



Inteligência Artificial e aprendizagem matemática no ensino médio: evidências e impactos

Artificial Intelligence and mathematics learning in high school: evidence and trends

Greiton Toledo de Azevedo

Instituto Federal Goiano, Brasil.  

Resumen

Esta investigación examina el uso de la Inteligencia Artificial (IA) como herramienta para el aprendizaje de Matemáticas en la Educación Secundaria, mediante una revisión sistemática de la literatura siguiendo las directrices PRISMA. Los estudios fueron organizados en tres ejes: (i) metodologías que integran IA en la enseñanza; (ii) impacto en el desarrollo del pensamiento matemático y en la resolución de problemas; y (iii) tecnologías empleadas, como tutores inteligentes, sistemas adaptativos y entornos de simulación. Los resultados evidencian que la IA favorece la personalización de la enseñanza, fortalece el razonamiento lógico y el pensamiento algorítmico, y contribuye al desempeño en álgebra, trigonometría y geometría. No obstante, se identifican desafíos relacionados con la adopción limitada, el uso automatizado sin reflexión crítica y las dificultades de adaptación estudiantil. Asimismo, persisten vacíos en la evaluación del impacto a largo plazo y en la validación de métricas del aprendizaje mediado por IA.

Palabras clave:

- *Aprendizaje Matemático*
- *IA*
- *Educación Secundaria*
- *Tecnologías*

Cómo citar:

Azevedo, G. T. de (2025). Inteligência Artificial e aprendizagem matemática no ensino médio: evidências e impactos. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa*, 28, e691. <https://doi.org/10.12802/relime.2025.28.e691>

Abstract

This study investigates the use of Artificial Intelligence (AI) as a tool for learning Mathematics in high school through a systematic literature review conducted in accordance with PRISMA guidelines. The selected studies were organized into three main areas: (i) methodologies integrating AI into mathematics teaching; (ii) the impact of AI on mathematical thinking and problem-solving; and (iii) AI-based technologies applied to education, including intelligent tutoring systems, adaptive platforms, and simulation environments. Findings indicate that AI supports personalized instruction, enhances logical-mathematical reasoning, and fosters algorithmic thinking, contributing to improved performance in algebra, trigonometry, and geometry. Nevertheless, challenges remain, such as the limited adoption of these technologies, the risk of automated use without critical reflection, and students' difficulties in adapting to AI-mediated learning. The review also highlights gaps in assessing long-term effects, particularly regarding reliable metrics to validate AI-supported learning outcomes.

Keywords

- *Mathematical Learning*
- *AI*
- *High School*
- *Technologies*

Resumo

Esta pesquisa investiga o uso da Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de aprendizagem de Matemática no Ensino Médio, por meio de uma revisão sistemática da literatura conduzida conforme as diretrizes do PRISMA. Os estudos foram organizados em três eixos: (i) metodologias que integram IA ao ensino; (ii) impacto no desenvolvimento do pensamento matemático e na resolução de problemas; e (iii) tecnologias baseadas em IA aplicadas à educação, como tutores inteligentes, sistemas adaptativos e ambientes de simulação. Os resultados indicam que a IA favorece a personalização do ensino, aprimora o raciocínio lógico-matemático e fortalece o pensamento algorítmico, contribuindo para o desempenho em álgebra, trigonometria e geometria. Contudo, persistem desafios, como a adoção ainda restrita dessas tecnologias, o uso automatizado sem reflexão crítica e as dificuldades de adaptação dos estudantes. Além disso, a literatura aponta lacunas na avaliação dos impactos a longo prazo, especialmente quanto às métricas de validação da aprendizagem mediada por IA.

Palavras-chave

- *Aprendizagem Matemática*
- *IA*
- *Ensino Médio*
- *Tecnologias*

Résumé

Cette recherche examine l'utilisation de l'Intelligence Artificielle (IA) comme outil d'apprentissage des mathématiques au lycée à travers une revue systématique de la littérature conduite selon les directives PRISMA. Les études retenues ont été organisées en trois axes : (i) les méthodologies intégrant l'IA dans l'enseignement ; (ii) son impact sur le développement de la pensée mathématique et la résolution de problèmes ; et (iii) les technologies fondées sur l'IA, telles que les tuteurs intelligents, les systèmes adaptatifs et les environnements de simulation. Les résultats montrent que l'IA favorise la personnalisation des apprentissages, améliore le raisonnement logico-mathématique et renforce la pensée algorithmique, contribuant aux performances en algèbre, trigonométrie et géométrie. Toutefois, des défis persistent, notamment l'adoption limitée de ces technologies, les usages automatisés sans réflexion critique et les difficultés d'adaptation des élèves. La littérature souligne également des lacunes dans l'évaluation des effets à long terme et des métriques validant l'apprentissage médiatisé par l'IA.

Most Clés

- *Apprentissage mathématique*
- *IA*
- *Lycée*
- *Technologies*



1. Introdução

A inteligência artificial (IA) tem sido gradualmente incorporada ao campo educacional, incluindo o ensino e a aprendizagem de Matemática. No Ensino Médio, observa-se interesse na utilização de ferramentas baseadas em IA, especialmente pela possibilidade de adaptar atividades às necessidades dos estudantes e diversificar estratégias pedagógicas (Fadel, 2024). Contudo, tais recursos não devem ser compreendidos como soluções definitivas ou universais, uma vez que a literatura especializada evidencia tanto resultados promissores quanto limitações significativas (Azevedo, 2024; Gadanidis, 2017).

Nesse cenário, torna-se necessário problematizar de forma crítica o impacto efetivo da IA na aprendizagem matemática, considerando lacunas teóricas e empíricas ainda presentes nas pesquisas atuais. Estudos têm apontado que recursos como tutores inteligentes, sistemas adaptativos e ambientes de simulação interativos podem favorecer o desenvolvimento do pensamento lógico-matemático, da gestão do tempo e da resolução de problemas (Son, 2024; Holmes, Bialik & Fadel, 2019; Resnick, 2017, 2023).

Entretanto, tais contribuições dependem de usos pedagógicos contextualizados e mediados, uma vez que o emprego acrítico desses sistemas pode comprometer a autonomia intelectual dos estudantes. Nesse sentido, o potencial da IA não reside na tecnologia em si, mas na qualidade da mediação docente e no delineamento didático-metodológico que orientam seu uso (Huang & Qiao, 2022; Gadanidis et al., 2024).

A legislação educacional brasileira, alicerçada na Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional [LDB] (Brasil, 1996), preconiza o desenvolvimento da autonomia intelectual e da formação ética. Embora a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018) forneça as diretrizes gerais, a obrigatoriedade e a normatização da computação como componente essencial foram estabelecidas pela Resolução CNE/CEB nº 1/2022. Este dispositivo legal define as Normas sobre Computação na Educação Básica e, em seu Art. 1º, estabelece o pensamento computacional e o mundo digital como complementos indissociáveis à BNCC (Brasil, 2018).

Para a Educação Matemática, tal resolução é basilar, pois regulamenta o desenvolvimento de competências voltadas ao pensamento algorítmico e à automação, oferecendo o suporte normativo necessário para a integração da IA. Todavia, a existência da norma não garante a aprendizagem significativa; a literatura sinaliza que a efetividade dessa inclusão depende de condições de acesso e de um suporte pedagógico crítico que evite apropriações meramente técnicas e descontextualizadas (Brasil, 2018).



Diferentemente de tecnologias educacionais do século XX, como rádio, televisão ou softwares de ensino que anunciavam personalização sem comprovação consistente (Papert, 2008; Resnick, 2017; Valente, 2016), a IA apresenta recursos capazes de adaptar tarefas, gerar feedback imediato e analisar padrões de desempenho (Luckin, 2018; Holmes et al., 2019; Gadanidis et al., 2024). Ainda assim, as evidências empíricas sobre seus efeitos diretos na aprendizagem de Matemática permanecem limitadas, sobretudo em contextos brasileiros e no Ensino Médio (Azevedo, 2024; Azevedo & Maltempo, 2022, 2023).

Diante do exposto, esta pesquisa tem como objetivo investigar o uso da IA como ferramenta de aprendizagem de Matemática no Ensino Médio. Para esse propósito, foi conduzida uma revisão sistemática da literatura, orientada pelas diretrizes do Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA, Page et al., 2021), estruturada em três eixos principais: (i) metodologias que integram a Inteligência Artificial ao ensino e à aprendizagem de Matemática; (ii) efeitos da IA no desenvolvimento do pensamento matemático e na resolução de problemas; e (iii) tecnologias de IA mais utilizadas no contexto educacional, tais como tutores inteligentes, sistemas adaptativos e ambientes de simulação. O estudo justifica-se pelas lacunas identificadas na literatura, evidenciando a relevância de compreender os potenciais, limitações e riscos da aplicação da IA no Ensino Médio.

2. O uso da Inteligência Artificial na Aprendizagem de Matemática

A IA compreende um conjunto de arquiteturas computacionais que capacitam sistemas a executarem tarefas outrora restritas à cognição humana, tais como o reconhecimento de padrões complexos, a tomada de decisão probabilística e o raciocínio lógico (Wing, 2010). Embora suas bases remontem à proposta de Alan Turing (1950) e ao desenvolvimento de sistemas simbólicos (Moor, 2000), o campo experimentou uma mudança de paradigma com o advento da aprendizagem de máquina (machine learning e deep learning). Contudo, o cenário contemporâneo na educação foi radicalmente transformado a partir de 2022 pela IA generativa, que expandiu as fronteiras do suporte pedagógico ao permitir a criação autônoma de conteúdos e a mediação de problemas matemáticos em linguagem natural (Baidoo-Anu & Owusu Ansah, 2023).

Essa evolução recente exige que a aprendizagem do discente não seja apenas assistida, mas criticamente mediada por ferramentas que simulem processos dedutivos e heurísticos (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO, 2023). A compreensão do processo de aprendizagem matemática é fundamental para analisar o papel da IA nesse contexto. A aprendizagem matemática não se reduz à assimilação de conceitos e procedimentos; engloba também o desenvolvimento de competências cognitivas complexas, como resolução de problemas, raciocínio lógico, argumentação



fundamentada e reflexão crítica (Papert, 1980; Azevedo, 2022; Resnick, 2017). Trata-se de um processo construtivo e mediado, no qual o estudante produz conhecimento de forma autônoma e significativa, atribuindo sentido às informações ao relacioná-las com experiências anteriores, contextos culturais, históricos e sociais que circunscrevem sua prática e percepção do mundo (Papert, 2008; Valente, 2016).

Na ausência de um desenho pedagógico reflexivo-crítico, as ferramentas de IA generativa podem ser reduzidas a instrumentos de automação e plágio, substituindo o esforço cognitivo do estudante pela mera reprodução de respostas (Anqueban & Huincahue, 2024). Nesse sentido, a potencialidade da IA no suporte à investigação matemática está condicionada a uma prática docente que desafie o discente a pensar, validar, criticar e expandir as soluções propostas pela máquina, fomentando a fluência criativa e o pensamento computacional (Resnick, 2023; Gadanidis et al., 2024; Azevedo, 2024).

Na ausência de um desenho pedagógico reflexivo-crítico, as ferramentas de IA generativa podem ser reduzidas a instrumentos de automação e plágio, substituindo o esforço cognitivo do estudante pela mera reprodução de respostas. Nesse sentido, a potencialidade da IA no suporte à investigação matemática está condicionada a uma prática docente que desafie o discente a pensar, validar, criticar e expandir as soluções propostas pela máquina, preservando sua autonomia intelectual (Baidoo-Anu & Owusu Ansah, 2023).

Desde a década de 1960, conceitos gerais de IA começaram a ser desenvolvidos, mas foi nas décadas subsequentes que suas aplicações passaram a ser exploradas no campo educacional (Fadel, 2024). A partir dos anos 1980, a IA simbólica e as redes de representação de conhecimento foram incorporadas a ferramentas que permitiam aos estudantes interagir com conceitos matemáticos de forma mais ativa. Com o avanço da aprendizagem automática e da aprendizagem profunda na década de 2010, a IA passou a oferecer feedback em tempo real e ambientes de aprendizagem personalizados, focados no desempenho e na autonomia do estudante (Bialik & Fadel, 2017; Holmes et al., 2019). Mais recentemente, na década de 2020, a emergência da IA generativa, especialmente os modelos de linguagem de larga escala (LLMs), ampliou o leque de recursos capazes de apoiar a construção de conhecimento matemático, fornecendo explicações, exemplos e estratégias de resolução de problemas que reforçam a aprendizagem investigativa e reflexiva do estudante (Resnick, 2024; Gadanidis et al., 2024).

Na aprendizagem de Matemática, a IA pode ser utilizada para mediar a compreensão de conceitos e procedimentos, oferecendo personalização das atividades, feedback em tempo real e ajustes das tarefas conforme o desempenho dos estudantes (Gadanidis et al., 2024; Azevedo, 2024; Su, 2022; Van Vaerenbergh & Pérez-Suay, 2022). Sistemas de tutoria inteligente podem identificar erros e propor estratégias corretivas, permitindo que os estudantes explorem conceitos, testem diferentes abordagens e desenvolvam competências matemáticas de maneira autônoma, reflexiva e crítica (Everstine, 2020; Gadanidis, 2017). Ressalta-se que esses efeitos não são automáticos, dependendo do



engajamento ativo do discente, da contextualização das atividades e da utilização analítica das ferramentas.

Salientamos que conceitos matemáticos não são simplesmente “complementados” pela tecnologia. Eles podem ser ampliados e explorados por meio de situações investigativas mediadas por ferramentas digitais (Papert, 2008; Valente, 2016; Gadanidis et al., 2024). Por exemplo, simulações interativas de funções matemáticas em plataformas como GeoGebra, PhET e Mathigon, jogos digitais educativos como DragonBox, ou ambientes programáveis e de IA, como Python, Scratch, ChatGPTMath e tutores inteligentes adaptativos, permitem aos estudantes visualizar transformações geométricas e o comportamento de funções (e.g., quadráticas, trigonométricas, exponenciais). A efetividade desses recursos depende da atuação investigativa e crítica do discente, que deve refletir sobre estratégias, analisar resultados e construir explicações fundamentadas (Asmuss & Zudkina, 2019; Bialik & Fadel, 2017; Azevedo, 2024; Gadanidis et al., 2024).

Apesar do potencial de personalização, a literatura alerta para riscos como a dependência algorítmica e a redução da autonomia discente (Zawacki-Richter et al., 2019). Portanto, a implementação de ferramentas de IA deve alinhar-se a objetivos de aprendizagem claros que incentivem a reflexão crítica. Em síntese, o impacto pedagógico dessas tecnologias na Matemática está condicionado ao nível de engajamento do estudante, à qualidade da interação com o recurso e à intencionalidade da integração tecnológica ao desenho instrucional (Luckin, 2018; UNESCO, 2023).

Embora a IA no Ensino Médio possa auxiliar o desenvolvimento de competências matemáticas, tal recurso não demonstra, por si só, um caráter transformador ou uma solução autônoma. Sua viabilidade pedagógica parece depender de uma implementação contextualizada e de uma mediação que incentive a autonomia e o pensamento crítico, sem os quais a tecnologia não garante, necessariamente, avanços cognitivos. Sob essa perspectiva de incertezas e possibilidades, a seção seguinte detalha o percurso metodológico fundamentado no protocolo PRISMA, organizando a análise em três eixos: as metodologias em uso, os possíveis impactos nas competências e as ferramentas aplicadas.

3. Percurso Metodológico e Apresentação de Dados

Para atingir o objetivo desta pesquisa bibliográfica, optamos pelo método PRISMA (Page et al., 2021). Esse método visa identificar e analisar estudos relevantes, que contribuem para a tomada de decisões científicas consistentes, ao mesmo tempo em que ajudam a identificar lacunas no campo de estudo. Destacamos que, ao seguir o protocolo PRISMA, a pesquisa bibliográfica nos possibilita detectar, por meio da análise dos trabalhos selecionados nos bancos de dados, padrões, convergências, correlações, semelhanças e discrepâncias nos estudos, organizando e categorizando as informações de acordo com os critérios estabelecidos na pesquisa. Com o objetivo de assegurar a consistência,



transparência e integridade, este estudo busca identificar os trabalhos relevantes na área de pesquisa, organizar os dados e agrupá-los em categorias, visando uma estruturação clara e coerente das informações.

A revisão sistemática de literatura seguiu os procedimentos estabelecidos pelo protocolo PRISMA. Inicialmente, delimitou-se a temática e o problema de pesquisa, definindo-se o recorte temporal para a captura dos estudos. A coleta de dados foi operacionalizada por meio do Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), que proveu o acesso às bases de dados e indexadores detalhados desta pesquisa.

A busca estruturada abrangeu os repositórios Scopus, Web of Science (WoS), ScienceDirect, ERIC, IEEE Xplore, SciELO, JSTOR e Google Scholar. Visando a reprodutibilidade do estudo, adotaram-se descritores e operadores booleanos aplicados ao *corpus* conforme critérios de inclusão e exclusão previamente estabelecidos. Por fim, os trabalhos selecionados foram submetidos a uma análise sistemática para a discussão dos resultados, em conformidade com as diretrizes do protocolo PRISMA (Page et al., 2021).

A sistematização desta revisão de literatura seguiu um protocolo estruturado em etapas de mapeamento, seleção analítica e tabulação de dados. O delineamento metodológico estabeleceu, como critérios de elegibilidade e busca, o recorte temporal, as bases de dados e os idiomas de consulta, restritos ao português, inglês e espanhol. A operacionalização do levantamento deu-se por meio de sentenças lógicas fundamentadas em operadores booleanos, aplicadas a um corpus que abrange publicações editadas até o início de 2025. A ausência de um limite cronológico inicial justifica-se pela necessidade de mapear a trajetória dos conceitos investigados e sua consolidação teórica na Educação Matemática, permitindo o contraste entre as formulações seminais e as produções científicas mais recentes que balizam a problemática desta pesquisa.

Devido à especificidade do objeto de estudo, durante a revisão da literatura, buscamos identificar trabalhos concluídos que abordassem a IA e a Aprendizagem de Matemática de estudantes do Ensino Médio. Salientamos que a delimitação para estudantes do Ensino Médio é metodologicamente justificada, pois esta etapa educacional se caracteriza pela consolidação de competências matemáticas complexas, como raciocínio abstrato, argumentação fundamentada e resolução de problemas de maior complexidade. Além disso, os estudantes apresentam repertórios prévios diversificados e experiências cognitivas específicas, que influenciam a interação com recursos de IA. Trabalhos voltados ao Ensino Fundamental ou à formação docente não oferecem comparabilidade direta,



podendo introduzir vieses conceituais ou contextuais que comprometeriam a validade das conclusões sobre o impacto da IA no processo de aprendizagem do Ensino Médio.

Em seguida, nas configurações avançadas de busca em diferentes plataformas, empregamos as seguintes sentenças com conectivos booleanos [AND, OR, NOT], aspas [“”], e o asterisco [*] nas bases indicadas. Cabe ressaltar que o asterisco [*] foi utilizado para representar qualquer palavra com o prefixo especificado. A Tabela 1 apresenta a síntese dos trabalhos identificados na etapa inicial da busca.

Tabela 1

Trabalhos mapeados por sentenças *lógicas-booleanas* na base de dados

Bases de dados	Nº	%	Lógica-Booleana
Scopus	27	4,2	“Artificial Intelligence” AND "High School" AND Math* NOT Review
(WoS)	162	25,1	“Artificial Intelligence” AND "High School" AND Math* NOT Review
ScienceDirect	179	27,7	“Artificial Intelligence” AND "High School" AND Math* NOT Review”
ERIC	22	3,4	“Artificial Intelligence” AND "High School" AND Math* NOT Review
IEEE Xplore	2	0,3	“Artificial Intelligence” AND "High School" AND Math* NOT Review
SciELO	6	0,9	“Artificial Intelligence” AND "High School" AND Math* NOT Review
JSTOR	7	1,1	“Artificial Intelligence” AND “High School”AND "Mathematics Learning” –
Google Scholar	240	37,2	“Artificial Intelligence” AND “High School”AND "Mathematics Learning”

Conforme apresentado na Tabela 1, a identificação dos trabalhos ocorreu mediante a aplicação de estratégias de busca estruturadas com operadores booleanos. As expressões foram adaptadas às especificidades de sintaxe e às funcionalidades de cada base de dados consultada, garantindo a correspondência entre os termos de busca e os critérios de recuperação de cada plataforma. Esse procedimento permitiu o mapeamento das publicações sobre o uso da IA no processo de aprendizagem da Matemática no Ensino Médio, respeitando as variações de indexação de cada repositório.

A busca realizada nos sete bancos de dados resultou na identificação de 645 trabalhos. A delimitação linguística estabelecida no protocolo de pesquisa restringiu-se aos idiomas português, inglês e espanhol, escolha metodológica que visou assegurar a interlocução



com a produção científica de referência global e a representatividade das investigações consolidadas no cenário ibero-americano de Educação Matemática.

As sentenças-chave previamente estabelecidas foram traduzidas quando necessário para garantir a equivalência terminológica e ampliar a abrangência da pesquisa. A consulta concentrou-se em periódicos indexados nas bases Scopus, Web of Science, WoS Clarivate, SciELO, ScienceDirect, IEEE Xplore, JSTOR e ERIC. A escolha dessas bases fundamenta-se na qualidade e representatividade das publicações, garantindo que os estudos selecionados sejam pertinentes aos objetivos desta pesquisa. Os artigos foram organizados, sistematizados no Microsoft Excel e submetidos a uma análise detalhada no *software RStudio*. A seleção seguiu critérios de deferimento, priorizando estudos centrados em Educação Matemática, investigações que exploram a relação entre IA e a aprendizagem de Matemática e pesquisas exclusivamente voltadas para estudantes do Ensino Médio.

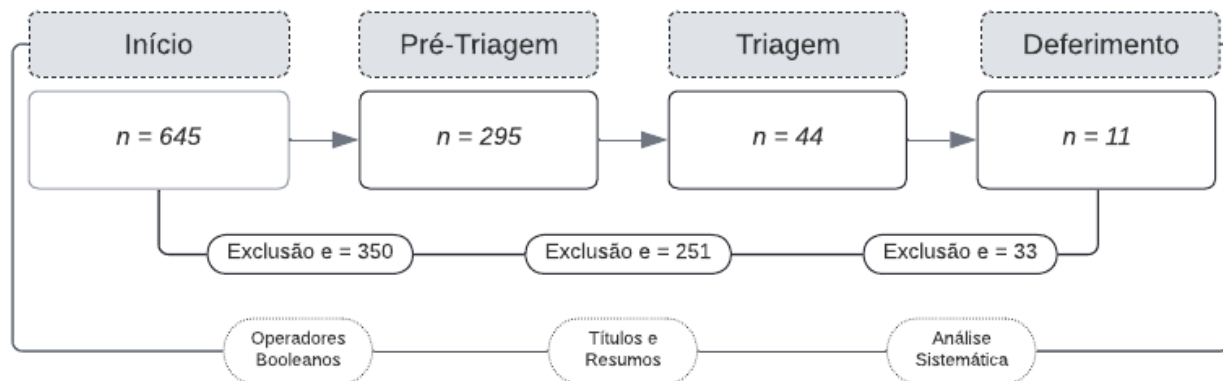
A delimitação do corpus fundamentou-se em critérios de inclusão e exclusão definidos para manter a convergência com o objeto de estudo. A elegibilidade considerou artigos indexados e revisados por pares que examinam a IA como mediação pedagógica no ensino de Matemática, restritos às publicações em acesso aberto. Essa filtragem buscou viabilizar a análise de produções que apresentam consistência teórica e metodológica, estabelecendo um conjunto de dados coeso para responder aos objetivos desta investigação. Foram incluídos apenas trabalhos com abordagem original, avaliação por pares e acesso gratuito. Em contrapartida, foram excluídos resumos, ensaios, capítulos de livros, relatos de experiências, catálogos comerciais, teses, dissertações e publicações repetidas ou incompletas. Também não foram considerados estudos voltados para estudantes do Jardim de Infância, Ensino Fundamental e formação de professores, bem como abordagens teórico-filosóficas, revisões de literatura e análises bibliométricas.

A seleção dos trabalhos seguiu um processo sucessivo de análise minuciosa dos dados, com critérios de escolha alinhados à proposta narrativa desta pesquisa. Esse processo foi estruturado em quatro etapas principais: Início, que consistiu na aplicação de palavras-chave e operadores booleanos nas bases de dados selecionadas; **Pré-Triagem**, que envolveu a leitura do título e resumo dos trabalhos relacionados; **Triagem**, com a leitura sistemática dos trabalhos selecionados na fase anterior; e, finalmente, **Deferimento**, com a inclusão dos trabalhos estritamente relacionados ao objeto de estudo. É importante ressaltar que, durante o escrutínio dos trabalhos nas etapas de Pré-Triagem e Triagem, foram consideradas as pesquisas que atendiam às condições previamente definidas. Esse processo de seleção é representado abaixo.



Figura 1

Fluxo de trabalhos potenciais identificados na pesquisa



Conforme Figura 1, a etapa de pré-triagem em periódicos indexados resultou em 295 produções. Após o refinamento mediante a leitura de títulos e resumos, catalogaram-se 44 estudos com potencial de análise. A aplicação subsequente dos critérios de elegibilidade e exclusão delimitou o corpus final em 11 trabalhos que investigam a IA como proposta pedagógica para o ensino de Matemática no Ensino Médio, englobando tanto tecnologias digitais quanto abordagens desplugadas. A expressiva redução do volume documental reflete o rigor dos filtros aplicados e, simultaneamente, revela uma lacuna na produção científica que articula, de forma empírica e revisada por pares, a IA especificamente ao contexto do Ensino Médio nesta área.

Assim, o número de estudos selecionados evidencia a natureza emergente da temática e a necessidade de critérios restritivos para assegurar a consistência dos achados. Entre os 634 estudos excluídos, observou-se que 16% destinavam-se à formação inicial ou continuada de professores de Matemática, enquanto 46% concentravam-se no ensino de Matemática no Ensino Fundamental. Além disso, 12% limitavam-se a discussões teórico-filosóficas da IA e 26% vinculavam-se a outras áreas do conhecimento, como Computação, Física e Engenharias, sem foco específico na educação matemática escolar.

Dentro do conjunto de trabalhos excluídos, observou-se que 26% tratavam de outras áreas do conhecimento, como Computação, Física e Engenharias, sem foco na educação matemática escolar. Ressalta-se que, nessas produções, as investigações exploravam a aplicação da IA de modo dissociado da aprendizagem de Matemática no Ensino Médio. Entre esses estudos, destacam-se o uso da IA para prevenção de ataques cibernéticos, machine learning voltado à formação docente, aplicações na área médica, com ênfase na Covid-19, e sistemas para a prevenção de riscos entre adolescentes. A incidência desses

temas transversais e tecnicistas, em detrimento de propostas didáticas específicas, ratifica a escassez de pesquisas que articulam a IA diretamente ao contexto da Educação Matemática para o Ensino Médio. Diante dessa lacuna documental, a seção subsequente apresenta os 11 estudos selecionados, conduzindo a discussão dos resultados em conformidade com o objetivo desta revisão.

4. Resultados e Discussões

Por meio desta seção analítica, buscamos fornecer uma compreensão detalhada das características dos trabalhos selecionados, destacando suas contribuições para o corpo de conhecimento relevante. Para tanto, o quadro 1 apresenta uma síntese dos trabalhos identificados ao longo do processo de seleção realizado conforme as diretrizes do Page et al. (2021). Este quadro oferece uma visão sintetizada dos estudos que foram incluídos (deferimento) na análise após a aplicação dos critérios de elegibilidade estabelecidos.

Tabela 2

Trabalhos deferidos na revisão de literatura (dados da pesquisa).

Códigos	Ano	Autores	Títulos
C_1	2022	Soesanto, Dirgantoro	Indonesian students' perceptions towards AI-based learning in mathematics
C_2	2023	Capinding	Revolutionizing Pre-Calculus Education: Photomath's AI-Powered Mathematics Tutorship Filipinas
C_3	2024	Lohakan; Seetao	Large-scale experiment in STEM education for high school students using artificial intelligence kit based on computer vision and Python
C_4	2024	Ramli; Maifalinda Muhamad Hasan	Navigating the tech-savvy generation; key considerations in developing of an artificial intelligence curriculum
C_5	2024	Ergene, O.; Ergene, B.	I ChatBots' solutions to mathematical problems in interactive e-textbooks: Affordances and constraints from the eyes of students and teachers
C_6	2024	Qurohman	Enhancing High School Students Problem Solving Ability in Algebra through Artificial Intelligence Based Learning
C_7	2024	Thai Nhat Duy; Ahn Tuan	Application of Python for Designing Visual Aids and Integration of Artificial Intelligence (AI) to Teaching Mathematics at High Schools

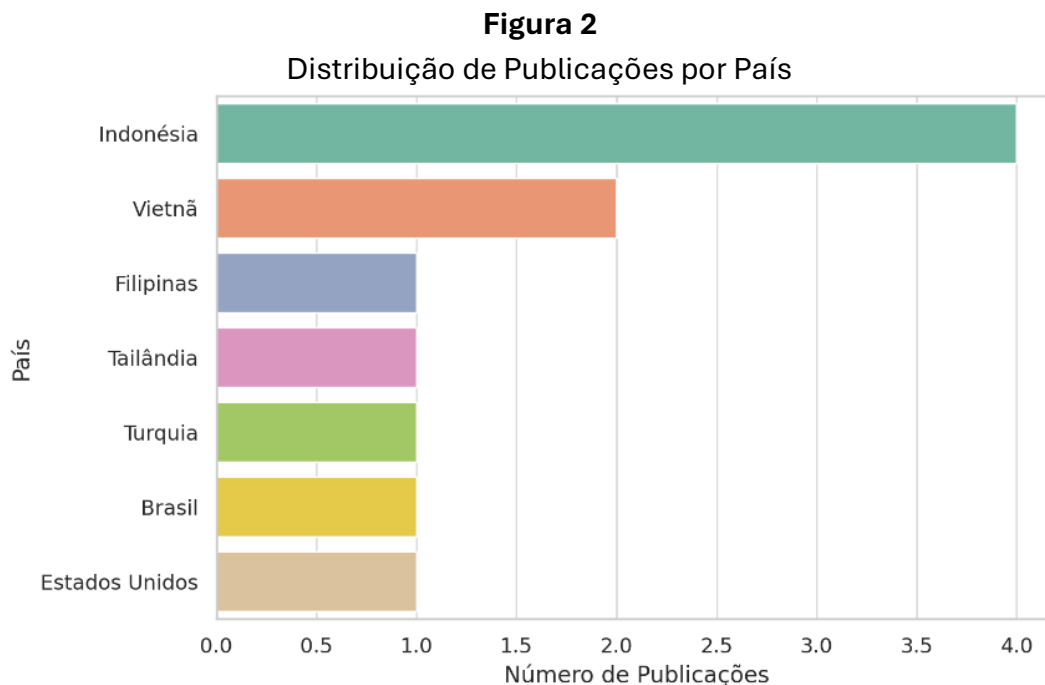


C_8	2024	Hidayatullah Untari Fifardin	Effectiveness of AI in solving math problems at the secondary school level: A comparative study with student performance
C_9	2024	Azevedo	Problem Solving Involving Linear, Surface, and Volumetric Scales: Artificial Intelligence as a Learning Tool
C_{10}	2024	Namilae, Leddo	Comparing the Effectiveness of Chat GPT and Teacher-generated Content for Teaching Students
C_{11}	2025	Phu, Duy, Duy	Approaching Artificial Intelligence in Designing Visual Aids for Teaching Mathematics at High School

As publicações listadas no Quadro 1 revelam um recorte temporal recente, compreendido entre 2022 e o início de 2025. Observa-se uma concentração da produção no ano de 2024, que reuniu 8 dos 11 estudos selecionados (72,7%), o que indica um interesse emergente pela temática. A continuidade das investigações em 2025, com 1 trabalho identificado (9,1%) até o primeiro trimestre, reforça a tendência de expansão do tema. A distribuição geográfica permite identificar as nações com maior incidência de publicações sobre a IA como mediação pedagógica na Educação Matemática para o Ensino Médio. Conforme o Gráfico 1, a Indonésia detém a maior produção, com 4 artigos (36,4%), seguida pelo Vietnã, com 2 estudos (18,2%). Brasil, Estados Unidos, Tailândia, Turquia e Filipinas contribuíram com 1 publicação cada (9,1% cada).

É necessário ressaltar, contudo, que este mapeamento reflete a produção veiculada nos idiomas estabelecidos nos critérios de inclusão deste estudo. Tal delimitação linguística representa uma limitação metodológica, uma vez que não abrange a totalidade da produção global, notadamente a China, que lidera o volume de publicações em IA (Stanford University, 2024). Nesse sentido, os dados aqui apresentados caracterizam a produção científica acessível nos repositórios consultados sob o recorte linguístico adotado, não pretendendo esgotar a representatividade da produção mundial absoluta.





Conforme o Figura 2, embora a maior parte dos estudos tenha origem em países asiáticos, essa distribuição reflete os resultados obtidos nas bases de dados consultadas sob os critérios de elegibilidade estabelecidos, não exaurindo a totalidade da produção global. A concentração observada parece estar vinculada à especificidade do objeto de estudo, IA aplicada à aprendizagem de Matemática no Ensino Médio, área ainda emergente e com lacunas de investigações empíricas em diferentes contextos. A restrição do corpus a estudos originais, revisados por pares e em acesso aberto pode ter sido um dos fatores que resultaram na predominância de trabalhos provenientes dessas regiões, possivelmente indicando uma convergência entre investimentos em tecnologias educacionais e o volume de publicações indexadas. Portanto, apesar de a representatividade geográfica ser delimitada pelo alcance das bases e idiomas selecionados, os estudos sistematizados oferecem evidências fundamentadas para a análise da mediação pela IA no processo de aprendizagem matemática no Ensino Médio.

A análise geográfica revela que a Indonésia detém a maior concentração de publicações (36,4%), seguida pelo Vietnã (18,2%). Países como Brasil, Estados Unidos, Tailândia, Turquia e Filipinas contribuíram individualmente com 9,1% do corpus. Sob a perspectiva temporal, embora a coleta tenha se estendido até o primeiro trimestre de 2025, a análise concentra-se no intervalo consolidado entre 2022 e 2024 para garantir a comparabilidade dos dados anuais. Esse panorama permite identificar os conteúdos matemáticos e as



ferramentas de IA que têm despertado o interesse acadêmico recente. No entanto, o estágio atual das publicações, conforme o recorte linguístico e o volume de amostra analisado, possibilita mapear os conceitos matemáticos mais frequentes e as tecnologias utilizadas, embora ainda não forneça evidências suficientes para uma avaliação definitiva sobre os impactos da IA na aprendizagem a longo prazo.

4.1. Impactos da Inteligência Artificial na Construção do Conhecimento Matemático

A análise temática dos estudos selecionados permitiu identificar os principais conceitos abordados, bem como a frequência de sua exploração em pesquisas que investigam a mediação da IA no Ensino Médio. Conforme os dados obtidos, os conteúdos foram organizados na Tabela 3 em cinco categorias emergentes, que oferecem um panorama das áreas mais recorrentes e das lacunas ainda existentes na literatura.

Tabela 3

Categoria: Conhecimentos Matemáticos e principais conteúdos

Conhecimentos Matemáticos	Códigos	Exemplos de conteúdos
Álgebra/Aritmética	C1; C2; C3; C4; C5; C6; C7; C8; C9; C10	Operações básicas; números reais; operadores booleanos; lógica matemática; funções polinomiais; equações lineares e quadráticas; inequações; razão e proporção; escala linear.
Geometria	C1; C7; C9	Figuras bidimensionais; figuras tridimensionais; existência de triângulos; escalas (superficial e volumétrica).
Trigonometria	C1; C7; C11	Teorema de Pitágoras; relações trigonométricas no círculo; funções trigonométricas; hipérbolas.
Estatística/Probabilidade	C2; C5	Análise de dados, tabelas e gráficos; estatística descritiva e inferencial; probabilidade.
Interdisciplinar/Aplicação (computação, física, etc.)	C8; C10; C11	Lógica computacional; operadores computacionais, aplicações de física/matemática.

A Tabela 3 mostra que a categoria Álgebra/Aritmética predomina nos estudos revisados, ocorrendo em 90,9% dos casos (C1 a C10). Essa categoria reúne conteúdos estruturantes da Matemática escolar, como operações básicas, números reais, lógica e funções polinomiais, além de equações, inequações e relações de proporcionalidade. Tal



concentração sugere que a mediação por IA tem se direcionado sobretudo para o fortalecimento do raciocínio algébrico e para a resolução de problemas fundamentais, ainda que outras áreas da Matemática apareçam de forma marginal.

Estudos da amostra (C2; C5; C8) apontam que recursos como ChatGPT, Python e Photomath podem favorecer a compreensão de funções e equações ao oferecerem resoluções passo a passo e múltiplas representações, algébricas, gráficas e numéricas. Tais ferramentas, ao possibilitarem a manipulação dinâmica de parâmetros e a visualização de regularidades, auxiliam na identificação de relações entre variáveis e no desenvolvimento de estratégias de resolução (C3; C7). Contudo, observa-se que esses benefícios estão condicionados à interação guiada e à interpretação crítica do estudante.

Sem mediação adequada, há risco de que a aprendizagem se limite à reprodução de procedimentos, sem consolidação profunda de conceitos abstratos. Portanto, embora a IA torne possíveis experiências mais interativas e múltiplas representações, seu efeito na construção do conhecimento matemático requer acompanhamento docente, reflexão metacognitiva e contextualização dos problemas (C1; C2).

A implementação de recursos de IA em atividades práticas indica que o engajamento do estudante é um fator determinante na personalização do ensino. Essa mediação pedagógica demonstra maior aderência aos objetivos de aprendizagem quando articulada a estratégias que fomentam a autonomia e a exploração crítica de conceitos algébricos e aritméticos (C3). Contudo, observa-se que ferramentas computacionais manifestam limitações na resolução de problemas de alta complexidade.

A funcionalidade da tecnologia no contexto educativo oscila conforme a natureza das tarefas e o grau de independência do discente, o que demanda investigações sobre a interação entre essas variáveis (C5; C6). Tais evidências sugerem que a integração da IA ao ensino de Álgebra e Aritmética requer monitoramento constante e um desenho didático que priorize o engajamento cognitivo e a autonomia no Ensino Médio.

As categorias Geometria e Trigonometria aparecem com menor frequência nos estudos revisados (27,3%; C1; C7; C8; C11), possivelmente em função da complexidade intrínseca dos conceitos espaciais e trigonométricos, que exigem não apenas cálculos, mas também visualização, interpretação de relações geométricas e compreensão de funções no contexto de figuras bidimensionais e tridimensionais. Essa complexidade torna a mediação por IA mais desafiadora, uma vez que demanda integração cuidadosa entre recursos digitais, representações visuais e orientação pedagógica estruturada (C7).



Atividades que envolvem Geometria e Trigonometria exigem a exploração ativa e a manipulação de objetos gráficos, processos que apresentam limitações de integração em modelos de IA estritamente textuais. A análise dos estudos indica que o uso de linguagens de programação (como Python) integradas a sistemas de IA permite a geração de recursos visuais para a interpretação de figuras (C7). Nesse cenário, as tendências de expansão da área concentram-se no desenvolvimento de tutores inteligentes capazes de gerar representações em geometria dinâmica e ferramentas de modelagem interativa que automatizam a construção de gráficos e a análise de funções trigonométricas (C10; C11).

Tais avanços sugerem que a utilidade da IA na Educação Matemática evolui da simples resposta textual para a criação de ambientes virtuais de aprendizagem que apoiam a visualização de conceitos abstratos. Entretanto, os resultados dessas intervenções dependem do alinhamento entre a complexidade do conteúdo, o design das tarefas e o suporte pedagógico oferecido. Nesse sentido, áreas como Geometria e Trigonometria ainda apresentam limitações na mediação tecnológica, indicando desafios específicos para a implementação de práticas interativas (C11). De forma semelhante, Estatística, Probabilidade e aplicações interdisciplinares (Computação, Física) são abordadas de maneira restrita nos estudos revisados, evidenciando lacunas para futuras investigações.

Apenas C2 e C5 exploram essas áreas, enfatizando análise de dados, construção e interpretação de tabelas e gráficos, além de raciocínio probabilístico, mas sem evidências do uso combinado de recursos digitais complementares, como Google Planilhas ou Excel, que poderiam potencializar a mediação por IA e ampliar a exploração de dados de forma mais interativa e prática. A presença restrita desses conteúdos pode estar relacionada à complexidade da mediação por IA, uma vez que a interpretação estatística requer compreensão crítica dos dados e integração de múltiplas etapas cognitivas, demandando estratégias matemáticas estruturadas. Nesse contexto, não basta simplesmente inserir prompts e aceitar respostas prontas; é fundamental desenvolver uma postura crítica diante das soluções fornecidas pela IA questionando procedimentos, estabelecendo analogias, formulando hipóteses e avaliando a consistência das respostas, de modo a promover a construção ativa do conhecimento. No âmbito interdisciplinar, C8, C10 e C11 evidenciam o potencial da IA para articular Matemática, Computação e Ciências, oferecendo possibilidades de aprendizagem contextualizada e adaptativa.

Todavia, essas intervenções concentram-se majoritariamente em contextos experimentais controlados e com amostras pequenas, limitando a generalização dos resultados. A análise sugere que, embora a IA possa favorecer a integração entre diferentes áreas do conhecimento e apoiar a construção de competências complexas, ainda há desafios



significativos: a efetividade das atividades depende da sofisticação do software, da clareza do design instrucional e do nível de orientação e engajamento dos estudantes.

Essa limitação evidencia a necessidade de pesquisas sistemáticas e em larga escala que avaliem impactos pedagógicos concretos e a aprendizagem efetiva mediada por IA em Estatística/Probabilidade e contextos interdisciplinares. Os resultados sintetizados a partir do *corpus* analisado indicam que a IA atua como agente mediador na aprendizagem matemática em quatro dimensões principais: (i) *feedback* adaptativo e personalizado, especialmente em sistemas de tutoria (C10); (ii) visualizações interativas de conceitos abstratos e geométricos (C7; C11); (iii) suporte à resolução de problemas algébricos e aritméticos (C6; C9); e (iv) estímulo ao pensamento computacional e à argumentação (C5).

A literatura mapeada sugere que tais contribuições são potencializadas quando integradas a metodologias que preservam a autonomia estudantil. Contudo, observa-se que o desempenho dessas ferramentas não é uniforme, apresentando variações conforme a complexidade da tarefa e o desenho instrucional adotado (C8), o que reforça a necessidade de investigações sobre a perenidade desses resultados em contextos de sala de aula.

4.2. Contribuições e Limites da Mediação Pedagógica por Inteligência Artificial na Aprendizagem Matemática do Ensino Médio

A partir da análise das práticas pedagógicas investigadas, as contribuições da IA no ensino de Matemática podem ser sistematizadas em cinco dimensões inter-relacionadas: Reconhecimento de Padrões, Abstração e Generalização, Lógica Algorítmica, Resolução/Tutoria e Simulação (Resnick, 2017; Gadanidis et al., 2024). Cada dimensão representa competências cognitivas e procedimentais distintas, permitindo compreender não apenas a frequência de adoção da tecnologia, mas também como ela influencia processos de aprendizagem e lacunas metodológicas no Ensino Médio. O Tabela 4 sintetiza a distribuição dessas dimensões no *corpus* analisado, evidenciando as tendências de uso e as lacunas metodológicas identificadas.

Tabela 4

Categoria: Contribuições da IA na Aprendizagem de Matemática

IA & Aprendizagem de Matemática	Códigos	n	%
Reconhecimento de padrões	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C9	7	63,6%
Abstração / Generalização	C2, C4, C6, C7, C9, C11	6	54,5%
Lógica algorítmica	C1, C3, C4, C6, C7, C8	6	54,5%



Resolução/Tutoria	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C8, C9	8	72,7%
Simulação	C2, C5, C7, C10, C11	5	45,5%

Conforme Tabela 4, o escrutínio das práticas pedagógicas investigadas nos 11 estudos (C1–C11) evidencia que a IA pode contribuir para o processo de aprendizagem de Matemática por meio de cinco dimensões principais categorizadas: Resolução/Tutoria, Reconhecimento de Padrões, Abstração e Generalização, Lógica Algorítmica e Simulação (Barba, 2016; Gadanidis et al., 2024). Essa organização permite compreender, no limite, não apenas os padrões de adoção da tecnologia, mas também lacunas metodológicas e limitações que afetam sua implementação em ambientes de Ensino Médio.

A dimensão de *Resolução/Tutoria* (72,7%) apresenta-se como a mais recorrente, caracterizando-se pela oferta de suporte algorítmico e pedagógico personalizado, fundamentado em sistemas capazes de fornecer feedback imediato, explicações estruturadas e orientações passo a passo (Fadel, 2024). No ensino de Matemática, essa abordagem busca emular o papel do mediador ao decompor problemas complexos em etapas gerenciáveis, favorecendo o monitoramento do próprio progresso pelo estudante. Embora os estudos C1, C2 e C6 indiquem que ferramentas como ChatGPT e Photomath auxiliem na organização do raciocínio e na correção de erros procedimentais, tal suporte não assegura, por si só, a apreensão conceitual profunda. O limite crítico reside no risco de a IA atuar como uma muleta procedimental, ao fornecer soluções sem promover, necessariamente, a reflexão sobre estratégias e operações envolvidas.

Em articulação com essa dimensão, o *Reconhecimento de Padrões* (63,6%) evidencia-se como um processo cognitivo central, relacionado à identificação de regularidades, invariantes e relações lógicas em estruturas matemáticas. Trata-se de um elemento essencial para a formulação de conjecturas e para a transição do pensamento aritmético ao generalizador (Wing, 2010). No contexto analisado, os estudos C1, C3 e C9 sugerem que a IA pode contribuir para a identificação dessas regularidades por meio de visualizações dinâmicas e comparações automatizadas de dados. Contudo, tal percepção assistida não se mostra autossuficiente, dependendo frequentemente da integração com dispositivos físicos (como sensores e protoboards) ou linguagens de programação (Python), o que indica a necessidade de mediação pedagógica intencional.

De modo complementar, a *Abstração e Generalização* (54,5%) referem-se à capacidade de extrair princípios matemáticos gerais a partir de exemplos concretos, possibilitando a transferência de soluções para novos contextos e o desenvolvimento de raciocínio autônomo. Estudos C2, C4, C6, C7 e C11 indicam que a IA contribui ao sistematizar



exemplos, propor variações e apoiar a formulação de regras gerais, especialmente em conteúdos de álgebra e funções, fortalecendo a construção de conceitos matemáticos mais consistentes (Barba, 2016).

Nessa mesma direção, a *Lógica Algorítmica* (54,5%) envolve o planejamento de sequências coerentes de passos para a resolução de problemas, integrando raciocínio dedutivo e operacionalização de estratégias. Evidências dos estudos C1, C3, C4, C6, C7 e C8 apontam que a IA favorece a decomposição de problemas, a verificação de consistência e a experimentação de hipóteses, sobretudo em atividades que envolvem programação em Python ou ambientes de blocos, promovendo o pensamento analítico e a modelagem matemática.

Por fim, a *Simulação* (45,5%) refere-se à modelagem de fenômenos matemáticos em ambientes digitais, permitindo a exploração iterativa de hipóteses e a observação de resultados em contextos controlados. Os estudos C5 e C10 indicam que, embora existam possibilidades de percursos adaptativos, a personalização do aprendizado ainda se mostra limitada, evidenciando lacunas metodológicas e a necessidade de desenvolvimento de ambientes híbridos que integrem feedback automatizado, simulação e experimentação prática.

Em síntese, a análise do *corpus* revela uma concentração do uso da IA em funções de Resolução/Tutoria e Reconhecimento de Padrões. Os estudos indicam que essa integração contribui para o desempenho acadêmico e para o fortalecimento da autoconfiança dos estudantes diante de problemas matemáticos (C6; C8). Por outro lado, dimensões como Abstração/Generalização e Lógica Algorítmica permanecem subexploradas, o que evidencia desafios de infraestrutura e a necessidade de mediações pedagógicas mais complexas (C5). O desenvolvimento de ambientes híbridos e adaptativos surge como uma perspectiva para ampliar a profundidade do aprendizado (C10; C11). Conforme sistematizado na Tabela 5, as abordagens identificadas nos 11 estudos (C1–C11) distribuem-se em cinco categorias: Resolução de Problemas, Código e Programação, Mão na Massa, STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts and Mathematics) e Investigação Colaborativa. Cada categoria representa uma forma distinta de mobilizar a IA, com implicações e limitações que serão discutidas a seguir.



Tabela 5

Categoria: Atividades/Abordagens e Resultados Relativos

Abordagens	Códigos	n	%
<i>Mão Na Massa</i>	C3, C9	2	18,18
<i>STEAM</i>	C3, C8	2	18,18
<i>Resolução de Problema</i>	C1, C3, C5, C6, C8, C9	6	54,55
<i>Código e Programação</i>	C3, C7, C8	3	27,27
<i>Investigação Colaborativa</i>	C9	1	9,09

A Resolução de Problemas (54,55%; C1, C3, C5, C6, C8, C9) concentra a maior parte das intervenções. Esta é a abordagem mais recorrente e consiste em tarefas em que a IA atua como apoio direto à execução e verificação de soluções. Estudos como C2 e C6 reportam ganhos de desempenho e autoconfiança (via pré-pós-testes ou comparações entre grupos), enquanto em C5 a performance de diferentes sistemas (ChatGPT > MathGPT > Gemini) evidencia variações significativas de acurácia em tópicos como funções, limites e integrais. Já C1 mostra que estudantes solicitam explicações sistemáticas, reforçando a função da IA como provedora de feedback guiado. Em conjunto, esses dados sugerem que a prevalência dessa abordagem está ligada à objetividade dos critérios de avaliação (acerto/erro, justificativas passo a passo), o que a torna compatível com a lógica de Matemática no Ensino Médio.

A dimensão Código e Programação (27,27%; C3, C7, C8) aparece quando a resolução de problemas exige visualização programável ou execução de algoritmos (Wing, 2010). Refere-se ao uso de IA para construir, depurar e interpretar algoritmos matemáticos, geralmente em linguagens como Python. No estudo C7, estudantes produzem representações programáveis (funções logarítmicas, circunferência trigonométrica, regiões de solução), enquanto C8 compara a performance da IA e dos alunos em diferentes tipos de itens, revelando vantagem da IA em tarefas com baixa ambiguidade semântica. A aprendizagem registrada é predominantemente operacional e algorítmica, vinculada à execução correta de procedimentos e à economia de tempo, mas ainda pouco explorada em termos de compreensão conceitual.

Mão na Massa (18,18%; C3, C9) e STEAM (18,18%; C3, C8) são menos frequentes. Essas abordagens introduzem a IA em contextos práticos e interdisciplinares. Mão na Massa (C3, C9) (Resnick, 2017) envolve integração de sensores, *protoboards* e CAD, exigindo dos estudantes modelagem, teste e depuração em situações físicas. STEAM (C3, C8) (Papert, 2008) expande esse movimento para a articulação entre Matemática, Artes e Ciências,

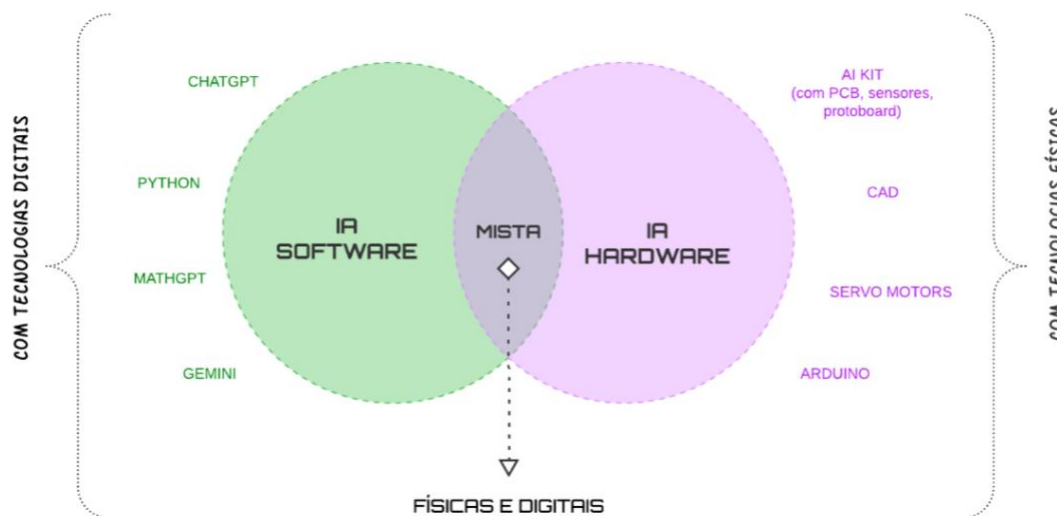


criando cenários investigativos em que escalas lineares e volumétricas são exploradas. Os dados mostram que, embora pouco frequentes, essas práticas deslocam o foco de “acertar respostas” para validar modelos e medições, abrindo espaço para argumentação matemática e avaliação crítica de resultados. Sua baixa incidência parece mais ligada a restrições de tempo e recursos do que à falta de potencial pedagógico.

Investigação Colaborativa (9,09%) aparece pontualmente. Essa é a dimensão menos explorada, restrita ao estudo C9, no qual os alunos interagem para discutir hipóteses. No entanto, mesmo aí a IA atua de forma periférica. O predomínio de interações individuais com tutores de IA sugere uma limitação estrutural: as ferramentas são mais usadas para suporte individualizado do que para a construção coletiva de estratégias ou negociação de significados. Esse vazio aponta para uma lacuna relevante nas pesquisas — o uso da IA para potencializar processos colaborativos ainda não foi devidamente investigado. A diversidade de abordagens mapeadas evidencia que a IA não se restringe a um único papel pedagógico. Para compreender melhor como essas práticas se articulam em termos de recursos, apresentamos na Figura 3 uma classificação em três eixos: digital, físico e híbrido.

Figura 3

Diagrama de Venn: Principais atividades físicas e digitais identificadas nas pesquisas.



O Figura 3 ilustra a categorização das tecnologias de IA identificadas no *corpus*, evidenciando uma predominância de recursos situados no eixo puramente digital. Essa vertente abrange desde modelos de linguagem e assistentes de resolução (ChatGPT, Gemini, MathGPT) até ambientes de programação (Python), ferramentas que, embora acessíveis, têm sido mobilizadas predominantemente para o suporte individual e a verificação algorítmica. Em contrapartida, a dimensão física da IA, representada pelo uso



de kits eletrônicos, sensores e protoboards, manifesta-se de forma pontual (C3), deslocando o foco do cálculo abstrato para a experimentação concreta. A zona de intersecção (“Mista”) no diagrama sinaliza o potencial de integração entre as esferas física e digital, onde a manipulação de materiais e a depuração de modelos computacionais podem fomentar habilidades de abstração e raciocínio algorítmico, embora barreiras de infraestrutura ainda restrinjam essa abordagem no Ensino Médio.

A intersecção digital + física, observada no campo híbrido (9%, também em C3), representa uma nova possibilidade: integrar programação em Python com kits robóticos e ambientes CAD, de modo que os estudantes transitem entre modelagem computacional e validação prática. Essa articulação, embora promissora, permanece incipiente e carece de maior investigação empírica para avaliar até que ponto favorece aprendizagens conceituais mais profundas em Matemática, e não apenas competências instrumentais. Em síntese, a predominância digital reflete acessibilidade e difusão dos *LLMs*, mas também indica uma tendência de reduzir a IA a funções de tutoria individualizada. Por outro lado, a presença tímida de soluções físicas e híbridas sugere um campo de pesquisa ainda em aberto: compreender como a combinação entre IA digital e física pode ampliar a profundidade conceitual da aprendizagem matemática e criar ambientes mais investigativos, colaborativos e interdisciplinares. Essa lacuna se mostra estratégica para o futuro das investigações.

5. Considerações Finais

As análises realizadas permitem afirmar que a produção científica sobre o uso da IA na aprendizagem de Matemática no Ensino Médio ainda se encontra em estágio inicial, embora já seja possível identificar padrões relevantes. A concentração geográfica das publicações, sobretudo Indonésia e Vietnã, revela uma dependência de contextos específicos, o que limita a generalização dos resultados para outros cenários do Ensino Médio. No caso da América Latina, a baixa representatividade, expõe um vazio significativo para futuras investigações, sobretudo considerando a diversidade curricular e os desafios de infraestrutura dessa região. Do ponto de vista dos conteúdos, observa-se que a ênfase quase exclusiva em Álgebra/Aritmética reflete tanto a centralidade desse eixo na Matemática escolar do Ensino Médio quanto sua maior compatibilidade com softwares baseados em algoritmos. No entanto, áreas igualmente fundamentais para a formação crítica do estudante, como Estatística e Probabilidade, permanecem marginalizadas, mesmo sendo essenciais para desenvolver competências ligadas ao pensamento crítico em sociedades orientadas por dados.



No que se refere às contribuições pedagógicas da IA, os estudos mapeados privilegiam dimensões como Resolução/Tutoria e Reconhecimento de Padrões, ambas associadas a interações individuais, feedback imediato e suporte algorítmico ao estudante. Já dimensões mais complexas, como Simulação e Abstração/Generalização, aparecem de forma periférica, indicando que a IA tem sido mobilizada predominantemente para apoiar processos operacionais e de automatização de cálculos, e não para fomentar aprendizagens investigativas, colaborativas ou de natureza conceitual mais profunda. Essa tendência sugere que, até o momento, a IA tem reforçado práticas de ensino tradicionais no Ensino Médio, em vez de provocar transformações substantivas nas formas como os estudantes aprendem matemática.

As abordagens pedagógicas identificadas corroboram esse diagnóstico: a Resolução de Problemas concentra mais da metade dos casos, enquanto práticas como Programação, STEAM, Mão na Massa e Investigação Colaborativa permanecem marginais. O dado mais crítico talvez seja a quase ausência de experiências que mobilizam a aprendizagem colaborativa entre estudantes, o que limita o desenvolvimento de competências de argumentação, negociação de significados e construção coletiva do conhecimento matemático, dimensões cada vez mais fundamentais em um ensino de Matemática alinhado à cultura digital e mediado por tecnologias inteligentes.

Em síntese, a revisão sistemática cumpre o objetivo proposto ao mapear como a IA tem sido utilizada especificamente para apoiar a aprendizagem matemática dos estudantes do Ensino Médio, revelando tanto suas contribuições quanto seus limites. Os resultados indicam que, embora a IA seja eficaz para apoiar procedimentos algébricos e fornecer tutoria individualizada, ela ainda não tem sido explorada em seu potencial de ampliar aprendizagens conceituais, interdisciplinares e colaborativas nesse nível de ensino. Para que isso ocorra, não basta apenas ampliar o número de estudos: são necessárias políticas de formação docente, estratégias pedagógicas inovadoras e plataformas tecnológicas capazes de articular criticamente conteúdos matemáticos, mediação pedagógica e recursos digitais.

Declaración de uso de Inteligencia Artificial

Se utilizó ChatGPT 5.0 para asistencia en la revisión gramatical y sugerencias de redacción. Las y los autores revisaron y editaron el contenido generado por la herramienta, y asumen toda la responsabilidad por la versión final enviada a la Relime.



Financiamento

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) – Processo nº 150485/2025-5, na modalidade Pós-Doutorado Júnior (PDJ).

Referências

- Anqueban, D., & Huincahue, J. (2024). Artificial intelligence in mathematics education: A systematic review. *Uniciencia*, 38(1), 357–373. <http://dx.doi.org/10.15359/ru.38-1.20>
- Asmuss, S., & Zudkina, N. (2019). On usage of visualization tools in teaching mathematics at universities. *Engineering for Rural Development*, 18, 1962-1969. <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N515>
- Azevedo, G. T. (2024a). Pensamento computacional e aprendizagem de matemática no ensino médio com uso de ferramentas tecnológicas. *Revista Eletrônica de Educação Matemática*, 19, e98956. <https://doi.org/10.5007/1981-1322.2024.e98956>
- Azevedo, G. T. de. (2024b). Problem solving involving linear, surface, and volumetric scales: Artificial intelligence as a learning tool. *Jornal Internacional de Estudos em Educação Matemática* 7(2), 138–149. <https://doi.org/10.17921/2176-5634.2024v17n2p138-149>
- Azevedo, G. T., & Maltempi, M. V. (2022). Contexto Formativo de Invenção Robótica-Matemática: Pensamento Computacional e Matemática Crítica. *Bolema*, 36(72), 214-238. <https://doi.org/10.1590/1980-4415v36n72a10>
- Azevedo, G. T., & Maltempi, M. V. (2023). Desenvolvimento de habilidades e invenções robóticas para impactos sociais no contexto de Formação em Matemática. *Ciência & Educação*. 29 (1), 1-21. <https://doi.org/10.1590/1516-731320230016>
- Baidoo-Anu, D., & Owusu Ansah, L. (2023). Education in the era of generative artificial intelligence (AI): Understanding the potential benefits of ChatGPT in promoting teaching and learning. *Journal of AI*, 7(1), 52–62. <https://dergipark.org.tr/en/pub/jai/article/1337500>
- Barba, L. A. (2016, July 29). *Computational thinking: I do not think it means what you think it means*. Blog Lorena A. Barba Group. <https://lorenabarba.com/blog/computational-thinking-i-do-not-think-it-means-what-you-think-it-means/>
- Brasil. (1996). Lei Nº. 9.394, de 20 de dezembro de 1996: estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Diário Oficial da União. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm
- Bialik, M., & Fadel, C. (2017). *A educação em tempos de mudanças rápidas: Educação para a era da inteligência artificial*. Fundação Santillana.



- Conselho Nacional de Educação Brasil. (2022). *Parecer CNE/CEB nº 2/2022: Normas sobre computação na educação básica – Complemento à Base Nacional Comum Curricular (BNCC)*. Ministério da Educação. <https://www.gov.br/mec/pt-br/cne/resolucoes/esolucoes-ceb-2022>
- Capinding, A. T. (2023). Revolutionizing pre-calculus education: Photomath's AI-powered mathematics tutorship. *Journal of Technology and Science Education* 81(6), 758-775. <https://doi.org/10.33225/pec/23.81.758>
- Ergene, O., & Ergene, B. C. (2024). AI chatbots' solutions to mathematical problems in interactive e-textbooks: affordances and constraints from the eyes of students and teachers. *Education and Information Technologies* 30, 504-595. <https://doi.org/10.1007/s10639-024-13121-z>
- Everstine, B. W. (2020). Artificial intelligence easily beats human pilot in DARPA trial. *Air & Space Force Magazine*. <https://www.airandspaceforces.com/artificial-intelligence-easily-beats-human-fighter-pilot-in-darpa-trial/>
- Fadel, C. (2024). *Educação para a era da inteligência artificial*. Fundação Santillana.
- Gadanidis, G. (2017). Artificial intelligence, computational intelligence, and mathematics education. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 34(2), 133–139. <https://doi.org/10.1108/IJILT-09-2016-0048>
- Gadanidis, G., Li, L., & Tan, J. (2024). Mathematics & artificial intelligence: intersections and educational implications. *Journal of Digital Life and Learning*, 4(1), 1–24. <https://doi.org/10.51357/jdll.v4i1.249>
- Hidayatullah, E., Untari, R., & Fifardin, F. (2024). Effectiveness of AI in solving math problems at the secondary school level: A comparative study with student performance. *Union: Jurnal Ilmiah Pendidikan Matematika*, 12(2), 350–360. <https://doi.org/10.30738/union.v12i2.17548>
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: promise and implication for teaching & learning*. Center for Curriculum Redesign. <https://curriculumredesign.org/our-work/artificial-intelligence-in-education/>
- Huang, X., & Qiao, C. (2024). Enhancing computational thinking skills through artificial intelligence education at a STEAM high school. *Science & Education* 33, 383–403. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00392-6>
- Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: a bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics*, 9(6), 584. <https://doi.org/10.3390/math9060584>
- Lohakan, M., & Seetao, C. (2024). Large-scale experiment in STEM education for high school students using artificial intelligence kit based on computer vision and Python. *Heliyon* 10(10), e31366. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31366>



- Luckin, R. (2018). *Machine learning and human intelligence: the future of education in the 21st century*. UCL Institute of Education Press. <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10178695/>
- Ministério da Educação (2018). *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>
- Moor, J. (2000). Alan Turing (1912–1954). *Minds and Machines*, 10, 461. <https://doi.org/10.1023/A:1017354226375>
- Namilae, A., & Leddo, J. (2024). Comparing the effectiveness of Chat GPT and teacher-generated content for teaching students. *International Journal of Social Science and Economic Research* 9 (7), 2554-2564. <https://doi.org/10.46609/IJSSER.2024.v09i07.031>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L. A., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical research ed.)*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Papert, S. (1980). *Mindstorms: children, computers and powerful ideas*. Basic Books.
- Papert, S. (2008). *A máquina das crianças: repensando a escola na era informática*. Artes Médicas.
- Phu, D. X., Duy, T. T. N., & Duy, N. H. (2025). Approaching artificial intelligence in designing visual aids for teaching mathematics at high school. *Pearson Journal* 8(31), 128-139. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14979079>
- Qurohman, M. T. (2024). Enhancing high school students problem solving ability in algebra through artificial intelligence based learning. *International Journal of Trends in Mathematics Education Research* 7(4), 9-17. <https://doi.org/10.33122/ijtmer.v7i4.358>
- Ramli, M., Maifalinda, F., Muhamad, M., & Hasan, A. (2024). Navigating the tech-savvy generation: Key considerations in developing of an artificial intelligence curriculum. *International Journal of Artificial Intelligence* 13(4), 3942-3950. <http://doi.org/10.11591/ijai.v13.i4.pp3942-3950>
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. MIT Press.
- Resnick, M. (2023). *Generative AI and creative learning: concerns, opportunities, and choices*. <https://mres.medium.com/ai-and-creative-learning-concerns-opportunities-and-choices-63b27f16d4d0>



- Soesanto, R. H., Dirgantoro, K. P. S., & Priyanti, N. (2022). Indonesian students' perceptions towards AI-based learning in mathematics. *Journal on Mathematics Education* 13(3), 531-548. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i3.pp531-548>
- Son, T. (2024). Intelligent tutoring systems in mathematics education: a systematic literature review using the substitution, augmentation, modification, redefinition model. *Computers*, 13(10), 270. <https://doi.org/10.3390/computers13100270>
- Stanford University. (2024). *Artificial intelligence index report 2024*. Stanford Institute for Human-Centered AI (HAI). <https://aiindex.stanford.edu/report/>
- Su, K.-D. (2022). Implementation of innovative artificial intelligence cognitions with problem-based learning guided tasks to enhance students' performance in science. *Journal of Baltic Science Education*, 21(2), 245–257. <https://doi.org/10.33225/jbse/22.21.245>
- Thai Nhat Duy, T., & Ahn Tuan, B. (2024). Application of Python for designing visual aids and integration of artificial intelligence (AI) to teaching mathematics at high schools. *Journal of Educational Science* 69(5B), 137-148. <https://doi.org/10.18173/2354-1075.2024-0142>
- Tegmark, M. (2017). *A vida 3.0: o ser humano na era da IA*. Benvirá.
- Turing, A. M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59 (236), 433–460. <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
- Valente, J. A. (2016). Integração do pensamento computacional no currículo da educação básica: diferentes estratégias usadas e questões de formação de professores e avaliação do aluno. *Revista e-Curriculum*, 14(3), 864–897. <https://revistas.pucsp.br/index.php/curriculum/article/view/29051>
- Van Vaerenbergh, S., & Pérez-Suay, A. (2022). A classification of artificial intelligence systems for mathematics education. In P. R. Richard, P. Vélez, S. Van Vaerenbergh (Eds.). *Mathematics Education in the Age of Artificial Intelligence*. Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-030-86909-0_5
- Wing, J. M. (2010). *Computational thinking: what and why?* Carnegie Mellon University. <https://www.cs.cmu.edu/~CompThink/resources/TheLinkWing.pdf>
- Zawacki-Richter, O., Marín, V. I., Bond, M., & Gouverneur, F. (2019). Systematic review of research on artificial intelligence applications in higher education – where are the educators? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 16, 39. <https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0>

