

COLÉGIO PEDRO II
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA,
EXTENSÃO E CULTURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO
MATEMÁTICA

RODRIGO FORTES MELLO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA:
pontes de confluência

Rio de Janeiro
2024



RODRIGO FORTES MELLO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA:
pontes de confluência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática, ofertado pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Educação Matemática.

Orientadora: Dra. Liliana Manuela Gaspar Cerveira da Costa

Rio de Janeiro

2024

COLÉGIO PEDRO II

PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E CULTURA

BIBLIOTECA PROFESSORA SILVIA BECHER

CATALOGAÇÃO NA FONTE

M527 Mello, Rodrigo Fortes

Inteligência artificial e educação matemática: pontes de confluência /
Rodrigo Fortes Mello. - Rio de Janeiro, 2024.

47 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação
Matemática) – Colégio Pedro II, Pró-Reitoria de Pós-Graduação,
Pesquisa, Extensão e Cultura.

Orientador: Liliana Manuela Gaspar Cerveira da Costa.

1. Matemática – Estudo e ensino. 2. Inteligência artificial. 3.
Tecnologias digitais. 4. Mapeamento sistemático. I. Costa, Liliana
Manuela Gaspar Cerveira da. II. Colégio Pedro II. III Título.

CDD 510

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Simone Alves – CRB7 5692.

RODRIGO FORTES MELLO

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E EDUCAÇÃO MATEMÁTICA:

pontes de confluência

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de História, ofertado pela Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura do Colégio Pedro II, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Ensino de História.

Aprovado em 20 de dezembro de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profa. Dra. Liliana Manuela Gaspar Cerveira da Costa
Colégio Pedro II
Orientadora

Prof. Dr. Humberto José Bortolossi
Universidade Federal Fluminense

Me. Diego Trajan Viug
Colégio Pedro II

Rio de Janeiro
2024

RESUMO

FORTES MELLO, Rodrigo. **Inteligência Artificial e Educação Matemática**: pontes de confluência. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Matemática) – Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, 2024.

Dado o cenário atual, em que o uso e os recursos de Inteligência Artificial (IA) proliferam, perpassando de modo transversal os diversos setores sociais, buscou-se compreender como eles estão sendo apropriados pela Educação Matemática. Com esta finalidade, realizou-se uma pesquisa do tipo Mapeamento Sistemático, que reuniu estudos sobre essas temáticas no contexto brasileiro de pesquisas em educação matemática publicados no período de 2019 a 2024. As estratégias de busca construídas foram empregadas nas bases de dados de publicações listadas pela Sociedade Brasileira de Educação Matemática e pela Sociedade Brasileira de Matemática, e também na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações, no portal de Periódicos da CAPES e na plataforma Scite. Os 158 textos levantados passaram por processo de triagem, resultando em uma amostra final de 13 trabalhos, que foram objeto de análises comparativas de palavras-chave, objetivos, metodologias, resultados e conclusões. Por fim, esses dados foram interpretados, revelando categorias e indicadores que marcam pontos de interesse para futuras expansões desse mapa. Salienta-se que a maior parte da amostra faz propostas mas não as aplica, predominando uma visão utilitarista de IA como ferramenta em que a mais usada é o ChatGPT. Por outro lado, as propostas apresentadas são mais voltadas para os estudantes e a maioria sugere aplicações de IA.

Palavras-chave: inteligência artificial; educação matemática; tecnologias digitais; educação básica no Brasil; mapeamento sistemático.

ABSTRACT

FORTES MELLO, Rodrigo. **Inteligência Artificial e Educação Matemática: pontes de confluência.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Educação Matemática) – Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Pesquisa, Extensão e Cultura, Colégio Pedro II, Rio de Janeiro, 2024.

Given the current scenario, in which the use and resources of Artificial Intelligence (AI) are proliferating, transversally permeating various social sectors, we sought to understand how they are being appropriated by Mathematics Education. To this end, a Systematic Mapping research was carried out, which gathered studies on these themes in the Brazilian context of research in mathematics education published between 2019 and 2024. The search strategies constructed were used in the databases of publications listed by the Brazilian Society of Mathematical Education and the Brazilian Mathematical Society, and also in the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations, in the CAPES Journals portal and in the Scite platform. The 158 texts collected underwent a screening process, resulting in a final sample of 13 works, which were subject to comparative analyses of keywords, objectives, methodologies, results and conclusions. Finally, these data were interpreted, revealing categories and indicators that mark points of interest for future expansions of this map. It is worth noting that most of the sample makes proposals but does not apply them, with a predominant utilitarian view of AI as a tool, with ChatGPT being the most widely used. On the other hand, the proposals presented are more geared towards students and the majority suggest AI applications.

Keywords: artificial intelligence; mathematical education; digital technologies; basic education in Brazil; systematic mapping.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	UM PASSEIO ATÉ ÀS ORIGENS DA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL	9
2.1	Educação Matemática	9
2.1.1	Tecnologias digitais e Educação Matemática	12
2.2	Inteligência Artificial	14
3	PONTES DE CONFLUÊNCIA ENTRE EM e IA	20
3.1	Detalhamento metodológico	20
3.2	Caminhos da pesquisa	22
3.2.1	Pesquisa com apoio de IA	22
3.2.2	Limitações e estratégias	23
3.3	Tratamento e análise de dados	24
3.3.1	Comparativo de palavras-chave	27
3.3.2	Comparativo de objetivos	29
3.3.3	Comparativo de metodologias	32
3.3.4	Comparativo de resultados e conclusões	35
3.4	Interpretação de dados	39
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

Diante dos avanços recentes nos campos da Inteligência Artificial (IA), dentre os quais destaca-se o acesso ampliado ao público geral a produtos tecnológicos potentes – como Bard/Gemini, Bing/Copilot, Midjourney, NightCafe, WOMBO Dream e outros –, as investigações com esse recorte temático tornam-se mais relevantes por atenderem a uma maior demanda. Junto às afinidades pessoais e profissionais do autor deste trabalho, alia-se a procura de buscar melhor entendimento sobre as potencialidades das associações entre educação e tecnologias digitais, especialmente nos campos da Educação Matemática (EM) na educação básica.

A fim de evitar noções confusas misturadas a modismos e estratégias de marketing, interessa definir o que esta pesquisa compreende por IA: um campo de desenvolvimento tecnológico cujo foco é a reprodução artificial da inteligência de seres orgânicos, notadamente a humana.

Ferramentas de acesso facilitado específicas para matemática, como Photomath e Symbolab, baseiam-se em IA para permitir que estudantes (e professores) encontrem rapidamente resultados de cálculos complexos, ao mesmo tempo que disponibilizam formas de resolução de problemas, descrevendo suas etapas. Já sistemas de tutoria inteligente como Albert, Aleks, Assistments, MATHia, PAM e Squirrel propõem ensino individualizado de matemática conforme as necessidades e os interesses de cada aluno, o que ocorre similarmente com plataformas adaptativas como Prodigy Math Game. Há ainda opções que, englobando múltiplas áreas, são utilizadas também nos estudos de matemática, como Brainly, ChatGPT, Khan Academy.

Entendendo que a utilização desses recursos provoca transformações nos processos de ensino e de aprendizagem e nos próprios indivíduos, surgem questões sobre potenciais de desenvolvimento, danos, impactos cognitivos, desafios éticos, dentre outras. Assim, esta pesquisa buscou reunir algumas respostas encontradas por outras investigações.

Colocou-se como questão central compreender possíveis padrões nas pesquisas recentes envolvendo educação matemática e inteligência artificial na educação básica do Brasil. A hipótese a ser explorada é de que há um número cada vez maior de propostas de utilização desses recursos tecnológicos integrando-se no cotidiano escolar, sendo possível elencar e comparar uma quantidade razoável de

apropriações que contribuam adequadamente para os processos de ensino e de aprendizagem de Matemática. Assim, busca-se organizar o que dizem e para onde apontam essas investigações, publicadas nos últimos cinco anos.

Definiu-se como objetivo geral desta pesquisa mapear estudos sobre IA e educação matemática no contexto da educação básica brasileira, publicados no período de 2019 a 2024.

Sobressaem como objetivos específicos do presente estudo:

- Estabelecer variáveis para matriz comparativa;
- Discutir parâmetros comuns e diferenças notáveis;
- Refletir sobre resultados e cenários presentes e futuros.

O problema colocado se apresenta relevante ao se ponderar a pervasividade e os papéis sociais das tecnologias digitais na contemporaneidade, junto às apropriações e mediações tecnológicas que se destacam nas relações pessoais. Em especial, a IA vem se disseminando nos cotidianos escolares acompanhada de muitas incertezas e expectativas positivas e negativas. Assim, esta investigação se justifica por buscar elucidar cenários compostos a partir de pesquisas recentes, destacando possibilidades, limites e lacunas.

A pesquisa efetivou-se como exploratória e bibliográfica, de caráter quali-quantitativo. Foi realizada revisão de literatura do tipo Mapeamento Sistemático, indicada para “[...] mapear e categorizar a literatura existente sobre um tópico específico, identificando lacunas na literatura de pesquisa a partir das quais se pode iniciar revisões adicionais e/ou pesquisas primárias”¹ (Grant; Booth, 2009, p. 97, tradução nossa).

O mapeamento se concentrou em artigos científicos, dissertações, teses ou livros publicados no período de 2019 a 2024, escritos em português, cujo foco temático abarque práticas de educação matemática associadas à IA no âmbito da educação básica brasileira. A partir dos assuntos relacionados, elaboraram-se chaves e expressões de busca para compor as estratégias de consulta a bases de dados.

Foram utilizadas as bases de publicações sugeridas pela Sociedade Brasileira de Educação Matemática e pela Sociedade Brasileira de Matemática, da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e do portal de Periódicos da

¹ No original: “[...] to map out and categorize existing literature on a particular topic, identifying gaps in research literature from which to commission further reviews and/or primary research”.

CAPES. Também foram testadas algumas ferramentas de IA que pudessem apoiar a pesquisa, optando-se afinal pela plataforma Scite.

Os dados coletados foram tabulados, analisados e comparados conforme palavras-chave, objetivos, metodologias, e resultados e conclusões. A interpretação dos resultados possibilitou agregar os trabalhos em algumas categorias e construir indicadores para outros estudos.

Este trabalho está estruturado em quatro partes: Capítulo 1, de introdução e contextualização da temática; Capítulo 2, de discussão sobre o referencial teórico envolvendo EM, IA, e as relações entre tecnologias digitais e EM; Capítulo 3, de descrição da metodologia, apresentação de dados e análises, e interpretação de resultados; e Capítulo 4, de Considerações Finais, consolidação e indicação de desdobramentos.

No capítulo de referencial teórico, são apresentados desenvolvimentos da Educação Matemática no mundo e, em particular no Brasil, (D'Ambrosio, 2012; Fiorentini; Lorenzato, 2009; Kilpatrick, 1994; Miguel; Garnica; Iglioni; D'Ambrósio, 2004; Valente, 2021) e da Inteligência Artificial (Barbosa; Bezerra, 2020; Russell; Norvig, 2021; Teixeira, 1990; Vicari, 2021), descrevendo-se históricos e comentando-se noções e modelos dessas áreas, e também são abordadas as relações entre as tecnologias digitais e a EM (Borba; Silva; Gadanidis, 2014; Chiari, 2015, 2019).

No capítulo de metodologia, dados e resultados, descreve-se a revisão de literatura do tipo Mapeamento Sistemático (Grant e Booth, 2009; Kitchenham; Charters, 2007) e discorre-se sobre os procedimentos de coleta, análise e interpretação da amostra de 13 trabalhos (Batista; Martins, 2022; Matos, 2022; Borba; Balbino Junior, 2023; Villan; dos Santos, 2023; Bernardo, 2023; Santos; Sant'ana; Sant'ana, 2023; Lima Costa; Ferreira da Silva; Ribeiro; Pinheiro Chaves; Alves de Oliveira Costa, 2023; Moreira; Vieira; Silva; Santana, 2023; Santos; Gomes; Vilaça, 2023; Bonangelo, 2023; Brandão, 2023; de Araújo; Alves; de Oliveira; Marques; Kimura; Carretero; da Silva; de Brito, 2024; Gomes, 2024).

Por fim, espera-se que a pesquisa contribua para a construção de um quadro sistematizado dos aspectos analisados e oportunize novos estudos.

2 UM PASSEIO ATÉ ÀS ORIGENS DA EDUCAÇÃO MATEMÁTICA E DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Neste capítulo são apresentados temas e conceitos de interesse para a pesquisa, delineando-se as bases teóricas que dão suporte às análises e interpretações sobre o objeto. Também são retratados desenvolvimentos históricos das áreas de EM e de IA, bem como das tecnologias digitais em relação à EM, destacando-se alguns elementos importantes para discussão.

2.1 Educação Matemática

O início da atividade matemática é difícil de precisar, geralmente se optando por encaixá-lo em intervalos de tempo conforme as evidências arqueológicas encontradas até o momento. Sabe-se que as bases de conceitos de números, grandezas e formas foram surgindo ao longo da atividade humana pré-histórica e que a estruturação dessa área de conhecimento acompanha a história das civilizações (Boyer; Merzbach, 2011), pois seus desenvolvimentos são entrelaçados às necessidades dos diversos povos.

Pela perspectiva do programa etnomatemática, os saberes e fazeres matemáticos são interligados com os de outras formas de conhecimento, como artes e ciências (D'Ambrosio, 2012). Deriva-se que a história da EM também tem raízes pré-históricas, posto que esses saberes e fazeres demandam ensinar e aprender sobre eles, e entendendo-se que a participação em quaisquer práticas sociais envolvem letramentos para as mesmas (Gee, 2010).

Em um estudo elaborado por tópicos autônomos sobre EM (Miguel; Garnica; Iglioni; D'Ambrósio, 2004), D'Ambrosio aponta que o ensino de matemática como tal é tema de pensadores desde a Antiguidade, destacando o livro VII da *República* de Platão como evidência e assinalando a Idade Média, o Renascimento e o início da Idade Moderna como marcos temporais nos quais questões relacionadas a esse tema ganharam mais relevo. No entanto, “[...] é somente a partir das três grandes revoluções da modernidade [...] que as preocupações com a educação matemática da juventude começam a tomar corpo” (Miguel; Garnica; Iglioni; D'Ambrósio, 2004, p. 71).

Essas revoluções geraram reorganizações do trabalho, dos arranjos produtivos e da sociedade como um todo, conseqüentemente transformando o cenário da educação em geral e em suas áreas específicas. O aumento da demanda por mão de obra qualificada fomentou novas formas de educar.

A identificação da educação matemática como uma área prioritária na educação ocorre na transição do século XIX para o século XX. Os passos que abrem essa nova área de pesquisa são devidos a John Dewey (1859-1952), ao propor em 1895, em seu livro *Psicologia do número*, uma reação contra o formalismo e uma relação não tensa, mas cooperativa, entre aluno e professor, e uma integração entre todas as disciplinas (Miguel; Garnica; Iglori; D'Ambrósio, 2004, p. 71).

Outro marco importante é a fundação da Comissão Internacional de Instrução Matemática em 1908, que apoiou a “consolidação da educação matemática como uma subárea da matemática e da educação, de natureza interdisciplinar [...]” (Miguel; Garnica; Iglori; D'Ambrósio, 2004, p. 72). A comissão era liderada por Felix Klein, segundo o qual – nas palavras de D'Ambrosio – “[...] o professor deve, por assim dizer, ser um diplomata, levando em conta o processo psíquico do aluno, para poder agarrar seu interesse. [...] o professor só terá sucesso se apresentar as coisas de uma forma intuitivamente compreensível” (Miguel; Garnica; Iglori; D'Ambrósio, 2004, p. 72).

Com base em outros autores, Fiorentini e Lorenzato (2009) destacam três pontos-chave precursores para que a EM viesse a se formar e se estabelecer como campo profissional e científico, entre o final do século XIX e o começo do XX: a iniciativa de universidades para formar professores de educação básica; a deflagração de um movimento internacional de reformulação curricular, liderado por Felix Klein; e a realização de estudos experimentais por psicólogos sobre como crianças aprendem matemática. Já nas décadas de 1950 e 1960, avanços significativos ocorreram em decorrência do Movimento da Matemática Moderna, com seus resultados positivos e negativos.

No Brasil, a EM vai se configurando como tal nas décadas de 1970 e 1980, instituindo-se a Sociedade Brasileira de Educação Matemática (SBEM) e programas de pós-graduação na área. Fiorentini e Lorenzato (2009) também lembram que, entre 1900 e o final dos anos 1960, matemáticos e professores de matemática e de outras áreas contribuíram de alguma forma para o campo ainda não delimitado no país, sendo considerados pioneiros.

Sobre a EM nacional, Valente (2021) aponta que “[...] a emergência desse novo campo tem [...] como marcos referenciais a realização do Encontro Nacional de Educação Matemática (I ENEM), em 1987, em São Paulo, e, no ano seguinte, no Paraná, a reunião entre professores que criaram a [SBEM]”. Ao longo das décadas de 1980 e 1990, as comunidades brasileiras de educadores matemáticos e de ciência em EM cresceram, ampliando-se a abrangência de suas investigações e a quantidade de profissionais, grupos de pesquisa, grupos de trabalho, eventos e periódicos especializados.

Ao longo do século XX, instituições foram sendo formadas e desenvolvendo pesquisas no cenário internacional e nacional. Comparativamente, D’Ambrosio nota similaridades entre os objetivos da American Educational Research Association e da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação (ANPEd), assim como entre os do National Council of Teachers of Mathematics e os da SBEM. Analogamente, equipara o Special Interest Group in Research in Mathematics Education da AERA ao GT 19-EM da ANPEd, e o Research Advisory Committee da NCTM com o Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática (SIPEM) da SBEM.

Os estudos e discussões desses e de inúmeros outros grupos ao redor do mundo deram matéria a um conjunto de abordagens, metodologias e teorias direta ou indiretamente relacionados à EM. Kilpatrick (1994) associa essas tendências em EM a sete temáticas mais frequentes nos anos 1990, listadas por Fiorentini e Lorenzato (2009, p. 41):

- processo ensino-aprendizagem da matemática;
- mudanças curriculares;
- utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs) no ensino e na aprendizagem da matemática;
- prática docente, crenças, concepções e saberes práticos;
- conhecimentos e formação/desenvolvimento profissional do professor;
- práticas de avaliação;
- contexto sociocultural e político do ensino-aprendizagem da matemática.

Destacam-se do conjunto de tendências as propostas: da Engenharia Didática, investigada por Michèle Artigue; das Mentalidades Matemáticas, de Jo Boaler; do Contrato Didático, de Guy Brousseau; dos Obstáculos Epistemológicos, de Guy Brousseau com base nos trabalhos de Gaston Bachelard; das Situações Didáticas, também de Guy Brousseau; da Transposição Didática, de Yves Chevallard; do

Programa Etnomatemática, de Ubiratan D'Ambrosio; dos Registros de Representação Semiótica, de Raymond Duval; da Educação Matemática Crítica, ligada a Marilyn Frankenstein e Ole Skovsmose; da Resolução de Problemas, pesquisada por George Pólya e Lourdes Onuchic; do modelo de van Hiele, de Dina van Hiele-Geldof e Pierre van Hiele; dos Campos Conceituais, de Gérard Vergnaud; dos Três Mundos da Matemática, de David Tall.

Percebe-se a partir desse breve histórico de desenvolvimento da EM, a vasta amplitude conceitual e temática da área em seus propósitos. Para Fiorentini e Lorenzato (2009, p. 9),

[...] embora o objeto de estudo da EM ainda se encontre em processo de construção, [...] de modo geral, [...] envolve as múltiplas relações e determinações entre ensino, aprendizagem e conhecimento matemático em um contexto sociocultural específico.

Ressalta-se a importância da EM para a plena formação de indivíduos críticos, aptos a ler e escrever o mundo com suas tecnologias, visando exercer a cidadania de forma consciente e promover paz e equidade. Essa perspectiva se alinha à de D'Ambrosio (2012, p. 72):

Ao conceituar educação como uma estratégia da sociedade para facilitar que cada indivíduo atinja o seu potencial e para estimular cada indivíduo a colaborar com outros em ações comuns na busca do bem comum, estou reconhecendo que a missão de educadores é levar essa estratégia ao máximo. Como educadores de uma certa disciplina, nós a usamos como um instrumento para cumprir essa missão [...].

2.1.1 Tecnologias digitais e Educação Matemática

No atual cenário globalizado, hiperconectado e midiaticado, mostra-se imprescindível para a finalidade descrita o aprofundamento das relações entre EM e tecnologias digitais. Nesse sentido, interessa a noção empregada por alguns pesquisadores do campo, de que se estabelece entre humanos e tecnologias no geral “[...] uma relação dialética a partir da qual são mutuamente transformados, processo denominado por Borba e Villarreal (2005) de moldagem recíproca, enfatizamos a simbiose e a dinamicidade que existem entre esses elementos” (Chiari, 2019, p. 354).

Borba, Silva e Gadanidis (2014) exploram esse conceito, alçando um entendimento de *pensar-com-tecnologias* com base nesse imbricamento de humanos

e não humanos. Esses pesquisadores propõe uma estruturação das tecnologias digitais em EM segmentada em quatro fases: a primeira nos anos 1980, em que se utilizava o software Logo, desenvolvido alicerçado no construcionismo de Seymour Papert, e se instaura um processo de instalação de laboratórios de informática nas escolas; a segunda, já na década de 1990, quando se ampliou o consumo de computadores pessoais, e a geometria dinâmica apareceu como estratégia didática digital por meio de programas como Cabri Géomètre e GeoGebra; a terceira, iniciada por volta de 1999, é marcada pela maior oferta de acesso à internet, cursos online e ambientes virtuais; a quarta começou cerca de 2004, a par com a evolução do hardware, nomeadamente o smartphone, vindo aumentar a velocidade da internet, o que viabilizou o uso de uma série de recursos como aulas online síncronas e *streaming* de aulas pré-gravadas. Os autores dessa organização por quatro fases compreendem que

[...] uma nova fase surge quando inovações tecnológicas possibilitam a constituição de cenários qualitativamente diferenciados de investigação matemática; quando o uso de um novo recurso tecnológico traz originalidade ao *pensar-com-tecnologias*. Esses desenvolvimentos estão intrinsecamente envolvidos com outros aspectos, como a elaboração de novos tipos de problemas, o uso de diferentes terminologias, o surgimento ou aprimoramento de perspectivas teóricas, novas possibilidades ou reorganização de dinâmicas em sala de aula, dentre outros (Borba; Silva; Gadanidis, 2014, p. 37 *apud* Chiari, 2015, p. 43).

Tendo isso em vista, Chiari (2019) sugere que estaria emergindo uma quinta fase junto aos avanços tecnológicos e sua popularização nos meios sociais, elencando elementos distintivos do momento presente, como comunicação ubíqua e usos mais frequentes de ferramentas de realidade aumentada e IA. Isso leva a autora a levantar questionamentos sobre possibilidades e desafios que esse fenômeno é capaz de trazer.

Porém, a quinta fase acabou sendo caracterizada principalmente pelas transformações decorrentes da pandemia de Covid-19, que forçosamente intensificou a presença das tecnologias digitais na EM, conforme Borba *et al.* (2023). Esses autores trabalham com o construto teórico de coletivos de *humanos-com-mídias*, que podem se manifestar em formas como *humanos-com-internet*, *humanos-com-vídeos*, *humanos-com-IA*, entre outras. Esses coletivos percebem, interpretam e pensam de modos diferenciados devido aos processos de moldagem recíproca, apresentando necessidades não previstas em salas de aula tradicionais.

Há muito, D'Ambrosio defendia que, em uma sociedade do conhecimento,

[...] A escola não se justifica pela apresentação de conhecimento obsoleto e ultrapassado e muitas vezes morto. Sobretudo ao se falar em ciências e tecnologia. Será essencial para a escola estimular a aquisição, a organização, a geração e a difusão do conhecimento vivo, integrado nos valores e nas expectativas da sociedade. Isso será impossível de atingir sem a ampla utilização de tecnologia na educação. Informática e comunicações dominarão a tecnologia educativa do futuro (D'Ambrosio, 2012, p. 74).

Assim, vêm à tona investigações sobre IA relacionada à EM que indicam respostas para as questões colocadas. Antes de prosseguir às mesmas, é importante primeiramente traçar alguns pontos a respeito desse produto tecnológico.

2.2 Inteligência Artificial

Tal qual a Matemática e a Educação Matemática, a IA tem origens antigas. Teixeira (1990) expõe que, através dos séculos, surgem histórias sobre criaturas artificiais, manufaturadas ou projetadas de modo que agissem como humanos ou outros animais. Sublinhando não poder separar fato de ficção, o autor cita exemplos como mordomos e flautistas mecânicos, o Golem de Praga e o Pato de Vaucanson.

Esses autômatos, máquinas capazes de se moverem automaticamente, frequentemente têm por finalidade reproduzir os movimentos de seres vivos animados. Com a criação de equipamentos cada vez mais complexos, naturalmente se provocam seus limites, isto é, as definições sobre quais propriedades ou ações inerentes a seres orgânicos são reproduzíveis em seres artificiais.

Ao longo da história, a construção de máquinas pensantes permaneceu sendo uma inspiração que impunha desafios tecnológicos, motivando pesquisas por variados caminhos. Atualmente, esse ideal aparenta estar mais próximo de se concretizar por meio da computação.

Para se construir uma máquina assim, é preciso refletir sobre os conceitos de *pensar* e de *ser pensante*, objetos de estudo de filósofos e cientistas desde a Antiguidade. Os desenvolvimentos tecnológicos de computadores e da IA contribuem para as discussões ao se trazerem à tona novos questionamentos, como exemplifica Teixeira (1990, p. 44-45):

[...] Será que o modo como raciocinamos não é idêntico ao modo como o computador o faz? [...]

Levantar este tipo de questão significa, em outras palavras, perguntar qual é a natureza daquilo que normalmente chamamos de *pensar*. Indagar o que seja aquilo que chamamos de pensamento pode nos levar a formular outras questões ainda mais inquietantes: terá cabimento afirmar que quando um circuito de um computador é acionado e nos fornece o resultado de uma soma, essa máquina está efetivamente pensando? Até que ponto será legítimo afirmar que essas máquinas constituem uma autêntica mecanização dos processos mentais humanos? Não seriam os computadores simples imitações ou simples truques que permitem realizar certas operações – máquinas às quais não poderíamos atribuir todas as características e propriedades de um ser humano?

Grandes saltos foram dados a partir das ideias de Alan Turing. Na década de 1930, ele elaborou um modelo de máquina durante a resolução de um problema matemático denominado *Entscheidungsproblem* (“problema de decisão” em tradução livre), proposto por David Hilbert e Wilhelm Ackermann.

De modo sucinto, Turing demonstrou “[...] através da invenção de sua máquina, que toda e qualquer tarefa que possa ser representada na forma de um procedimento efetivo pode ser mecanizada, ou seja, pode ser realizada por um computador. [...]” (Teixeira, 1990, p. 32-33). Similar à noção geral de algoritmo, um procedimento efetivo pode ser compreendido como “[...] um conjunto finito de instruções não ambíguas que nos dizem o que fazer passo a passo, e que nos garantem a obtenção de um resultado no final” (Teixeira, 1990, p. 32).

O modelo de Turing – além de ajudá-lo a provar a impossibilidade do algoritmo solicitado pelo Entscheidungsproblem – tornou-se basilar para a evolução dos computadores modernos. Circuitos digitais constituem pontes entre hardware e software, efetuando operações encadeadas conforme sequências determinadas. Teixeira (1990, p. 32) explica que

[...] As instruções que damos para a máquina têm de ser executadas passo a passo, formando uma sucessão. Cada vez que uma instrução é executada, a máquina passa de um estado para outro. A mudança de um estado para outro corresponde a uma mudança de configuração. Para se mudar de uma configuração para outra existem certas instruções [...] que estabelecem exatamente aquilo que deve ser feito.

Entender como o funcionamento dos computadores atuais se fundamenta em algoritmos é importante para compreender como os recursos de IA são estruturados logicamente, delineando que tipos de pensamentos e aprendizados conseguem reproduzir. Como sintetiza Teixeira (1990, p. 57-58),

[...] sabemos que o que caracteriza uma máquina de Turing não é o tipo de material ou de substância empregada na sua construção. [...] Isto quer dizer que, em última análise, não é preciso ter um cérebro igual ao nosso para que se tenha um sistema capaz de desenvolver algo parecido com estados mentais. A inteligência não depende da existência de algo como a matéria viva; ela é, antes de tudo, o resultado de maneiras específicas de organizar certas instruções ou preencher certas funções, o que pode ser feito seja por um cérebro, seja por uma máquina de Turing. E é neste sentido que a inteligência poderia ser recriada artificialmente [...].

Para alcançar esse objetivo, a área de IA se funda em conhecimentos de Filosofia, Matemática, Economia, Neurociência, Psicologia, Engenharia da Computação, Teoria de controle e cibernética, e Linguística (Russell; Norvig, 2021). A expressão “inteligência artificial” em si foi oficialmente usada pela primeira vez em 1956, em um evento de dois meses no Dartmouth College que reuniu 10 pesquisadores de diferentes ramos para estudarem sua temática. Dentre os trabalhos apresentados, destaca-se o Logic Theorist, de Allen Newell e Herbert Simon, um sistema programado para provar teoremas matemáticos.

A história da IA é descrita por Russell e Norvig (2021) em oito fases não lineares, posto que algumas são concomitantes: *O início da inteligência artificial* (1943 a 1956); *Entusiasmo inicial, grandes expectativas* (1952 a 1969); *Uma dose de realidade* (1966 a 1973); *Sistemas especialistas* (1969 a 1986); *O retorno das redes neurais* (1986 até o presente), *Raciocínio probabilístico e aprendizagem de máquina* (1987 até o presente), *Grandes volumes de dados* (2001 até o presente) e *Aprendizagem profunda* (2011 até o presente)².

Barbosa e Bezerra (2020) ressaltam que “[...] é pertinente considerar, todavia, que o desenvolvimento da IA não se fez de forma necessariamente progressiva e cumulativa, pois ao passo em que havia avanços havia também obstáculos e recuos [...]”. Essa fala é corroborada pelos períodos de crescimentos contínuos e de “invernos” em IA citados por Vicari (2021).

A esse respeito, Russell e Norvig (2021) explicitam que a indústria de IA cresceu de milhões para bilhões de dólares entre 1980 e 1988, mas logo em seguida viu várias empresas ruírem em um desses “invernos”. Elas não conseguiram atender às altas

² No original: The inception of artificial intelligence (1943–1956); Early enthusiasm, great expectations (1952–1969); A dose of reality (1966–1973); Expert systems (1969–1986); The return of neural networks (1986–present); Probabilistic reasoning and machine learning (1987–present); Big data (2001–present); Deep learning (2011–present).

expectativas que propagaram no mercado, devido a dificuldades técnicas, tecnológicas e de gestão dos sistemas produzidos.

Voltando um pouco nessa linha do tempo, são dignos de nota os trabalhos precursores de Warren McCulloch e Walter Pitts, em 1943, e de Donald Hebb, em 1949. Os dois primeiros produziram um modelo de neurônios artificiais, e o segundo demonstrou uma regra de atualização desses neurônios (aprendizado hebbiano). Em 1950, Marvin Minsky e Dean Edmonds construíram o primeiro computador de rede neural.

No mesmo ano, Turing (1950) publica um artigo em que aborda conceitos essenciais ao campo, como aprendizagem de máquina e aprendizagem por reforço. Em especial, buscando responder ao questionamento sobre se máquinas podem pensar, ele apresenta uma metodologia que ficou conhecida como Teste de Turing. Resumidamente, seu argumento é de que se uma máquina é construída de forma que não se possa diferenciá-la de um ser humano, deve se considerá-la inteligente.

[...] Suponhamos também que ao observar o comportamento desta máquina, constatássemos que ela faz tudo o que um ser humano faz – respondendo a perguntas, fazendo operações aritméticas etc. - e que não tivéssemos meios de distinguir entre o comportamento desta máquina e o de um ser humano qualquer. Neste caso, pergunta Turing, haveria alguma razão para não supor que esta máquina pensa, da mesma maneira que nós, seres humanos, o fazemos? Afinal de contas, qual o critério que usamos habitualmente para supor que nossos semelhantes pensam, a não ser a observação de seu comportamento e suas reações cotidianas? E, mesmo que uma máquina tão perfeita ainda não tenha sido construída hoje em dia, o que impede que no futuro nossa tecnologia avance tanto que ela se torne possível? [...] (Teixeira, 1990, p. 46).

O argumento de Turing é objeto de apoiadores e opositores desde sua concepção. Se por um lado define critérios e métodos para avaliar se uma máquina deve ser considerada pensante ou não, por outro se concentra apenas no comportamento observável, ou seja, na externalidade do suposto pensamento. Dessa maneira, muitas pesquisas em IA se dedicaram a formular modelos de sistemas que manifestassem o resultado do pensar, sem necessariamente pensar.

Outro ponto relevante no desenvolvimento de IA são as diferenças entre os processos de aprendizagem humana e os de máquina. Enquanto os primeiros acontecem pelas interações, mobilizadoras de afetos, entre indivíduos e o meio sociotécnico no qual participam, os segundos ocorrem mediante treinamentos de modelos computacionais associados a determinadas bases de dados. Consonante

noções de Freire, Vygotsky, dentre outros, alinha-se o resumo de Iamarino (2024, 4min10s):

[...] várias tecnologias acabaram ajudando e ficaram, só que nenhuma delas realmente mudou radicalmente um processo [...] humano de aprender. [...] A tutoria e a relação entre quem ensina e quem aprende continuam essencialmente mais importantes do que a tecnologia de suporte.

A própria expressão “*inteligência artificial*” é contestada por neurocientistas como Miguel Nicolelis, que afirma em entrevista a Teixeira (2023):

Do ponto de vista científico, digo isso há anos, e agora Noam Chomsky usa a mesma frase, a inteligência artificial não é nem inteligente nem artificial. Não é artificial porque é criada por nós, é natural. E não é inteligente porque a inteligência é uma propriedade emergente de organismos interagindo com o ambiente e com outros organismos. É um produto do processo darwiniano de seleção natural. O algoritmo pode andar e fazer coisas, mas não são inteligentes por definição.

Isso não significa que esses trabalhos com propostas de modelos devam ser ignorados ou descartados. Pelo contrário, contribuem muito para os estudos não apenas sobre IA, como também para suas áreas fundacionais. Teixeira (1990, p. 60) justifica que “simulações funcionam como modelos, e é pela construção de modelos de nós mesmos que algum dia poderemos vir a conhecer os processos mentais que nos permitem falar, perceber o mundo e efetuar raciocínios [...]”. Sobre os resultados das investigações em IA, o autor pondera que

A construção de réplicas de algumas das atividades mentais humanas alterou profundamente nossas próprias concepções habituais acerca da natureza do conhecimento. Criou-se a possibilidade de construir e testar programas computacionais que simulem aspectos da percepção visual humana e aspectos de nossas atividades linguísticas. Estes programas computacionais ainda não atingiram um grau de aperfeiçoamento que nos permita dizer que simulações perfeitas dessas atividades já tenham sido realizadas. Contudo, é através da tentativa de elaborá-los que passamos a compreender melhor o funcionamento e a natureza dos nossos próprios processos psicológicos envolvidos na percepção, na linguagem e em outras atividades mentais humanas (Teixeira, 1990, p. 59-60).

Evidenciada a importância dos temas e conceitos abordados neste capítulo, recorda-se que há cada vez mais aplicações de IA disponíveis atualmente para fins diversos: veículos autônomos, sistemas generativos, assistentes pessoais, entre uma infinidade de produtos, estão presentes no cotidiano. As pesquisas na área e em

outras inter-relacionadas propiciaram desenvolvimentos teóricos, práticos e tecnológicos em grande quantidade e em um curto espaço de tempo, ocasionando crescimento vertiginoso do número de publicações científicas sobre IA. Diante disso, para o estudo proposto, no próximo capítulo serão apresentados e discutidos alguns trabalhos sobre IA no âmbito da EM brasileira.

3 PONTES DE CONFLUÊNCIA ENTRE EM e IA

Neste capítulo são abordados a fundamentação da metodologia e os procedimentos de coleta, análise e interpretação de dados. Descrevem-se o tipo de pesquisa proposto e as definições dos parâmetros que balizaram as buscas. Relata-se o percurso trilhado por diferentes caminhos, em que foram testadas estratégias construídas gradualmente.

Feito o levantamento de 158 textos, aplicaram-se critérios de inclusão e de exclusão sucessivamente a fim de triar os que seriam mais coerentes com os interesses da pesquisa. Chegou-se a uma amostra de 13 textos, que foram tabulados conforme se detalha na seção 3.3 *Tratamento e análise de dados*.

Em seguida, efetuaram-se análises comparativas de Palavras-chave; Objetivos, Metodologias; e Resultados e Conclusões. Os resultados foram interpretados e agregados em categorias, proporcionando a formação de indicadores de possíveis pontos relevantes para maiores estudos.

3.1 Detalhamento metodológico

A pesquisa guiou-se como um Mapeamento Sistemático, modo de revisão de literatura caracterizado pelo levantamento amplo, mas não exaustivo, de textos sobre um tópico de interesse, a fim de esquematizar o conhecimento existente em um campo acerca do objeto de investigação. Os parâmetros específicos de cada pesquisa desse tipo são determinados por seus autores, que definem a abrangência do período de tempo, a localização geográfica, o idioma, entre outros.

Conforme a tipologia de revisões apresentada por Grant e Booth (2009), o Mapeamento Sistemático visa explorar e desenhar um campo em torno do tópico em questão, categorizando-se a literatura encontrada, identificando-se lacunas e apontando-se possibilidades de pesquisas futuras. Para Kitchenham e Charters (2007, p. 44, tradução nossa),

Estudos de Mapeamento Sistemático (também conhecidos como Estudos de Escopo) são desenhados para providenciar um panorama amplo de uma área de pesquisa, para estabelecer se existem evidências de pesquisa sobre um tópico e providenciar uma indicação da quantidade dessas evidências. Os resultados de um estudo de mapeamento podem identificar áreas adequadas para se conduzirem Revisões Sistemáticas de Literatura e também áreas

onde um estudo primário é mais apropriado. Estudos de Mapeamento podem ser solicitados por um agente externo antes de se encomendar uma revisão sistemática, de modo a permitir um direcionamento de seus recursos que seja mais efetivo em termos de custos³.

Tendo isso em vista, a escolha desse tipo de revisão parece adequada considerando-se o foco temático desta investigação, voltado a aplicações de ferramentas baseadas em inteligência artificial (IA) em processos de ensino e aprendizagem de matemática no âmbito da Educação Básica brasileira. Conforme vêm se proliferando notícias sobre usos de IA nos variados setores de atividade humana, interessa mapear o cenário mais recente da pesquisa acadêmica com o recorte especificado.

Para tanto, foram propostas como definições iniciais a busca por textos publicados no período de 2019 a 2024, escritos em português, pertencentes aos gêneros de artigos científicos, dissertações, livros ou teses. Os assuntos nessa temática foram traduzidos em chaves de busca representativas, descritas na seção 2.2. Os termos escolhidos foram combinados, junto com similares ou relacionados, em expressões para composição de estratégias de busca.

Essas estratégias foram construídas por tentativa e erro, em uma série de lapidações conforme a quantidade excessiva ou insuficiente de resultados, também determinante para a escolha das bases de dados, das ferramentas de IA de apoio e da plataforma de organização de referências. Após a definição de uma expressão (sequência ou *string*) de busca, fez-se uma leitura inicial e a tabulação dos textos encontrados, aos quais foram aplicados critérios de inclusão e exclusão para triagem dos trabalhos a serem analisados. Os textos que permaneceram foram categorizados, lidos e interpretados para discussão de seus conteúdos.

³ No original: “Systematic Mapping Studies (also known as Scoping Studies) are designed to provide a wide overview of a research area, to establish if research evidence exists on a topic and provide an indication of the quantity of the evidence. The results of a mapping study can identify areas suitable for conducting Systematic Literature Reviews and also areas where a primary study is more appropriate. Mapping Studies may be requested by an external body before they commission a systematic review to allow more cost effective targeting of their resources”.

3.2 Caminhos da pesquisa

O ponto de partida foram as publicações listadas pela Sociedade Brasileira de Educação Matemática (SBEM)⁴ e pela Sociedade Brasileira de Matemática (SBM)⁵, totalizando respectivamente 64 e 8 itens, entre periódicos, sites, boletins eletrônicos e outros. Cabe notar que nem todos são exclusivos da área de Educação Matemática, a exemplo da *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia* e da *Revista Educação e Pesquisa*.

O uso de “*inteligência artificial*” (aspas inclusas) como expressão de busca nas bases desses itens retornou 101 textos, dentre os quais 67 artigos, 32 editoriais, uma matéria e uma notícia, além de resultados não quantificados dos sites *Brasil Escola* e *Só Matemática*. A fim de ampliar os resultados, foram utilizadas outras bases e, em consonância com a temática da investigação, algumas ferramentas de IA. Testaram-se diferentes combinações de termos e expressões para restringir os resultados aos trabalhos relacionados com Educação Matemática.

As bases escolhidas foram a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o portal de Periódicos da CAPES. Ao longo da pesquisa, optou-se pela plataforma de gerenciamento de referências Zotero, inserindo-se os textos encontrados em pastas organizadas por expressões de busca e bases de dados utilizadas.

3.2.1 Pesquisa com apoio de IA

Primeiramente experimentou-se a plataforma Inciteful, que no momento executa a busca apenas por títulos, DOI ou URL de publicações, não oferecendo opção de busca em palavras-chave, resumos ou corpos dos textos. Ela não encontrou trabalhos para “*educação matemática*” “*inteligência artificial*” (expressões usadas simultaneamente) apenas para “*math education*” “*artificial intelligence*” (2 textos) e “*mathematics education*” “*artificial intelligence*” (25). Todos esses resultados foram descartados devido ao critério idiomático.

⁴ Disponíveis em: <https://www.sbembrasil.org.br/sbembrasil/index.php/materiais/periodicos/>.

⁵ Disponíveis em: <https://sbm.org.br/publicacoes-periodicos/>.

Tanto Connected Papers quanto Research Rabbit fornecem resultados em parceria com SemanticScholar, logo, nas três plataformas os resultados são os mesmos. As duas primeiras fornecem ferramentas de confecção, visualização e exploração de redes de conexões bibliográficas, possibilitando encontrar uma variedade de publicações relacionadas. Já a última consiste em um mecanismo de busca específico para textos acadêmicos, que disponibiliza um recurso de IA capaz de gerar resumos para esses textos em uma única frase.

No entanto, nenhuma das três dá suporte a operadores booleanos (AND, OR, NOT etc.), o que condiciona o uso. As expressões de busca retornam trabalhos que abordam somente educação matemática, somente inteligência artificial ou ambas. Já a Consensus, outra parceira da SemanticScholar, não se mostrou adequada ao escopo desta pesquisa, pois é direcionada a sumarizar respostas a perguntas feitas por seus usuários.

Elicit encontrou pelo menos 8 resultados (não informou o total), Paper Digest pelo menos 10, SciSpace (typeset.io) pelo menos 10. Após a busca descrita, recorrendo a vários recursos, a plataforma Scite foi escolhida por apresentar o maior número de resultados, 27.

3.2.2 Limitações e estratégias

Um ponto relevante sobre a construção das expressões de busca desta pesquisa é que *educação matemática* muitas vezes não é encontrada nos textos, pois está implícita nos conteúdos que tratam de *ensino de matemática*, *aprendizagem de matemática*, *ensino-aprendizagem de matemática*, *práticas pedagógicas de matemática*, *matemática* em um contexto educacional, ou de áreas mais específicas como *estatística*, *geometria*, dentre outras. O resumo de um dos artigos encontrados, por exemplo, não usava nenhuma dessas expressões, apenas *professores de matemática*. O mesmo problema se aplica a *inteligência artificial*, que pode estar subentendida em trabalhos sobre *sistemas inteligentes*, *aprendizado de máquina*, *aprendizado profundo*, ou expressões equivalentes em inglês (*intelligent systems*, *machine learning*, *deep learning*) que são empregadas com frequência nos textos em português.

Outro ponto é que muitas publicações de Matemática são escritas usando LaTeX, o que significa que alguns trabalhos podem não aparecer nas buscas devido

a questões de acentuação e sinais gráficos em geral. Por exemplo, se *educação matemática* estiver registrada internamente como *educaçã_o matemática* no documento, é possível que a busca pela primeira expressão não o encontre. Há ainda quem registre das duas formas ao longo dos textos, como “inteligência artificial” e “inteligência artificial”.

Testaram-se algumas expressões de busca, comparando-se semelhanças e diferenças nos conjuntos de textos retornados (trabalhos que permaneciam ou sumiam dos resultados). Mesmo não se propondo uma pesquisa exaustiva, foram consideradas diferentes termos e possibilidades, construindo-se então a expressão ("*educação matemática*" OR "*ensino de matemática*" OR "*aprendizagem de matemática*" OR "*aprendizado de matemática*" OR "*ensino-aprendizagem de matemática*" OR "*ensino e aprendizagem de matemática*") AND "*inteligência artificial*" AND ("*educação básica*" OR "*ensino fundamental*" OR "*ensino médio*"), que retornou cinco artigos no portal de Periódicos da CAPES, seis teses e dissertações na BDTD e 17 textos na Scite.

Simplificando-se as chaves de busca e conjecturando-se outras combinações possíveis, chegou-se à expressão ("*educação matemática*" OR "*de matemática*") AND "*inteligência artificial*" AND ("*educação básica*" OR "*ensino fundamental*" OR "*ensino médio*"), que retornou seis artigos no portal de Periódicos da CAPES, 17 teses e dissertações na BDTD e 34 textos na Scite. Esses 57 resultados foram somados aos 101 iniciais, originados das publicações listadas por SBEM ou SBM, totalizando 158 textos.

3.3 Tratamento e análise de dados

Os 158 trabalhos encontrados foram tabulados em uma planilha Google Sheets com seis colunas: #⁶; Título; Ano; Link; Tipo de publicação; e Observações. A tabela 1 exibe as primeiras 10 linhas dessa planilha.

Os critérios iniciais de inclusão e exclusão aplicados foram por ordem: a duplicidade (151 textos restantes), retirando-se itens repetidos; a data (94); restrição de acesso (92). Em seguida, os 92 textos restantes foram sujeitos ao critério de conjunto temático, em que os termos *artificial*, *matemática*, *educação básica*, *ensino*

⁶ Coluna de identificador numérico para cada texto.

fundamental e ensino médio foram buscados no corpo do texto de cada trabalho, tendo se mantido para análise 21 textos, dentre os quais duas teses, 5 dissertações, 13 artigos e 1 editorial.

Tabela 1 - Trecho da planilha de tabulação inicial

#	Título	Ano	Link	Tipo de publicação	Obs.
1	Cibernética e Ficção Científica: uma proposta pedagógica	2018	https://www.scielo.br/j/bolema/a/7sDNkKn cmMp9kRrP9MhflJw/?lang=pt	Artigo	
2	Armadilha da Mesmice em Educação Matemática	2005	https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/10500	Artigo	
3	A Transição das Razões para as Funções Trigonométricas	2016	https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/10195	Artigo	
4	Identificação e Análise das Dimensões que Permeiam a Utilização das Tecnologias de Informação e Comunicação nas Aulas de Matemática no Contexto da Formação de Professores	2006	https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/1869	Artigo	
5	Tecnologias na Educação: dos caminhos trilhados aos atuais desafios	2008	https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/1723	Artigo	
6	ROSA, M. A construção de identidades online por meio do Role Playing Game: relações com o ensino e aprendizagem de matemática em um curso a distância. 2008. 267 f. (Doutorado em Educação Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Educação Matemática...	2014	https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/bolema/article/view/9472	Artigo	
7	A PRÁTICA PEDAGÓGICA DO PROFESSOR DE MATEMÁTICA: O USO DAS TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO – TIC	2018	https://periodicos.ifs.edu.br/periodicos/caminhos_da_educacao_matematica/article/view/154	Artigo	
8	Concepções de professores sobre criatividade e pensamento crítico em Matemática: proposição de formulário	2023	https://www.sbembrasil.org.br/periodicos/index.php/emr/article/view/2532	Artigo	
9	Os desafios éticos da inteligência artificial e dos objetos autônomos: um preâmbulo	2023	https://periodicos.unb.br/index.php/linhascriticas/article/view/50406	Artigo	
10	Avaliação das aprendizagens no contexto de políticas curriculares de accountability	2019	https://periodicos.unb.br/index.php/linhascriticas/article/view/23778	Artigo	

Fonte: autoria própria.

Acrescentaram-se quatro colunas à planilha para prosseguir com a análise: Palavras-chave; Objetivos; Metodologia; e Resultados e Conclusões. As células desse documento foram preenchidas com trechos extraídos dos resumos ou do corpo do texto das publicações, respectivos a cada variável.

Durante essa etapa de extração e preenchimento das células da planilha, mais textos foram excluídos pelo critério de conjunto temático, pois embora contenham os termos buscados, não abordam os temas desta pesquisa em seu escopo. Desta última planilha se extraiu a tabela 2, que apresenta os 13 trabalhos triados – acrescentando informações referentes a autoria e veículo de publicação –, em ordem crescente por data de publicação.

Tabela 2 - Amostra selecionada

#	Título	Autores	Ano	Tipo de publicação	Publicado em
1	Redes Neurais no Ensino Básico	Batista; Martins	2022	Artigo	Professor de Matemática Online (PMO)
2	Inteligência artificial & educação online na escola pública: possibilidades e alcances	Matos	2022	Dissertação	Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, Universidade Federal de Uberlândia
3	O ChatGPT e educação matemática	Borba; Balbino Junior	2023	Editorial	Educação Matemática Pesquisa Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática
4	ChatGPT como Coorientador na Iniciação Científica: Pesquisa-ação com Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino Fundamental	Villan; dos Santos	2023	Artigo	Acta Scientiae
5	Análise de soluções apresentadas pela Inteligência Artificial ChatGPT em problemas de probabilidade	Bernardo	2023	Artigo	Professor de Matemática Online (PMO)
6	O ChatGPT como recurso de apoio no ensino da Matemática	Santos; Sant'ana; Sant'ana	2023	Artigo	Revemop

#	Título	Autores	Ano	Tipo de publicação	Publicado em
7	Teoria de Campos e a Inteligência Artificial integradas na análise das transições entre as interfaces matemáticas	Lima Costa; Ferreira da Silva; Ribeiro; Pinheiro Chaves; Alves de Oliveira Costa	2023	Artigo	RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar
8	ChatGPT e a formação do professor de matemática	Moreira; Vieira; Silva; Santana	2023	Artigo	Práxis Pedagógica
9	Avaliação da Eficiência de Sistemas Educacionais Aplicando Técnicas de Agrupamento e DEA	Santos; Gomes; Vilaça	2023	Artigo	Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)
10	Educação Estatística na Escola Básica: introduzindo software CODAP na análise descritiva e árvore de decisão	Bonangelo	2023	Dissertação	Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Matemática, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo
11	Inteligência artificial e aprendizado de máquina: da teoria ao algoritmo pronto no Ensino Médio	Brandão	2023	Dissertação	Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional - PROFMAT, Departamento de Matemática, Instituto de Ciências Exatas, Universidade de Brasília
12	O ensino da matemática nos anos iniciais: as ferramentas de chatbots na construção de sequências didáticas	de Araújo; Alves; de Oliveira; Marques; Kimura; Carretero; da Silva; de Brito	2024	Artigo	Contribuciones a Las Ciencias Sociales
13	Desmistificando a inteligência artificial para alunos do Ensino Médio: explorando conceitos e matemática fundamentais	Gomes	2024	Dissertação	Programa de Pós-Graduação Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional - PROFMAT, Universidade Federal de Viçosa

Fonte: autoria própria.

3.3.1 Comparativo de palavras-chave

Analisando-se os termos e expressões utilizados nas palavras-chave empregadas nesta amostra, observa-se que os componentes das expressões de busca aparecem mais vezes: *inteligência artificial* (em oito das 50 palavras-chave,

16%), *matemática* (16%), *ensino* (14%), *aprendizagem* (8%), *educação* (6%). Por outro lado, os termos e expressões mais frequentes e que não compuseram as expressões de busca são: *ChatGPT* (8%), *árvore de decisão* (4%), *modelagem* (4%), *rede neural* ou *redes neurais* (4%). O quadro 1 apresenta a relação de trabalhos e suas palavras-chave.

Quadro 1 - Palavras-chave da amostra

#	Título	Palavras-chave
1	Redes Neurais no Ensino Básico	Matemática; Redes Neurais; Ensino Médio; Python
2	Inteligência artificial & educação online na escola pública: possibilidades e alcances	Inteligência Artificial; Matemática; Modelagem/Projetos; TDIC
3	O ChatGPT e educação matemática	Educação matemática; Inteligência artificial; ChatGPT
4	ChatGPT como Coorientador na Iniciação Científica: Pesquisa-ação com Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino Fundamental	ChatGPT como coorientador; Iniciação Científica; Ensino Fundamental; Aprendizagem Baseada em Projetos; Pesquisa-ação
5	Análise de soluções apresentadas pela Inteligência Artificial ChatGPT em problemas de probabilidade	Investigação matemática; Resolução de problemas; Inteligência artificial
6	O ChatGPT como recurso de apoio no ensino da Matemática	ChatGPT; Ensino; Aprendizagem; Matemática; Inteligência Artificial
7	Teoria de Campos e a Inteligência Artificial integradas na análise das transições entre as interfaces matemáticas	Quantização do Aprendizado; Árvore de Decisão; Modelagem Matemática-Computacional
8	ChatGPT e a formação do professor de matemática	ChatGPT; ensino; aprendizagem; matemática
9	Avaliação da Eficiência de Sistemas Educacionais Aplicando Técnicas de Agrupamento e DEA	[não declaradas]
10	Educação Estatística na Escola Básica: introduzindo software CODAP na análise descritiva e árvore de decisão	Estatística; Educação Estatística; Ciência de Dados; Inteligência Artificial; Árvore de Decisão

11	Inteligência artificial e aprendizado de máquina: da teoria ao algoritmo pronto no Ensino Médio	Inteligência Artificial; Aprendizado de Máquina; Ensino Médio
12	O ensino da matemática nos anos iniciais: as ferramentas de chatbots na construção de sequências didáticas	Inteligência Artificial; Chatbot; sequência didática; ensino/aprendizagem
13	Desmistificando a inteligência artificial para alunos do Ensino Médio: explorando conceitos e matemática fundamentais	Matemática; Ensino; Ciência; Inteligência Artificial; Rede Neural; Educação

Fonte: autoria própria.

3.3.2 Comparativo de objetivos

Batista e Martins (2022, p. 454) [#1]⁷ buscam propiciar fundamentos aos professores de Matemática para que se apropriem de conceitos e aplicações de Redes Neurais Artificiais (RNA) na educação básica, a fim de “[...] deixar o ensino de matemática mais significativo, visando combater o desinteresse dos alunos, visto que, temas que envolvem tecnologia são agradáveis aos estudantes tornando as aulas mais atrativas e participativas”.

Já na dissertação de Matos (2022, p. 18) [#2], o objetivo principal é “[...] compreender como foi implementado o trabalho de projetos sobre Inteligência Artificial, na modalidade remota, com estudantes do ensino médio de uma escola pública [...]”. Este se desdobra em quatro objetivos específicos, a saber: compreender a cultura digital desses estudantes; analisar a prática pedagógica com projetos efetivada durante a pandemia de Covid-19; analisar como as tecnologias digitais participam dos processos de ensino-aprendizagem de Matemática, examinando projetos sobre IA desenvolvidos por esses estudantes; e avaliar o engajamento dos estudantes nessas atividades.

O editorial de Borba e Balbino Junior (2023) [#3] se dedica a explorar algumas possibilidades e desafios da educação matemática no cenário atual de visibilidade e utilização crescentes de recursos de IA no cotidiano.

⁷ Para facilitar a leitura e o entendimento sobre a qual trabalho se refere, utilizaram-se os identificadores numéricos da tabela 2 e do quadro 1. Por exemplo, #1 indica o texto “Redes Neurais no Ensino Básico”, de Batista e Martins, 2022.

Por uma perspectiva vygotskyana de educador como facilitador, Villan e dos Santos (2023, p. 62) [#4] se dedicam a “[...] analisar o impacto do ChatGPT como coorientador em projetos de mostra científica no ensino fundamental [...]”, para compreender a apropriação das tecnologias de IA na prática pedagógica, suas influências na educação e contribuições para a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP) e para a superação de obstáculos a novas metodologias.

Bernardo (2023) [#5] segue um caminho semelhante ao seguido por Borba e Balbino Junior em #3, discutindo possibilidades, mais especificamente nos domínios da resolução de problemas e da probabilidade, a partir de dados obtidos em atividades realizadas em sala de aula.

Também de forma análoga a Borba e Balbino Junior em #3, Santos, Sant’ana e Sant’ana (2023) [#6] procuram analisar possíveis usos e impactos positivos e negativos da integração de *chatbots* nos processos de ensino e aprendizagem de Matemática, particularmente do ChatGPT.

Enquanto esses seis primeiros trabalhos são mais voltados à sala de aula, tratando principalmente de IA em atividades de ensino, Lima Costa *et al.* (2023, p. 4) [#7] propõem “[...] identificar as estruturas localizadas entre as interfaces matemáticas Aritmética-Álgebra e Álgebra-Geometria, que conectam, aos pares, os estados do sistema de interesse: o aprendizado matemático [...]”. Nesse sentido, empregam estratégias de IA associadas a Árvore de Decisão para resolver equações geradas com base na Teoria de Campos, identificando quais as principais interfaces e suas fronteiras de transição para determinadas faixas do Ensino Fundamental.

Por outro lado, Moreira, Vieira, Silva e Santana (2023) [#8] se interessam em delinear um panorama de conhecimento, prática, treinamento e percepção de professores do Ensino Fundamental sobre a utilização do ChatGPT na educação matemática.

No suporte à gestão educacional, Santos, Gomes e Vilaça (2023) [#9] concatenam métodos de IA e de Análise por Envoltória de Dados (DEA) para gerar agrupamento de escolas de Ensino Médio, usando variáveis qualitativas provenientes do Sistema de Avaliação da Educação Básica (Saeb), para melhorar medidas de eficiência dessas escolas.

Os quatro trabalhos que encerram a lista retornam o foco para a sala de aula. Por exemplo, Bonangelo (2023, p. 11) [#10] busca “[...] explorar os conhecimentos

estatísticos desenvolvidos na escola básica para exemplificar o funcionamento da Inteligência Artificial e de um algoritmo chamado Árvore de Decisão”.

Já Brandão (2023, p. 18) [#11] elenca como objetivo geral “orientar o uso estruturado, da teoria à implementação, do Aprendizado de Máquina como um recurso didático e tecnológico associado à matemática do Ensino Médio” e como objetivos específicos: identificar legislação pertinente ao projeto; caracterizar conceitos de Aprendizado de Máquina e de Máquina de Suporte Vetorial; expor métodos e adversidades do Aprendizado de Máquina; descrever para professores o funcionamento de Máquina de Suporte Vetorial; resolver exercícios de Máquina de Suporte Vetorial em nível de Ensino Médio; produzir tutorial sobre Python; implementar Aprendizado de Máquina usando Python.

De Araújo *et al.* (2024, p. 7724) [#12] decidem “[...] explorar de maneira aprofundada a contribuição das sequências didáticas no ensino de matemática com uso da tecnologia e destacando sua aplicabilidade no contexto das quatro operações fundamentais [...]”, avaliando essas sequências geradas por três *chatbots* distintos (Bing, Bard e ChatGPT).

Por fim, o objetivo principal de Gomes (2024, p. 13) [#13] é “[...] analisar e divulgar os aspectos matemáticos essenciais à compreensão da inteligência artificial em um contexto adequado ao nível educacional do ensino médio”, enquanto o objetivo específico é traduzir, para uma linguagem mais simples e compreensível, a matemática complexa que embasa as noções de IA e de RNA.

Notam-se elementos em comum nos objetivos dos 13 trabalhos. Dez deles (#1 a #6, #10 a #13) visam examinar e discutir possibilidades de aplicações de conceitos ou ferramentas de IA na educação matemática. Para tanto, analisam atividades que usaram esses recursos em sala de aula ou propõem outras que os utilizem.

Dos três restantes, #8 compõe um retrato atual da relação entre professores de Matemática e essas tecnologias em um determinado contexto, enquanto #7 e #9 tratam de aplicar IA para obter melhores resultados – o primeiro como ferramenta de pesquisa em Educação Matemática e o segundo como suporte à gestão educacional para um ensino mais eficiente de Matemática.

Cabe ressaltar que as diferentes direções contempladas por cada trabalho não se excluem mutuamente, e sim formam um quadro maior de como a IA está sendo incorporada pela Educação Matemática.

3.3.3 Comparativo de metodologias

Para dar suporte a professores de Matemática que desejem introduzir RNA em suas práticas, #1 apresenta e relaciona conceitos complexos de IA a conteúdos do Ensino Médio, possibilitando futuras transposições didáticas (Chevallard, 1991) que escapam do escopo do artigo. Propõe atividades autorais de construção e treinamento de RNA conectando matrizes, vetores, plano cartesiano e funções a modelos de redes neurais, treinamento de redes, aprendizado de máquina, tipos de algoritmo, visão computacional, reconhecimento de dígitos manuscritos e programação em Python.

A autora de #2 optou por uma pesquisa qualitativa do tipo participante, visando transformação social. Assim, efetuou observação participante, coletou dados por netnografia e os analisou por Triangulação de Métodos. Durante as atividades, que atravessaram a pandemia de Covid-19, as tecnologias digitais foram colocadas como elemento motivador para os alunos, temporariamente forçados à educação online. Dentre outros, propôs-se o trabalho com projetos em torno da temática de IA aos estudantes, então no 2º ano do Ensino Médio de uma escola pública da Paraíba. Em uma primeira fase, eles pesquisaram temas relacionados e discutiram definições, vantagens e desvantagens, utilizações e relações com a Matemática. Ao final, modelaram matematicamente situações contendo IA no cotidiano, elaborando-as como situações-problema que envolvessem algum conteúdo matemático à sua escolha.

Em #3 se produz uma espécie de ensaio descritivo, refletindo-se sobre o que o ChatGPT traz ou não de novidade, lembrando o momento de introdução de tecnologias como a calculadora, o computador pessoal e a internet, e destacando-se algumas expectativas e repercussões efetivas das mesmas na Educação Matemática. Os autores testam como o ChatGPT responde a determinados problemas matemáticos, analisam os resultados gerados e levantam questionamentos ligados à geração de problemas para coletivos de seres-humanos-com-mídias. Também discutem sobre como a IA tem aparecido no noticiário e abordam preocupações éticas.

Seguindo o caminho da pesquisa-ação, em #4 conduziram-se entrevistas e aplicaram-se questionários junto a 353 alunos e 16 professores de uma escola municipal de Ensino Fundamental do Rio Grande do Sul, analisando-se de modo quantitativo e qualitativo os dados coletados. Com base nas noções de Vygotsky, especialmente quanto à Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), os autores

promoveram Iniciação Científica na escola por meio de uma metodologia ABP integrada com o ChatGPT, compreendido como “mediador cultural ampliado” (Villan; dos Santos, 2023, p. 83). Nesse sentido, a IA é utilizada para expandir as possibilidades não só de educandos como também de educadores, possibilitando superarem limitações na própria formação e obstáculos à adoção de novas metodologias e tecnologias na educação.

A pesquisa qualitativa em #5 envolveu 32 alunos do 2º ano do Ensino Médio de uma escola estadual de Ensino Fundamental e Médio da Paraíba. Após exposição de conteúdo e discussão sobre problemas de probabilidade, o autor solicitou que a turma resolvesse algumas questões. Em seguida, ela foi dividida em grupos para pesquisa sobre temas de IA e para testes com o ChatGPT, de modo a “[...] comparar as respostas que eles tinham obtido por resolução própria e conferência em aula com o professor com a resposta dada pelo ChatGPT [...]” (Bernardo, 2023, p. 429). Ao final, eles apresentaram seus resultados e opiniões, debatendo-os em sala de aula.

Assim como #3 e #5, o estudo exploratório-descritivo de #6 faz testes com o ChatGPT, descrevendo e analisando as respostas geradas para refletir sobre possíveis usos e impactos na Educação Matemática. Os autores solicitam que o *chatbot* resolva problemas sobre logaritmos, parábolas e polinômios, e confeccione lista de exercícios sobre função afim, plano de aula sobre números inteiros e roteiro de vídeo sobre o conjunto dos números naturais.

A pesquisa de #7 recorre à Teoria de Campos, aplicando técnicas de IA e de Árvore de Decisão para avaliar os dados provenientes de Atividades Experimentais de Matemática realizadas em uma Usina da Paz⁸ do Pará, com alunos do 5º ao 9º anos do Ensino Fundamental de cinco escolas da rede pública. Essas Atividades passaram por Modelagem Matemático-Computacional para compor equações que foram então resolvidas por software implementador de uma estratégia de Computação Bioinspirada, resultando em identificação de interfaces (Aritmética, Álgebra e Geometria) e fronteiras importantes para cada faixa de ensino.

Em #8, definiu-se uma pesquisa quantitativa do tipo descritivo, coletando-se dados por meio de aplicação de questionário sobre uso de ChatGPT a 38 professores

⁸ “As Usinas da Paz são complexos multifuncionais que oferecem uma variedade de ações e serviços que abrangem áreas cruciais para a transformação social, como saúde, educação, assistência social, cultura, esporte e lazer. O projeto, elaborado pelo Governo do Pará, é coordenado pela Secretaria de Estado Articulação da Cidadania (Seac)” (SEAC, [s. d.]).

de Matemática da rede pública de Ensino Fundamental do Ceará. As respostas foram analisadas descritivamente e representadas na forma de gráficos de setores.

Após contextualizar os problemas que se propõe a resolver, #9 apresenta o estado da arte de soluções de IA para otimização de sistemas educacionais públicos, seguida de desenvolvimento e teste de uma nova solução pelos autores. Técnicas de IA e de Análise por Envoltória de Dados são colocadas em uso para modelar análise e agrupamento de escolas que mostram características similares, mas desempenhos diferentes. Dados do Saeb, particularmente os relacionados à avaliação da área de Matemática, são extraídos e processados de modo a reunir as escolas eficientes com as ineficientes, visando promover ações que propiciem melhores resultados, como o compartilhamento de metodologias, e maior parceria entre escolas públicas de Ensino Médio do Ceará.

A revisão de literatura de #10 engloba as áreas de Estatística e Educação Estatística, bem como as de Inteligência Artificial, Big Data e Ciência de Dados. A partir desse estudo, a pesquisa efetua Análise Exploratória de Dados em duas bases de dados: a primeira para apresentar o software CODAP e a segunda para explicar o funcionamento do algoritmo Árvore de Decisão, usando esse programa. As análises utilizam medidas de posição e de variação, gráficos uni e bivariados, e diagramas representativos desse algoritmo, associando o estudo de técnicas de IA a propostas curriculares para a Matemática previstas na Base Nacional Comum Curricular (BNCC).

Também alinhado à BNCC, #11 elenca as competências de Matemática definidas para o Ensino Médio que mais se relacionam ao trabalho desenvolvido. O autor discute a legislação pertinente para justificar a aplicabilidade do projeto e segue ao embasamento teórico necessário para a prática, discutindo conceitos ligados a Aprendizado de Máquina e Máquina de Suporte Vetorial e sugerindo abordagens para discuti-los em sala de aula. Nesse sentido, apresenta alguns exercícios comentados para professores levarem a seus alunos, entrelaçando noções de IA com conteúdos curriculares de Matemática. Por fim, elabora um tutorial sobre a linguagem Python, e uma atividade para implementação no Ensino Médio. Assim como em #1, propõe-se que discentes apliquem os conceitos estudados, usando Python para construir um modelo de reconhecimento de dígitos.

Já #12 faz um estudo de caso de possibilidades de integração de IA às práticas docentes. Os autores solicitaram aos *chatbots* Bing, Bard e ChatGPT que: sugerissem

aplicativos de jogos online para o desenvolvimento de uma habilidade de Matemática do Ensino Fundamental I conforme a BNCC; e depois gerassem sequências didáticas que utilizassem esses jogos para alcançar esse objetivo. Os resultados gerados foram analisados pelos autores e por três professoras de escolas públicas municipais do Ceará.

De modo análogo a #1, #10 e #11, em #13 são apresentados conceitos de IA assim como os de Matemática que fundamentam RNA e IA, seguidos de exemplos de aplicações na educação. Após a discussão teórica, o autor elabora uma proposta prática com o Jogo NIM para abordar Aprendizado de Máquina e outra contendo uma situação real de aplicação de RNA ao mercado de seguros. Ambas são voltadas ao ensino de Matemática no Ensino Médio e demonstram a viabilidade de transposições didáticas dos conhecimentos envolvidos nessas temáticas.

No tocante às metodologias construídas nas pesquisas, observa-se serem bastante variadas, mas com pontos em comum. De forma geral, dez discutem possibilidades e apresentam propostas de aplicações de IA em contextos escolares (#1, #3, #6 a #13), enquanto os outros três examinam atividades realizadas nesse sentido (#2, #4, #5).

3.3.4 Comparativo de resultados e conclusões

Expõem-se em #1 as atividades elaboradas para futuras aplicações no Ensino Médio, concluindo-se que “enfim, o ensino sobre redes neurais e aprendizado de máquinas ajuda a amadurecer o conhecimento básico e amplia o desenvolvimento do pensamento computacional [...]” (Batista; Martins, 2022, p. 479). Os autores reconhecem que a implementação desenhada no artigo será desafiadora para docentes, pois demanda aprendizado e ensino de novos conceitos e tecnologias, dos quais muitos ainda não estão inseridos no âmbito da formação de professores. No entanto, ressaltam que a BNCC exige mudanças e adaptações, que podem ser atendidas pelo caminho traçado no texto. Também apontam que, superados os desafios, “[...] as salas de aula tornar-se-ão espaços para a busca e construção de soluções dos problemas pertinentes a nossa sociedade” (Batista; Martins, 2022, p. 479).

Matos (2022) sublinha a questão da formação docente em #2, afirmando que a pandemia de Covid-19 ampliou a necessidade de incorporação das tecnologias

digitais às práticas pedagógicas ao mesmo tempo que revelou as lacunas no acesso a equipamentos e na formação de professores, que dificultam efetivar essa integração. Dentre as atividades realizadas na pesquisa, a modelagem matemática com projetos sobre a temática da IA se destaca por ter propiciado o desenvolvimento de competências sociais e em diferentes áreas do conhecimento, sendo útil ao ensino de conteúdos de Matemática de forma mais significativa e mostrando-se como opção “[...] para despertar o interesse e a motivação dos estudantes em aprender com sentido, significado e colaboratividade, modificando as atitudes e o comportamento no contexto social [...]” (Matos, 2022, p. 134-135).

As análises de #3 exibem as capacidades e as limitações do ChatGPT para a resolução de problemas matemáticos, demonstrando que essa ferramenta entrega respostas corretas e incorretas da mesma forma, cabendo ao usuário avaliar se o que recebeu é válido ou não – o que pode confundir um estudante que assume a exatidão dessas informações. Por outro lado, o nível de detalhamento do passo a passo das resoluções é um apoio a estudos mais investigativos. Segundo Borba e Balbino Junior (2023, p. 154), “[...] temos que pensar em problemas para serem resolvidos por coletivos de seres-humanos-com-ChatGPT [...]”, sem deixar de lado “[...] preocupações éticas imensas, visto que [ChatGPT e IA] têm sido utilizadas para gerar bolhas de fake news, com forte apoio dos setores conservadores que querem insistir que o mundo foi feito apenas para uma elite e não para todos [...]” (Borba; Balbino Junior, 2023, p. 154).

A aplicação do ChatGPT em #4 inova ao integrá-lo como coorientador na Iniciação Científica, colhendo como frutos: maior engajamento dos alunos nos projetos, redução na resistência dos professores à adoção de novas tecnologias, premiação em feiras científicas. Mais ainda, o estudo comprova a eficácia da ABP, da pesquisa-ação, e do ChatGPT como complementar às atividades de orientação de pesquisa; e culmina “[...] em uma transformação cultural notável dentro da escola. Esta mudança, de uma visão tradicional para uma abordagem de aprendizagem socializada, foi catalisada por uma gestão escolar proativa e não impositiva [...]” (Villan; dos Santos, 2023, p. 103), o que realça um não determinismo tecnológico.

De forma parecida com #1, em #5 o autor se apoia na BNCC para justificar a inserção de tecnologias digitais na escola. E, como em #3, observa que o ChatGPT (versão 3.5), “no estudo de matemática, [...] mostra-se por vezes impreciso, apresentando respostas desconexas com o assunto ou complexas, fora da realidade

de um aluno de educação básica [...]” (Bernardo, 2023, p. 443). Porém, isso não é motivo para sua não utilização: “[...] a ferramenta deve ser explorada ao máximo para auxiliar o aluno, mas não podemos deixar o aluno virar dependente dessas tecnologias em sua rotina acadêmica [...]” (Bernardo, 2023, p. 443), tanto pela imprecisão quanto pela eventual indisponibilidade das mesmas. Pensando nisso, a atividade realizada pelo autor, na qual os alunos resolveram problemas de probabilidade e compararam suas respostas com as do ChatGPT, possibilitou que eles construíssem conhecimento matemático e em IA.

Corroborando #3 e #5, Santos, Sant’ana e Sant’ana (2023, p. 12) afirmam em #6 terem verificado que o ChatGPT “[...] de fato apresenta a solução de problemas matemáticos com eficiência, rapidez e assertividade, entretanto, ainda existe algumas dificuldades na solução de exercícios mais complexos”. Os autores ponderam que a ferramenta pode fornecer apoio aos estudantes que buscam compreender melhor um problema ou comprovar suas respostas, como também pode levar outros a um estado de inércia quanto a fazer exercícios, uma vez que as respostas são dadas sem muito esforço. Para além da função de resolver questões, “[...] a criação de tarefas, roteiros, projetos e planejamentos de aulas são benefícios que o programa oferece aos professores e às escolas e pode representar uma economia de tempo e um ‘ponto de partida’ para projetos diversos” (Santos; Sant’ana; Sant’ana, 2023, p. 13).

Os métodos de IA empregados em #7 permitiram resolver as equações da Teoria de Campos elaboradas ao longo das modelagens da pesquisa, resultando em indicadores para as interfaces Aritmética, Álgebra e Geometria:

O espaço de cada Interface, assim como o seu grau de influência na série avaliada, fora identificado por meio de uma estratégia de Computação Bioinspirada conhecida por Árvore de Decisão. Esse método, respaldado em Inteligência Artificial, permitiu conhecer as formas de cada Interface e a extensão das zonas de transição. Por consequência, tem-se uma métrica que possibilita estimar se um grupo de estudantes apresenta conhecimento satisfatório sobre determinado tema ensinado, se está em fase de transição, ou ainda, se o conhecimento é insatisfatório (Lima Costa *et al.*, 2023, p. 16).

As respostas ao questionário em #8 apontam que a maioria dos professores da amostra conhece o ChatGPT, mas nunca usou nem participou de treinamento sobre a ferramenta. Também não acreditam que recursos tecnológicos e de IA substituirão o professor, não se sentem confortáveis em explorar o ChatGPT com colegas e alunos, e não quiseram opinar sobre possíveis contribuições para ensino e

aprendizagem de matemática, por não o dominarem. Moreira, Vieira, Silva e Santana (2023) concluem que há um cenário de baixa adesão docente e de busca por treinamentos para esse fim, causando insegurança no uso e na abordagem sobre essas tecnologias, fatores que “[...] podem distanciar a interação entre a escola e a realidade pulsante do que tem sido a cada dia desenvolvido no campo tecnológico, principalmente os recursos da IA [...]” (Moreira, Vieira; Silva; Santana, 2023, p. 219).

O modelo elaborado e utilizado em #9 gerou, a partir dos dados do Saeb, um agrupamento capaz de “[...] aproximar escolas com realidades similares, mas que têm alcançado resultados distintos nas avaliações externas [...]. A [DEA] pode ajudar as escolas ineficientes em parceria com escolas eficientes a criar um plano de ação para melhoria [...]” (Santos; Gomes; Vilaça, 2023, p. 10). Assim, as técnicas de IA utilizadas mostram potencial de apoio à gestão educacional na busca por melhores resultados dos estudantes em avaliações de matemática.

Bonangelo (2023) ressalta em #10 a importância da Educação Estatística em um mundo cada vez mais datificado. As Análises Exploratórias de Dados e o uso do CODAP pelo autor serviram para revelar assuntos que podem ser tratados na Educação Básica, como gráficos uni e bivariados e o algoritmo Árvore de Decisão, mostrando a viabilidade do estudo em base de dados multivariados para esse nível de ensino.

Da pesquisa de #11 se deriva um guia completo da teoria à prática sobre Aprendizado de Máquina para ser utilizado por professores “[...] como recurso didático e tecnológico [...]. Seu uso estruturado nas aulas de matemática do Ensino Médio permite a abordagem de conceitos, categorias, métodos avaliativos, adversidades do aprendizado, [...] resolução de problemas” (Brandão, 2023, p. 103). O trabalho inclui base conceitual, exercícios para discentes, tutorial sobre Python e proposta de implementação em seis etapas. O autor depreende que a aplicação do recurso elaborado evidencia a utilidade da matemática para os alunos, além de proporcionar o desenvolvimento de habilidades ao longo da implementação.

Em #12, a avaliação das sequências didáticas geradas pelos *chatbots* foi positiva, entendendo-se que são aplicáveis em sala de aula desde que feitas as devidas adaptações ao contexto de cada turma. De Araújo *et al.* (2024, p. 7737) destacam que a geração de sequências didáticas personalizadas por IA “[...] pode facilitar a identificação de lacunas no conhecimento do aluno e permitir intervenções mais eficazes por parte do professor [...]”. Os autores ponderam que a liberação

docente em relação a tarefas administrativas automatizadas por IA abre uma janela para mais interações qualificadas, mas deve haver atenção quanto à dependência e à diminuição de interação entre professores. Concluem que a IA pode ser integrada à docência com moderação, apoiando sem substituir a interação humana.

Já a desmistificação dos fundamentos de IA proposta em #13 é atrelada diretamente a conceitos matemáticos compreensíveis por estudantes de Ensino Médio, realçando a utilidade da matemática tal qual em #11. Segundo Gomes (2024, p. 55), “a implementação de atividades práticas, experimentos e estudos de caso [possibilita] aos alunos uma experiência *hands-on* que [estimula] o raciocínio crítico e a capacidade [de] resolver problemas [...]”, habilitando-os a usos mais criteriosos de recursos de IA nas dimensões pessoal e profissional. Para o autor, a associação entre o ensino de matemática e o de IA, como nas propostas práticas de sua pesquisa, pode levar a uma maior compreensão de ambas as áreas e impulsionar a curiosidade na busca por soluções para problemas diversos.

Em termos de resultados e conclusões, há também itens em comum nas investigações discutidas. Dez delas fornecem sugestões de aplicações de IA (#1 a #6, #10 a #13). Cinco ressaltam lacunas na formação de professores (#1, #2, #4, #8, #10) que se tornam obstáculos à integração das tecnologias digitais às práticas pedagógicas. Quatro invocam a BNCC para evocar próximas mudanças e alicerçar suas propostas de ensino (#1, #5, #10, #11).

3.4 Interpretação de dados

O tamanho reduzido da amostra não permite inferências globais, mas alguns vetores podem ser traçados. As análises de metodologias mostram que três (#2, #4, #5) tratam de aplicações efetuadas, enquanto os outros dez (#1, #3, #6 a #13) dedicam-se a possibilidades e propostas, indicador de que os usos de IA não estão tão disseminados na prática pedagógica cotidiana.

Essas metodologias também permitem uma categorização conforme a principal apropriação de IA em cada trabalho. Oito compreendem recursos de IA como ferramentas para o ensino (#3 a #6, #8, #12), para a pesquisa (#7) ou para a gestão educacional (#9). Representam uma visão utilitarista, crítica ou não, de aplicações de IA para facilitar a aprendizagem de matemática.

Os outros cinco associam noções de IA a conteúdos curriculares de matemática (#1, #2, #10, #11, #13), aprofundando e entrelaçando conceitos das duas áreas. Seguindo uma visão inter-relacional, formam assim uma espécie de via de mão dupla, por onde a matemática é dirigida ao ensino sobre IA e a IA é dirigida ao ensino sobre matemática.

Um outro indicador consiste em, a maioria dos trabalhos estar na categoria utilitarista, mas cabe destacar que a divisão dos trabalhos entre as duas visões foi feita de acordo com a linha mais evidenciada em cada um e que elas não são excludentes. Por exemplo, #5 contempla ensino sobre IA, por meio do uso de um *chatbot* como ferramenta. Já #13 prevê uso de IA como ferramenta, em uma proposta de ensino sobre IA.

Interessa notar que quase metade da amostra utiliza o ChatGPT em alguma capacidade (#3 a #6, #8, #12), compondo outro indicador. Apenas #12 aborda outros *chatbots* para comparação (Bard e Bing).

Quanto aos objetivos, três das pesquisas podem ser percebidas como sendo mais voltadas a gestores, por buscarem informações que apoiem decisões em um âmbito educacional para além da sala de aula (#7, #8, #9). Seis apresentam atividades a serem realizadas pelos alunos, como a construção de uma RNA usando Python (#1, #2, #5, #10, #11, #13). As quatro restantes discutem recursos para professores, como a geração de listas de exercícios e sequências didáticas por *chatbots* (#3, #4, #6, #12). Há nessa dimensão um indicador de maior quantidade de aplicações de IA direcionadas ao público discente.

Em relação aos resultados e conclusões, de modo geral, todos os trabalhos da amostra são favoráveis à incorporação dos usos de IA pela Educação Matemática, por diversos caminhos. A maioria sugere que mais estudos são necessários. Alguns são mais pragmáticos, efetivando aplicações e analisando os resultados; outros, mais reflexivos, consideram vantagens e desvantagens, possibilidades e limitações.

Dez pesquisas resultam em sugestões de aplicações de IA, um último indicador. Dentre elas, três relatam atividades concretizadas, que podem ser apropriadas por outros professores para aplicações em sala de aula (#2, #4, #5), enquanto quatro disponibilizam atividades a serem realizadas (#1, #10, #11, #13) e outras três levantam e testam possibilidades de uso de *chatbots* (#3, #6, #12).

Em suma, os indicadores sinalizam cinco pontos de interesse para esse mapeamento:

- 1) a maior parte da amostra apresenta propostas de atividades ainda não aplicadas (10 de 13 trabalhos);
- 2) a visão utilitarista, de IA como ferramenta, é mais comum (8 de 13);
- 3) o ChatGPT é a ferramenta mais usada, para fins variados (6 de 13);
- 4) há mais aplicações de IA em atividades para estudantes (6 de 13); e
- 5) a maior parte da amostra sugere aplicações de IA (10 de 13).

Ressalta-se que os indicadores supracitados são limitados pelo recorte estabelecido e pelos procedimentos de coleta, análise e interpretação de dados construídos nesta pesquisa. Não obstante, os pontos levantados podem ser úteis para reflexões atuais e investigações futuras, servindo como pontos de referência para outras revisões de literatura.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho procurou traçar um mapa de pesquisas recentes (publicadas entre 2019 e 2024) sobre IA e EM, no contexto da educação básica brasileira, para compreender o cenário atual que envolve essa temática. Para tanto, buscaram-se referências para constituir um arcabouço teórico que abordasse a EM, a IA e as relações entre EM e tecnologias digitais. Uniu-se a essa base a efetivação de uma revisão de literatura do tipo Mapeamento Sistemático, o que possibilitou o exame de dados sobre as pesquisas encontradas.

Entende-se que os objetivos principal e específicos foram alcançados em alguma medida, pois desenhou-se um mapa incipiente dos estudos em recorte, definiram-se variáveis para comparação, discutiram-se semelhanças e diferenças e refletiu-se sobre práticas correntes e possibilidades futuras.

Quanto à questão central colocada, foi possível delimitar alguns padrões nos trabalhos, mas o tamanho reduzido da amostra não assegura que os padrões percebidos sejam notáveis para amostras maiores, não permitindo uma compreensão generalizada.

De modo análogo, a hipótese foi verificada de forma limitada, pois de fato há grande número de propostas para IA na EM (muitas excluídas durante o processo de triagem), possibilitando elencar e comparar apropriações propostas ou já realizadas, embora sem uma definição nítida, quantitativa ou qualitativa, sobre suas contribuições aos processos de ensino e de aprendizagem de Matemática.

A variedade de experiências relatadas é um ponto positivo, gerando-se indicadores que apontam múltiplos sentidos. Há muitas aplicações de IA viáveis para educadores matemáticos no contexto analisado, sejam como ferramentas pedagógicas ou de pesquisa, sejam como tema de projetos ou conteúdo curricular transversal, ou outras. Isso ressalta a importância de se discutir e atualizar os currículos, lembrando o comentário de D'Ambrosio (2012, p. 55), adequado a todos os segmentos educacionais:

[...] Já é tempo de os cursos de licenciatura perceberem que é possível organizar um currículo baseado em coisas modernas. Não é de estranhar que o rendimento esteja cada vez mais baixo, em todos os níveis. Os alunos não podem aguentar coisas obsoletas e inúteis, além de desinteressantes para muitos [...].

Outro ponto positivo é que a amostra revelou a atenção dos autores em ponderar e refletir sobre potencialidades e desafios para essas aplicações, não se notando visões excessivamente positivas ou negativas. Isso revela um caráter crítico, ou talvez apreensivo, por parte dos pesquisadores quanto à incorporação dessas tecnologias em suas práxis.

Os cinco indicadores construídos são úteis para compreensão do mapa e podem ser ainda mais proveitosos para próximas investigações, pois implicam questionamentos sobre a viabilidade factual de realização das propostas; as possibilidades e limitações da visão utilitarista; as forças em disputa no mercado de *chatbots*; o fortalecimento do protagonismo estudantil com apoio de recursos de IA; o horizonte de apropriações desses recursos por educadores matemáticos; dentre outros.

Por fim, interessa sugerir também outros desdobramentos, focando contribuições oportunizadas pela associação de IA a tendências em EM, buscando-se compreender como: um assistente digital baseado em IA pode auxiliar no planejamento e na execução das fases da Engenharia Didática (Artigue, 1988); a agência de IA nas práticas pedagógicas pode provocar reconfigurações do Contrato Didático (Brousseau, 1988); o ensino sobre IA pode ser favorecido pela Transposição Didática (Chevallard, 1991) ou acrescentar elementos à teoria; uma IA generativa pode facilitar ou dificultar o trabalho com tratamentos e conversões dos Registros de Representação Semiótica (Duval, 1993). Outras conexões certamente são possíveis, fazendo-se vislumbrar ótimas perspectivas para novas pesquisas.

REFERÊNCIAS

ARTIGUE, Michèle. Ingénierie Didactique. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 9, n. 3, p. 281-308, 1988.

BARBOSA, Xênia de Castro; BEZERRA, Ruth Ferreira. Breve introdução à história da inteligência artificial. **Jamaxi**, v. 4, n. 1, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufac.br/index.php/jamaxi/article/view/4730>.

BATISTA, Márcio; MARTINS, André Oliveira. Redes Neurais no Ensino Básico. **Professor de Matemática Online (PMO)**, [S. l.], v. 10, n. 4, p. 454-481, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21711/2319023x2022/pmo1032>.

BERNARDO, Raylson. Análise de soluções apresentadas pela Inteligência Artificial ChatGPT em problemas de probabilidade. **Professor de Matemática Online (PMO)**, [S. l.], v. 11, n. 3, p. 427-444, 2023. DOI: <https://doi.org/10.21711/2319023x2023/pmo1128>.

BONANGELO, Rafael Vieira. **Educação Estatística na Escola Básica**: introduzindo software CODAP na análise descritiva e árvore de decisão. 2023. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023. doi:10.11606/D.45.2023.tde-30012024-113301. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/45/45135/tde-30012024-113301/pt-br.php>.

BORBA, Marcelo de Carvalho; BALBINO JUNIOR, Valci Rodrigues. O ChatGPT e educação matemática. **Educação Matemática Pesquisa Revista do Programa de Estudos Pós-Graduados em Educação Matemática**, São Paulo, v. 25, n. 3, p. 142–156, 2023. DOI: 10.23925/1983-3156.2023v25i3p142-156. Disponível em: <https://revistas.pucsp.br/index.php/emp/article/view/63304>.

BORBA, Marcelo de Carvalho; SILVA, Ricardo Scucuglia Rodrigues da; GADANIDIS, George. **Fases das tecnologias digitais em Educação Matemática**: sala de aula e internet em movimento. 1a ed. Belo Horizonte: Autêntica, 2014.

BORBA, Marcelo de Carvalho; SOUTO, Daise Lago P.; CUNHA, José Fernandes T.; DOMINGUES, Nilton S. **Humans-with-Media**: Twenty-Five Years of a Theoretical Construct in Mathematics Education. 2023

BOYER, Carl B.; MERZBACH, Uta. **A history of mathematics**. 3rd ed. 2011.

BRANDÃO, Diogo Alves. **Inteligência artificial e aprendizado de máquina**: da teoria ao algoritmo pronto no Ensino Médio. 2023. 105 f., il. Dissertação (Mestrado

Profissional em Matemática) - Universidade de Brasília, Brasília, 2023. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/47451>.

BROUSSEAU, Guy. Le contrat didactique: le milieu. **Recherches en Didactique des Mathématiques**, v. 9, n. 3, p. 309-336, 1988.

CHEVALLARD, Yves. **La transposición didáctica**: del saber sabio al saber enseñado. Traducción: Claudia Gilman. La Pensée Sauvage, Buenos Aires/Argentina, 1991.

CHIARI, Aparecida Santana de Souza. **O Papel das Tecnologias Digitais em Disciplinas de Álgebra Linear a Distância**: possibilidades, limites e desafios. 2015. 206 f. Tese (Doutorado em Educação Matemática) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2015.

CHIARI, Aparecida Santana de Souza. Tecnologias Digitais e Educação Matemática: relações possíveis, possibilidades futuras. **Perspectivas da Educação Matemática**, v. 11, n. 26, 28 fev. 2019.

D'AMBROSIO, Ubiratan. **Educação matemática**: da teoria à prática. 2012.

DE ARAÚJO, Fábio José; ALVES, José Luiz; DE OLIVEIRA, Zenayre Mendes; MARQUES, Carolina Dutra; KIMURA, Débora da Paz Maciel; CARRETERO, Jônathas dos Santos; DA SILVA, Jonatas da; DE BRITO, Fabiana Campos. O ensino da matemática nos anos iniciais: as ferramentas de chatbots na construção de sequências didáticas. **Contribuciones a Las Ciencias Sociales**, [S. l.], v. 17, n. 1, p. 7721–7740, 2023. DOI: 10.55905/revconv.17n.1-466. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/4755>.

DUVAL, Raymond. Registres de representation sémiotique et fonctionnements cognitif de la pensée. **Annales de Didactique et Sciences Cognitives**, v. 5. Irem, U.L.P. Strasbourg, 1993.

FIORENTINI, Dario; LORENZATO, Sergio. **Investigação em Educação Matemática**: percursos teóricos e metodológicos. Campinas, SP: Autores Associados, 2009 (Coleção formação de professores) 3a ed. rev.

GEE, James Paul. **A Situated Sociocultural Approach to Literacy and Technology**. 2010.

GOMES, Rodrigo César Mesquita. **Desmistificando a inteligência artificial para alunos do Ensino Médio**: explorando conceitos e matemática fundamentais. 2024. 60 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) - Universidade Federal de Viçosa, Florestal. 2024. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/531f12e1-4fc2-478e-94a7-c37c82341e17>.

GRANT, Maria J.; BOOTH, Andrew. A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. **Health Information & Libraries Journal**, v. 26, p. 91-108, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.

IAMARINO, Atila. Inteligência Artificial vai destruir o futuro da educação. YouTube, 31 maio 2024. 24min46s. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=C9S7Ycx546c>. Acesso em: 16 jan. 2025.

KILPATRICK, Jeremy. Investigación en educación matemática: su historia y alguns temas de actualidad. In: KILPATRICK, Jeremy.; RICO, Luis; GÓMEZ, Pedro. (Eds.). **Educación Matemática**. 1994. p. 1-18.

KITCHENHAM, Barbara; CHATERS, Stuart M. **Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering**. Technical Report EBSE 2007-001, Keele University and Durham University Joint Report, 2007.

LIMA COSTA, Denis Carlos; FERREIRA DA SILVA, Dener Francisco; RIBEIRO, Fabrícia; PINHEIRO CHAVES, Renata; ALVES DE OLIVEIRA COSTA, Heictor. TEORIA DE CAMPOS E A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL INTEGRADAS NA ANÁLISE DAS TRANSIÇÕES ENTRE AS INTERFACES MATEMÁTICAS. **RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. e432932, 2023. DOI: 10.47820/recima21.v4i3.2932. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/2932>.

MATOS, Lidiene Costa da Silva. **Inteligência artificial & educação online na escola pública**: possibilidades e alcances. 2022.176 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências e Matemática) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2022. DOI: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2022.164>.

MIGUEL, Antonio; GARNICA, Antonio Vicente Marafioti; IGLIORI, Sonia Barbosa Camargo; D'AMBRÓSIO, Ubiratan. A educação matemática: breve histórico, ações implementadas e questões sobre sua disciplinarização. **Rev. Bras. Educ.**, v. 27, dez. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbedu/a/qHNhYPrDsjNSbGwhWHKPywt>.

MOREIRA, José César Ponte; VIEIRA, Márcia Maria Siqueira; SILVA, Tânia Maria Rodrigues da; SANTANA, José Rogério. ChatGPT e a formação do professor de matemática: um ensaio sobre a prática didática. **Revista Praxis Pedagógica**, [S. l.], v. 9, p. 203-221, 2023. DOI: 10.69568/2237-5406.2023v9e7628. Disponível em: <https://periodicos.unir.br/index.php/praxis/article/view/7628>.

RUSSELL, Stuart; NORVIG, Peter. **Artificial intelligence**: a modern approach. 4. ed. Hoboken: Pearson, 2021.

SANTOS, Ismayle S.; GOMES, Rafael L.; VILAÇA, William S.. Avaliação da Eficiência de Sistemas Educacionais Aplicando Técnicas de Agrupamento e DEA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO (SBIE), 34., 2023, Passo Fundo/RS. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 1143-1153. DOI: <https://doi.org/10.5753/sbie.2023.234319>.

SANTOS, Renan Pereira; SANT'ANA, Claudinei de Camargo; SANT'ANA, Irani Parolin. O ChatGPT como recurso de apoio no ensino da Matemática. **Revemop**, v. 5, p. e202303, 11 jul. 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufop.br/revemop/article/view/6837>.

SEAC - Secretaria de Estado Articulação da Cidadania. **Usinas da Paz | SEAC**. [s. d.]. Disponível em: <https://www.seac.pa.gov.br/content/usinas-da-paz>.

TEIXEIRA, João de Fernandes. **O que é inteligência artificial**. São Paulo : Brasiliense, 1990.

TEIXEIRA, Pedro S. **IA não é inteligência e sim marketing para explorar trabalho humano, diz Nicolelis**. 2023. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/tec/2023/07/ia-nao-e-inteligencia-e-sim-marketing-para-explorar-trabalho-humano-diz-nicolelis.shtml>. Acesso em: 5 dez. 2024.

TURING, Alan Mathison. I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE. **Mind**, v. LIX, n. 236, out. 1950, p. 433-460, <https://doi.org/10.1093/mind/LIX.236.433>.

VALENTE, Wagner Rodrigues. História da educação matemática. **Cad. CEDES**, v. 41, n. 115, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ccedes/a/WqGFqF5P5BxGJ9TMtC4Jnpy/>. Acesso em: 30 nov. 2024.

VICARI, Rosa Maria. Influências das Tecnologias da Inteligência Artificial no ensino. **Estudos Avançados**, São Paulo, Brasil, v. 35, n. 101, p. 73–84, 2021. DOI: 10.1590/s0103-4014.2021.35101.006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/185034>. Acesso em: 30 nov. 2024.

VILLAN, Fabiano; SANTOS, Renato P. dos. ChatGPT como Coorientador na Iniciação Científica: Pesquisa-ação com Aprendizagem Baseada em Projetos no Ensino Fundamental. **Acta Scientiae**, Canoas, v. 25, n. 6, p. 60-117, Nov./Dez. 2023. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/7474>.