

Percepções de professores de ciências da natureza sobre o IA-TPACK

RESUMO

Everton Bedin

bedin.everton@gmail.com

orcid.org/0000-0002-5636-0908

Universidade Federal do Paraná
(UFPR), Curitiba, Paraná, Brasil

Este estudo visa analisar as percepções de professores de Ciências da Natureza sobre os conhecimentos relacionados à Inteligência Artificial (IA) articulados às bases do Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (IA-TPACK). A pesquisa, de abordagem quantitativa, natureza aplicada e objetivo exploratório-descritivo, foi realizada com 27 professores de Ciências da Natureza. Os dados foram constituídos por meio de um questionário de autorrelato composto por 14 assertivas em escala Likert de quatro pontos, adaptado de instrumento validado na literatura internacional sobre IA-TPACK. As análises envolveram estatística descritiva, teste de confiabilidade, testes de normalidade e o teste não paramétrico de Mann-Whitney para verificar o efeito das variáveis gênero, idade e formação acadêmica. Os resultados evidenciam diferentes níveis de percepção sobre o IA-TPACK, com maiores índices de concordância nas bases relacionadas ao conteúdo e às práticas investigativas, e maiores fragilidades nas dimensões pedagógicas e integradoras. A análise inferencial indica que o nível de formação acadêmica influencia significativamente as percepções docentes em dimensões centrais do modelo, enquanto gênero e idade não apresentaram efeito estatístico. Embora os professores reconheçam o potencial da IA para o Ensino de Ciências, persistem desafios relacionados ao desenvolvimento de conhecimentos pedagógicos capazes de promover sua integração crítica e intencional às práticas docentes.

PALAVRAS-CHAVE: Inteligência Artificial; IA-TPACK; Ciências da Natureza.

Natural sciences teachers' perceptions of AI-TPACK

ABSTRACT

This study aims to analyze Natural Sciences teachers' perceptions of the knowledge related to Artificial Intelligence (AI) across the domains of Artificial Intelligence Technological Pedagogical Content Knowledge (AI-TPACK). This quantitative, applied, exploratory-descriptive study was conducted with 27 Natural Sciences teachers. Data were collected through a self-report questionnaire comprising 14 statements rated on a four-point Likert scale, adapted from an instrument previously validated in the international AI-TPACK literature. Data analysis included descriptive statistics, reliability analysis, normality tests, and the nonparametric Mann-Whitney test to examine the effects of gender, age, and academic qualifications. The findings reveal different levels of perception regarding AI-TPACK, with higher levels of agreement in components related to content knowledge and inquiry-based practices, and greater weaknesses in pedagogical and integrative components. Inferential analysis indicates that academic qualifications significantly influence teachers' perceptions of core dimensions of the model, whereas gender and age showed no statistically significant effects. Although teachers recognize the potential of AI for Science Education, challenges remain regarding the development of pedagogical knowledge capable of fostering the critical and intentional integration of AI into teaching practice.

KEYWORDS: Artificial Intelligence; AI-TPACK; Natural Sciences.

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) tem assumido papel central nas transformações contemporâneas dos sistemas educacionais, não apenas como tecnologia de apoio, mas como elemento que reconfigura epistemologias, práticas pedagógicas e modos de produção do conhecimento científico. Revisões recentes (Soto & Herrera, 2024; Siqueira et al., 2025) indicam que a IA impacta diretamente a forma como conceitos científicos são representados, investigados e ensinados, exigindo do professor competências que ultrapassam o domínio técnico e instrumental (Paidicán & Arredondo, 2024). Nesse cenário, compreender como professores da área de Ciências da Natureza percebem e concebem a integração da IA ao ensino torna-se um problema central para a pesquisa educacional.

No campo da formação docente, a emergência da IA tem tensionado modelos tradicionais de conhecimento profissional, exigindo referenciais capazes de articular tecnologia, pedagogia e conteúdo de forma integrada e contextualizada. O modelo do Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (TPACK), proposto por Mishra e Koehler (2006, 2009), consolidou-se como um dos principais *frameworks* para compreender a integração pedagógica das tecnologias digitais. Entretanto, estudos recentes apontam que a natureza adaptativa, generativa e algorítmica da IA impõe limites à aplicação do TPACK em sua formulação clássica, demandando sua ampliação conceitual (Karataş & Ataç, 2025).

Neste estudo, a IA é compreendida como um conjunto de sistemas computacionais capazes de realizar tarefas associadas à cognição humana, como reconhecer padrões, gerar conteúdos, apoiar a tomada de decisão, produzir inferências e personalizar processos de ensino e aprendizagem (Celik, 2023; Ning et al., 2024; Soto & Herrera, 2024). No contexto do Ensino de Ciências, entretanto, seu significado ultrapassa o uso instrumental de plataformas ou assistentes virtuais, passando a constituir um recurso capaz de potencializar a modelagem de fenômenos, a visualização de entidades abstratas, a análise de dados experimentais, a elaboração de hipóteses e a mediação de práticas investigativas (Oliveira Figueiredo, 2025). Nessa perspectiva, a IA não substitui o professor, mas amplia suas possibilidades de planejamento, intervenção pedagógica e acompanhamento da aprendizagem, exigindo conhecimentos críticos, éticos e epistemológicos para sua integração ao ensino (Selwyn, 2022; Soto & Herrera, 2024; Karataş & Ataç, 2025).

Estudos recentes evidenciam esse potencial em diferentes contextos da Educação em Ciências, tanto na utilização de sistemas generativos para apoiar o ensino de química (Junior, 2025), quanto na reflexão sobre o desenvolvimento dos conhecimentos docentes relacionados ao IA-TPACK (Bedin, 2026) e na defesa de práticas pedagógicas críticas e contextualizadas, nas quais as tecnologias digitais devem estar articuladas à intencionalidade educativa e à formação cidadã (Vasselai & Moraes, 2022).

Diante dessas transformações, tem-se observado o crescimento de investigações que propõem extensões do TPACK, dando origem ao constructo IA-TPACK, que incorpora explicitamente os conhecimentos necessários para a integração pedagógica da IA. Pesquisas internacionais têm buscado analisar a estrutura, os componentes e as relações internas desse modelo ampliado,

evidenciando que o IA-TPACK envolve dimensões cognitivas, éticas, pedagógicas e disciplinares específicas (Ning et al., 2024; Xu et al., 2025; An et al., 2025). Estes estudos reforçam que a integração da IA no ensino não pode ser compreendida como mera continuidade das tecnologias digitais anteriores.

No âmbito empírico, investigações recentes têm explorado a relação entre competências docentes, atitudes frente à IA e níveis de conhecimento sobre o IA-TPACK. Runge et al. (2025) demonstram que a aceitação da IA por professores em formação está fortemente associada à qualidade da formação recebida e ao desenvolvimento de conhecimentos integrados. De modo convergente, Hava e Babayiğit (2025) e Setiawan et al. (2025) evidenciam que níveis mais elevados de IA-TPACK se relacionam à proficiência digital, à autoeficácia docente e à capacidade de tomar decisões pedagógicas informadas em contextos mediados por IA.

No contexto do ensino de Ciências da Natureza, essas discussões assumem relevância particular, uma vez que essa área envolve elevados níveis de abstração conceitual, uso intensivo de modelos, simulações e práticas investigativas. Estudos recentes (Oliveira Figueiredo, 2025) indicam que a IA tem potencial para transformar a forma como fenômenos científicos são explorados, representados e compreendidos, mas também pode reforçar abordagens tecnicistas se não for mediada por intencionalidade pedagógica e compreensão epistemológica do conteúdo. Assim, analisar as percepções docentes torna-se fundamental para compreender os limites e as possibilidades da IA no ensino das Ciências.

Apesar do avanço das pesquisas internacionais, ainda são incipientes os estudos que investigam, de maneira articulada, as percepções e concepções de professores de Ciências da Natureza sobre conhecimentos da IA atrelados às bases do TPACK no Brasil, sobretudo no que se refere à articulação entre tecnologia, pedagogia e ciência na formação inicial (Bedin & Moraes, 2024). Revisões cienciométricas recentes (Siqueira et al., 2025) apontam lacunas relacionadas à compreensão docente sobre a integração ética, pedagógica e disciplinar da IA, especialmente em contextos formativos marcados por desigualdades estruturais. Ademais, pesquisas indicam que a familiaridade com tecnologias digitais não garante, necessariamente, a construção de um conhecimento integrado e crítico (Aldemir et al., 2025; Eyal, 2025), evidenciando que o desenvolvimento do conhecimento docente exige processos reflexivos e autorregulados (Bedin, 2025b).

Nesse sentido, compreender como professores da área de Ciências da Natureza percebem e concebem o conhecimento sobre IA em articulação com as diferentes dimensões que arquitetam o modelo TPACK constitui um problema relevante tanto do ponto de vista teórico quanto formativo. Afinal, as percepções docentes influenciam diretamente decisões pedagógicas, formas de planejamento e modos de apropriação das tecnologias, funcionando como mediadoras entre políticas de inovação educacional e práticas concretas em sala de aula (Ning et al., 2024; Karataş & Ataç, 2025).

Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo analisar as percepções de professores de Ciências da Natureza sobre os conhecimentos relacionados à Inteligência Artificial (IA) articulados às bases do Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (IA-TPACK). Portanto, busca-se compreender como os

docentes avaliam sua capacidade de integrar a IA ao conteúdo científico, às decisões pedagógicas e ao uso da tecnologia, bem como as intersecções entre estes, contribuindo para o aprofundamento do debate sobre o IA-TPACK e oferecendo subsídios para a construção de propostas formativas críticas, éticas e epistemologicamente orientadas no ensino de ciências.

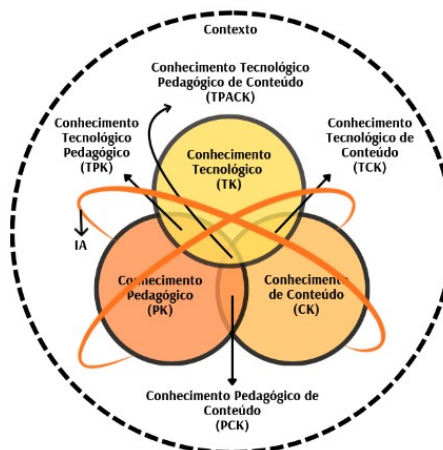
APORTES TEÓRICOS

MODELO IA-TPACK

O modelo IA-TPACK emerge como uma ampliação crítica do framework TPACK ao reconhecer que a IA não pode ser compreendida apenas como um recurso tecnológico adicional, mas como um fenômeno sociotécnico, epistemológico e pedagógico que reconfigura o conhecimento profissional docente. Estudos recentes indicam que a IA impacta não somente o uso de ferramentas educacionais, mas também a forma como o conhecimento científico é produzido, interpretado e ensinado (Karataş & Ataç, 2025; Ning et al., 2024; Siqueira et al., 2025). Nessa perspectiva, neste artigo, defende-se a ideia de que no IA-TPACK a IA atravessa transversalmente todas as bases do modelo, reposicionando o papel do professor frente a conteúdos, práticas pedagógicas e processos de aprendizagem em contextos educacionais cada vez mais mediados por sistemas inteligentes, conforme Figura 1.

Figura 1

Modelo TPACK atravessado pela IA, originando o IA-TPACK



Fonte: Autoria própria, 2026.

No âmbito do Conhecimento do Conteúdo (CK), a presença da IA se manifesta na própria reconfiguração dos saberes científicos, dos modos de investigação e das formas de aprender o conceito. A utilização de algoritmos, simulações, modelagens preditivas e sistemas generativos altera a maneira como fenômenos científicos são compreendidos e representados, exigindo do professor uma leitura epistemológica ampliada do conteúdo que ensina (Park et al., 2023; Ning et al., 2024). Assim, mesmo quando não há uso direto de tecnologias em sala de aula, a IA influencia o CK ao redefinir o que conta como conhecimento

válido, como evidência científica e como explicação disciplinar, o que justifica sua inserção estrutural nessa base do modelo (Voogt et al., 2013).

De modo semelhante, o Conhecimento Pedagógico (PK) também é atravessado pela lógica da IA. A IA interfere nas concepções de ensino, aprendizagem, avaliação e gestão da sala de aula ao introduzir novas possibilidades de personalização, monitoramento do progresso discente e apoio à tomada de decisão pedagógica (Runge et al., 2025; Hava & Babayiğit, 2025). Mesmo quando não operacionalizada por meio de ferramentas digitais, a IA influencia o PK ao modificar expectativas pedagógicas, critérios de acompanhamento da aprendizagem e concepções de feedback e intervenção docente, reforçando que seu impacto ultrapassa a dimensão estritamente tecnológica (Soto & Herrera, 2024).

No Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK), a IA assume papel central ao apoiar a mediação conceitual, a antecipação de dificuldades de aprendizagem e a seleção de representações mais adequadas aos conteúdos específicos. Pesquisas indicam que sistemas baseados em IA auxiliam o professor a compreender padrões de erro, lacunas conceituais e trajetórias de aprendizagem, influenciando diretamente a forma como os conteúdos são reorganizados pedagogicamente (An et al., 2025; Setiyawan et al., 2025). Dessa forma, a IA complementa o PCK, bem como o transforma, exigindo do docente maior capacidade de articulação entre explicação científica, decisão pedagógica e leitura crítica dos dados educacionais gerados por sistemas inteligentes.

No que se refere ao Conhecimento Tecnológico (TK), este diz respeito à compreensão crítica e funcional dos sistemas, ferramentas, plataformas e arquiteturas de IA. Diferentemente de uma visão instrumental, o IA-TK envolve tanto a familiaridade operacional com tecnologias baseadas em IA quanto a compreensão de seus princípios de funcionamento, limitações, vieses algorítmicos, implicações éticas e impactos educacionais (Celik, 2023; Ning et al., 2024). O IA-TK constitui uma base necessária para a integração pedagógica da IA, pois possibilita ao professor avaliar criticamente quando, como e por que utilizar (ou não) determinados sistemas inteligentes (Runge et al., 2025; Hava & Babayiğit, 2025). O IA-TK não se restringe ao domínio técnico, mas articula-se à alfabetização em IA, compreendida como a capacidade de questionar e tomar decisões responsáveis frente às tecnologias inteligentes, evitando usos acríticos ou tecnocêntricos no ensino (Soto & Herrera, 2024).

As interseções clássicas do modelo - Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (TCK), Conhecimento Tecnológico Pedagógico (TPK) e o Conhecimento Tecnológico Pedagógico do Conteúdo (TPACK) - permanecem fundamentais, porém passam a ser compreendidas como níveis de integração progressiva. O TCK evidencia como a IA transforma práticas investigativas, visualizações e simulações científicas; o TPK explicita como a pedagogia é reorganizada pela lógica algorítmica e pela análise de dados educacionais; e o TPACK representa o nível mais complexo, no qual conteúdo, pedagogia e IA se articulam de forma intencional, crítica e epistemologicamente orientada (Xu et al., 2025; Eyal, 2025). Esse nível demanda elevada maturidade profissional e reflexão docente, como apontam estudos sobre formação inicial e continuada (Aldemir et al., 2025; Oliveira Figueiredo, 2025).

Assim, defender que a IA permeia todo o modelo TPACK significa reconhecer que ela não é uma tecnologia a ser integrada, mas um elemento estruturante do conhecimento docente contemporâneo, capaz de redefinir o que se ensina, como se ensina e como se compreende a aprendizagem. Essa leitura amplia o alcance teórico do IA-TPACK e sustenta uma abordagem formativa que supera o tecnicismo, enfatizando a centralidade da intencionalidade pedagógica, da criticidade e da responsabilidade epistemológica na formação de professores; logo, o IA-TPACK consolida-se como um modelo para compreender e orientar a integração crítica da IA na educação. Embora preserve os pressupostos do modelo originalmente proposto por Mishra e Koehler (2006, 2009), essa interpretação compreende que a IA introduz mudanças suficientemente profundas para justificar uma leitura transformativa do IA-TPACK, especialmente no contexto do Ensino de Ciências.

Nessa direção, a concepção de IA-TPACK adotada neste estudo aproxima-se da perspectiva transformativa do TPACK, proposta por Angeli e Valanides (2013), segundo a qual o conhecimento profissional docente não resulta da simples articulação entre conhecimentos tecnológicos, pedagógicos e de conteúdo, mas da constituição de um conhecimento qualitativamente novo, produzido pela interação dinâmica entre essas dimensões. Nessa perspectiva, a IA não representa um recurso adicional a ser incorporado ao ensino, mas um elemento capaz de reconfigurar a natureza das decisões pedagógicas, das representações do conhecimento científico e das formas de mediação da aprendizagem. Assim, compreende-se que o IA-TPACK extrapola uma visão integrativa centrada na incorporação da tecnologia, assumindo um caráter transformativo ao reconhecer que a IA redefine as próprias bases do conhecimento docente, exigindo novas competências epistemológicas, éticas e pedagógicas para sua atuação no Ensino de Ciências.

TRABALHOS CORRELATOS

O conceito IA-TPACK emerge como extensão natural dos debates clássicos sobre TPACK, reafirmando a necessidade de articular conhecimento de conteúdo, pedagógico e tecnológico diante das especificidades da IA. Autoridades fundacionais no campo do TPACK, como Mishra & Koehler (2009), servem de ponto de partida para essas articulações; a literatura subsequente tem enfatizado que a IA, por suas propriedades adaptativas e gerativas, exige dimensões adicionais, por exemplo, alfabetização algorítmica, avaliação ética e capacidade de julgamento sobre vieses, que ultrapassam o Conhecimento Tecnológico tradicional (Angeli & Valanides, 2013; Celik, 2023). Soto & Herrera (2024) corroboram essa necessidade de reconfiguração conceitual, apontando que IA-TPACK não é mais tecnologia, mas um constructo com implicações epistemológicas e pedagógicas próprias.

Na esfera metodológica, uma linha significativa de investigação tem se dedicado à medição e validação dos componentes do IA-TPACK, desenvolvendo escalas e instrumentos específicos. Estudos como o de An et al. (2025) e Karataş & Ataş (2025) avançam ao propor instrumentos validados e análises por modelagem de equações estruturais para mapear relações entre componentes do IA-TPACK. Em paralelo, trabalhos de validação em contextos variados

demonstram que é possível operacionalizar dimensões do IA-TPACK, embora haja variação considerável em termos de itens, fatores e robustez psicométrica entre estudos (Setiyawan et al., 2025; Hava & Babayiğit, 2025). Esses esforços têm contribuído para transformar IA-TPACK em variável mensurável e comparável entre estudos, ao mesmo tempo em que colocam desafios sobre equivalência cultural e contextualização.

Outra linha emergente relaciona atitudes, autoeficácia e aceitação da IA com níveis de IA-TPACK. Pesquisas que adaptam modelos de aceitação tecnológica indicam que atitudes favoráveis à IA e a autoeficácia docente funcionam como mediadores cruciais para o desenvolvimento do IA-TPACK (Xu et al., 2025; Runge et al., 2025). Nesses estudos, formação específica em IA, experiências práticas e módulos de literacia em IA tendem a aumentar tanto a confiança quanto a competência relativa ao IA-TPACK, ainda que a relação não seja linear, dependendo de fatores como conteúdo disciplinar e qualidade da formação (Aldemir et al., 2025; Ning et al., 2024).

Em contexto brasileiro, Bedin (2026) analisou as percepções de professores de química acerca do IA-CTPC, identificando que os docentes reconhecem o potencial da Inteligência Artificial para apoiar o ensino, mas ainda evidenciam fragilidades relacionadas à articulação entre conhecimentos pedagógicos, tecnológicos e de conteúdo. Esses resultados reforçam que a consolidação do IA-TPACK depende de processos formativos que ultrapassem o domínio instrumental das tecnologias e promovam sua integração crítica às práticas pedagógicas. Neste bojo, a literatura sugere que mudança de atitude e capacitação são pré-condições importantes, mas não suficientes, para a integração pedagógica profunda.

Intervenções formativas voltadas ao IA-TPACK constituem outro foco crescente. Estudos experimentais e quase experimentais testaram cursos intensivos, módulos de literacia em IA e estratégias de design instrucional para professores em formação e em ação. Evidências iniciais apontam que módulos curtos (p.ex. 1–2 semanas) promovem ganhos instrumentais e sensibilização (Aldemir et al., 2025), enquanto programas mais longos e investigativos tendem a favorecer a integração pedagógica e a capacidade de justificação didática (Eyal, 2025). Há, contudo, uma tensão recorrente: muitos programas priorizam habilidades técnicas em detrimento de problematizações éticas e epistemológicas, o que limita a transferência para práticas de ensino disciplinarmente relevantes (Selwyn, 2022).

No plano disciplinar, investigações sobre IA-TPACK em áreas específicas vêm se multiplicando, especialmente nas ciências exatas e naturais. Estudos sobre integração de IA em aulas de ciências destacam o potencial de simulações inteligentes, modelagem assistida e análise de dados para enriquecer práticas investigativas, mas também chamam atenção para os desafios de alinhamento entre representações científicas e algoritmos (Park et al., 2023). Pesquisas no ensino de química, por exemplo, indicam que a incorporação de IA exige que o professor domine tanto o conteúdo conceitual quanto as implicações metodológicas das ferramentas (Bedin et al., 2025; Bedin & das Graças Cleophas, 2024), especialmente entre professores em formação inicial (Abreu & Bedin, 2025).

De forma complementar, Junior (2025) analisou o emprego do ChatGPT no ensino de química, demonstrando que ferramentas de Inteligência Artificial generativa podem favorecer a exploração de conceitos científicos quando utilizadas com intencionalidade pedagógica e mediação docente. O estudo também evidencia que o potencial educativo dessas tecnologias depende menos de suas funcionalidades e mais das decisões pedagógicas que orientam sua utilização, aspecto convergente com os pressupostos do IA-TPACK. Assim, o IA-TPACK em contextos disciplinares revela variabilidade: certos componentes (p.ex. IA-TCK) podem estar mais avançados, enquanto o núcleo integrador (IA-TPACK) permanece frágil.

Mapeamentos bibliométricos e revisões sistemáticas oferecem um panorama macro das tendências: trabalhos como Siqueira et al., (2025) e revisões temáticas (Ning et al., 2024; Soto & Herrera, 2024; Paidicán & Arredondo, 2024) mostram crescimento exponencial da produção sobre IA na educação e a emergência precoce do termo IA-TPACK em diferentes comunidades científicas. Essas revisões apontam, igualmente, lacunas metodológicas, como predominância de estudos transversais, escassez de pesquisas longitudinais e limitada diversidade geográfica ou contextual em muitas amostras, o que reforça a necessidade de investigações mais robustas e comparativas.

Finalmente, a literatura crítica e prospectiva problematiza riscos e cenários futuros da incorporação massiva da IA no ensino. Autores críticos alertam para o tecnosolucionismo, a naturalização de ferramentas de IA e a necessidade de políticas públicas que articulem formação, equidade e regulação (Selwyn, 2022). Ao mesmo tempo, propostas contemporâneas tentam redefinir a prontidão docente para a era da IA, enfatizando competências éticas, literacia algorítmica e autonomia profissional (Sharma & Elaiish, 2025; Oliveira, 2025). De forma geral, o que se percebe em relação ao IA-TPACK é promissor e plural, visto que há avanço conceitual, instrumentação e intervenções formativas, mas também lacunas empíricas, desafios de validação e uma agenda crítica que solicita abordagens formativas mais profundas e contextualizadas.

METODOLOGIA

Esta pesquisa, aprovada no comitê de ética da Universidade Federal do Paraná sob o CAAE: 84735324.1.0000.0214, é de abordagem quantitativa, objetivo exploratório-descritivo e natureza aplicada, visto que busca analisar percepções docentes em um contexto real e específico de formação profissional, sem pretensão de generalização estatística ampla, mas com foco na compreensão de tendências e padrões emergentes (Gil, 2019). Estudos exploratório-descritivos são adequados quando o fenômeno investigado ainda se encontra em consolidação teórica e empírica, como é o caso do constructo IA-TPACK no campo da formação docente (Ning et al., 2024).

Participaram da pesquisa, de forma voluntária, 27 professores de Ciências da Natureza, configurando uma amostra não probabilística por conveniência, composta por sujeitos diretamente vinculados à área investigada (Stratton, 2021). A opção por esse tipo de amostra justifica-se pela especificidade do público-alvo e pela viabilidade de acesso aos participantes, sendo amplamente utilizada em pesquisas educacionais de natureza exploratória, além de permitir

captar percepções qualificadas de sujeitos que vivenciam, em diferentes níveis, processos de integração da tecnologia e da IA ao ensino.

A constituição dos dados ocorreu por meio de um questionário de autorrelato estruturado (Tabela 1), composto por 14 assertivas (A – N) organizadas em escala Likert de quatro pontos, variando de discordância total a concordância total, sem opção neutra, de modo a induzir o posicionamento do respondente. Segundo Colton e Covert (2007), escalas desse tipo são adequadas para mensurar atitudes, percepções e autodeclarações em estudos de cunho social e educacional. As assertivas foram elaboradas a partir do instrumento desenvolvido e validado por Setiyawan et al. (2025), destinado à mensuração do IA-TPACK docente, tendo sido realizadas pequenas adaptações linguísticas e contextuais para adequação à realidade brasileira e ao público específico da pesquisa, conforme recomendações metodológicas de DeVellis e Thorpe (2021).

Tabela 1

Questionário disponibilizado na constituição dos dados

Assertivas		
IA-CK	A	Compreendo como os conceitos fundamentais de IA impactam, ampliam ou problematizam os conhecimentos científicos da minha área de ensino
	B	Tenho clareza sobre como os avanços da IA influenciam os conceitos científicos da minha disciplina
IA-PK	C	Consigo utilizar a IA para promover diferentes ritmos e estilos de aprendizagem, garantindo que cada aluno receba apoio pedagógico adequado
	D	Sou capaz de monitorar continuamente o progresso dos alunos por meio de ferramentas de IA e ajustar minhas intervenções pedagógicas quando necessário
IA-TK	E	Tenho autonomia para explorar diferentes ferramentas de IA e avaliar quais são mais adequadas ao meu contexto
	F	Sinto-me confiante para solucionar problemas técnicos básicos de tecnologia ao utilizar ferramentas educacionais baseadas em IA
IA-PCK	G	Sou capaz de criar estratégias de ensino em que a IA apoia diretamente a construção de conceitos específicos da minha disciplina
	H	Posso empregar ferramentas de IA para oferecer feedback conceitual mais preciso e alinhado aos meus objetivos de aprendizagem
IA-TPK	I	Posso justificar pedagogicamente a escolha de uma ferramenta de IA com base em objetivos de aprendizagem e necessidades dos alunos
	J	Consigo adaptar uma tecnologia de IA para integrá-la a diferentes métodos de ensino, mantendo coerência com a proposta pedagógica
IA-TCK	K	Reconheço como tecnologias de IA influenciam, ampliam ou transformam práticas investigativas na minha área de conhecimento
	L	Sou capaz de selecionar ferramentas de IA que ajudem na visualização, na análise ou simulação de conceitos específicos da minha disciplina
IA-TPACK	M	Sou capaz de planejar aulas em que conteúdo, pedagogia e ferramentas de IA interagem de forma integrada para promover aprendizagens significativas
	N	Posso articular métodos de ensino, ferramentas de IA e conhecimentos disciplinares para resolver problemas complexos de ensino e aprendizagem

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

O questionário, contendo duas assertivas para cada base do modelo IA-TPACK, foi disponibilizado em formato digital, por meio da plataforma Google

Formulários, estratégia que assegura acessibilidade, rapidez na constituição e confiabilidade no armazenamento dos dados, além de facilitar sua exportação para análise estatística (Marconi & Lakatos, 2004). Após a construção, os dados foram organizados em planilha eletrônica e analisados com auxílio do *software Statistical Package for the Social Sciences (SPSS)*, versão 20.

Antes das análises inferenciais, os dados passaram por procedimentos rigorosos de triagem estatística, iniciando-se pela verificação da confiabilidade interna do instrumento por meio do coeficiente alfa de Cronbach, amplamente empregado na avaliação da consistência interna de escalas psicométricas (DeVellis & Thorpe, 2021). O valor obtido ($\alpha = 0,937$) indica excelente nível de confiabilidade, sugerindo elevada homogeneidade entre as assertivas e coerência interna do instrumento. De acordo com a literatura, valores de alfa superiores a 0,90 são considerados indicativos de alta precisão e robustez psicométrica, especialmente em estudos educacionais que investigam constructos complexos e multidimensionais, como o conhecimento profissional docente (Hair et al., 2019).

Na sequência, procedeu-se à aplicação dos testes de normalidade, com o objetivo de examinar a distribuição dos dados e fundamentar a escolha dos procedimentos estatísticos subsequentes. Considerando a não normalidade dos dados e o tamanho reduzido da amostra, optou-se pela utilização de procedimentos estatísticos não paramétricos. Foram realizadas análises de estatística descritiva das 14 assertivas, contemplando medidas de tendência central e dispersão, bem como o teste de Mann-Whitney, empregado para investigar possíveis diferenças nas percepções dos professores em função das variáveis gênero, faixa etária e nível de formação. O teste de Mann-Whitney é indicado para comparações entre dois grupos independentes quando os pressupostos da estatística paramétrica não são atendidos (McKight & Najab, 2010). Adotou-se como critério de significância estatística o valor de $p < 0,05$.

A interpretação dos resultados ocorreu por meio de uma abordagem interpretativa-indutiva (Marconi & Lakatos, 2004), articulando os achados estatísticos com o referencial teórico da área, especialmente os estudos sobre TPACK e IA-TPACK, e com o perfil dos sujeitos participantes, permitindo ir além da descrição numérica dos dados, favorecendo uma leitura crítica e contextualizada das percepções docentes, conforme defende Gil (2019), mesmo em estudos de natureza quantitativa.

RESULTADOS

A análise do perfil dos participantes evidencia uma amostra heterogênea em relação ao gênero, à faixa etária e à titulação acadêmica, característica que possibilita compreender percepções oriundas de diferentes trajetórias formativas. Participaram da pesquisa 27 professores da área de Ciências da Natureza, sendo 14 do gênero masculino (51,9%), 12 do gênero feminino (44,4%) e um participante que se autodeclarou como outro (3,7%). Quanto à faixa etária, observou-se predominância de docentes com mais de 27 anos, correspondendo a 77,8% da amostra ($n = 21$), enquanto 22,2% ($n = 6$) possuíam até 27 anos. Em relação à titulação acadêmica, verificou-se diversidade de formação, contemplando professores com graduação (29,6%, $n = 8$) e pós-graduação (Especialização: 7,4%, $n = 2$; Mestrado: 33,3%, $n = 9$; Doutorado: 29,6%, $n = 8$),

evidenciando diferentes níveis de qualificação acadêmica e distintos momentos da trajetória profissional. Todos os participantes pertenciam à área de Ciências da Natureza, independentemente da licenciatura específica, uma vez que o instrumento de pesquisa não distinguiu as diferentes habilitações dessa área.

Após a caracterização do perfil dos sujeitos, operacionalizado como variáveis da pesquisa (gênero, faixa etária e nível de formação), procedeu-se à análise da estatística descritiva das assertivas, com o objetivo de identificar tendências centrais, dispersões e padrões gerais de percepção dos professores em relação às bases do IA-TPACK (Tabela 2). Na sequência, considerando o resultado dos testes de normalidade – Shapiro-Wilk e Kolmogorov-Smirnov –, cujos resultados indicaram heterogeneidade e violação do pressuposto de normalidade, realizou-se a aplicação do teste não paramétrico de Mann-Whitney (estatística de Wilcoxon, escore Z) (Tabela 3), apropriado para comparações entre grupos independentes, a fim de averiguar o efeito das variáveis gênero, idade e formação acadêmica sobre as percepções expressas nas assertivas.

Tabela 2

Estatística Descritiva

Assertivas	A	B	C	D	E	F	G
Mediana	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	4,00
Desvio padrão	0,688	0,594	0,877	1,122	1,055	0,892	1,064
Mínimo	2	2	2	1	1	1	1
Máximo	4	4	4	4	4	4	4
25	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	2,00	2,00
Percentis	50	3,00	3,00	3,00	2,00	3,00	4,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00	3,00	4,00
Assertivas	H	I	J	K	L	M	N
Mediana	3,00	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00
Desvio padrão	0,934	0,892	0,898	0,643	0,921	0,940	0,980
Mínimo	2	2	1	2	2	2	1
Máximo	4	4	4	4	4	4	4
25	3,00	3,00	2,00	3,00	3,00	3,00	2,00
Percentis	50	3,00	3,00	4,00	3,00	3,00	3,00
	75	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00

Fonte: dados da pesquisa, 2026.

Tabela 3

Teste de Mann-Whitney (U) para as variáveis: gênero, idade e formação

Variável Gênero							
	A	B	C	D	E	F	G
U	68,000	78,500	59,000	84,000	78,000	75,500	85,500
W	188,000	198,500	179,000	204,000	156,000	153,500	205,500
Z	-1,185	-0,646	-1,631	-0,304	-0,621	-0,768	-0,239
p	0,236	0,519	0,103	0,761	0,534	0,442	0,811
	H	I	J	K	L	M	N
U	71,500	60,500	65,000	85,000	89,500	87,500	73,500
W	149,500	180,500	185,000	205,000	167,500	207,500	151,500
Z	-0,963	-1,551	-1,300	-0,281	-0,026	-0,131	-0,846
p	0,336	0,121	0,194	0,779	0,979	0,895	0,398

Variável Idade							
	A	B	C	D	E	F	G
U	57,000	76,500	67,500	85,000	85,500	85,500	81,000
W	135,000	154,500	145,500	163,000	163,500	205,500	159,000
Z	-1,778	-0,758	-1,184	-0,253	-0,233	-0,238	-0,477
p	0,075	0,449	0,236	0,800	0,816	0,812	0,633
	H	I	J	K	L	M	N
U	68,000	80,000	81,500	75,500	81,000	61,000	87,000
W	146,000	158,000	159,500	153,500	159,000	139,000	207,000
Z	-1,145	-0,526	-0,442	-0,814	-0,473	-1,525	-0,154
p	0,252	0,599	0,659	0,416	0,636	0,127	0,878
Variável Formação							
	A	B	C	D	E	F	G
U	38,000	44,500	54,000	72,500	75,000	83,500	38,000
W	93,000	99,500	109,000	127,500	130,000	236,500	93,000
Z	-2,605	-2,340	-1,679	-0,651	-0,533	-0,082	-2,565
p	0,009	0,019	0,093	0,515	0,594	0,935	0,010
	H	I	J	K	L	M	N
U	40,000	36,000	40,500	47,000	63,000	55,500	71,000
W	95,000	91,000	95,500	102,000	118,000	110,500	126,000
Z	-2,410	-2,652	-2,381	-2,195	-1,191	-1,596	-0,738
p	0,016	0,008	0,017	0,028	0,234	0,110	0,460

Legenda: U = estatística do teste de Mann–Whitney; W = estatística de Wilcoxon (soma dos postos); Z = padronização da estatística para aproximação normal; p = significância assintótica (teste bicaudal). **Fonte:** dados da pesquisa, 2026

De modo geral, os resultados do teste de Mann-Whitney U revelaram que não foram identificadas diferenças estatisticamente significativas nas variáveis gênero e idade, o que sugere relativa homogeneidade nas percepções docentes entre os grupos nesses aspectos. Todavia, o mesmo teste indicou que o nível de formação acadêmica exerce influência estatisticamente significativa sobre as percepções dos participantes em relação a um conjunto específico de assertivas do instrumento. Verificou-se efeito significativo para as assertivas A (U = 38,000; p = 0,009), B (U = 44,500; p = 0,019), G (U = 38,000; p = 0,010), H (U = 40,000; p = 0,016), I (U = 36,000; p = 0,008), J (U = 40,500; p = 0,017) e K (U = 47,000; p = 0,028), indicando que as diferenças de percepção associadas a essas dimensões do IA-TPACK variam de acordo com o grau de formação.

Assim, para estas assertivas, procedeu-se à aplicação do teste de Mann–Whitney U para amostras independentes, customizado em comparações em pares, visando aprofundar a interpretação dos efeitos identificados. Essa etapa analítica permitiu examinar a significância assintótica (teste bicaudal) entre os diferentes níveis de formação acadêmica, bem como comparar as classificações médias atribuídas a cada grupo. Este procedimento contribui para compreender de forma refinada como distintas trajetórias formativas influenciam a percepção docente sobre dimensões específicas do IA-TPACK.

DISCUSSÃO

PERCEPÇÕES DOCENTES SOBRE AS BASES DO IA-TPACK

A análise da estatística descritiva das 14 assertivas, organizadas segundo as bases do IA-TPACK, evidencia padrões diferenciados de apropriação da IA entre professores de Ciências da Natureza. Os resultados revelam avanços pontuais em determinadas dimensões do conhecimento docente, coexistindo com assimetrias formativas e níveis variados de dispersão nas bases que demandam maior articulação entre conteúdo, pedagogia e tecnologia. Esse conjunto de evidências permite identificar um gradiente empírico de apropriação da IA no interior do modelo, sem pressupor linearidade entre suas bases.

As assertivas A e B, relacionadas ao IA-CK, apresentaram mediana igual a 3 e percentil 75 em 4, indicando que pelo menos 75% dos participantes situam-se entre concordância parcial e total quanto à compreensão do impacto da IA sobre os conceitos científicos de sua área. Os baixos desvios-padrão ($A = 0,688$; $B = 0,594$) revelam homogeneidade nas percepções, sugerindo que os docentes reconhecem, de modo relativamente consistente, a influência conceitual da IA no conhecimento científico. Esse resultado converge com Chen et al. (2022) e Holmes et al. (2019), que apontam que a IA tem sido incorporada prioritariamente como elemento de ampliação epistemológica do conhecimento disciplinar, antes mesmo de sua integração pedagógica sistemática. No contexto do IA-TPACK, esse dado indica que o IA-CK tende a se consolidar mais precocemente do que outras bases.

Em contraste, as assertivas C e D, vinculadas ao IA-PK, evidenciam maior dispersão e fragilidade. A assertiva C apresenta mediana 3, com percentil 25 em 3 e desvio-padrão elevado (0,877), enquanto a assertiva D registra mediana 2, com percentil 25 em 2 e desvio-padrão ainda mais alto (1,122). Esses resultados indicam que uma parcela significativa dos professores não se percebe capaz de utilizar a IA para personalização da aprendizagem nem para monitoramento contínuo do progresso discente. Estes achados dialogam com Celik et al. (2022), que apontam que o uso pedagógico da IA é uma das dimensões mais complexas da formação docente, pois exige intencionalidade didática, domínio pedagógico e compreensão das *affordances* algorítmicas. No modelo IA-TPACK, os dados sugerem que o IA-PK constitui um dos principais gargalos formativos.

As assertivas E e F, relacionadas ao IA-TK, apresentam medianas iguais a 3, com percentis 75 em 4 (E) e 3 (F), além de desvios-padrão moderados ($E = 1,055$; $F = 0,892$). Esses resultados indicam que os professores se percebem relativamente autônomos para explorar ferramentas de IA e resolver problemas técnicos básicos, embora essa percepção não seja plenamente homogênea. Esse padrão é coerente com estudos que mostram que o domínio instrumental da tecnologia tende a anteceder sua integração pedagógica e conceitual (Hava & Babayigit, 2025). No entanto, conforme alertam Selwyn (2022) e Mishra et al. (2023), o domínio técnico isolado pode reforçar abordagens tecnicistas se não estiver articulado às demais bases do IA-TPACK, aspecto recorrente em estudos baseados em autodeclaração tecnológica docente (Nascimento et al., 2025).

As assertivas G e H, associadas ao IA-PCK, revelam um padrão intermediário. A assertiva G apresenta mediana 4, com percentis 50 e 75 também em 4, indicando que metade dos professores declara elevada capacidade de integrar a IA à construção de conceitos específicos da disciplina. Contudo, o desvio-padrão de 1,064 sugere heterogeneidade relevante. Já a assertiva H apresenta mediana 3, com percentil 75 em 4 e desvio-padrão de 0,934, indicando que, embora haja reconhecimento do potencial da IA para apoiar a construção conceitual e o *feedback*, essa integração ainda não é plenamente consolidada. Estudos de Karataş e Ataç (2025) e Park et al. (2023) apontam que o IA-PCK depende fortemente do domínio epistemológico da disciplina, o que explica a variabilidade observada entre os docentes, em especial os resultados no IA-PK.

As assertivas I e J, relativas ao IA-TPK, apresentam medianas iguais a 3, percentis 75 em 4 e desvios-padrão próximos de 0,9, indicando percepção moderada quanto à capacidade de justificar pedagogicamente o uso da IA e adaptá-la a diferentes métodos de ensino. Esses resultados evidenciam que os professores reconhecem a importância da coerência pedagógica, mas ainda enfrentam dificuldades para operacionalizá-la de forma consistente. Este achado é amplamente discutido por Angeli e Valanides (2013) e Runge et al. (2025), que defendem que o IA-TPK representa uma transição crítica entre o domínio técnico e a integração pedagógica reflexiva da IA.

No IA-TCK, as assertivas K e L apresentam resultados relativamente positivos. A assertiva K destaca-se com mediana 4, percentis 50 e 75 também em 4 e baixo desvio-padrão (0,643), indicando forte consenso quanto ao reconhecimento do impacto da IA nas práticas investigativas da área científica. A assertiva L, por sua vez, apresenta mediana 3, com percentil 75 em 4 e desvio-padrão de 0,921. Esses achados corroboram Chen et al. (2022), que apontam que a IA tem sido facilmente apropriada em atividades investigativas, simulações e visualizações científicas, especialmente nas Ciências da Natureza.

Por fim, as assertivas M e N, que representam o núcleo integrador do IA-TPACK, apresentam medianas iguais a 3, percentis 75 em 4 e desvios-padrão elevados (M = 0,940; N = 0,980). Esses resultados indicam que, embora parte dos professores se perceba capaz de planejar aulas integradas e resolver problemas complexos com IA, há grande variabilidade nas percepções. Esse padrão é consistente com Mishra e Koehler (2006, 2009) e Celik (2023), que defendem que o IA-TPACK constitui um conhecimento de ordem superior, dependente de experiências formativas prolongadas, reflexão crítica e articulação epistemológica entre tecnologia, pedagogia e conteúdo.

Esses achados reforçam que a consolidação do núcleo integrador do IA-TPACK está associada a processos formativos que ultrapassam o domínio técnico e instrumental, exigindo reflexão sistemática, autorregulação e consciência metacognitiva por parte do professor (Bedin, 2025a,b). Quando a integração tecnológica é compreendida como prática metacognitiva, o docente passa a refletir não apenas sobre o uso da tecnologia, mas sobre as razões pedagógicas, epistemológicas e éticas que orientam suas decisões didáticas, o que amplia a complexidade desse conhecimento profissional (Bedin, 2025a). Nesse sentido, a elevada variabilidade observada nas assertivas M e N indica que estes processos ainda não se encontram plenamente estruturados na formação inicial, evidenciando limites da licenciatura para promover, de forma consistente, a

articulação integrada entre conteúdo, pedagogia e IA, o que confirma a dificuldade de consolidação do núcleo integrador do modelo nesse nível formativo (Abreu & Bedin, 2025).

De modo geral, a estatística descritiva revela a existência de um gradiente progressivo de apropriação do IA-TPACK, no qual as bases mais próximas do conteúdo científico e do reconhecimento do impacto da IA (IA-CK e IA-TCK) concentram níveis mais elevados de concordância e menor dispersão das respostas. Em contraste, as bases que exigem mediação pedagógica e integração simultânea entre conteúdo, pedagogia e IA (IA-PK, IA-TPK e, sobretudo, IA-TPACK) apresentam níveis intermediários de concordância e maior variabilidade, evidenciando fragilidades formativas nessas dimensões.

O que chama atenção, contudo, é o comportamento do IA-TK, que apresenta níveis intermediários de concordância, com parcela expressiva dos participantes concentrada entre os graus de discordância parcial e concordância parcial. Esse resultado indica que, embora os professores reconheçam o impacto da IA sobre o conteúdo científico e sobre as práticas investigativas da área, não se percebem plenamente autônomos ou confiantes para explorar, selecionar e resolver problemas técnicos associados ao uso de ferramentas baseadas em IA. Isto revela que o IA-TK não se encontra consolidado como alfabetização em IA, mas permanece em um estágio incipiente, marcado por insegurança operacional e dependência de soluções prontas. Essa fragilidade na base tecnológica ajuda a compreender as dificuldades observadas nas dimensões mais integradoras do modelo, uma vez que a ausência de autonomia técnica limita a transposição da IA para usos pedagógicos intencionais e contextualizados.

Isto é, o padrão observado sugere que os professores reconhecem a relevância epistemológica e tecnológica da IA, mas enfrentam dificuldades para convertê-la em estratégias pedagógicas intencionais e integradas no ensino de Ciências da Natureza. Esses achados dialogam com a literatura internacional ao indicar que a apropriação do IA-TPACK se estrutura de modo progressivo e condicionado às experiências formativas dos docentes, exigindo espaços de reflexão sistemática e aprofundamento epistemológico para sua consolidação (Ning et al., 2024; Xu et al., 2025; Sharma & Elaish, 2025). Assim, a estatística descritiva, além de caracterizar níveis de conhecimento percebido, evidencia os principais pontos de tensão na formação docente para o uso crítico e pedagógico da IA. Nesse contexto, a análise inferencial por meio do teste U de Mann-Whitney permite aprofundar a compreensão desses resultados, ao examinar como estas percepções se diferenciam em função das trajetórias formativas dos professores participantes.

INFLUÊNCIA DAS VARIÁVEIS DEMOGRÁFICAS NAS PERCEPÇÕES DOCENTES

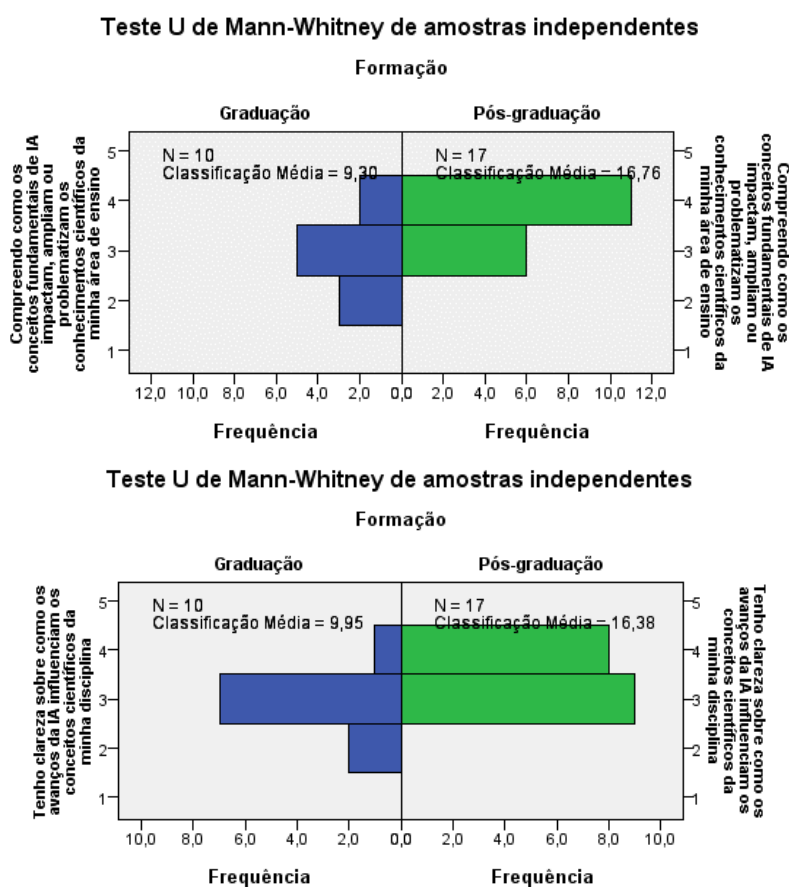
A análise do teste de Mann-Whitney U para amostras independentes, considerando a variável formação acadêmica (graduação e pós-graduação), evidencia que o nível de formação exerce influência estatisticamente significativa sobre as percepções docentes em relação às assertivas A e B (IA-CK), G e H (IA-PCK) e I e J (IA-TPK). De modo consistente, os resultados indicam que professores vinculados à pós-graduação apresentam classificações médias mais elevadas nessas assertivas quando comparados aos docentes em nível de graduação, o que

sugere uma percepção mais consolidada acerca da articulação entre IA, conteúdo científico e decisões pedagógicas. Esse padrão reforça a compreensão de que o conhecimento do IA-TPACK não se desenvolve de forma imediata, mas está fortemente associado a trajetórias formativas mais longas, reflexivas e investigativas, conforme defendem Mishra e Koehler (2009), Celik (2023) e Karataş e Ataç (2025).

No caso das assertivas A e B (IA-CK), que tratam da compreensão do impacto da IA sobre os conceitos científicos, a diferença significativa entre graduação e pós-graduação indica que professores com formação mais avançada tendem a apresentar maior clareza epistemológica sobre como a IA amplia, tensiona ou problematiza o conhecimento científico (Figura 2). Esse achado converge com estudos que apontam que a pós-graduação favorece o contato com práticas de pesquisa, leitura crítica da ciência e discussão sobre implicações sociotécnicas da tecnologia, aspectos fundamentais para a consolidação do IA-CK (Chen et al., 2022; Holmes et al., 2019; Ning et al., 2024). No contexto brasileiro, esse resultado também pode ser interpretado à luz das desigualdades formativas entre licenciatura e pós-graduação, nas quais a reflexão epistemológica sobre ciência e tecnologia tende a ser mais sistematizada nos níveis avançados de formação.

Figura 2

Teste U para amostras independentes, assertivas A e B, respectivamente

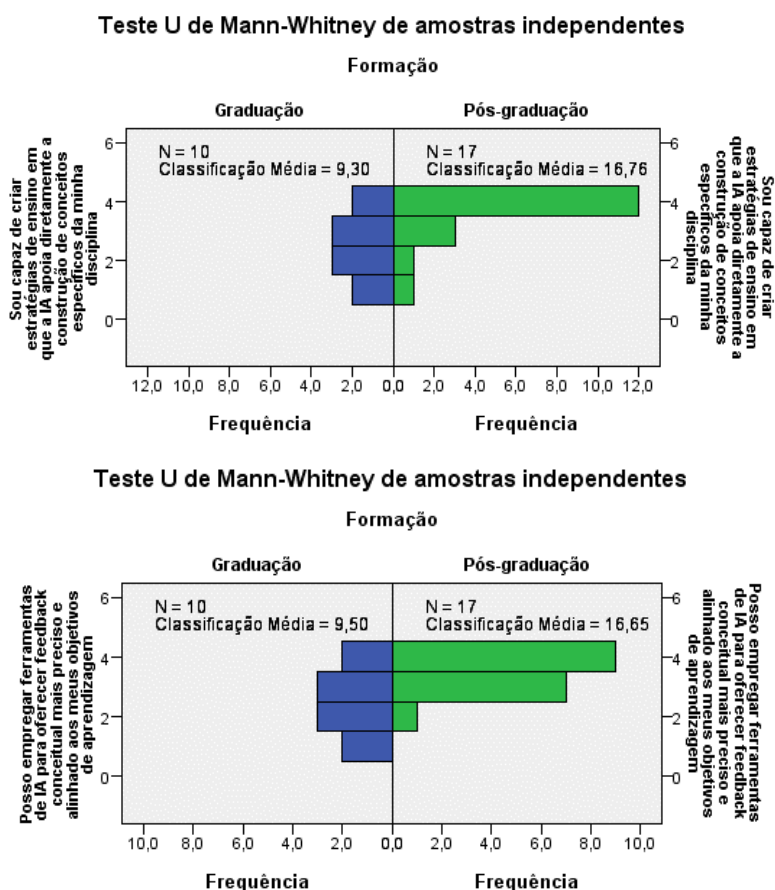


Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

As diferenças observadas nas assertivas G e H (IA-PCK), relacionadas à capacidade de utilizar a IA para apoiar diretamente a construção de conceitos disciplinares e oferecer *feedback* conceitual qualificado, reforçam que a integração pedagógica da IA ao conteúdo científico constitui uma dimensão particularmente complexa do IA-TPACK. Professores em nível de pós-graduação demonstram maior percepção de conhecimento nessa base (Figura 3), o que dialoga com Karataş e Ataç (2025) e Park et al. (2023), ao evidenciarem que o IA-PCK depende de uma compreensão profunda tanto do conteúdo quanto das possibilidades pedagógicas da tecnologia. A formação inicial, por sua vez, tende a privilegiar o conhecimento conceitual da disciplina de forma fragmentada, o que pode explicar as percepções mais moderadas entre os graduandos.

Figura 3

Teste U para amostras independentes, assertivas G e H, respectivamente



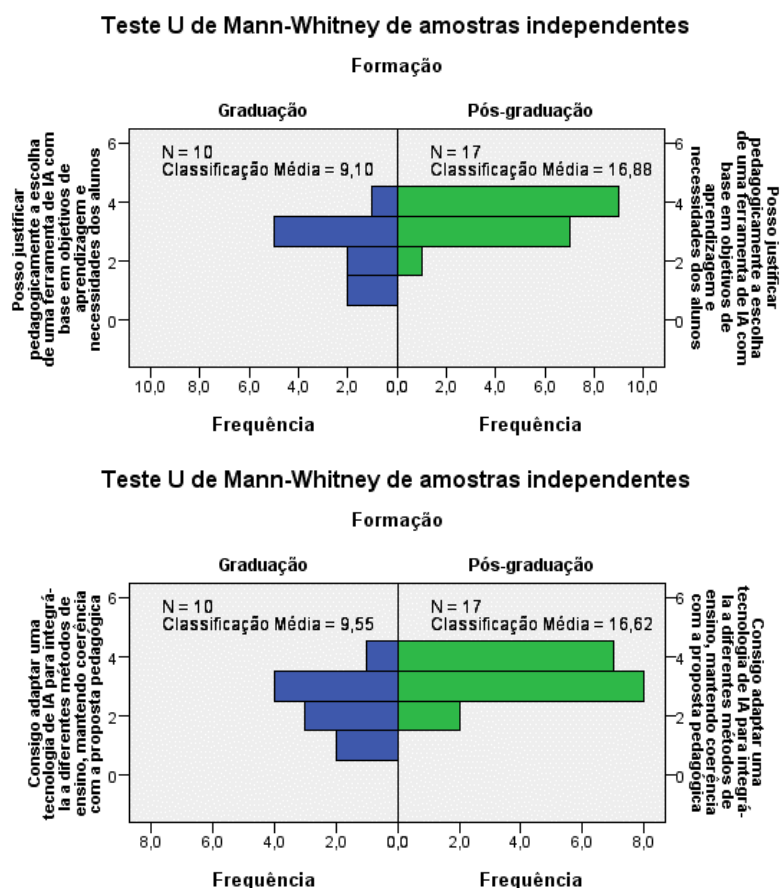
Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

De forma semelhante, as assertivas I e J (IA-TPK), associadas à justificativa pedagógica do uso da IA e à adaptação da tecnologia a diferentes métodos de ensino, apresentaram diferenças estatisticamente significativas em função da formação. Esse resultado indica que professores pós-graduados se percebem mais capazes de tomar decisões pedagógicas fundamentadas e coerentes no uso da IA (Figura 4), aspecto central do IA-TPACK. Angeli e Valanides (2013) e Runge et al. (2025) destacam que a justificativa pedagógica é um marcador de

integração tecnológica avançada, raramente consolidado em fases iniciais da formação docente. No mesmo sentido, Celik (2023) argumenta que a integração ética e pedagógica da IA emerge, sobretudo, em contextos formativos que estimulam reflexão crítica, autorregulação e análise das implicações educacionais da tecnologia.

Figura 4

Teste U para amostras independentes, assertivas I e J, respectivamente



Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

A presença de diferenças estatisticamente significativas nas assertivas A, B, G, H, I, J e K reforça a compreensão de que o nível de formação acadêmica constitui um fator determinante para o desenvolvimento das dimensões mais complexas do IA-TPACK, resultado convergente com pesquisas que analisam licenciandos em contextos tecnológicos recentes (Bedin & Morais, 2024). Esses resultados não indicam resistência dos professores em formação inicial à IA, mas evidenciam limites estruturais da licenciatura para promover, de forma sistemática, a integração epistemológica, pedagógica e tecnológica da IA. Do ponto de vista crítico, os dados sinalizam a urgência de políticas e propostas formativas que antecipem, já na formação inicial, experiências investigativas, reflexivas e eticamente orientadas, capazes de favorecer a construção progressiva do IA-TPACK no ensino de Ciências da Natureza.

Ao articular os diferentes resultados, observa-se que as diferenças estatisticamente significativas identificadas entre professores de graduação e pós-graduação não surgem de forma isolada, mas dialogam diretamente com os padrões de dispersão, medianas e quartis observados na estatística descritiva. Ou seja, a estatística descritiva aponta o *nível* de concordância, enquanto o teste inferencial explicita *quem* sustenta essa concordância de forma mais consistente.

Nas assertivas A e B (IA-CK), por exemplo, embora a estatística descritiva tenha indicado medianas elevadas e baixos desvios-padrão, sugerindo consenso sobre o impacto da IA nos conceitos científicos, o teste inferencial revela que esse consenso é qualitativamente distinto entre os níveis de formação. Professores em pós-graduação tendem a apresentar classificações médias superiores, indicando uma compreensão mais aprofundada e epistemologicamente orientada do papel da IA na produção e na problematização do conhecimento científico, conforme discutem Chen et al. (2022), Mishra e Koehler (2009) e Karataş e Ataç (2025).

Padrão semelhante é observado nas assertivas G e H (IA-PCK) e I e J (IA-TPK), que, do ponto de vista descritivo, apresentaram medianas intermediárias, percentis 75 elevados e desvios-padrão mais altos, evidenciando maior heterogeneidade nas percepções. Esse cenário é esclarecido pelo teste Mann-Whitney, ao demonstrar que a dispersão pode estar associada, em grande medida, às diferenças entre trajetórias formativas. Professores em graduação concentram-se nos níveis de concordância parcial, enquanto docentes em pós-graduação ocupam majoritariamente os estratos superiores da escala, refletindo maior capacidade de integrar IA, pedagogia e conteúdo de forma intencional.

Ao término, é possível aferir que os resultados permitem interpretar o IA-TPACK para além de uma perspectiva estritamente integrativa do conhecimento docente. Embora o modelo clássico do TPACK tenha sido frequentemente compreendido como a articulação entre conhecimentos tecnológicos, pedagógicos e de conteúdo (Mishra & Koehler, 2006; Graham, 2011), os dados deste estudo sugerem que a IA não representa apenas um novo recurso tecnológico a ser incorporado às práticas pedagógicas. Sua presença modifica as formas de produzir conhecimento científico, reorganiza processos de ensino e aprendizagem e amplia as possibilidades de mediação didática, repercutindo sobre todas as bases do modelo.

Nessa direção, aproxima-se da perspectiva transformativa proposta por Angeli e Valanides (2013), segundo a qual a interação entre tecnologia, pedagogia e conteúdo resulta na constituição de um novo conhecimento profissional, qualitativamente distinto da simples soma de seus componentes. Sob essa ótica, o IA-TPACK pode ser compreendido como uma reconfiguração do conhecimento docente frente às especificidades da IA, exigindo do professor competências que extrapolam o domínio instrumental das tecnologias e envolvem julgamento crítico, compreensão epistemológica, reflexão ética e tomada de decisão pedagógica. Assim, a IA deixa de ocupar uma posição periférica no modelo para assumir um papel estruturante na constituição do conhecimento profissional docente.

CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo analisar as percepções de professores de Ciências da Natureza acerca do conhecimento de IA quando articulada às bases do TPACK. Os resultados indicam que, embora os docentes reconheçam amplamente a relevância epistemológica e o potencial da IA para o ensino de ciências - especialmente no que se refere à ampliação das práticas investigativas, à visualização de fenômenos e à problematização de conceitos científicos -, este reconhecimento não se traduz, de forma consistente, em um conhecimento integrado do IA-TPACK. Evidenciam-se, assim, assimetrias significativas entre as diferentes dimensões do conhecimento docente, revelando tensões formativas que atravessam a apropriação pedagógica da IA.

De maneira geral, as análises mostram que as percepções docentes tendem a ser mais consolidadas nas dimensões associadas ao conteúdo e ao impacto tecnológico da IA, enquanto fragilidades mais expressivas emergem nas bases pedagógicas e integradoras do modelo. Essas fragilidades tornam-se particularmente visíveis nas dimensões que exigem planejamento didático intencional, personalização da aprendizagem e justificativa pedagógica do uso da IA. A análise inferencial reforça essa leitura ao indicar que o nível de formação acadêmica exerce influência significativa sobre as percepções docentes, sugerindo que trajetórias formativas mais longas e aprofundadas favorecem uma compreensão mais articulada e integrada do IA-TPACK.

A principal contribuição desta pesquisa reside em evidenciar, de forma empírica, que a integração da IA na formação de professores de Ciências da Natureza não pode ser compreendida como um problema de acesso ou de domínio técnico isolado. Os achados indicam que o desafio central está na construção de um conhecimento profissional integrado, capaz de sustentar decisões pedagógicas, epistemológicas e éticas no uso da IA. Nesse sentido, o estudo reforça a necessidade de repensar currículos e políticas de formação inicial e continuada, deslocando o foco de abordagens instrumentais para processos formativos intencionais, críticos e integradores, que reconheçam a IA como elemento estruturante, e não apenas acessório, do conhecimento docente.

Como limitações, destacam-se o tamanho e a natureza da amostra, bem como o uso de dados autodeclarados, que não permitem inferir diretamente sobre as práticas pedagógicas efetivamente realizadas em sala de aula. Além disso, o delineamento transversal impede acompanhar a evolução do conhecimento do IA-TPACK ao longo do tempo. Como desdobramentos, sugere-se investigações com abordagens mistas ou qualitativas, que incorporem observação de práticas, análise de planejamentos didáticos e entrevistas em profundidade, bem como estudos longitudinais capazes de compreender como o IA-TPACK se desenvolve ao longo da formação inicial e da carreira docente. Afinal, estas investigações podem contribuir para aprofundar a compreensão de como a IA pode, de fato, consolidar-se como elemento pedagógico significativo no ensino de Ciências da Natureza.

Com base nas fragilidades identificadas, aponta-se algumas ações formativas prioritárias para o fortalecimento do IA-TPACK entre professores de Ciências da Natureza: i) *inserção sistemática da IA na formação inicial*, articulada ao

conteúdo específico e não restrita a abordagens instrumentais; ii) *desenvolvimento de experiências formativas investigativas*, que envolvam planejamento, aplicação e reflexão crítica sobre o uso da IA em situações reais de ensino; iii) *ênfase na dimensão pedagógica e ética da IA*, favorecendo a tomada de decisões didáticas conscientes e contextualizadas; iv) *integração entre pesquisa e formação docente*, promovendo o contato dos professores com práticas investigativas e debates epistemológicos sobre ciência e tecnologia; e, v) *programas de formação continuada*, que promovam a articulação entre tecnologia, pedagogia e conteúdo de forma progressiva e reflexiva.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), por meio do incentivo no Edital de Bolsa Produtividade, Chamada Pública 23/2023, vinculada ao projeto PRD2023361000072.

REFERÊNCIAS

- Abreu, M. E. S. A., & Bedin, E. (2025). A integração das bases do tpack no ensino de química: compreensões de professores em formação inicial. *Revista Dynamis*, 31, e12540-e12540. <https://doi.org/10.7867/1982-48662025e12540>
- Aldemir, T., Bicer, A., Kilinc, S., Moon, J., & Kwok, M. (2025). Exploring emergent AI-TPACK competencies in a two-week AI literacy module for preservice teachers. *Teaching and Teacher Education*, 168, 105231. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2025.105231>
- An, X., Bai, J., Li, Y., Zhou, Y., Chai, C. S., & Hong, J. C. (2025). Development of an Artificial Intelligence Technology Pedagogical Content Knowledge (AI-TPACK) Scale for Human and AI Concurrently as Teachers: X. An et al. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s40299-025-01045-2>
- Angeli, C., & Valanides, N. (2013). Technology mapping: An approach for developing technological pedagogical content knowledge. *Journal of Educational Computing Research*, 48(2), 199-221. <https://doi.org/10.2190/EC.48.2.e>
- Bedin, E. (2026). Autodeclaração docente e inteligência artificial: percepções de professores de química sobre o domínio do IA-CTPC. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 17(2), 1-26. <https://doi.org/10.26843/rencima.v17n2a05>
- Bedin, E. (2025a). Da resolução de caso à autorreflexão: contribuições da metacognição para a integração do TPACK. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, 21(47), 5-18. <http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v21i47.19426>
- Bedin, E. (2025b). Metacognição e CTPC: uma nova perspectiva para a Formação Docente Reflexiva e Autorregulada. *Paradigma*, e2025013-e2025013. <https://doi.org/10.37618/PARADIGMA.1011-2251.2025.e2025013.id1626>
- Bedin, E., & das Graças Cleophas, M. (2024). 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*, (26), 64. <https://doi.org/10.20396/etd.v26i00.8670173>
- Bedin, E., & Morais, C. S. L. (2024). Percepções de professores de química em formação inicial quanto à articulação tecnologia-pedagogia-ciência em suas

- práticas na pandemia. *Educar em Revista*, 40. <https://doi.org/10.1590/1984-0411.87730>
- Bedin, E., de Siqueira, L. E., de Lima, V. F., & de Oliveira Viviani, A. C. C. (2025). Mapeando o domínio conceitual TPACK de professores em formação inicial. *Singular. Sociais e Humanidades*, 1(7), 95-108. <https://doi.org/10.33911/singularsh.v1i7.212>
- Celik, I. (2023). Towards Intelligent-TPACK: An empirical study on teachers' professional knowledge to ethically integrate artificial intelligence (AI)-based tools into education. *Computers in human behavior*, 138, 107468. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107468>
- Celik, I., Dindar, M., Muukkonen, H., & Järvelä, S. (2022). The promises and challenges of artificial intelligence for teachers: A systematic review of research. *TechTrends*, 66(4), 616-630. <https://doi.org/10.1007/s11528-022-00715-y>
- Chen, X., Zou, D., Xie, H., Cheng, G., & Liu, C. (2022). Two decades of artificial intelligence in education. *Educational Technology & Society*, 25(1), 28-47. <https://www.jstor.org/stable/48647028>
- Colton, D., & Covert, R. W. (2007). *Designing and constructing instruments for social research and evaluation*. John Wiley & Sons.
- DeVellis, R. F., & Thorpe, C. T. (2021). *Scale development: Theory and applications*. Sage publications.
- Eyal, L. (2025). Developing and validating an AI-TPACK Assessment Framework: Enhancing Teacher Educators' Professional Practice Through Authentic Artifacts. *Education Sciences*, 15(11), 1452. <https://doi.org/10.3390/educsci15111452>
- Gil, A. C. (2019). *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. 7. São Paulo: Atlas.
- Hava, K., & Babayiğit, Ö. (2025). Exploring the relationship between teachers' competencies in AI-TPACK and digital proficiency. *Education and information technologies*, 30(3), 3491-3508. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-12939-x>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Junior, I. L. C. (2025). Análise do ChatGPT como ferramenta no ensino de química: explorando o tema matéria e energia. *ACTIO: Docência em Ciências*, 10(2), 1-23. <https://doi.org/10.3895/actio.v10n2.19066>
- Karataş, F., & Ataç, B. A. (2025). When TPACK meets artificial intelligence: Analyzing TPACK and AI-TPACK components through structural equation

- modelling. *Education and Information Technologies*, 30(7), 8979-9004.
<https://doi.org/10.1007/s10639-024-13164-2>
- Marconi, M. D., & Lakatos, E. M. (2004). *Metodologia científica*. 4. São Paulo: Atlas.
- McKnight, P. E., & Najab, J. (2010). Kruskal-wallis test. The corsini encyclopedia of psychology, 1-1. <https://doi.org/10.1002/9780470479216.corpsy0491>
- Mishra, P., & Koehler, M. (2009). Too cool for school? No way! Using the TPACK framework: You can have your hot tools and teach with them, too. *Learning & Leading with Technology*, 36(7), 14-18.
- Mishra, P., & Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. *Teachers college record*, 108(6), 1017-1054. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9620.2006.00684>.
- Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and Generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, 39(4), 235-251. <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>
- Nascimento, E. M., Bedin, E., & Gasparini, F. S. (2025). Autodeclaração tecnológica de pibidianos de Química frente às bases do TPACK. *Educitec-Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, 11(jan./dez.), e260625-e260625. <https://doi.org/10.31417/educitec.v11.2606>
- Ning, Y., Zhang, C., Xu, B., Zhou, Y., & Wijaya, T. T. (2024). Teachers' AI-TPACK: Exploring the relationship between knowledge elements. *Sustainability*, 16(3), 978. <https://doi.org/10.3390/su16030978>
- Oliveira Figueiredo, L., Lopes, A. M. Z., Validorio, V. C., & Mussio, S. C. (2023). Desafios e impactos do uso da Inteligência Artificial na educação. *Educação Online*, 18(44), e18234408-e18234408. <https://doi.org/10.36556/eol.v18i44.1506>
- Paidicán, S. M., & Arredondo, H. P. (2024). La inteligencia artificial en contextos del conocimiento técnico pedagógico del contenido (TPACK): Una revisión bibliográfica. *Panorama*, 18(35).
- Park, J.; Teo, T.W.; Teo, A.; Chang, J.; Huang, J.S.; Koo, S. Integrating artificial intelligence into science lessons: Teachers' experiences and views. *Int. J. STEM Educ.* 2023, 10, 61. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00454-3>
- Runge, I., Hebibi, F., & Lazarides, R. (2025). Acceptance of pre-service teachers towards artificial intelligence (AI): The role of AI-related teacher training courses and AI-TPACK within the technology acceptance model. *Education Sciences*, 15(2), 167. <https://doi.org/10.3390/educsci15020167>
- Selwyn, N. (2022). The future of AI and education: Some cautionary notes. *European Journal of Education*, 57(4), 620-631. <https://doi.org/10.1111/ejed.12532>

- Setiyawan, A., Soeharto, S., Wijaya, T. T., Korenova, L., & Lavicza, Z. (2025). Measuring Teachers' Competencies for AI Integration: Development and Validation of the AI-TPACK in Vocational Education. *Computers and Education Open*, 100319. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100319>
- Sharma, S., & Elaish, M. (2025). Extending AI-TPACK: Reframing teacher readiness for the generative-AI era. *Journal of Educational Thought / Revue de la Pensée Educative*, 58(2), 111–134.
- Siqueira, L. E., Bedin, E., & Grando, J. W. (2025). Inteligência artificial na educação: Revisão cienciométrica e proposta de articulação pelo modelo TPACK. *Educação, Formação & Tecnologias*, 13(1), 59–85. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16741209>
- Soto, M. P., & Herrera, P. A. (2024). Artificial intelligence in technical pedagogical content knowledge (TPACK) contexts: A literature review. *Panorama*, 18(35). <https://doi.org/10.15765/pkipwv56>
- Stratton, S. J. (2021). *Population research*: convenience sampling strategies. *Prehospital and disaster Medicine*, 36(4), 373-374. <https://doi.org/10.1017/S1049023X21000649>
- Vasselai, M. P., & de Moraes, J. L. (2022). The three pedagogical moments and the portfolio methodology: analysis of a pedagogical practice aimed at achieving a critical environmental education. *ACTIO: Docência em Ciências*, 7(3), 1-19. <https://doi.org/10.3895/actio.v7n3.15246>
- Voogt, J.; Fisser, P.; Pareja Roblin, N.; Tondeur, J.; van Braak, J. Technological pedagogical content knowledge—a review of the literature. *J. Comput. Assist. Learn.* 2013, 29, 109–121. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2012.00487.x>
- Xu, G., Yu, A., Gao, A., & Trainin, G. (2025). Developing an AI-TPACK framework: Exploring the mediating role of AI attitudes in pre-service TCSL teachers' self-efficacy and AI-TPACK. *Education and Information Technologies*, 1–25. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13630-5>

Recebido: 23 jan. 2026

Aprovado: 20 ago. 2026

DOI: <https://doi.org/10.3895/actio.v11n3.21424>

Como citar:

Bedin, E. (2026). Percepções de professores de ciências da natureza sobre o IA-TPACK. *ACTIO*, 11(3), 1-25. <https://doi.org/10.3895/actio.v11n3.21424>

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

