BOCA
BOLETIM DE CONJUNTURA

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA E METACOGNIÇÃO MATEMÁTICA: CAMINHOS PARA A AUTONOMIA INTELECTUAL NA EDUCAÇÃO BÁSICA

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MATHEMATICAL METACOGNITION: PATHWAYS TO INTELLECTUAL AUTONOMY IN BASIC EDUCATION

INTELIGENCIA ARTIFICIAL GENERATIVA Y METACOGNICIÓN MATEMÁTICA: CAMINOS HACIA LA AUTONOMÍA INTELECTUAL EN LA EDUCACIÓN BÁSICA

https://doi.org/10.56238/bocav25n84-003

Data de submissão: 01/09/2026 **Data de publicação:** 05/11/2026

Regivaldo Cláudio de Freitas

RESUMO

Este artigo analisa criticamente as possibilidades e os limites da inteligência artificial generativa (IAG) como apoio à metacognição matemática na Educação Básica, considerando também as necessidades de acessibilidade de estudantes neurodivergentes. O problema de pesquisa indaga em que condições ferramentas conversacionais podem favorecer o planejamento, o monitoramento e a avaliação do próprio raciocínio, em vez de induzir dependência de respostas prontas. Desenvolve-se uma revisão narrativa crítica e documentada, de natureza qualitativa, com prioridade para publicações de 2022 a 2026 e documentos internacionais de referência. A análise distingue resultados de aprendizagem, autorregulação e autonomia intelectual, categorias frequentemente aproximadas de maneira indevida. A literatura aponta oportunidades de feedback e mediação, mas também riscos de imprecisão, desigualdade de acesso e terceirização cognitiva. Como contribuição propositiva, apresenta-se o ciclo pedagógico Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir (AAVR), com exemplos, critérios formativos e possibilidades de adaptação inclusiva para estudantes neurodivergentes. Conclui-se que a IAG pode funcionar como instrumento de diálogo crítico quando subordinada à validação matemática, à acessibilidade, à mediação docente e à proteção de dados. O modelo é teórico e necessita de validação empírica, inclusive em contextos educacionais inclusivos.

Palavras-chave: Inteligência Artificial Generativa. Metacognição. Educação Matemática. Autonomia Intelectual. Neurodiversidade.

ABSTRACT

This article critically analyzes the possibilities and limits of generative artificial intelligence (GenAI) as a support for mathematical metacognition in Basic Education, also considering the accessibility needs of neurodivergent students. The research problem investigates under what conditions conversational tools can foster the planning, monitoring, and evaluation of one's own reasoning, rather than inducing dependence on ready-made answers. A critical and documented narrative review of a qualitative nature is developed, prioritizing publications from 2022 to 2026 and international reference documents. The analysis distinguishes between learning outcomes, self-regulation, and intellectual

autonomy—categories that are frequently and improperly conflated. The literature highlights opportunities for feedback and mediation, but also risks of inaccuracy, unequal access, and cognitive outsourcing. As a proactive contribution, the Anticipate–Argue–Verify–Reflect (AAVR) pedagogical cycle is presented, alongside examples, formative criteria, and possibilities for inclusive adaptation for neurodivergent students. It concludes that GenAI can function as an instrument for critical dialogue when subordinated to mathematical validation, accessibility, teacher mediation, and data protection. The model is theoretical and requires empirical validation, including in inclusive educational contexts.

Keywords: Generative Artificial Intelligence. Metacognition. Mathematics Education. Intellectual Autonomy. Neurodiversity.

RESUMEN

Este artículo analiza críticamente las posibilidades y los límites de la inteligencia artificial generativa (IAG) como apoyo a la metacognición matemática en la Educación Básica, considerando también las necesidades de accesibilidad de los estudiantes neurodivergentes. El problema de investigación indaga en qué condiciones las herramientas conversacionales pueden favorecer la planificación, el monitoreo y la evaluación del propio razonamiento, en lugar de inducir dependencia de respuestas prefabricadas. Se desarrolla una revisión narrativa crítica y documentada, de naturaleza cualitativa, dando prioridad a publicaciones de 2022 a 2026 y documentos internacionales de referencia. El análisis distingue resultados de aprendizaje, autorregulación y autonomía intelectual, categorías frecuentemente aproximadas de manera indebida. La literatura señala oportunidades de retroalimentación y mediación, pero también riesgos de imprecisión, desigualdad de acceso y tercerización cognitiva. Como contribución propositiva, se presenta el ciclo pedagógico Anticipar–Argumentar–Verificar–Reflexionar (AAVR), con ejemplos, criterios formativos y posibilidades de adaptación inclusiva para estudiantes neurodivergentes. Se concluye que la IAG puede funcionar como instrumento de diálogo crítico cuando está subordinada a la validación matemática, la accesibilidad, la mediación docente y la protección de datos. El modelo es teórico y requiere validación empírica, incluso en contextos educativos inclusivos.

Palabras clave: Inteligencia Artificial Generativa. Metacognición. Educación Matemática. Autonomía Intelectual. Neurodiversidad.

1 INTRODUÇÃO

A difusão de sistemas de inteligência artificial generativa (IAG) deslocou parte da experiência de estudar Matemática para interações com interfaces capazes de redigir explicações, propor exercícios, revisar procedimentos e produzir soluções aparentemente plausíveis. A rapidez dessas operações altera a economia de tempo das tarefas escolares, mas não elimina uma questão epistemológica fundamental: a obtenção de uma resposta correta não demonstra, por si só, a compreensão dos princípios que a tornam válida.

Na Educação Básica, essa diferença tem implicações para o currículo, a avaliação e a formação da autonomia intelectual. A pesquisa recente sugere resultados encorajadores, embora heterogêneos.

Turmuzi, Azmi e Kertiyani (2026) sistematizam oportunidades e dificuldades do ChatGPT na Matemática escolar; revisões recentes discutem resultados de aprendizagem e limites de generalização. Esses indicadores, entretanto, não constituem prova de melhoria da metacognição matemática: desempenho, monitoramento reflexivo e independência são construtos distintos. A UNESCO (Miao; Holmes, 2023) defende a integração centrada na agência humana, com atenção à idade, à privacidade e à adequação pedagógica. Tal perspectiva afasta duas respostas simplificadoras: proibir indiscriminadamente a tecnologia ou adotar suas respostas como autoridade.

A questão decisiva é como desenhar atividades em que a ferramenta amplie as oportunidades de confronto de ideias sem ocupar o lugar da decisão matemática do estudante. A pergunta norteadora deste estudo é: sob quais condições didáticas o uso de IAG pode favorecer processos metacognitivos na aprendizagem matemática de estudantes da Educação Básica, preservando sua autonomia intelectual?

O objetivo geral é analisar criticamente a literatura recente e construir um referencial pedagógico aplicável à elaboração e avaliação de tarefas. Especificamente, pretende-se distinguir os conceitos envolvidos; identificar potencialidades e riscos; propor uma sequência de mediação; e delimitar indicadores e lacunas para pesquisas futuras.

A relevância acadêmica está na necessidade de evitar equivalências indevidas entre uso frequente de IA, engajamento, acerto de exercícios e aprendizagem autônoma. A relevância profissional decorre da demanda por critérios observáveis para professores que já convivem com ferramentas generativas, inclusive em ambientes com infraestrutura desigual.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 METACOGNIÇÃO, AUTORREGULAÇÃO E AUTONOMIA: DISTINÇÕES NECESSÁRIAS

Metacognição diz respeito ao conhecimento e à regulação que uma pessoa exerce sobre seus próprios processos cognitivos. No trabalho matemático, ela se manifesta quando o estudante reconhece o que compreendeu, seleciona estratégias, acompanha a coerência dos passos e julga a suficiência de suas justificativas. Não se trata apenas de verbalizar pensamentos: a verbalização precisa orientar decisões e permitir correções.

Autorregulação da aprendizagem constitui um construto mais abrangente, envolvendo também metas, organização do tempo, motivação, gestão de recursos e avaliação dos resultados. Um estudante pode usar recursos digitais de maneira organizada e ainda assim aceitar sem crítica uma resposta incorreta. Por isso, comportamento autorregulado não implica automaticamente competência de validação matemática.

Autonomia intelectual, neste artigo, é entendida como a capacidade progressiva de formular julgamentos matemáticos fundamentados, justificar escolhas e revisar conclusões sem depender da autoridade de uma fonte única. Não significa isolamento do professor ou rejeição de colaboração. Significa que o estudante permanece responsável pelas razões que sustentam sua resposta, inclusive quando consulta colegas, livros ou sistemas generativos.

Essas três dimensões se articulam, mas exigem indicadores diferentes. Planejar a resolução é um indicador metacognitivo; distribuir o tempo de estudo pode expressar autorregulação; recusar uma solução da IA com contraexemplo matemático fornece evidência mais direta de autonomia epistêmica. Uma pesquisa que trate todos esses comportamentos como sinônimos corre o risco de superestimar efeitos pedagógicos.

2.2 ESPECIFICIDADES DO RACIOCÍNIO MATEMÁTICO

A Matemática escolar requer uma combinação de compreensão conceitual, fluência procedimental, representação e argumentação. Em problemas algébricos, uma transformação deve preservar a equivalência ou explicitar condições de validade; em geometria, a aparência de um desenho não substitui a demonstração; em estatística, um cálculo correto pode sustentar uma interpretação inadequada se o contexto for ignorado.

A verificação, portanto, é parte constitutiva da aprendizagem, e não etapa opcional realizada depois do resultado. Estimar a ordem de grandeza, testar uma solução por substituição, comparar duas

representações e produzir um contraexemplo são procedimentos que tornam a atividade matemática auditável.

Quando o estudante transfere integralmente tais procedimentos a um sistema generativo, perde-se uma oportunidade de construir critérios próprios de confiabilidade. É útil distinguir erro aritmético, erro conceitual, erro de interpretação e justificativa incompleta. Uma ferramenta pode corrigir o número final sem reconhecer que a dificuldade central é compreender o problema. Da mesma forma, pode oferecer uma demonstração formalmente elegante que contém uma inferência inválida. O ensino precisa focalizar o significado das decisões, e não apenas a aparência da resposta.

2.3 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA COMO INTERLOCUTORA FALÍVEL

Sistemas generativos produzem saídas a partir de padrões aprendidos e procedimentos computacionais que não equivalem à garantia de verdade matemática. Mesmo quando apresentam linguagem confiante, podem confundir hipóteses, omitir restrições, cometer erros algébricos ou sugerir generalizações indevidas. Sua utilidade pedagógica deve ser apreciada à luz dessa falibilidade.

A revisão de Turmuzi, Azmi e Kertiyani (2026) identifica benefícios como *feedback* imediato e apoio individualizado, mas também dificuldades em raciocínios complexos e risco de dependência. A revisão de mapeamento de Muhamad Sani, Omar e Abdullah (2026) registra concentração de estudos no Ensino Superior e em determinados conteúdos, o que recomenda cautela ao transferir conclusões para crianças e adolescentes. Deng *et al.* (2025), em metanálise de estudos experimentais sobre ChatGPT e aprendizagem, relatam efeitos favoráveis em alguns indicadores acadêmicos e cognitivos, sem uniformidade entre todas as dimensões investigadas.

Essa literatura autoriza formular hipóteses didáticas, não concluir que toda interação com IA promove pensamento independente. O benefício depende de condições de implementação, características das tarefas e formas de avaliação.

Em síntese, o estatuto didático mais produtivo da IAG é o de interlocutora questionável: oferece hipóteses, explicações e alternativas que devem ser examinadas. Transformá-la em autoridade incontestável enfraquece precisamente o processo reflexivo que se pretende desenvolver.

2.4 MEDIAÇÃO DOCENTE, EQUIDADE E PROTEÇÃO DE DADOS

A mediação docente determina a qualidade das perguntas, a sequência de acesso às respostas, a explicitação dos critérios de validade e o tratamento do erro. Não basta solicitar que o estudante “use

a IA com responsabilidade". É necessário operacionalizar essa responsabilidade: o que deve ser registrado antes da consulta, como identificar divergências e quais evidências de compreensão serão exigidas depois.

A UNESCO (2023) recomenda uma abordagem centrada nas pessoas e adequada à idade. Para a Educação Básica, isso implica observar políticas institucionais, condições de acesso e limites de idade das plataformas, além de impedir o envio não autorizado de informações pessoais, imagens, avaliações individualizadas ou dados sensíveis de estudantes. A desigualdade digital também pode gerar vieses de oportunidade: estudantes com dispositivos, conectividade e repertório de uso mais amplos podem receber vantagens adicionais. Uma proposta pedagógica responsável precisa prever alternativas analógicas equivalentes, como fichas impressas contendo respostas simuladas, trabalho em pares e debate coletivo conduzido pelo professor. Assim, a aprendizagem não deve depender de uma conta individual em plataforma comercial.

3 METODOLOGIA

O estudo assume uma abordagem qualitativa, de natureza teórico-propositiva, estruturando-se através de um procedimento de revisão narrativa crítica e documentada. Para garantir a transparência na construção do *corpus* bibliográfico, a recolha de literatura foi conduzida mediante consulta a bases de dados acadêmicas de referência, nomeadamente: SciELO, Scopus, Web of Science, ERIC (*Education Resources Information Center*) e Google Acadêmico.

A estratégia de pesquisa foi orientada pelo cruzamento de descritores nos idiomas português, inglês e espanhol, utilizando combinações de termos como: "inteligência artificial generativa" (*generative artificial intelligence* / *inteligencia artificial generativa*), "metacognição" (*metacognition* / *metacognición*), "educação matemática" (*mathematics education* / *educación matemática*) e "autonomia intelectual" (*intellectual autonomy* / *autonomía intelectual*).

O *corpus* bibliográfico reúne publicações selecionadas por pertinência conceitual ao problema de investigação, agregando modelos de autorregulação e metacognição, estudos de síntese sobre inteligência artificial generativa na educação e trabalhos empíricos ou teóricos sobre o ensino de Matemática. Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: **(a) recorte temporal delimitado entre 2022 e 2026**, abrangendo o período de maior difusão dos grandes modelos de linguagem; **(b) fontes com identificação bibliográfica rastreável e explicitação metodológica clara;** e **(c) relação direta com as condições de mediação docente e os indicadores de autonomia.** Adicionalmente,

foram integrados documentos internacionais de referência institucional, nomeadamente as orientações da UNESCO sobre inteligência artificial generativa na educação e na pesquisa (MIAO; HOLMES, 2023) e as Diretrizes do Desenho Universal para a Aprendizagem, versão 3.0, do CAST (2024), com o propósito de fundamentar as dimensões éticas, inclusivas e de acessibilidade das práticas pedagógicas mediadas por tecnologias digitais.

A análise procedeu por confronto temático entre as categorias de potencialidades, riscos, terceirização cognitiva e mediação pedagógica. Como limite metodológico inerente ao desenho de revisão narrativa, sublinha-se que a seleção não foi exaustiva, não envolveu protocolo prospetivo de busca rígido ou dupla triagem independente. Por conseguinte, o estudo prescinde da elaboração de diagrama de fluxo PRISMA[1] ou de tabelas de risco de viés de estudos primários, não autorizando inferências absolutas sobre a frequência dos resultados na totalidade da literatura.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO

4.1 EVIDÊNCIAS DE APRENDIZAGEM E SEUS LIMITES INFERENCIAIS

A literatura recente relata oportunidades e limitações do uso de IAG em tarefas de aprendizagem matemática. Trata-se de evidência relevante, porém não autoriza afirmar que estudantes se tornaram mais metacognitivos ou autônomos. O indicador agregado compreende resultados educacionais variados e depende de desenho, amostra, conteúdo e modalidade de integração. Os autores destacam que a certeza das evidências varia entre domínios cognitivos e não cognitivos.

Isso reforça a necessidade de separar melhora de notas, motivação, qualidade da argumentação e capacidade de resolver tarefas sem assistência. Uma intervenção pode elevar acertos durante o uso da ferramenta e produzir resultados modestos quando ela é retirada. Esse cenário deve ser investigado, não presumido.

A revisão específica de Matemática escolar de Turmuzi, Azmi e Kertiyani (2026) analisa 20 estudos empíricos e ressalta tanto a possibilidade de *feedback* quanto dificuldades em problemas complexos e dependência. O número de estudos e a heterogeneidade dos desenhos limitam generalizações amplas. Assim, a conclusão mais prudente é que a IAG constitui recurso potencialmente útil sob condições didáticas definidas, não um método universalmente eficaz.

[1] PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) é uma diretriz internacional para o relato transparente de revisões sistemáticas e metanálises. Seu diagrama de fluxo representa as etapas de identificação, triagem e seleção dos estudos, incluindo os registros excluídos e os motivos de exclusão, quando aplicáveis. Sua utilização não constitui exigência geral para revisões narrativas.

4.2 O RISCO DA TERCEIRIZAÇÃO COGNITIVA

Denomina-se aqui terceirização cognitiva a transferência, para a ferramenta, de decisões que deveriam permanecer objeto de aprendizagem: selecionar operações, julgar plausibilidade, escolher representações e avaliar provas. A expressão é utilizada como categoria interpretativa, não como diagnóstico psicológico. Seu risco aumenta quando a tarefa escolar valoriza exclusivamente o produto final e ignora a origem das justificativas.

Há diferença entre usar uma calculadora para executar uma operação já compreendida e pedir que um sistema resolva integralmente um problema cuja estrutura o estudante ainda não reconhece. A fronteira, entretanto, não é fixa: depende do objetivo da aula. Em uma atividade sobre modelagem, por exemplo, automatizar cálculos pode liberar tempo para discutir hipóteses; em uma atividade de propriedades operatórias, a mesma automatização pode suprimir a competência que se busca desenvolver.

O professor deve definir explicitamente quais ações podem ser delegadas e quais devem ser demonstradas pelo estudante. Critérios de transparência, registros de tentativa inicial e defesa oral ou escrita de decisões ajudam a diferenciar apoio legítimo de substituição do raciocínio.

4.3 CICLO ANTECIPAR–ARGUMENTAR–VERIFICAR–REFLETIR

Como contribuição autoral, propõe-se o ciclo **Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir (AAVR).** Trata-se de um dispositivo de planejamento didático, não de um instrumento psicométrico validado. Sua finalidade é organizar o contato com a IAG para preservar a iniciativa intelectual do estudante.

No primeiro movimento, **ANTECIPAR**, o estudante interpreta o enunciado, identifica dados e incógnitas, registra estimativa e formula uma estratégia inicial sem consulta à ferramenta. A produção anterior à IA fornece evidência do ponto de partida e torna visível o planejamento.

No segundo, **ARGUMENTAR**, o estudante explica por que escolheu determinadas operações ou representações. O professor pode solicitar duas justificativas distintas ou a identificação de uma condição de validade. Nesse momento, a qualidade da explicação importa mais que a extensão do texto.

No terceiro, **VERIFICAR**, a turma confronta a solução própria com uma resposta gerada ou fornecida pelo professor. Divergências são tratadas por substituição, estimativa, contraexemplo,

operação inversa ou prova. O comando central não é “a IA concorda?”, mas “qual argumento matemático confirma ou refuta cada passo?”.

No quarto, **REFLETIR**, o estudante registra o que revisou, identifica a origem de um erro, formula um critério transferível e resolve uma questão análoga sem ajuda. A retirada temporária da ferramenta é importante para observar se houve apropriação do procedimento. O ciclo pode ser repetido em novas situações, sem necessidade de seguir etapas rígidas em todas as aulas.

Figura 1. Organização cíclica da proposta AAVR.



Fonte: elaboração própria (2026).

4.4 EXEMPLO DIDÁTICO I: PROPORCIONALIDADE

Considere a situação: seis trabalhadores, mantendo a mesma produtividade, realizam uma tarefa em dez dias. Quantos dias seriam necessários para quinze trabalhadores? Antes da consulta, o estudante deve estimar que mais trabalhadores implicam menos dias, sob a hipótese de produtividade constante e trabalho divisível. A relação correta é inversamente proporcional: $6 \times 10 = 15 \times d$, portanto $d = 4$ dias. Uma resposta equivocada poderia aplicar proporcionalidade direta e obter 25 dias. O ponto central não é somente corrigir o número, mas justificar por que 25 dias contraria a relação inversa entre as grandezas. No ciclo AAVR, a antecipação registra a estimativa “menos de dez dias”; a argumentação explicita a constância do produto trabalhadores × dias; a verificação testa as duas hipóteses; a reflexão identifica a regra de decisão e uma limitação do modelo, como a eventual perda de produtividade em equipes muito grandes. A IA pode ser convidada a defender uma solução incorreta deliberadamente apresentada pelo professor, e os estudantes devem localizar a falha.

4.5 EXEMPLO DIDÁTICO II: EQUAÇÕES E SOLUÇÕES ESTRANHAS

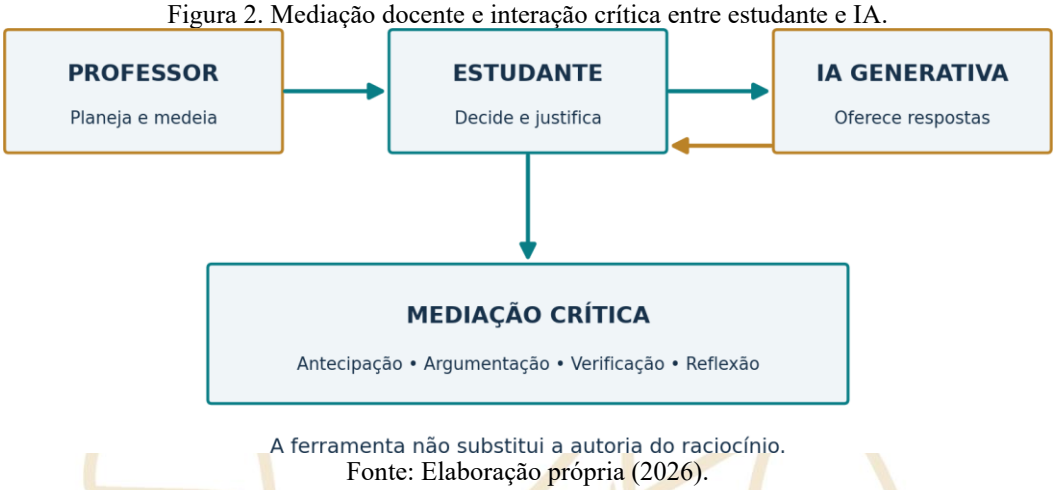
Considere a equação $\sqrt{(x + 5)} = x - 1$. Antes de elevar ao quadrado, é necessário reconhecer as restrições $x \geq 1$. O quadrado de ambos os lados produz $x + 5 = x^2 - 2x + 1$, ou $x^2 - 3x - 4 = 0$, cujas raízes algébricas são $x = 4$ e $x = -1$. A verificação na equação original mostra que somente $x = 4$ satisfaz as condições.

Uma resposta automatizada que apresente ambas as raízes como soluções fornece oportunidade para discutir a diferença entre transformação necessária e equivalência. A aprendizagem não se resume à fatoração: inclui a compreensão de que elevar ao quadrado pode introduzir soluções estranhas. O professor pode avaliar três evidências: identificação prévia do domínio, explicação do risco lógico da transformação e teste final na equação original. A discussão coletiva permite comparar a confiança retórica de uma resposta gerada com sua validade formal.

4.6 EXEMPLO DIDÁTICO III: ESTATÍSTICA E INTERPRETAÇÃO

Uma turma apresenta notas 2, 3, 3, 4 e 18 em uma atividade cuja escala admite esses valores. A média é 6 e a mediana é 3. Embora ambas estejam corretamente calculadas, a média isolada não descreve adequadamente a posição típica do conjunto devido ao valor extremo. A tarefa pode solicitar que a IA indique uma medida representativa e que os estudantes examinem a justificativa. Se a ferramenta afirmar que a média é necessariamente “a melhor” medida, o grupo deverá contestar essa generalização a partir da distribuição observada. O objetivo metacognitivo consiste em escolher critérios de adequação, e não repetir uma regra fixa sobre média ou mediana. O exemplo mostra que uma resposta numericamente correta pode sustentar interpretação insuficiente. A validação matemática exige relacionar procedimentos ao contexto, aos dados e ao propósito da análise.

Figura 2. Mediação docente e interação crítica entre estudante e IA.



Fonte: Elaboração própria (2026).

4.7 RUBRICA FORMATIVA E AVALIAÇÃO DA AUTONOMIA

Propõe-se uma rubrica preliminar com quatro dimensões: **planejamento, justificativa, verificação e reflexão.** Cada dimensão pode ser observada em quatro níveis: 1 — não evidencia o processo; 2 — evidencia parcialmente, com apoio intenso; 3 — evidencia de modo consistente, com apoio pontual; 4 — evidencia com independência e capacidade de transferência. A atribuição de níveis deve basear-se em registros de resolução, explicações e respostas a problemas novos, nunca somente em declarações de satisfação. No planejamento, observa-se a identificação de dados, restrições e estratégia antes da IA. Na justificativa, avalia-se a coerência entre passos e propriedades. Na verificação, procura-se evidência de teste independente e detecção de erros. Na reflexão, examina-se a capacidade de nomear revisões e aplicar o critério a outro problema. Essa rubrica não constitui escala validada; sua confiabilidade entre avaliadores, validade de construto e sensibilidade a mudanças precisam ser investigadas. Para um estudo empírico futuro, recomenda-se dupla correção de produções anonimizadas, análise de concordância e comparação de tarefas com e sem assistência tecnológica.

4.8 CONDIÇÕES DE IMPLEMENTAÇÃO EM ESCOLAS PÚBLICAS

A adoção do ciclo AAVR não exige acesso individual e permanente à internet. O professor pode apresentar duas respostas impressas, uma válida e outra com falha argumentativa, e solicitar que os estudantes decidam qual aceitar. Esse desenho preserva a atividade central de verificação e evita excluir alunos sem dispositivos.

Em turmas heterogêneas, pares podem alternar funções de solucionador, crítico e relator, com rodízio para impedir que um estudante concentre o trabalho intelectual. A tutoria entre colegas pode

ajudar a tornar explícitas decisões, mas deve ser acompanhada de avaliação individual para distinguir aprendizagem compartilhada de dependência do parceiro. A escola deve estabelecer orientações sobre privacidade, acesso e autoria. Não se recomenda inserir nomes, imagens, avaliações individualizadas ou informações pessoais de menores em serviços externos sem base institucional adequada. Também é importante documentar qual ferramenta e versão foram utilizadas, pois seus resultados podem variar ao longo do tempo.

4.9 CONDIÇÕES DE EVIDÊNCIA: O QUE OS ESTUDOS PERMITEM CONCLUIR

É necessário distinguir três perguntas avaliativas: a ferramenta aumenta o número de respostas corretas enquanto está disponível? A interação melhora a qualidade das explicações e da revisão de erros? O estudante mantém essa capacidade quando a assistência é retirada? A primeira pergunta exige medidas de desempenho; a segunda, análise de processos; e a terceira, tarefas de transferência e retenção. Sem a separação, o ganho de eficiência pode ser confundido com autonomia.

Revisões recentes relatam resultados promissores de IAG em contextos educacionais, embora não uniformes. O achado não equivale à demonstração de melhora da metacognição: os estudos sintetizados variam quanto a contexto, modalidade de uso e desfechos. Além disso, médias agregadas não eliminam diferenças entre estudantes ou práticas docentes.

Sardi *et al.* (2025) realizaram revisão sistemática sobre IA generativa, autorregulação e pensamento crítico. O trabalho amplia a discussão sobre processos de aprendizagem, mas seus resultados abrangem contextos educacionais diversos. Portanto, não podem ser transportados automaticamente para estudantes de Matemática da Educação Básica. A generalização requer atenção ao nível escolar, à natureza dos problemas e à forma de avaliação.

O relatório da UNESCO (Miao; Holmes, 2023) acrescenta uma dimensão normativa que estudos de eficácia isolados não resolvem: uma atividade pode apresentar ganhos de curto prazo e, simultaneamente, suscitar problemas de privacidade, equidade ou dependência. A qualidade da intervenção deve ser julgada por um conjunto de critérios, não apenas pela média de acertos.

4.10 MATRIZ DE ALINHAMENTO ENTRE AÇÃO DIDÁTICA E EVIDÊNCIA OBSERVÁVEL

No movimento **Antecipar**, a evidência principal é uma produção individual anterior à consulta: estimativa, representação, hipótese ou plano de solução. Sua função é registrar o conhecimento inicial

e evitar que a resposta gerada substitua a formulação do problema. Uma antecipação vaga, como “vou calcular”, é menos informativa que a identificação explícita de grandezas, restrições e estratégias.

No movimento **Argumentar**, são solicitadas razões matemáticas verificáveis. Uma justificativa de proporcionalidade deve explicitar a relação entre as grandezas; uma justificativa algébrica deve apontar as propriedades utilizadas. A quantidade de palavras não é critério suficiente. Explicações breves podem ser rigorosas; textos extensos podem apenas repetir a linguagem do sistema.

No movimento **Verificar**, o estudante testa a consistência de soluções próprias e automatizadas. A evidência pode consistir em substituição na expressão original, construção de contraexemplo, estimativa de ordem de grandeza ou comparação entre representações. A validação precisa ser independente da afirmação de confiança da ferramenta.

No movimento **Refletir**, a evidência mais relevante é a transferência: diante de um problema análogo, sem acesso à IA, o estudante identifica uma regra de decisão e a aplica adequadamente. O registro reflexivo deve explicitar o que mudou, por que mudou e em 10 quais condições a estratégia continua válida.

4.11 PROTOCOLO DE MEDIAÇÃO DOCENTE EM QUATRO MOMENTOS

Antes da aula, o professor seleciona um conceito matemático, antecipa erros plausíveis e define qual parte da tarefa exige raciocínio independente. Também prepara respostas alternativas, inclusive uma deliberadamente incorreta, sem atribuir falsamente a uma ferramenta resultados que não foram produzidos por ela. Caso use respostas reais de IA, registra a data, a plataforma e as condições da interação.

Durante a tentativa individual, os estudantes escrevem uma primeira solução e identificam o ponto em que estão incertos. Esse registro evita a impressão retrospectiva de que já conheciam o procedimento apresentado pela ferramenta.

O docente recolhe evidências suficientes para reconhecer estratégias distintas e dúvidas recorrentes. Na discussão, pares confrontam argumentos e utilizam propriedades matemáticas para decidir entre respostas. O professor intervém com perguntas sobre hipóteses, domínio, unidades, operações inversas e contraexemplos, em vez de simplesmente anunciar a resposta correta. O foco permanece na justificação, e não na persuasão textual da IA. Ao final, uma tarefa curta e independente permite observar se o critério foi apropriado. A avaliação combina acerto, clareza da justificativa e

capacidade de revisão. Em caso de dificuldades persistentes, o docente reorganiza o ensino; não interpreta automaticamente o insucesso como resistência à tecnologia.

4.12 EXEMPLO DIDÁTICO IV: PORCENTAGENS SUCESSIVAS

Um produto de R$ 200,00 recebe aumento de 20% e depois desconto de 20%. O valor final é R$ 192,00, pois 200 × 1,20 × 0,80 = 192. A resposta intuitiva “voltou a R$ 200,00” confunde percentuais aplicados sobre bases distintas. Antes de consultar qualquer sistema, o estudante pode prever se as variações se anulam e justificar sua hipótese. A discussão confronta dois raciocínios: somar algebricamente as taxas (+20% − 20% = 0) e compor os fatores multiplicativos (1,20 × 0,80 = 0,96). A verificação pode usar um exemplo menor, uma tabela ou um diagrama de barras. A reflexão pede que o estudante formule a condição em que um desconto posterior reverteria exatamente o aumento inicial: após aumento de 20%, seria necessário desconto de 1/6 do novo preço, aproximadamente 16,67%. Esse exemplo permite avaliar compreensão de base percentual, capacidade de contestar respostas plausíveis e transferência para situações de juros, inflação ou reajustes. Não se pressupõe que a IA necessariamente erre; o professor pode introduzir uma hipótese incorreta para que os estudantes a examinem criticamente.

4.13 LIMITES CONCEITUAIS DA PROPOSTA AAVR

O ciclo AAVR é uma organização didática propositiva, não uma teoria geral de aprendizagem nem uma escala psicométrica. A sequência das quatro ações não assegura, por si só, mudança cognitiva. Resultados dependem da qualidade do problema, do repertório prévio, da intervenção docente, das oportunidades de revisão e das condições materiais da escola.

A dimensão **Antecipar** pode gerar registros superficiais se o estudante não tiver conhecimentos básicos; **Argumentar** pode se transformar em mera reprodução verbal; Verificar pode ficar restrito à conferência mecânica de contas; **Refletir** pode produzir autoavaliações genéricas. Em cada etapa, portanto, a qualidade da evidência deve ser examinada, e não apenas a presença formal de uma ficha preenchida.

Outra limitação é a possível diferença entre avaliação individual e atividade coletiva. Um grupo pode construir justificativa correta sem que todos os integrantes a compreendam. Para investigar autonomia, recomenda-se combinar interações colaborativas com tarefas individuais sem assistência.

O modelo deve ser tratado como hipótese pedagógica a ser refinada e testada, não como intervenção comprovadamente eficaz.

4.14 RUBRICA ANALÍTICA PARA AVALIAÇÃO DE JUSTIFICATIVAS

Complementarmente à rubrica formativa de 4.7, esta rubrica analítica especifica o objeto de cada julgamento: interpretação do problema, justificação de estratégias, validação matemática e reflexão sobre erros. A primeira rubrica organiza níveis gerais de acompanhamento; esta segunda orienta a leitura de evidências escritas. Nenhuma delas constitui escala psicométrica validada, e ambas requerem critérios previamente apresentados aos estudantes e calibração entre avaliadores.

Na justificação, uma resposta baseada apenas na autoridade da ferramenta difere de uma explicação que relaciona operações e propriedades. Na validação, conferir o gabarito é distinto de produzir uma prova, um contraexemplo ou uma estimativa independente. Na reflexão, dizer “errei a conta” fornece menos informação do que localizar a hipótese incorreta e formular um procedimento para situações análogas.

O professor pode comparar produções do mesmo estudante ao longo do tempo sem atribuir à rubrica propriedades métricas não demonstradas. Quando diferentes docentes utilizarem o instrumento, convém discutir exemplos âncora e divergências de classificação. A interpretação dos registros deve considerar linguagem, acessibilidade, familiaridade com o conteúdo e oportunidades efetivas de aprendizagem.

4.15 EXEMPLO DIDÁTICO V: GENERALIZAÇÃO ALGÉBRICA E CONTRAEXEMPLO

Considere a afirmação: “A soma de dois números ímpares é sempre ímpar”. Uma resposta de IA pode apresentar uma justificativa verbal persuasiva, mas matematicamente falsa. O estudante deve antecipar a paridade do resultado, argumentar por meio de exemplos e formalizar a verificação: se os ímpares são $2a + 1$ e $2b + 1$, então sua soma é $2(a + b + 1)$, portanto par.

A etapa **Verificar** admite dois caminhos complementares. Um contraexemplo, como $3 + 5 = 8$, basta para refutar a afirmação universal. A demonstração algébrica explica por que a soma é par para quaisquer inteiros a e b. A distinção entre refutação e demonstração é central: um caso desfavorável invalida uma generalização, mas exemplos favoráveis isolados não a comprovam.

Na etapa **Refletir**, a turma compara as estruturas lógicas das frases “sempre”, “existe” e “às vezes” e analisa a nova afirmação “o produto de dois ímpares é ímpar”. A tarefa de transferência, realizada sem IA, pede a demonstração de $(2a + 1)(2b + 1) = 2(2ab + a + b) + 1$.

O foco não é a rapidez de resposta, mas a independência na escolha de argumentos.

4.16 EXEMPLO DIDÁTICO VI: ESTATÍSTICA E LEITURA CRÍTICA DE RESPOSTAS

Uma turma apresenta as notas 4, 5, 5, 6 e 10. A média é 6 e a mediana é 5. Pergunta-se qual medida representa melhor o desempenho típico e se uma resposta automatizada que apresente apenas a média é suficiente. O estudante deve antecipar o efeito do valor 10 sobre a média, explicar o procedimento de ordenação e discutir a finalidade de cada medida.

O cálculo isolado não encerra a investigação. Se o objetivo for representar o centro aritmético para uma análise de pontos totais, a média pode ser pertinente. Se o objetivo for descrever a nota central menos sensível ao extremo, a mediana fornece outra perspectiva. A decisão depende da pergunta e da distribuição; não existe escolha universal sem contexto.

Uma sequência de *prompts* pode solicitar à IA uma interpretação, depois uma crítica da própria interpretação e, por fim, uma comparação com o julgamento dos estudantes. Essa estratégia não dispensa conferência humana: o sistema pode repetir o mesmo erro em diferentes respostas. A evidência de autonomia aparece quando o aluno justifica a escolha da medida e consegue transferir o critério a outro conjunto de dados.

Quadro 1. Sequência didática AAVR aplicada à leitura crítica em estatística.

Fases do Ciclo	Ação Didática e Interação	Objetivo Pedagógico / Mediação	Evidências Observáveis
1. DESAFIO	**Contextualizar o problema**: Analisar as notas de uma turma (ex: 4, 5, 5, 6 e 10) e determinar qual medida representa melhor o desempenho típico (média ou mediana).	Apresentar um conjunto de dados com um valor extremo explícito (a nota 10) para forçar uma análise para além da mecânica do cálculo.	*(Não aplicável a esta etapa inicial)*
2. ANTECIPAR	**Registrar estimativa própria**: O estudante deve antecipar o efeito do valor extremo sobre a média antes de consultar qualquer sistema.	Evitar que a resposta automatizada substitua a formulação e a interpretação inicial do problema.	Registo individual da previsão do comportamento das medidas estatísticas antes da consulta à IA.
3. ARGUMENTAR	**Justificar a escolha**: Explicar o procedimento de ordenação e discutir a finalidade de cada medida no contexto do problema.	Deslocar o foco do cálculo exato para o julgamento dos critérios de adequação da medida (centro aritmético vs. nota central menos sensível a extremos).	Explicação verbal ou escrita relacionando a medida estatística com a finalidade da análise.
4. VERIFICAR	**Confrontar com a IA**: Solicitar à IA uma interpretação e analisá-la criticamente, contestando a generalização caso o sistema afirme que a média é sempre suficiente.	Orientar a turma com comandos sequenciais (pedir uma interpretação e depois uma crítica à mesma) para mostrar que a máquina pode repetir o erro.	Capacidade de contestar e invalidar a interpretação da IA com base na distribuição observada.
5. REFLETIR	**Revisar e Transferir**: Formular a conclusão de que a decisão depende da pergunta e da distribuição, e transferir o critério a outro conjunto de dados.	Avaliar a autonomia confirmando se o estudante não memorizou uma regra fixa e consegue justificar a escolha autonomamente.	Justificação da escolha da medida num novo conjunto de dados de forma independente e sem IA.

Fonte: elaboração própria (2026).

4.17 FORMAÇÃO DOCENTE E CONDIÇÕES INSTITUCIONAIS

A implementação pedagógica responsável exige formação que integre conhecimentos matemáticos, didáticos, tecnológicos e éticos. Saber elaborar comandos para um sistema conversacional não equivale a reconhecer falhas em uma demonstração ou a identificar quando uma explicação viola o nível de abstração esperado para determinada série. A competência profissional decisiva permanece a capacidade de selecionar problemas, antecipar obstáculos conceituais e avaliar evidências de compreensão.

A gestão escolar deve explicitar regras de uso, políticas de privacidade e alternativas para estudantes sem acesso doméstico. A UNESCO (Miao; Holmes, 2023) recomenda abordagem centrada no ser humano, apropriada à idade e atenta à proteção de dados. Em consequência, uma atividade que exija cadastro individual em serviço externo não deve ser pressuposta como condição universal de participação.

Uma possibilidade de implementação com menor exposição é o professor projetar respostas previamente selecionadas, sem inserir dados pessoais de estudantes, e conduzir debate coletivo. Outra é disponibilizar versões impressas de soluções corretas e incorretas para análise comparativa. Em ambos os casos, o valor didático reside na investigação matemática, não no acesso obrigatório à plataforma.

Para enfrentar o desafio da resistência docente e dos diferentes níveis de literacia digital, a formação contínua deve deslocar o foco do domínio instrumental da tecnologia para a valorização da experiência didática que o professor já possui. O ciclo AAVR, por centrar-se na validação matemática e não no funcionamento algorítmico da ferramenta, oferece um porto seguro: o docente não precisa de ser um especialista em inteligência artificial para avaliar se uma justificação gerada apresenta falhas lógicas. A capacitação deve, portanto, privilegiar metodologias de mentoria entre pares e oficinas de planeamento conjunto, onde professores mais familiarizados com a IAG geram os exemplos e os partilham com o grupo.

Adicionalmente, encorajar os docentes a iniciarem a aplicação do ciclo através de respostas previamente impressas – dispensando a interação em tempo real com o *software* durante a aula – reduz substancialmente a ansiedade tecnológica. Esta abordagem permite que o professor conduza o debate crítico com confiança, focando-se exclusivamente na mediação pedagógica e na argumentação matemática em que já é proficiente.

4.18 LIMITAÇÕES DA EVIDÊNCIA E CRITÉRIOS PARA INFERÊNCIA

A literatura de síntese recente sugere benefícios potenciais, condicionados às características das intervenções e das avaliações. A magnitude sintetizada deve ser interpretada à luz da heterogeneidade das intervenções, dos conteúdos e dos instrumentos de medida. Não autoriza concluir que todos os estudantes ou escolas experimentarão benefício semelhante.

Uma distinção metodológica é indispensável: desempenho em teste imediatamente após uma intervenção não equivale a retenção de longo prazo; frequência de interação com IA não equivale a monitoramento metacognitivo; satisfação com uma ferramenta não equivale a autonomia intelectual. Para testar o ciclo AAVR, seria necessário operacionalizar cada construto, utilizar medidas independentes e relatar limitações de amostragem e contexto.

O presente estudo não calcula um efeito próprio, não apresenta uma nova metanálise e não afirma que a sequência proposta tenha sido testada. Sua contribuição consiste em transformar questões conceituais em critérios didáticos explícitos e hipóteses passíveis de avaliação. A clareza desses limites é parte constitutiva da validade argumentativa do artigo.

4.19 EVIDÊNCIAS RECENTES SOBRE AUTORREGULAÇÃO E SUPORTE METACOGNITIVO

A discussão sobre inteligência artificial e metacognição precisa considerar estudos que investiguem diretamente processos de aprendizagem autorregulada, em vez de inferi-los a partir de notas. Uma revisão sistemática publicada em Computers & Education (2025; DOI: 10.1016/j.compedu.2025.105465) trata do desenho de ambientes de aprendizagem autorregulada com inteligência artificial generativa e de direções para pesquisas futuras. Sua pertinência ao presente trabalho é conceitual: reforça a necessidade de explicitar mecanismos de regulação, sem demonstrar por si só eficácia de uma sequência específica para a Educação Básica.

Um estudo quase experimental publicado no British Journal of Educational Technology (2025; DOI: 10.1111/bjet.13599) investigou apoio metacognitivo em ambientes com IA generativa envolvendo 68 universitários, distribuídos entre condição com apoio explícito e condição sem perguntas metacognitivas. Embora a população não corresponda à Educação Básica, o delineamento evidencia a importância de comparar a presença ou ausência de orientações reflexivas, e não apenas a presença da ferramenta. A transposição para crianças e adolescentes permanece hipótese a ser examinada.

Jin, Osman e Arsad (2026) apresentam, em Information, uma metanálise sobre efeitos da inteligência artificial generativa na aprendizagem autorregulada (DOI: 10.3390/info17101028). Sua pertinência está na aproximação com processos autorregulatórios; contudo, o presente artigo não transfere automaticamente conclusões agregadas para o ciclo AAVR, cuja eficácia específica ainda não foi testada. A heterogeneidade dos contextos e instrumentos avaliativos limita extrapolações para a Educação Básica.

4.20 MATRIZ DE CORRESPONDÊNCIA ENTRE OBJETIVOS, EVIDÊNCIAS E AVALIAÇÃO

Para que a proposta **Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir** seja avaliável, cada fase deve corresponder a uma produção observável:

- Na antecipação, solicita-se previsão de resultado, identificação de dados e justificativa de estratégia antes de consultar qualquer ferramenta. O registro pode ser analisado quanto à plausibilidade, não somente ao acerto;
- Na argumentação, o estudante explicita relações matemáticas e condições de validade; a avaliação focaliza coerência, uso de propriedades e clareza dos encadeamentos;
- Na verificação, o estudante confronta uma solução apresentada pela IA com procedimentos independentes, como substituição, estimativa, representação gráfica ou contraexemplo. Uma verificação autêntica não consiste em perguntar novamente à mesma ferramenta se a resposta está correta.
- Na reflexão, o estudante identifica a origem de divergências, relata a mudança de estratégia e explicita o que conseguiria fazer sem assistência. O registro reflexivo deve mencionar decisões matemáticas concretas, evitando declarações genéricas de satisfação.

A coleta de evidências pode combinar produções escritas individuais, protocolos de resolução, tarefas equivalentes sem IA e rubricas de justificativa. Um desenho futuro deve prever avaliação inicial, aplicação supervisionada e teste de transferência posterior, para distinguir ganho imediato, retenção e autonomia. A matriz é uma especificação didática proposta neste artigo, e não um instrumento psicométrico validado.

Figura 3. Sequência didática ilustrativa de aplicação do AAVR.



Fonte: elaboração própria (2026).

4.21 EXEMPLO DE ATIVIDADE COM ANÁLISE DE ERRO E TRANSFERÊNCIA

Considere a afirmação: “um desconto de 20% seguido de aumento de 20% devolve o preço original”. A antecipação pede que o estudante julgue a afirmação e registre uma previsão sem calculadora nem IA. Na argumentação, escolhe um preço inicial P e escreve 0,8P multiplicado por 1,2, obtendo 0,96P. A conclusão matemática é que o preço final corresponde a 96% do inicial, isto é, uma redução líquida de 4%.

Na verificação, o professor pode apresentar uma resposta artificialmente equivocada que soma as taxas e conclui variação nula. O estudante precisa localizar o erro: os percentuais sucessivos têm bases diferentes. Uma segunda verificação usa P = 100, que se transforma em 80 e depois em 96. Na reflexão, o estudante descreve por que a soma direta das porcentagens falha e formula a regra geral para fatores multiplicativos sucessivos. Como transferência, apresenta-se situação nova: aumento de 25% seguido de desconto de 20%. O estudante deve reconhecer que 1,25 multiplicado por 0,8 resulta em 1, demonstrando retorno ao valor inicial. Esse contraste impede memorizar que qualquer par de taxas opostas sempre gera perda e exige atenção às relações multiplicativas. O professor pode comparar justificativas com e sem IA, sem tomar o simples acerto como medida suficiente de metacognição.

A atividade é ilustrativa e não representa dados coletados em escola. Seu valor é oferecer uma tarefa auditável, com resultado matemático demonstrável e critérios de análise transferíveis a outros conteúdos, como proporcionalidade, equações e estatística.

4.22 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA, NEURODIVERSIDADE E METACOGNIÇÃO MATEMÁTICA: ESTRATÉGIAS INCLUSIVAS DE APLICAÇÃO DO CICLO AAVR

A presente seção amplia a discussão desenvolvida no artigo Inteligência artificial generativa e metacognição matemática: caminhos para a autonomia intelectual na educação básica, incorporando a perspectiva da educação inclusiva à proposta pedagógica **Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir (AAVR).**

A abordagem considera estudantes com diferentes perfis neurocognitivos, especialmente aqueles com Transtorno do Espectro Autista (TEA), Transtorno do Déficit de Atenção/Hiperatividade (TDAH), dislexia e discalculia.

O propósito não consiste em apresentar a inteligência artificial generativa (IAG) como recurso terapêutico ou solução universal para dificuldades de aprendizagem, mas examinar como sua utilização, sob mediação docente, pode contribuir para a construção de ambientes matemáticos acessíveis, reflexivos e intelectualmente participativos.

4.22.1 Neurodiversidade e aprendizagem matemática: fundamentos e implicações pedagógicas

A neurodiversidade constitui uma perspectiva de reconhecimento da variabilidade dos modos de funcionamento cognitivo humano. No contexto educacional, essa compreensão exige superar modelos pedagógicos excessivamente padronizados, nos quais todos os estudantes são submetidos às mesmas formas de apresentação, processamento e demonstração do conhecimento, independentemente de suas necessidades de acessibilidade.

A aprendizagem matemática envolve processos interdependentes, como memória de trabalho, atenção, representação simbólica, raciocínio lógico, linguagem, percepção visuoespacial e monitoramento metacognitivo. Entretanto, a participação desses processos não ocorre de maneira uniforme entre os indivíduos, tornando inadequada a associação automática entre determinada condição neurodesenvolvimental e um padrão específico de desempenho matemático.

Estudantes autistas, por exemplo, podem apresentar perfis bastante heterogêneos de comunicação, processamento sensorial, interesses e organização de atividades. Estudantes com TDAH podem necessitar de apoios para organização, gerenciamento do tempo e manutenção da atenção. Na dislexia, determinadas demandas de leitura e compreensão de enunciados podem constituir barreiras adicionais, enquanto a discalculia envolve dificuldades persistentes relacionadas ao processamento e à aprendizagem de habilidades numéricas.

Essas descrições não devem ser interpretadas como características universais, tampouco como indicadores de capacidade intelectual. O planejamento pedagógico inclusivo deve considerar a avaliação das barreiras efetivamente encontradas pelo estudante, seus conhecimentos prévios, suas preferências de aprendizagem e os recursos disponíveis.

Nesse cenário, a metacognição matemática adquire relevância particular. Planejar uma resolução, reconhecer dificuldades, selecionar representações, verificar resultados e refletir sobre procedimentos são ações que podem ser ensinadas por diferentes vias de participação e expressão.

A autonomia intelectual, portanto, não deve ser confundida com a ausência de apoio. Um estudante pode demonstrar julgamento matemático próprio utilizando recursos acessíveis, comunicação alternativa, materiais manipuláveis ou instrumentos tecnológicos. O critério decisivo permanece a autoria das decisões matemáticas e a capacidade de justificar conclusões, e não a realização de todas as etapas sem adaptações.

4.22.2 Potencialidades da inteligência artificial generativa para a educação matemática inclusiva

A incorporação da inteligência artificial generativa à educação matemática inclusiva pode ampliar as possibilidades de diversificação dos recursos didáticos, especialmente quando utilizada para reorganizar enunciados, apresentar explicações graduais, produzir exemplos contextualizados e oferecer diferentes formas de representação de conceitos.

Essas possibilidades dialogam com o Desenho Universal para a Aprendizagem (DUA), cuja versão 3.0, publicada pelo CAST (2024), contempla múltiplos meios de engajamento, representação, ação e expressão. Tal perspectiva busca reduzir barreiras de acesso e participação, sem pressupor que uma única estratégia pedagógica seja adequada a todos os estudantes.

Uma revisão sistemática de Liao e Lee (2025), envolvendo 21 estudos publicados entre 2022 e 2025, identificou possibilidades de utilização da IAG para apoiar planejamento de tarefas, escrita acadêmica, autorregulação e outras atividades de estudantes neurodivergentes no Ensino Superior. Entretanto, a população investigada e a diversidade dos contextos impedem a transferência direta desses resultados para o ensino de Matemática na Educação Básica.

No âmbito do ciclo AAVR, propõe-se que a tecnologia desempenhe uma função de apoio à acessibilidade cognitiva e comunicacional. A ferramenta pode apresentar um problema por etapas, esclarecer vocabulário, organizar informações em tabelas e sugerir representações alternativas, desde que não substitua as decisões matemáticas que constituem os objetivos da aprendizagem.

A personalização, nesse sentido, deve ser compreendida como adequação pedagógica supervisionada, e não como identificação automatizada das capacidades cognitivas do estudante. A IAG não deve realizar diagnósticos, classificar perfis neuropsicológicos ou determinar isoladamente percursos educacionais.

4.22.3 Adaptações inclusivas do ciclo Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir

A flexibilidade do ciclo AAVR permite formular adaptações didáticas que preservem seus quatro movimentos fundamentais. Entretanto, tais adaptações devem partir das necessidades observadas e das preferências individuais, e não exclusivamente de categorias diagnósticas.

No movimento **Antecipar**, recomenda-se apresentar o problema com organização visual clara, explicitação dos objetivos, identificação dos dados relevantes e possibilidade de registro por diferentes meios. Estudantes que necessitem de apoio à organização podem utilizar roteiros de planejamento, enquanto aqueles que encontrem barreiras na leitura podem receber enunciados acessíveis ou apoio de leitura.

Na etapa **Argumentar**, o professor pode permitir que a justificativa matemática seja expressa oralmente, por escrito, por meio de diagramas, recursos manipuláveis ou tecnologias assistivas. Essa flexibilidade não significa reduzir a exigência conceitual, mas distinguir a qualidade do raciocínio das barreiras associadas à modalidade de comunicação.

Durante **Verificar**, a confrontação de respostas pode ocorrer mediante operações inversas, tabelas, esquemas, materiais concretos ou exemplos numéricos. A IA pode oferecer uma segunda representação do problema, mas a confirmação da validade matemática deve permanecer vinculada a critérios independentes.

No movimento **Refletir**, recomenda-se utilizar perguntas orientadoras e registros acessíveis, permitindo ao estudante identificar o procedimento utilizado, reconhecer possíveis erros e explicar como resolveria uma situação semelhante.

O **Quadro 2** sintetiza possibilidades de adaptação pedagógica, sem atribuir estratégias obrigatórias a qualquer condição neurodesenvolvimental.

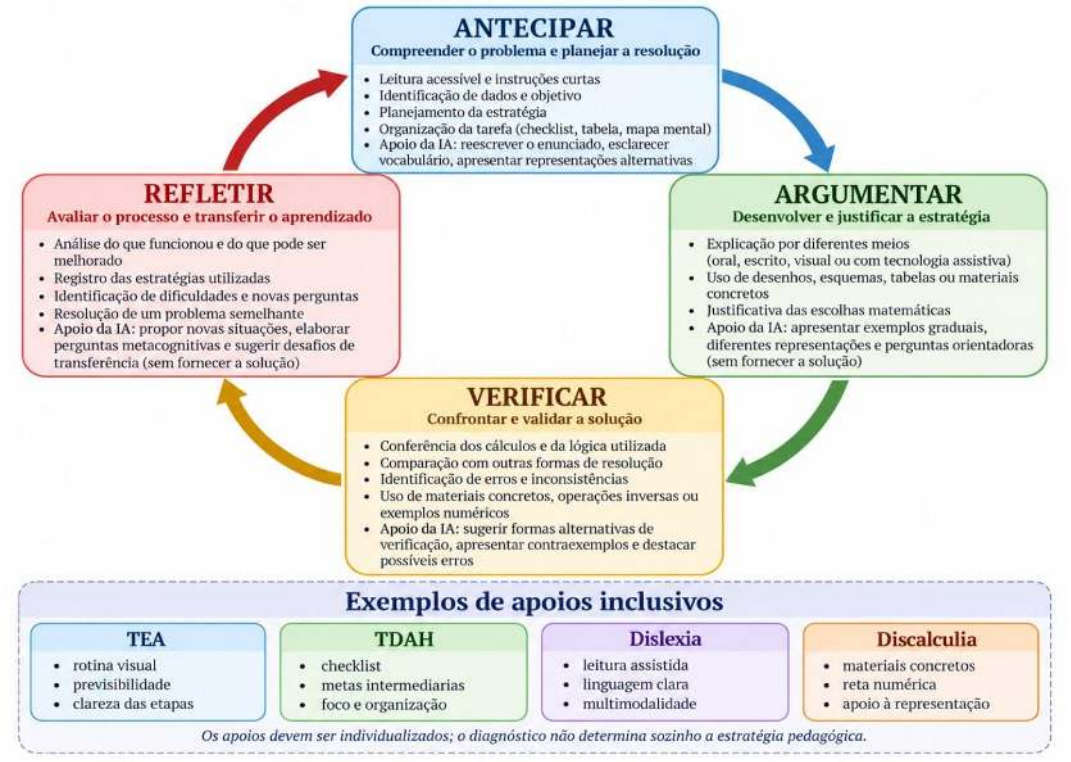
Quadro 2. Possibilidades de adaptação do ciclo AAVR para a educação matemática inclusiva

Perfil ou barreira identificada	Possibilidade de adaptação	Etapa do AAVR
Estudantes autistas que necessitem de maior previsibilidade	Rotina visual, instruções explícitas e antecipação das transições	Antecipar
Estudantes com TDAH que apresentem dificuldades de organização	Fragmentação das tarefas, *checklist* e metas intermediárias	Antecipar e Refletir
Estudantes com dislexia que encontrem barreiras de leitura	Leitura assistida, apresentação multimodal e esclarecimento de vocabulário	Antecipar e Argumentar
Estudantes com discalculia que necessitem de apoio à representação numérica	Materiais concretos, reta numérica, tabelas e representações graduais	Argumentar e Verificar
Estudantes com dificuldades de comunicação escrita	Explicação oral, esquemas, recursos acessíveis ou comunicação alternativa	Argumentar e Refletir

Fonte: elaboração própria (2026), como proposição didática fundamentada nos princípios do DUA (CAST, 2024).

A adoção dessas estratégias não implica que estudantes com determinado diagnóstico apresentem necessariamente as barreiras descritas. Também não se deve confundir a presença de recursos de apoio com dependência intelectual. A autonomia pode manifestar-se por meio de decisões matemáticas próprias realizadas em ambientes acessíveis.

Figura 4. Aplicação inclusiva do ciclo AAVR na aprendizagem matemática: estratégias pedagógicas e apoios para estudantes neurodivergentes.



Fonte: Elaboração do autor com auxílio de inteligência artificial generativa (ChatGPT/OpenAI, 2026).

4.22.4 Proposta de atividade matemática inclusiva com mediação da IA generativa

Para exemplificar a aplicação inclusiva do ciclo AAVR, propõe-se uma atividade envolvendo porcentagem, conteúdo presente na Educação Básica e já discutido nas seções anteriores deste artigo.

Situação-problema: um produto custa R$ 100,00 e recebe desconto de 20%. Posteriormente, seu preço sofre aumento de 20%. O valor final será igual ao preço inicial?

A atividade pretende desenvolver a compreensão de porcentagens sucessivas, a capacidade de comparar procedimentos e a identificação de erros matemáticos plausíveis.

4.22.4.1 Etapa 1 — Antecipar

O estudante registra uma previsão inicial. O professor pode oferecer uma tabela com os campos preço inicial, desconto, novo preço e aumento, sem apresentar os resultados.

4.22.4.2 Etapa 2 — Argumentar

O estudante explica sua hipótese por meio de cálculos, desenhos, tabela ou exposição oral. O professor solicita a identificação da base sobre a qual cada porcentagem incide.

4.22.4.3 Etapa 3 — Verificar

O professor apresenta uma resposta hipotética incorreta, segundo a qual o desconto e o aumento se anulam. Os estudantes verificam que R$ 100,00 passam a R$ 80,00 e, após aumento de 20%, a R$ 96,00.

4.22.4.4 Etapa 4 — Refletir

O estudante identifica por que o preço não retorna ao valor inicial e resolve uma situação semelhante, preferencialmente sem assistência da IA, mantendo os recursos de acessibilidade necessários.

A IAG pode ser utilizada pelo professor na preparação de versões acessíveis do enunciado. Um comando ilustrativo seria:

Reescreva este problema de porcentagem em quatro instruções curtas, preservando todos os dados e a dificuldade matemática. Apresente uma tabela vazia para organizar os cálculos. Não forneça a solução. Inclua duas perguntas que ajudem o estudante a verificar seu próprio raciocínio.

O material produzido deverá ser revisado pelo docente quanto à correção matemática, adequação linguística e acessibilidade. A atividade pode ser realizada com fichas impressas, sem interação direta dos estudantes com plataformas digitais.

Esse exemplo é uma proposição didática ilustrativa, não um relato de intervenção ou resultado empírico.

4.22.5 Avaliação metacognitiva inclusiva e limites da proposta

A avaliação da aprendizagem matemática de estudantes neurodivergentes exige distinguir barreiras de acesso, formas de comunicação e evidências efetivas de compreensão conceitual.

No contexto do AAVR, a avaliação deve preservar os mesmos construtos centrais discutidos no artigo — planejamento, argumentação, verificação e reflexão —, admitindo diferentes meios para sua demonstração.

Uma explicação oral matematicamente consistente, por exemplo, pode oferecer evidências de argumentação tão pertinentes quanto uma resposta escrita. Da mesma forma, o uso de uma tabela acessível ou de um recurso manipulável não invalida a demonstração de autonomia intelectual, desde que o estudante seja responsável pelas decisões e justificativas solicitadas.

Para fins formativos, recomenda-se observar a identificação dos dados relevantes, a escolha fundamentada de estratégias, a capacidade de reconhecer inconsistências e a transferência de critérios matemáticos para novas situações.

A comparação entre produções deve considerar os apoios disponibilizados, a equivalência das tarefas e as oportunidades anteriores de aprendizagem. A retirada da inteligência artificial, quando utilizada para investigar transferência, não deve implicar a retirada de tecnologias assistivas ou adaptações de acessibilidade necessárias à participação do estudante.

Importa reconhecer, ainda, que o uso de sistemas generativos envolve riscos relacionados à confiabilidade das respostas, privacidade, acessibilidade desigual e possível substituição do raciocínio. As orientações da UNESCO (Miao; Holmes, 2023) reforçam a necessidade de supervisão humana, proteção de dados e adequação etária na integração educacional dessas tecnologias.

Por fim, a presente seção não demonstra empiricamente que o ciclo AAVR melhora a metacognição de estudantes neurodivergentes. Sua contribuição consiste em formular condições pedagógicas e critérios de acessibilidade que poderão orientar futuras investigações.

Conclui-se que uma proposta de educação matemática inclusiva não deve estabelecer a independência absoluta como requisito de autonomia intelectual. O objetivo é criar condições para que diferentes estudantes possam compreender, justificar, questionar e revisar conhecimentos matemáticos, com os apoios necessários e sem transferir à inteligência artificial a responsabilidade pelas conclusões.

5 AGENDA DE PESQUISA E LIMITAÇÕES

A principal limitação deste artigo é sua natureza teórico-propositiva e a seleção não exaustiva de fontes. Não se realizou revisão sistemática, avaliação formal de risco de viés nem análise de dados de estudantes. A interpretação dos trabalhos citados não equivale a demonstração causal de eficácia do AAVR. Os exemplos matemáticos e as figuras têm finalidade didática e ilustrativa; não representam resultados de aplicação em sala de aula.

Assim, não se apresentam percentuais próprios de seleção, tabelas artificiais de estudos incluídos ou estimativas causais sobre o ciclo AAVR. Uma investigação futura poderia comparar grupos com acesso imediato à IA, acesso após tentativa individual e atividades sem IA, mantendo conteúdos e condições de ensino comparáveis. Seria pertinente medir desempenho imediato, retenção após algumas semanas, justificativas escritas e capacidade de detectar erros introduzidos em soluções. Uma diferença em acertos durante o uso não deve ser confundida com transferência para tarefas independentes.

Outras perguntas relevantes incluem: estudantes de diferentes anos escolares se beneficiam igualmente de perguntas socráticas[2] ? Quais intervenções reduzem aceitação acrítica de respostas? A verificação por pares aumenta a qualidade dos argumentos? Como a experiência docente modera o efeito da ferramenta? Quais adaptações preservam equidade em escolas com conectividade limitada?

Pesquisas com estudantes exigem planejamento ético e observância das normas institucionais aplicáveis. A proposta atual, por se limitar à análise bibliográfica e à formulação de um modelo, não envolve coleta de dados pessoais nem intervenção em sala de aula.

[2] *Em vez de dar respostas prontas ou ensinar por transmissão direta, quem utiliza o método responde ou conduz a conversa com novas perguntas. O objetivo é fazer com que a pessoa examine suas próprias ideias, reconheça contradições, teste suposições e chegue a uma conclusão por conta própria.*

5.1 DELIMITAÇÃO DA CONTRIBUIÇÃO E ORIGINALIDADE CONCEITUAL

O ciclo Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir (AAVR) deve ser compreendido como uma organização didática proposta neste artigo, e não como uma teoria inédita dos processos metacognitivos. Planejamento, monitoramento, avaliação e reflexão já integram tradições consolidadas de pesquisa sobre aprendizagem autorregulada. O diferencial aqui defendido é a articulação explícita dessas ações com o exame crítico de respostas produzidas por inteligência artificial generativa em tarefas matemáticas.

A etapa Antecipar solicita uma previsão individual e critérios de plausibilidade antes da consulta. Argumentar exige explicitar propriedades, representações e justificativas. Verificar confronta a solução com estimativas, casos-limite, procedimentos alternativos e possíveis erros da IA. Refletir registra a mudança de compreensão e propõe transferência para problema novo. Essa sequência é flexível e não implica que todos os estudantes percorram as etapas linearmente.

O nome AAVR e sua organização são apresentados como formulação pedagógica do manuscrito. Não se afirma exclusividade histórica, prioridade de invenção nem ausência de propostas semelhantes: uma reivindicação robusta de originalidade requer busca de anterioridade mais abrangente, inclusive em literatura não indexada e em outros idiomas.

5.2 CRITÉRIOS DE IMPLEMENTAÇÃO E INDICADORES OBSERVÁVEIS

Uma avaliação compatível com a finalidade do AAVR deve distinguir produto (resposta correta), processo (qualidade das justificativas) e independência (desempenho em nova tarefa sem apoio automatizado). O registro de uma previsão antes da IA constitui evidência de antecipação; a explicitação de propriedades matemáticas, de argumentação; a identificação de uma inconsistência, de verificação; e a revisão fundamentada do próprio procedimento, de reflexão. Nenhum indicador isolado comprova autonomia intelectual.

O professor pode propor três momentos de avaliação: **resolução inicial sem IA, discussão orientada com IA e resolução de transferência novamente sem IA.** Para reduzir a confusão entre familiaridade com a ferramenta e aprendizagem matemática, as tarefas devem ter dificuldade comparável, objetivos explícitos e critérios de correção estáveis. O acompanhamento deve considerar acessibilidade, conectividade, faixa etária e proteção de dados.

Para operacionalizar a avaliação da autonomia, recomenda-se distinguir quatro indicadores: **(i) antecipação** — registro de estratégia própria antes da consulta à IA; **(ii) argumentação** — justificativa

matemática com encadeamento verificável; **(iii) verificação** — identificação fundamentada de erros ou lacunas em respostas da ferramenta; **(iv) reflexão** — revisão da estratégia e explicitação do que seria transferível a um problema novo. Esses indicadores constituem uma proposta de avaliação, não uma escala psicométrica validada. A evidência de autonomia exige tarefas realizadas sem assistência, preferencialmente com avaliação posterior de retenção e transferência.

5.3 LIMITES DE INFERÊNCIA E IMPLICAÇÕES PARA A PESQUISA

As revisões sobre modelos de linguagem na educação documentam possibilidades e riscos gerais (KASNECI *et al.*, 2023), enquanto a orientação internacional recomenda supervisão humana e salvaguardas institucionais (MIAO; HOLMES, 2023). Revisões sobre IA generativa e autorregulação, por sua vez, não demonstram automaticamente efeitos sobre autonomia matemática em contextos escolares específicos (SARDI *et al.*, 2025; JIN; OSMAN; ARSAD, 2026). Consequentemente, o artigo não pode atribuir ao AAVR efeitos causais sobre ansiedade, memória de trabalho, notas ou neuroplasticidade. Esses desfechos exigiriam instrumentos próprios, delineamento apropriado e, quando pertinente, aprovação ética. A presente contribuição é a explicitação de hipóteses pedagógicas testáveis e de critérios de observação, sem alegar resultados empíricos inexistentes.

Estudos de síntese sobre o emprego do ChatGPT na educação (Deng *et al.*, 2025) e sobre inteligência artificial generativa, autorregulação e pensamento crítico (Sardi *et al.*, 2025) indicam possibilidades pedagógicas, mas não autorizam equiparar desempenho assistido a autonomia intelectual. Para examinar a hipótese de contribuição do ciclo AAVR, pesquisas futuras deverão combinar tarefas com e sem IA, análise das justificativas matemáticas, medidas posteriores de retenção e critérios explícitos de transferência. A presente revisão não constitui validação empírica desse ciclo.

A revisão de Turmuzi, Azmi e Kertiyani (2026) discute oportunidades de feedback e apoio à aprendizagem, assim como limitações do raciocínio automatizado e riscos de dependência da ferramenta. Esse conjunto de resultados não demonstra, por si só, que o ciclo AAVR melhore a autonomia intelectual. Para testar a proposta, seria necessário comparar estudantes em condições pedagógicas equivalentes, avaliar a qualidade das justificativas produzidas sem assistência da IA e verificar a manutenção dos resultados após a intervenção.

O mapeamento de Muhamad Sani, Omar e Abdullah (2026), por sua vez, aponta lacunas na distribuição das pesquisas por nível de ensino. Como o objetivo deste artigo é a Educação Básica, essa

assimetria recomenda cautela na transposição de conclusões entre níveis de ensino. O mapeamento descreve tendências e lacunas, não mede a eficácia do AAVR.

5.4 DIFERENCIAÇÃO CONCEITUAL DO CICLO AAVR

O ciclo AAVR não reivindica ter descoberto os processos de planejamento, monitoramento e avaliação da aprendizagem. Sua contribuição proposta é organizá-los em quatro operações explicitamente observáveis durante interações com sistemas generativos: antecipação independente, argumentação matemática, verificação crítica de respostas e reflexão com transferência. O caráter autoral reside na arquitetura didática específica e na denominação do ciclo, não na exclusividade histórica de seus componentes.

Em relação à resolução tradicional de problemas, a antecipação e a verificação preservam operações matemáticas já reconhecidas na prática pedagógica; o elemento distintivo pretendido é exigir que a consulta à IA não substitua a primeira formulação do estudante nem a checagem posterior. Em relação à autorregulação, a reflexão documenta decisões e erros, mas não permite presumir mudança estável de comportamento. Em relação à tutoria por IA, a argumentação obriga o aluno a apresentar razões próprias e a tratar o texto gerado como hipótese examinável, e não como autoridade epistêmica.

Dessa comparação decorrem critérios de falseabilidade pedagógica. Se estudantes submetidos ao AAVR apenas copiarem explicações geradas, não melhorarem a detecção de erros e não resolverem tarefas novas sem IA, não haverá evidência suficiente de autonomia intelectual. Em sentido contrário, justificativas independentes, identificação consistente de soluções incorretas e transferência para problemas inéditos seriam indicadores promissores, ainda dependentes de instrumentos válidos, comparação apropriada e replicação. Trata-se de critérios propostos para pesquisa futura, não de resultados obtidos neste estudo.

A comparação com modelos consolidados é necessária para delimitar a contribuição. Zimmerman (2002) descreve a autorregulação como processo cíclico com fases de antecipação, desempenho e autorreflexão. Panadero (2017) apresenta uma revisão de seis modelos de aprendizagem autorregulada e evidencia que planejamento, monitoramento e reflexão são dimensões já estabelecidas. Portanto, não se atribui originalidade isolada a essas operações no AAVR. A contribuição específica aqui proposta é uma sequência didática explícita para a interação crítica com respostas de IA generativa em Matemática: antecipar sem consultar a ferramenta, argumentar matematicamente, verificar a

resposta por procedimento independente e refletir sobre a confiabilidade e a transferência do raciocínio. Essa delimitação é conceitual; não constitui demonstração de eficácia ou de prioridade histórica da expressão AAVR.

A comparação teórica aqui realizada é delimitada: coteja o AAVR com modelos consolidados de autorregulação, sem constituir levantamento bibliométrico exaustivo nem certificação de ineditismo da sigla ou da sequência. A contribuição defendida é a articulação didática explícita entre produção individual prévia, argumentação, verificação matemática independente e reflexão após interação com IA. Sua originalidade empírica e seus efeitos sobre a autonomia permanecem questões abertas à investigação.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

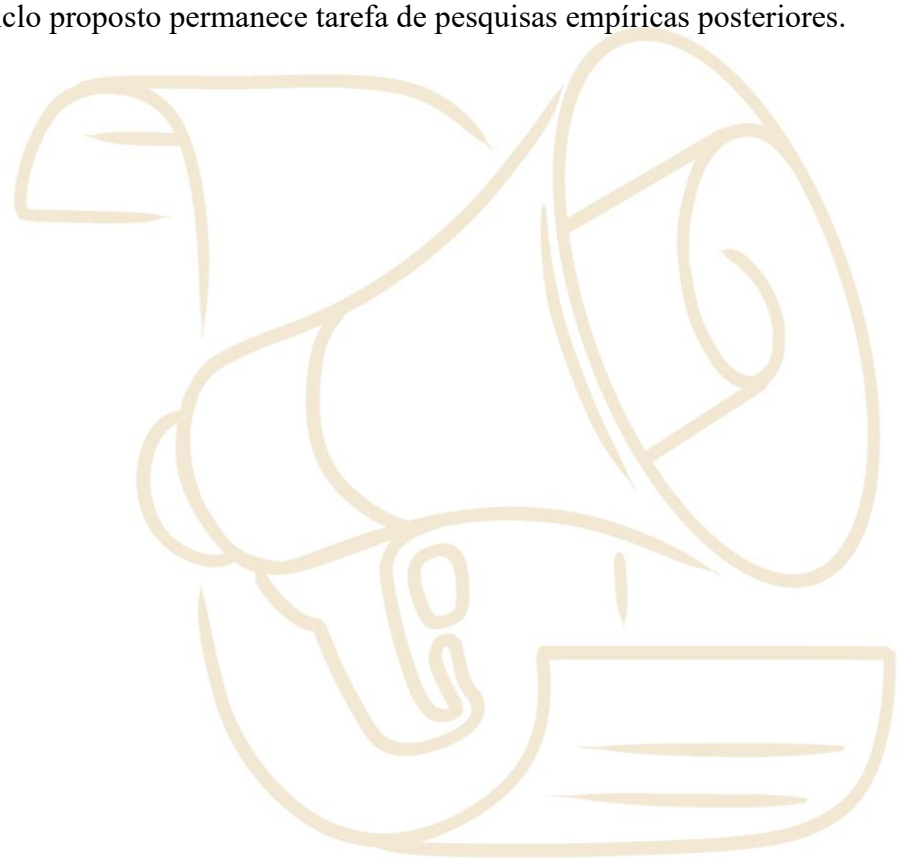
A inteligência artificial generativa pode ampliar oportunidades de explicação, comparação de procedimentos e *feedback* na Educação Matemática, mas a disponibilidade dessas funções não demonstra, por si só, desenvolvimento metacognitivo. O estudante pode acertar mais enquanto consulta uma ferramenta e ainda não ter adquirido critérios para julgar suas respostas de maneira independente.

A contribuição central deste trabalho consiste em distinguir desempenho, autorregulação e autonomia intelectual e propor o ciclo **Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir** como organização didática para preservar a responsabilidade matemática do aprendiz. O modelo atribui à IA o papel de interlocutora falível e ao estudante o papel de agente que formula, justifica e revisa decisões, com mediação docente.

A perspectiva inclusiva amplia as possibilidades de aplicação do ciclo Antecipar–Argumentar–Verificar–Refletir (AAVR), ao reconhecer que estudantes neurodivergentes podem apresentar diferentes necessidades de acessibilidade, organização cognitiva, comunicação e representação matemática. Nesse contexto, a inteligência artificial generativa pode contribuir para a diversificação das estratégias pedagógicas, mediante a adaptação de enunciados, a apresentação de representações alternativas e o apoio à reflexão metacognitiva, sempre sob mediação docente. Ressalta-se, entretanto, que tais possibilidades constituem proposições teórico-pedagógicas, não evidências de eficácia empiricamente comprovada. Sua efetividade demanda investigações futuras que considerem a heterogeneidade dos perfis neurocognitivos, as condições de acessibilidade e os indicadores de autonomia intelectual. Assim, a inclusão educacional deve orientar a aplicação flexível do AAVR,

assegurando que diferentes formas de aprender e expressar o conhecimento sejam reconhecidas, sem comprometer o rigor do raciocínio matemático.

A aplicação responsável demanda atenção à idade, à privacidade, às condições de acesso e à avaliação formativa. Conclui-se que a questão pedagógica mais relevante não é quantas respostas a tecnologia produz, mas que tipo de raciocínio o estudante aprende a sustentar sem depender dela. A validação do ciclo proposto permanece tarefa de pesquisas empíricas posteriores.



REFERÊNCIAS

CAST. Universal Design for Learning Guidelines: version 3.0. 2024. Disponível em: https://udlguidelines.cast.org. Acesso em: 18 out. 2026.

DENG, Ruiqi *et al.* Does ChatGPT enhance student learning? A systematic review and meta-analysis of experimental studies. **Computers & Education,** v. 227, art. 105224, 2025. DOI: 10.1016/j.compedu.2024.105224.

JIN, Yiming; OSMAN, Kamisah; ARSAD, Nurazidawati Mohamad. The effects of generative artificial intelligence on self-regulated learning: a meta-analysis. **Information,** v. 17, n. 10, art. 1028, 2026. DOI: 10.3390/info17101028.

KASNECI, Enkelejda *et al.* ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. **Learning and Individual Differences,** v. 103, art. 102274, 2023. DOI: 10.1016/j.lindif.2023.102274.

LIAO, Jiaqi; LEE, Chei Sian. The potential of generative AI in supporting neurodiversity in higher education: a systematic review. **Proceedings of the Association for Information Science and Technology**, v. 62, n. 1, p. 1013–1018, 2025. DOI: https://doi.org/10.1002/pra2.1331.

MIAO, Fengchun; HOLMES, Wayne. **Guidance for generative AI in education and research.** Paris: UNESCO, 2023. DOI: 10.54675/EWZM9535.

MUHAMAD SANI, Nur Syaza Afrina; OMAR, Muhammad Akmal Azri; ABDULLAH, Mohamad Ridhuan. Exploring the role of generative artificial intelligence in transforming mathematics teaching and learning: a systematic mapping review. **Innovative Teaching and Learning Journal,** v. 10, n. 2, p. 155–174, 2026. DOI: 10.11113/itlj.v10.256.

PANADERO, Ernesto. A review of self-regulated learning: six models and four directions for research. **Frontiers in Psychology,** v. 8, art. 422, 2017. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00422.

SARDI, Juli *et al.* How generative AI influences students' self-regulated learning and critical thinking skills? A systematic review. **International Journal of Engineering Pedagogy,** v. 15, n. 1, p. 94–108, 2025. DOI: 10.3991/ijep.v15i1.53379.

TURMUZI, Muhammad; AZMI, Syahrul; KERTIYANI, Ni Made Intan. ChatGPT in school mathematics education: a systematic review of opportunities, challenges, and pedagogical implications. **Teaching and Teacher Education,** v. 170, art. 105286, 2026. DOI: 10.1016/j.tate.2025.105286.

ZIMMERMAN, Barry J. Becoming a self-regulated learner: an overview. **Theory Into Practice,** v. 41, n. 2, p. 64–70, 2002. DOI: https://doi.org/10.1207/s15430421tip4102_2