Introdução ao tema, aprofundamento, resolução de exercícios).

A – Atribuição 	Definir a "persona" que o ChatGPT deve assumir. Isso molda o tom, o estilo e a profundidade da resposta.	Quem eu quero que o <i>chatbot</i> de IA (ChatGPT, Copilot, Perplexity, etc.) seja? Um tutor paciente? Um especialista em química industrial? Um historiador da ciência? Um elaborador de questões para uma lista de exercícios? Qual deve ser o tom da resposta? Formal, informal, didático, socrático (baseado em perguntas)?
R – Resultado 	Especificar o formato e o tipo de produto desejado. Comandos vagos geram respostas vagas.	O que eu quero que o ChatGPT produza? Uma analogia? Uma lista de exercícios com gabarito comentado? Um roteiro para um experimento simples? Uma tabela comparativa? Como essa produção deve ser estruturada? (Ex: Em tópicos, em parágrafos, como um diálogo).
D – Dimensões 	Este é o núcleo do modelo, conectando o <i>prompt</i> diretamente ao Tetraedro de Mahaffy (2006). O professor deve indicar explicitamente qual(is) vértice(s) do tetraedro o <i>prompt</i> deve explorar ou conectar.	Macroscópico: A resposta deve focar em fenômenos observáveis, propriedades visíveis ou aplicações do dia a dia? Submicroscópico: A resposta deve detalhar o que acontece em nível molecular, atômico ou iônico? Deve incluir modelos e mecanismos? Simbólico: A resposta deve incluir e explicar equações químicas, fórmulas, gráficos ou outras formas de representação? Contexto Humano: A resposta deve abordar as implicações sociais, éticas, ambientais, históricas ou econômicas do conceito químico?
S – Salvaguardas 	Define os limites, as regras e as barreiras de proteção para garantir que o resultado seja seguro, ético, preciso e pedagogicamente responsável. É a etapa da curadoria crítica.	Segurança: Como garantir a segurança? (Ex: "Para este experimento, inclua um aviso claro de que deve ser realizado apenas com a supervisão de um professor e com o uso de EPIs."). Precisão e Validade: Como verificar a precisão e evitar desinformação? (Ex: "Não invente referências bibliográficas. Baseie-se em princípios químicos estabelecidos." ou "Apresente seu raciocínio passo a passo para que eu possa validá-lo."). Adequação: Como garantir que o conteúdo seja adequado ao nível dos alunos? (Ex: "Evite terminologia de nível universitário. Explique todos os termos técnicos de forma simples."). Pensamento Crítico: Como promover o pensamento em vez da cópia? (Ex: "Ao final da explicação, alerte sobre as limitações desta analogia.").

Fonte: Autora.

Como exemplificação, trazemos dois exemplos de utilização da IA por dois discentes, Figura 9 (a) e (b), conforme ilustrado na imagem anterior, que servem como um caso interessante para demonstrar a importância de um modelo estruturado como o C.A.R.D.S. As respostas fornecidas pelo ChatGPT em 2023, quando solicitado a explicar o Tetraedro de Mahaffy, foram não apenas

vagas, mas gravemente alucinadas, inventando um conceito completamente novo sobre propriedades de materiais (resistência, rigidez, tenacidade) e até mesmo a profissão de Mahaffy. Essas falhas catastróficas ilustram vividamente o que ocorre quando os *prompts* são fracos e desprovidos de intencionalidade pedagógica, deixando a IA à deriva em seu vasto mar infinito de dados. Com isso, uma análise crítica, utilizando o modelo C.A.R.D.S., revela que a ausência de diretrizes claras sobre Contexto, Atribuição, Resultado, Dimensões (crucialmente, a falta de ancoragem no domínio do ensino de química) e Salvaguardas levou a esses resultados ruins, algo que a aplicação do modelo teria evitado ao direcionar a IA de forma precisa e responsável.

 Me explique a analogia do Tetraedro de Mahaffy

(a)

 Peço desculpas por qualquer confusão anterior. Aqui está uma explicação mais precisa da analogia do Tetraedro de Mahaffy:

O Tetraedro de Mahaffy é uma analogia que descreve os quatro componentes principais da química: substâncias, reações, energia e cinética. Cada componente é representado por uma face de um tetraedro.

1. Substâncias: Essa face do tetraedro representa as substâncias químicas e a composição da matéria. Inclui elementos, átomos, moléculas, compostos e suas propriedades. Essa face enfatiza a compreensão das características das substâncias e como elas interagemumas com as outras.
2. Reações: Essa face trata das reações químicas e das transformações que ocorrem entre as substâncias. Inclui o estudo dos diferentes tipos de reações, como síntese, decomposição, substituição e redox. A face das reações enfatiza a compreensão dos processos químicos e das mudanças químicas que ocorrem.
3. Energia: Essa face do tetraedro aborda a energia envolvida nas reações químicas. Inclui a compreensão dos conceitos de energia de ativação, entalpia, entropia e a relação entre energia e estabilidade das substâncias. A face da energia destaca como a energia

 Me explique o Tetraedro de Mahaffy

(b)

 O Tetraedro de Mahaffy é uma analogia utilizada para ilustrar a relação entre as três propriedades principais dos materiais: resistência, rigidez e tenacidade. Essa analogia foi proposta pelo engenheiro Robert Mahaffy.

O tetraedro é uma figura geométrica tridimensional composta por quatro faces triangulares. Cada face representa uma das três propriedades dos materiais mencionadas acima, enquanto o quarto vértice representa o material em questão.

A face frontal do tetraedro representa a resistência, que é a capacidade de um material resistir a forças externas sem se deformar ou quebrar. Materiais com alta resistência são capazes de suportar cargas elevadas sem falhar.

A face lateral do tetraedro representa a rigidez, que é a capacidade de um material resistir à deformação quando submetido a uma carga. Materiais com alta rigidez são difíceis de deformar e mantêm sua forma original sob ação de forças externas.

A face inferior do tetraedro representa a tenacidade, que é a capacidade de um material absorver energia antes de falhar. Materiais com alta tenacidade são capazes de absorver grandes quantidades de energia antes de fraturar.

O vértice do tetraedro representa o material em questão, e sua posição dentro do tetraedro indica como ele se comporta em termos de resistência, rigidez e tenacidade. Por exemplo, um material localizado no vértice superior do tetraedro terá alta resistência, mas pode ser menos rígido e tenaz. Já um material localizado no vértice inferior terá alta tenacidade, mas pode ser menos resistente e rígido.

Figura 9: Exemplos de *prompts* dos alunos e respostas do ChatGPT.

Fonte: Dados da pesquisa.

Analizando o *prompt* (a) (Fig. 9(a)), ‘Me explique a analogia do Tetraedro de Mahaffy’, percebemos sua falha através da ausência dos componentes do C.A.R.D.S. Pois, a falta de **Contexto**, provavelmente, deixou a IA sem saber o público-alvo ou o propósito da explicação. A ausência de **Atribuição** impediu que o chat adotasse um papel específico (como especialista, em didática, por exemplo). A não definição do **Resultado** esperado permitiu a geração de um texto desestruturado e incorreto. A falha mais crítica foi a não especificação da **Dimensão**, ou seja, o domínio do conhecimento; sem a ancoragem na “pedagogia” ou “ensino de química”, a IA alucinou uma conexão inexistente com propriedades de materiais. Por fim, a falta de **Salvaguardas** não exigiu precisão ou verificação, permitindo a apresentação de informações falsas. Se o modelo C.A.R.D.S.

tivesse sido aplicado, o usuário seria guiado a especificar esses elementos, forçando a IA a buscar a informação correta sobre o modelo pedagógico de Mahaffy e seus quatro vértices.

O *prompt* (b) (Fig. 9(b)), 'Me explique o Tetraedro de Mahaffy', é ainda mais problemático devido à sua generalidade extrema, potencializando as mesmas falhas identificadas no *prompt* (a) (Fig. 9(a)). A ausência completa de Contexto, Atribuição e especificação do Resultado deixou a IA sem qualquer direcionamento. A falha crítica na Dimensão foi ainda mais acentuada, pois nem a palavra "analogia" estava presente para dar alguma pista; a IA, perdida, manteve e expandiu a associação incorreta com engenharia de materiais (resistência, rigidez, tenacidade), construindo uma narrativa falsa ainda mais elaborada. Ademais, a falta de Salvaguardas novamente permitiu que essa informação incorreta fosse gerada sem qualquer verificação. Assim, a aplicação do C.A.R.D.S., por exigir a definição da Dimensão como modelo pedagógico para o ensino de química", teria sido crucial para direcionar a IA ao conhecimento correto, resultando em uma explicação útil sobre os vértices macroscópico, submicroscópico, simbólico e o contexto humano.



As respostas desastrosas do ChatGPT em 2023, nos exemplos das Figura 9 (a) e (b), não foram apenas "vagas", mas o resultado direto de *prompts* fracos que não forneceram um modelo de pensamento ou diretrizes claras para a IA. Portanto, o modelo C.A.R.D.S. atua precisamente como esse guia, funcionando como um filtro contra a ambiguidade e a alucinação, principalmente através da etapa "Dimensões" (D), que ancora o *prompt* no domínio correto do conhecimento (como "ensino de química"), conduzindo a IA para informações relevantes e reduzindo drasticamente a chance de invenções. Adicionalmente, ao exigir a definição de um "Resultado" (R) estruturado e uma "Atribuição" (A) específica, o modelo força a IA a organizar a resposta logicamente, dificultando a sustentação de alucinações. Por fim, a etapa "Salvaguardas" (S) promove uma mentalidade crítica, estabelecendo barreiras vigilantes contra a geração de informações falsas. Com efeito, ao definir o Contexto, a Atribuição, o Resultado esperado, a Dimensão correta do conhecimento e as Salvaguardas necessárias, o C.A.R.D.S. minimiza a ambiguidade, direciona a IA para os dados relevantes e implementa verificações críticas, transformando a interação de um jogo de adivinhação propenso a erros em um processo de cocriação de conhecimento mais confiável e pedagogicamente valioso porque ancora a reflexão crítica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo evidenciou que a integração de IA com intencionalidade pedagógica fortalece a autoria docente, amplia o repertório de exemplos e apoios explicativos e favorece a mediação entre níveis representacionais da química. Assim, a aprendizagem ganha quando o professor atua como curador crítico, alinha objetivos de aprendizagem, define critérios explícitos de qualidade e conduz o *feedback* e *debriefing* estruturados. Esse arranjo, articulado ao AI-TPACK, ao Triângulo de Johnstone e ao Tetraedro de Mahaffy, sustenta planejamento, reflexão e avaliação formativa com foco disciplinar.

No entanto, a pesquisa também revelou limites importantes, tais como, o risco de dependência tecnológica, respostas superficiais, vieses nos modelos e questões éticas. Esses pontos exigem políticas de uso responsável, letramento crítico em IA e rubricas que tornem a intenção pedagógica verificável nas tarefas, nos *prompts* e nos produtos dos licenciandos. Ademais, o desenho apresenta limitações, pois a amostra foi pequena e localizada, período curto de acompanhamento, instrumentos autorrelatados, ausência de grupo de comparação, além do uso de um único *chatbot* de IA, por isso, esses fatores restringem generalizações. Por fim, pesquisas futuras podem, por exemplo, adotar acompanhamentos longitudinais e multissíntios, comparar diferentes modelos de IA e estratégias de *prompting*, desenvolver e validar rubricas de intencionalidade pedagógica, investigar implicações éticas e de equidade e analisar efeitos sobre a metacognição docente em contextos escolares reais.

Referências

AKESSON-NILSSON, G.; ADBO, K. Student Translations of the Symbolic Level of Chemistry. *Education Sciences*, v. 14, n. 7, p. 1-16, 2024.

ARAÚJO, L. R. et al. Digital technologies in chemistry teaching in the journal Chemistry Education Research and Practice: an analysis through a systematic literary review. *Latin American Journal of Science Education*, v. 11, p. 1-17, 2024.

BEDIN, E.; CLEOPHAS, M. das G. Metodologia Dicumba: interdisciplinaridade no ensino de ciências. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 17, n. 2, p. 181-198, 2022.

BEDIN, E.; CLEOPHAS, M. das G. Um retrato sobre o conhecimento tecnológico pedagógico do conteúdo de professores de química durante a pandemia a partir do olhar discente. *ETD: Educação Temática Digital*, n. 26, p. 64, 2024.

BEDIN, E.; MARQUES, M. S.; CLEOPHAS, M. G. Research on the content, technological, and pedagogical knowledge (TPACK) of chemistry teachers during remote teaching in the pandemic in the light of students' perceptions. *Journal of Information Technology Education: Research*, v. 22, p. 1-24, 2023.

BERBER, S. et al. Artificial intelligence in chemistry research: implications for teaching and learning. *Journal of Chemical Education*, v. 102, n. 4, p. 1445-1456, 2025.

BLASS, L.; RHODEN, A. C.; PEREIRA, A. M. O. Explorando a percepção de futuros professores sobre o uso do ChatGPT no contexto educacional. *TE&ET*, n. 39, p. 66-76, 2024.



BRAUN, V.; CLARKE, V. Thematic analysis. In: COOPER, H. et al. (eds.). *APA handbook of research methods in psychology: volume 2 – research designs: quantitative, qualitative, neuropsychological, and biological.* Washington, DC: American Psychological Association, 2012. p. 57-71.

BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, n. 2, p. 77-101, 2006.

CABERO-ALMENARA, J. et al. Teachers' digital competence to assist students with functional diversity: identification of factors through logistic regression methods. *British Journal of Educational Technology*, v. 53, p. 41-57, 2022.

CABERO-ALMENARA, J.; GUILLÉN-GÁMEZ, F. D.; RUIZ-PALMERO, J.; PALACIOS-RODRÍGUEZ, A. Teachers' digital competence to assist students with functional diversity: identification of factors through logistic regression methods. *British Journal of Educational Technology*, v. 53, p. 41-57, 2022.

CANFRAN, D. C. ChatGPT: una herramienta de inteligencia artificial en el aula de secundaria. Análisis de los usos y retos de ChatGPT en la enseñanza de secundaria. 2023. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universitat Oberta de Catalunya, 2023. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10609/148768>. Acesso em: 22 dez. 2025.

CARDELLINI, L. Chemistry: why the subject is difficult? *Educación Química*, v. 23, p. 305-310, 2012.

CHOI, Y. Exploring the scientific validity of ChatGPT's responses in elementary science for sustainable education. *Sustainability*, v. 17, n. 7, p. 2962, 2025.

CLEOPHAS, M. G.; BEDIN, E. Panorama sobre o conhecimento tecnológico pedagógico do conteúdo (CTPC) à luz das percepções dos estudantes. *RENOTE: Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 20, n. 1, p. 399-408, 2022.

CLEOPHAS, M. G.; CUNHA, M. B. Contribuições da fotografia científica observatória (FoCO) para o ensino por investigação. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, v. 13, n. 1, p. 349-381, 2020.

CRESWELL, J. W. Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

CRESWELL, J. W.; PLANO CLARK, V. L. Designing and conducting mixed methods research. 3. ed. Los Angeles: SAGE Publications, 2017.

DAHER, R. Integrating AI literacy into teacher education: a critical perspective paper. *Discover Artificial Intelligence*, v. 5, p. 217, 2025.

DAMIANI, M. F. et al. Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. *Cadernos de Educação*, Pelotas, n. 45, p. 57-67, 2013.

DARLING-HAMMOND, L.; HYLER, M. E.; GARDNER, M. Effective teacher professional development. Palo Alto: Learning Policy Institute, 2017.

DEVELLIS, R. F. Scale development: theory and applications. [S. I.]: SAGE Publications, 2017.

GRANDO, J. W.; CLEOPHAS, M. G. Proposta de um modelo heurístico para avaliação de aplicativos móveis no ensino de Química. *Educitec: Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, v. 8, p. e170622, 2022.

GUEST, G.; MACQUEEN, K. M.; NAMEY, E. E. Applied thematic analysis. Los Angeles: SAGE Publications, 2012.

HSIEH, H. F.; SHANNON, S. E. Three approaches to qualitative content analysis. *Qualitative Health Research*, v. 15, n. 9, p. 1277-1288, 2005.

HWANG, G. et al. Vision, challenges, roles and research issues of artificial intelligence in education. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, v. 1, e100001, 2020.



JAUHIAINEN, J. S.; GARAGORRY GUERRA, A. Generative AI and education: dynamic personalization of pupils' school learning material with ChatGPT. *Frontiers in Education*, v. 9, e1288723, 2024.
<https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1288723>

JOHNSTONE, A. H. Macro and micro chemistry. *School Science Review*, v. 64, p. 377-379, 1982.

KOĆ-JANUCHTA, M. M. et al. Engaging with biology by asking questions: investigating students' interaction and learning with an artificial intelligence-enriched textbook. *Journal of Educational Computing Research*, v. 58, n. 6, p. 1190-1224, 2020.

KORAISHI, O. Teaching English in the age of AI: embracing ChatGPT to optimize EFL materials and assessment. *LET: Linguistics, Literature and English Teaching Journal*, v. 3, n. 1, p. 55-72, 2023.

KROEF, R. F. S.; GAVILLON, P. Q.; RAMM, L. V. Diário de campo e a relação do(a) pesquisador(a) com o campo-tema na pesquisa-intervenção. *Estudos e Pesquisas em Psicologia*, v. 2, n. 2, p. 464-480, 2020.

LEE, G. G.; ZHAI, X. Using ChatGPT for science learning: a study on pre-service teachers' lesson planning. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, v. 17, p. 1643-1660, 2024.

LEITE, B. S. Inteligência artificial e ensino de química: uma análise propedêutica do ChatGPT na definição de conceitos químicos. *Química Nova*, v. 46, n. 9, p. 915-923, 2023.

LIMA, L. L.; DA ROSA, J. G. L.; AGUIAR, R. B. Metodologia da pesquisa: introdução à pesquisa qualitativa. In: MILLAN, M.; MÖLLER, G.; WOBETO, D. (orgs.). *Métodos e técnicas de pesquisa para economia criativa e da cultura*. Porto Alegre: UFRGS/FCE, 2022. p. 61-109.

LUCAS, M. et al. The interplay between teachers' trust in artificial intelligence and digital competence. *Education and Information Technologies*, v. 29, p. 22991-23010, 2024.

LUCKIN, R.; HOLMES, W.; GRIFFITHS, M.; FORCIER, L. B. *Intelligence unleashed: an argument for AI in education*. Londres: Pearson, 2016.

MAHAFFY, P. G. Moving chemistry education into 3D: a tetrahedral metaphor for understanding chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 83, n. 1, p. 49-55, 2006.

MAI, D. T. T.; DA, C. V.; HANH, N. V. The use of ChatGPT in teaching and learning: a systematic review through SWOT analysis approach. *Frontiers in Education*, v. 9, e1328769, 2024.

MALIK, A. OpenAI's ChatGPT now has 100 million weekly active users. *TechCrunch*, 2023. Disponível em: <https://techcrunch.com/2023/11/06/openais-chatgpt-now-has-100-million-weekly-active-users/>. Acesso em: 19 mar. 2025.

MISHRA, P.; KOEHLER, M. J. Technological pedagogical content knowledge: a framework for teacher knowledge. *Teachers College Record*, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, 2006.

MISHRA, P.; WARR, M.; ISLAM, R. TPACK in the age of ChatGPT and generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, v. 39, n. 4, p. 235-251, 2023.

NING, Y. et al. Teachers' AI-TPACK: exploring the relationship between knowledge elements. *Sustainability*, v. 16, n. 3, e978, 2024.

OUYANG, F.; JIAO, P. Artificial intelligence in education: the three paradigms. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, v. 2, e100020, 2021.

SANTOS, D. M. A. A. P. Inteligência artificial na educação: potencialidades e desafios. *SCIAS - Educação, Comunicação e Tecnologia*, v. 5, n. 2, p. 74-89, 2023.

SHOUFAN, A. Exploring students' perceptions of ChatGPT: thematic analysis and follow-up survey. *IEEE Access*, v. 11, p. 38805-38818, 2023.

SIQUEIRA, L. E. de; BEDIN, E.; GRANDO, J. W. Inteligência Artificial na Educação: revisão ciênciométrica e proposta de articulação pelo modelo TPACK. *EDUCAÇÃO, FORMAÇÃO & TECNOLOGIAS*, v. 13, n. 1, p. 59-85, 2025.

SINCLAIR, S.; ROCKWELL, G. Review of Voyant Tools: see through your text. *Language Learning & Technology*, v. 25, n. 3, p. 43–50, 2021.

SJÖSTRÖM, J. Towards Bildung-oriented chemistry education. *Science & Education*, v. 22, n. 7, p. 1873-

STRATTON, S. J. Population research: convenience sampling strategies. *Prehospital and Disaster Medicine*, v. 36, n. 4, p. 373-374, 2021.

THYSSEN, C.; HUWER, J.; IRION, T.; SCHAAAL, S. From TPACK to DPACK: The Digitality-Related Pedagogical and Content Knowledge - Model in STEM-Education. *Education Sciences*, v.13, n.8, p. 1-21, 2023.

TRIPATHI, T. et al. Teaching and learning with AI: a qualitative study on K-12 teachers' use and engagement with artificial intelligence. *Frontiers in Education*, v. 10, e1651217, 2025.

YIK, B. J.; DOOD, A. J. ChatGPT convincingly explains organic chemistry reaction mechanisms slightly inaccurately with high levels of explanation sophistication. *Journal of Chemical Education*, v. 101, n. 5, p. 836-1846, 2025.

YIN, Y.; KARUMBAIAH, S.; ACQUAYE, S. Responsible AI in education: understanding teachers' priorities and contextual challenges. In: PROCEEDINGS OF THE 2025 ACM CONFERENCE ON FAIRNESS, ACCOUNTABILITY, AND TRANSPARENCY (FAccT '25). p. 2705-2727, 2025.

ZAWACKI-RICHTER, O. et al. Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education: where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, v. 16, p. 1-27, 2019.



RESUMO

Este artigo analisa a integração intencional da IA generativa na formação inicial de professores de Química, articulando o AI-TPACK, o Triângulo de Johnstone e o Tetraedro de Mahaffy. Em uma intervenção exploratória com licenciandos, o ChatGPT foi usado em atividades guiadas por prompts, planejamento de aulas e análise crítica de respostas, buscando compreender percepções, prós e contras de seu uso. A análise temática indica potencial para apoiar a autoria docente, ampliar repertórios e mediar diferentes níveis de representação química, ao mesmo tempo em que evidencia riscos de dependência, superficialidade, vieses e questões éticas. Argumenta-se que a IA, quando curada pelo professor e orientada por intencionalidade pedagógica, favorece reflexão, planejamento e avaliação formativa, sem substituir os processos cognitivos dos estudantes. O estudo apresenta ainda o modelo C.A.R.D.S. para a elaboração de prompts reflexivos no ensino de Química.

Palavras-chave: Intencionalidade pedagógica; Formação de professores; Inteligência artificial na educação; Ensino de Química; AI-TPACK.

RESUMEN

Este artículo analiza la integración intencional de la IA generativa en la formación inicial de profesores de Química, articulando AI-TPACK, el Triángulo de Johnstone y el Tetraedro de Mahaffy como marcos didácticos. En una intervención exploratoria con estudiantes de profesorado en Química, se utilizó ChatGPT en actividades guiadas por *prompts*, planificación de clases y análisis crítico de respuestas, con el objetivo de comprender las percepciones estudiantiles y los pros y contras atribuidos al uso de la IA. El análisis temático señala potencial para apoyar la autoría docente, ampliar el repertorio de ejemplos y mediar entre los niveles macroscópico, submicroscópico, simbólico y contextual, a la vez que evidencia riesgos de dependencia, superficialidad, sesgos y cuestiones éticas. Se sostiene que la IA, cuando es cuidadosamente curada por el profesor y guiada por una intencionalidad pedagógica clara, puede favorecer la reflexión, la planificación y la evaluación formativa sin sustituir los procesos cognitivos de los estudiantes, y se presenta el modelo C.A.R.D.S. para el diseño de *prompts* reflexivos en la enseñanza de la Química.

Palabras clave: Intencionalidad pedagógica; Formación de profesores; Inteligencia artificial en la educación; Enseñanza de Química; AI-TPACK.