

Inteligência Artificial e Raciocínio Matemático: Potenciais Articulações e Perspectivas na Educação Matemática

Neumar Regiane Machado Albertoni 

Giane Fernanda Schneider Gross 

Arnold Vinicius Prado Souza 

Marco Aurélio Kalinke 

Resumo

O avanço das tecnologias digitais por meio da utilização da inteligência artificial (IA) abre perspectivas para explorar e debater oportunidades de ensino e aprendizagem para professores e alunos. O objetivo desta revisão é analisar o que se revelam nas pesquisas que discutem o RM e a IA. Para isso, uma revisão de literatura (RL) foi realizada com o uso das etapas propostas na metodologia Methodi Ordinatio, a fim de buscar estudos de IA e RM publicados entre 2013 e 2022. Os resultados da RL indicam que a abordagem de IA ainda se apresenta de forma tímida, sendo citada como uma possibilidade de alavancar o uso da tecnologia na área educacional, o RM é apresentado como uma possibilidade de desenvolvimento de competências, de pensamentos matemáticos, em práticas que possibilitem compor, constituir, argumentar, participar, explorar e compreender conceitos matemáticos ao fazer uso de tecnologias. Foi possível identificar que alguns estudos fazem a indicação de possibilidades do uso da IA em conjunto com o RM. No entanto, nenhum dos trabalhos faz o uso diretamente dessas duas temáticas, portanto, abrindo possibilidades para aprofundamento de estudos envolvendo essas temáticas.

Palavras-chave: Raciocínio Matemático, Inteligência Artificial, Revisão de literatura.

Artificial Intelligence and Mathematical Reasoning: Potential Links and Perspectives in Maths Education

Neumar Regiane Machado Albertoni

Giane Fernanda Schneider Gross

Arnold Vinicius Prado Souza

Marco Aurélio Kalinke

Abstract

The advance of digital technologies through the use of artificial intelligence (AI) opens up perspectives for exploring and debating teaching and learning opportunities for teachers and students. The aim of this review is to analyze what is revealed in the research that discusses MR and AI. To this end, a literature review (LR) was carried out using the steps proposed in the Methodi Ordinatio methodology, in order to search for AI and MR studies published between 2013 and 2022. The results of the LR indicate that the AI approach is still timid, being cited as a possibility to leverage the use of technology in the educational area, while MR is presented as a possibility to develop skills, mathematical thinking, in practices that make it possible to compose, constitute, argue, participate, explore and understand mathematical concepts when using technologies. It was possible to identify that some studies indicate the possibilities of using AI in conjunction with MR. However, none of the studies make direct use of these two themes, thus opening up possibilities for further studies involving these themes.

Keywords: Mathematical Reasoning, Artificial Intelligence, Literature Review.

Introdução

Diante das transformações tecnológicas que ocorrem na sociedade, a educação também tem passado por um processo de transformação em suas práticas pedagógicas, com a incorporação de ferramentas digitais como ambientes virtuais de aprendizagem, aplicativos, plataformas, linguagem de programação, dentre outras, como destacado por Zatti (2021). Nesse cenário, uma nova cultura, a digital, prevalece, modificando os hábitos, modos de interagir, de trabalhar e de aprender em praticamente todas as partes do mundo (Baptista-Belluzzo, 2023). Logo, buscar possibilidades e estudos que possam flexibilizar esse processo, podem preencher lacunas e cooperar na identificação de como o ensino pode ser estruturado a partir de pesquisas que foram e estão sendo realizadas, promovendo a discussão de soluções pedagógicas que possam se adequar à realidade dos estudantes e professores no ambiente digital.

Com a intenção de investigar tais pesquisas, priorizamos, neste momento, aquelas que se referem a Inteligência Artificial (IA) e que apresentem possibilidades ou práticas que promovam o desenvolvimento do Raciocínio Matemático (RM). A referida escolha se deu, pois, a IA tem aplicações em diferentes áreas do conhecimento e vem tomando espaço na educação, tanto no processo de ensino e de aprendizagem de conteúdos quanto nas aulas de educação à distância, por meio de Sistemas Especialistas com o conteúdo alimentado por professores de Matemática (Badin; Bordignon; Agosti, 2017). Assim, constatamos que o RM pode potencializar a utilização da IA na educação, integrando a inovação tecnológica ao desenvolvimento do raciocínio, especialmente no contexto desse estudo voltado para o Ensino de Matemática.

A IA, cada vez mais, está integrada aos recursos que se fazem presentes em atividades rotineiras, como por exemplo em assistentes de voz, como a Alexa da Amazon, a Bixby da Samsung e a Siri da Apple, entre outros. Além de seu uso residencial, ela está presente nas redes sociais, em carros autônomos, chatbots, mecanismos de busca na internet, operadores de ações de robôs etc. Esse avanço da IA nos mais diversos campos nos permite compreender que ela se apresenta como um meio de potencializar as interações sociais e coletivas em diferentes setores, inclusive com potencial para a educação.

No contexto educacional, o uso da IA pode contribuir para o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais interativas, permitindo a criação de ambientes de aprendizagem personalizados e adaptáveis, capazes de fornecer feedbacks aos alunos. Dessa forma, a IA pode desempenhar um papel importante nos processos de ensino e de aprendizagem.

Discussões acerca do RM direcionam possibilidades de utilização de recursos (Trevisan; Mendes, 2018) em sala de aula que contemplem o desenvolvimento do raciocínio, como por exemplo o uso de tarefas exploratórias (Mata-Pereira; Ponte, 2018) as ações do professor (Brocardo *et al.*, 2022) as discussões que apoiam e oportunizam diferentes tipos de

pensamentos, resoluções e discussões entre os estudantes (Trevisan, 2022). Nessa perspectiva, Jeannotte e Kieran (2017) apresentam um modelo para o RM a ser conduzido pelos professores na Matemática Escolar, que possibilite o envolvimento de discursos sobre o RM trazendo potencial para os membros das comunidades de Educação Matemática, para que não apenas se comuniquem melhor em relação à RM, mas também desenvolvam recursos de aprendizagem necessários para a melhoria do RM na escola.

Em meio ao contexto, a revisão de literatura tem como metodologia de pesquisa e análise a *Methodi Ordinatio* e busca investigar: quais são os estudos sobre raciocínio matemático (RM) e inteligência artificial (IA)?

E tem como objetivo analisar o que se revelam nas pesquisas que discutem o RM e a IA.

Inteligência Artificial aplicada a educação

Nos processos educacionais, a adoção de recursos de IA ainda é incipiente, conforme demonstram estudos recentes realizados por Vicari (2018), Zatti (2021), Gatti (2019). Em particular, quando se trata do ensino de Matemática, a quantidade de trabalhos que exploram a utilização de suportes de IA é ainda mais reduzida. Entretanto,

(..) enquanto alguns ainda a consideram uma tendência, ela é uma realidade, mas que carece de entendimento, abrindo espaço para compreensões e discussões, visando diversificar sua aplicação em diferentes áreas, tais como a Educação. As perspectivas de uso da IA para suportar as tecnologias que permeiam os processos de ensino e de aprendizagem na Educação Matemática são promissoras. [...] (Zatti, 2021, p. 93).

A partir do que foi apresentado pelo autor, nota-se que a IA ainda requer a realização de pesquisas que busquem aprofundar suas possibilidades de uso, bem como, evidenciar maneiras que envolvam o ensino de Matemática. Nesse pressuposto, com a intenção de verificar mais detalhes sobre a IA e seus desdobramentos, procuramos destacar como as pesquisas se referem a esse recurso, especialmente, quando salientam sobre a mobilização de conhecimentos matemáticos mediante o RM.

Uma possibilidade de desenvolver o raciocínio é destacado na pesquisa de Vicari (2021), sugerindo aplicações práticas em que a IA pode colaborar e influenciar nos avanços da Educação, especialmente por meio de algoritmos que permitem o acompanhamento do raciocínio do aluno durante a solução de problemas.

Raciocínio matemático

Em relação ao RM destacamos as autoras Jeannotte e Kieran (2017), que propõe um modelo conceitual para a Matemática Escolar, e definindo-o como um processo de comunicação que possibilita a inferência de enunciados matemáticos. O modelo abrange as estruturas e o processo. As estruturas são modelos que se relacionam a forma de RM, dividida

em indutivo (garantia e informações sobre os dados), dedutivo (informação de dados e garantia) e abdutivo (semelhanças e diferenças). Os processos e suas respectivas descrições estão evidenciados no Quadro 1 e compreendem as semelhanças e diferenças, a validação e a exemplificação (Jeannotte; Kieran, 2017).

Quadro 1 – Modelo Conceitual de RM (Adaptado de Jeannotte e Kieran, 2017)

Relação	Processos	Definição
Semelhanças e diferenças	Generalizar	Inferir narrativas sobre um conjunto de objetos matemáticos ou uma relação entre objetos do conjunto a partir de um subconjunto desse conjunto
	Conjecturar	Inferir uma narrativa sobre alguma regularidade com valor epistêmico provável ou provável e que tem potencial para teorização matemática
	Identificar um padrão	Inferir uma narrativa sobre uma relação recursiva entre objetos ou relações matemáticas
	Comparar	Inferir uma narrativa sobre objetos ou relações matemáticas
	Classificar	Inferir uma narrativa sobre uma classe de objetos baseada em propriedades e definições Matemáticas
Validação	Justificar	Um processo que ao buscar dados, garantir e respaldar, permite modificar o valor epistêmico de uma narrativa
	Provar	Um processo que ao buscar dados, garantir e apoiar, modifica o valor epistêmico de uma narrativa de provável para verdadeiro
	Formalizar	Um processo que, ao buscar dados, garantia e respaldo, modifica o valor epistêmico de uma narrativa de provável para verdadeiro, que tem como base a teoria matemática construída a priori e em realizações formalizadas (axiomas e teoremas)
Exemplificação	Exemplificar	Um processo que suporta outros processos, inferindo exemplos que auxiliam na busca de semelhanças e diferenças e da validação, gerando elementos que servirão para generalizar, conjecturar e até validar

Fonte: Autores (2023).

Para Jeannotte e Kieran (2017) os aspectos processuais derivam de narrativas sobre objetos ou relações explorando as relações entre objetos, relacionam-se à busca de semelhanças e diferenças ou processos relacionados à validação. Neste sentido, ao fazer uso de práticas de ensino e de aprendizagem que possam envolver o RM, Mata-Pereira e Ponte (2018) descrevem que a disciplina de Matemática apresenta informações gerais sobre as propriedades, conceito ou procedimentos, que assim o processo de generalização envolvendo o raciocínio indutivo e dedutivo, pode justificar essas informações fazendo uso do raciocínio dedutivo, para posteriormente validá-las por meio de um conjunto de objetos ou de conceitos matemáticos. Os processos de RM podem surgir em práticas que se relacionam com as tecnologias digitais, mediante tarefas mais propícias que precisam apresentar focos nos objetivos de práticas que impliquem e potencializem as estruturas e os processos do raciocínio e esses processos podem ser essenciais para o desenvolvimento de competências (Falvo; Jucá, 2022).

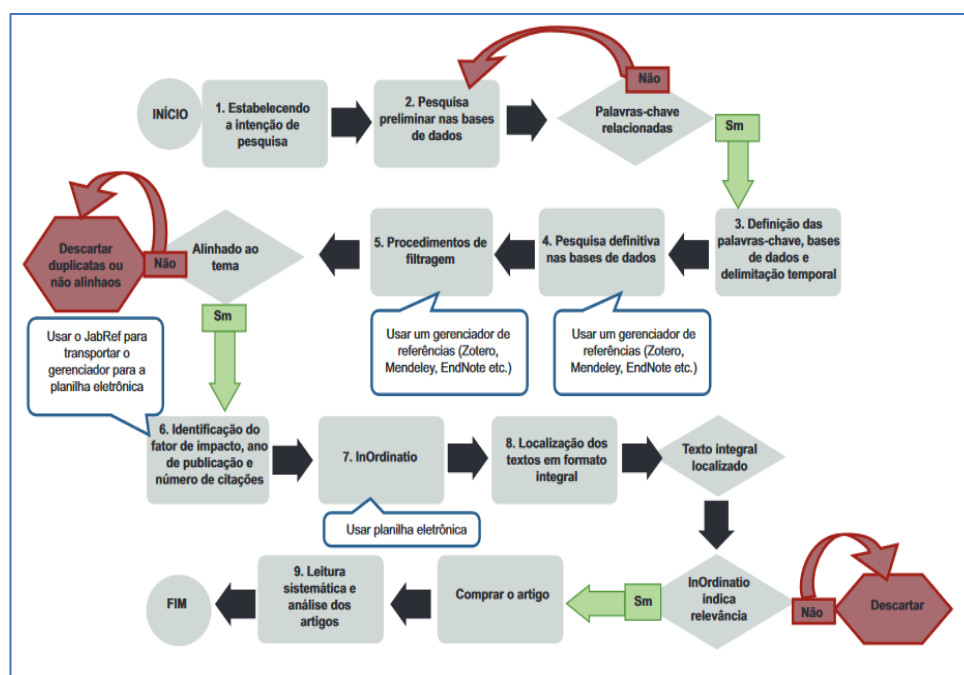
Neste sentido, Aksu e Zengin (2020) apresentam uma possibilidade de desenvolvimento do RM por meio do uso do Geogebra a partir de um ambiente de aprendizagem colaborativa e tecnologia avançada, destacando que a integração de software matemático dinâmico no método ACODESA contribui de forma produtiva para ao RM coletivo. ACODESA é uma abreviatura da tradução francesa de "aprendizagem colaborativa, debate científico e auto-reflexão" (Hitt; Gonzalez-Martin, 2015).

O uso de software, com artefatos midiáticos e com discussão produtiva, como mediação semiótica também é importante para melhorar os aspectos estruturais e de processo do RM, ajudando a fazer conexão dinâmica entre o raciocínio e a prova. Além disso, as representações dos participantes podem evoluir no aprendizado tecnológico em um ambiente colaborativo, e esta evolução pode contribuir para o desenvolvimento do RM (Aksu; Zengin, 2020). Dessa forma, envolver o uso de tecnologias pode ser uma lacuna para mobilizar os conhecimentos dos estudantes acerca do RM.

Caminhos da pesquisa

Para abordar a questão central, este estudo realiza uma revisão da literatura com base em artigos publicados entre 2013 e 2022. Esse intervalo de tempo foi escolhido para identificar as pesquisas mais recentes sobre as relações entre a inteligência artificial e o RM, visando estabelecer um panorama do crescimento das investigações relacionadas a esses temas na academia. Para as buscas, foram utilizadas as etapas propostas na metodologia *Methodi Ordinatio* delimitadas por Pagani, Kovalski e Resende (2017). A metodologia apresenta caminhos para realização das buscas dos artigos, de acordo com a Figura a seguir:

Figura 1 – Etapas sugeridas pela *Methodi Ordinatio*



Fonte: Pagani, Kovalski, Resende (2015, 2017)

Definição do foco e intenção da pesquisa

De acordo com os caminhos propostos pela metodologia, inicialmente foi estabelecido a intenção da pesquisa, a qual está voltada para investigar quais são e o que revelam os estudos sobre RM e IA, definido o foco de pesquisa, direcionamos para a segunda etapa que contempla uma primeira busca nas bases de dados, que foram: Web of Science, Science Direct, Scopus, ERIC, Springer, Scielo Brasil e o portal de periódicos da CAPES. Essas bases foram escolhidas com o propósito de ampliar ao máximo a seleção dos artigos, a partir de um panorama nacional e internacional. Neste momento, já definimos a janela temporal da publicação dos artigos, que seria entre 2013 e 2022.

Busca nas bases de dados

Como a intenção da pesquisa permeia pela IA e pelo RM, e são temas de pesquisas dos autores, as palavras-chaves já foram definidas anteriormente: "artificial intelligence", "mathematics education" e "mathematical reasoning", compondo a expressão de busca: "artificial intelligence" AND "mathematics education" AND "mathematical reasoning", utilizando o conectivo booleano AND, para procurar localizar o máximo de artigos que relacionam com as temáticas.

Filtragem e seleção

Neste levantamento foram encontrados 13 artigos, o qual já compôs a pesquisa definitiva nas bases, correspondendo a etapa 4 da *Methodi*. Com as buscas definidas, iniciou-se o processo de filtragem dos artigos no Mendeley, que primeiramente foram verificados os duplicados entre as bases e depois realizadas as leituras dos títulos e resumos dos artigos, para verificar como se apresentam a IA e o RM na visão dos autores. Ao finalizar as leituras optamos por 7 artigos, pois pelo título e resumo estavam alinhados à temática de pesquisa.

Cálculo do InOrdinatio

Partindo para a sexta etapa, utilizamos o JabRef para realizar a importação dos dados e gerenciador para a planilha eletrônica, denominada Ranking. Nesta planilha são classificados os artigos mediante o número InOrdinatio, o qual considera o fator de impacto das revistas, o ano de publicação e o número de citações, para isso, são localizadas as fontes dos artigos no Google Acadêmico (Pagani; Kovalski, Resende, 2017). Um dos aspectos importantes considerados é a atualidade do artigo, considerando α de 0 a 10 na equação InOrdinatio, o qual é atribuído 10 para α , de acordo com o método, com a intenção de atingir maior percentual para os artigos mais novos.

Seguindo com as etapas sistemáticas de seleção, foram localizados os textos na íntegra por meio do link do Google Acadêmico contido na planilha. Em seguida, registrou-se o número

de citações de cada um dos 7 artigos, permitindo a verificação do InOrdinatio presente em cada um deles, o que culminou na finalização da oitava etapa.

Optamos por manter os 7 artigos para as leituras sistemáticas e análises, visto que ambas as temáticas ainda estão pouco presentes em pesquisas acadêmicas, julgamos importante conhecer o que cada uma das pesquisas poderia contribuir para atingir o objetivo deste estudo, que visa verificar quais são e o que revelam as pesquisas sobre a IA e o RM. A nona etapa propõe a realização das leituras e análises, logo ao realizá-las, verificamos que dos treze artigos inicialmente selecionados, realmente seis artigos não apresentam ou não discutem os temas, IA e RM, concomitantemente, assim sete artigos foram utilizados para prosseguir com as análises.

No Quadro 2 estão destacados os autores, os artigos selecionados, a revista de publicação, o ano e os percentuais revelados de acordo com a *Methodi*. Esse quadro apresenta o primeiro foco estabelecido no objetivo de estudo, de verificar quais são os artigos que falam sobre IA e RM.

Quadro 2 – InOrdinatio

Autores (ano)	Título do artigo	Journal	InOrdinatio
Sriraman, (2022)	Uncertainty as a catalyst and condition for creativity: the case of mathematics	ZDM Mathematics Education	102
Abrahamson, Kapur (2018)	Reinventing discovery learning: a field-wide research program	Instr Sci	102
Bicer et al. (2021)	Investigating creativity-directed tasks in middle school mathematics curricula	Thinking Skills and Creativity	99
Pedemonte, Balacheff, (2014)	Establishing links between conceptions, argumentation and proof through the ckç-enriched Toulmin model	The Journal of Mathematical Behavior	95
Coulibaly et al. (2020)	Rule-based machine learning for knowledge discovering in weather data	Future Generation Computer Systems	92
Marmur, Zazkis, (2018)	Space of fuzziness: avoidance of deterministic decisions in the case of the inverse function	Educ Stud Math	75
Weber (2016)	Making Logarithms Accessible – Operational and Structural Basic Models for Logarithms	J Math Didakt	61

Fonte: Autores (2024).

Na próxima seção demonstramos as análises e os resultados encontrados mediante as leituras sistemáticas dos artigos, os quais estão publicados em revistas de alto impacto, como

mostra a Methodi Ordinatio. As análises e resultados mostram o que se revelam nas pesquisas que discutem o RM e a IA.

Análises e resultados

Para iniciar os estudos das análises apresentamos duas nuvens de palavras, tem como objetivo mostrar um panorama dos resumos e das palavras-chave, para obter uma direção de quais contextos e discussões estão sendo apresentadas nas pesquisas. Logo após, a análise segue para o processo de categorização temática, o que foi construído com o auxílio do Quadro 3. Na Figura 2, apresentamos a nuvem de palavras contendo os principais termos em destaque nos resumos dos artigos.

Figura 2 – Nuvem de Palavras – resumos



Fonte: Autores (2024).

Na Figura 3, estão sendo apresentadas uma nuvem de palavras contendo as palavras-chaves em destaque nos artigos.

Figura 3 – Nuvem de Palavras – Palavras-chave



Fonte: Autores (2024).

Verificamos nas imagens a presença dos termos: raciocínio, modelos, criatividade, estratégias, atividade, geometria, resolução de problemas matemáticos. Os termos que se revelaram na Figura 2 e na Figura 3 são conceitos específicos de cada temática, em especial os

termos aluno e matemática estão presentes nos resumos dos artigos e estão relacionados tanto com a IA quanto com o RM. Destacamos que, na grande maioria, as pesquisas refletem sobre o desenvolvimento do conhecimento a partir do uso da colaboração e diferentes estratégias inovadoras que possibilitem ampliar os aspectos cognitivos, em especial o raciocínio. No Quadro 2 descrevemos como aparecem IA e RM nos sete artigos selecionados para o presente estudo. Este quadro apresenta o outro ponto destacado no objetivo deste estudo que é verificar o que dizem as pesquisas sobre as duas temáticas.

Quadro 3 – IA e RM nos artigos

Autores (ano)	IA	RM
Sriraman (2022)	A presença do poder computacional e da inteligência artificial é grande nas práticas dos matemáticos, e levou à fundação da bem-sucedida escola de matemática experimental de Jon Borwein (Lindström, 2021) e à cunhagem da frase “a arte da matemática experimental”.	As notáveis conquistas recentes dos computadores cumpriram parcialmente um antigo sonho. Essas conquistas levaram algumas pessoas a especular que os computadores de amanhã podem ser tão inteligentes e se aproximar dos humanos, especialmente em seus poderes de raciocínio matemático
Weber (2016)	Pode-se pensar também em introduzir a “notação de árvore”, uma notação adaptada da teoria linguística e da inteligência artificial .	Para ter uma base ampla para raciocínio e compreensão, um conceito matemático deve ser representado por uma variedade de modelos básicos diferentes: Cada aspecto deve ser experimentado como um fenômeno por si só.
Coulibaly <i>et al.</i> (2020)	A inteligência artificial pode ser muito útil na extração de conhecimento de dados meteorológicos. Os impactos potenciais da descoberta de conhecimento em bancos de dados são enormes, pois podem ser utilizados em uma variedade de aplicativos para melhor compreensão e previsão de sistemas complexos.	O raciocínio matemático com algumas propriedades da teoria dos conjuntos constitui um meio para explorar e identificar caminhos para reduzir as regras de associação disponíveis
Abrahamson e Kapur (2018)	À medida que a inteligência artificial povoa nossos dispositivos eletrônicos, essas plataformas educacionais só serão tão eficazes quanto os princípios pedagógicos que orientam sua engenharia de software. Parece que estamos em um ponto de Arquimedes sem precedentes, onde podemos alavancar a tecnologia para realizar uma revolução educacional digital. Os cientistas da aprendizagem devem reconhecer sua competência e mandato para informar o design dessas mídias interativas na ponta dos dedos de um bilhão de mentes ansiosas.	O professor cultiva um clima epistêmico em sala de aula respeitoso e inclusivo de diversos níveis subjetivos e formas de participação e contribuição linguística e corporificada para o raciocínio matemático coletivo (Feucht 2010; Gutierrez 2013).
Pedemonte e Balacheff (2014)	O modelo de Toulmin é um modelo monológico (Bentahar, Moulin, & Bélanger, 2010) no sentido de enfatizar a estrutura do próprio argumento. O que é importante nesse	O raciocínio matemático inclui argumentação que fornece “razões” para a aceitação ou rejeição de declarações dadas, mas não

	tipo de modelo não são as relações que existem entre os argumentos, mas as relações entre os diferentes componentes de um determinado argumento. Esta é a razão pela qual este modelo foi adotado por um grande número de pesquisadores em diferentes áreas: ciência da computação e inteligência artificial , medicina, 'lógica informal' e vários outros evidenciados no volume "Arguing on the Toulmin model" (Hitchcockand & Verheij , 2006).	necessariamente respalda sua validade de uma perspectiva matemática. Embora esses argumentos possam ser representados com uma estrutura ternária (Toulmin, 1958, e cf. infra), eles não podem ser baseados em um teorema ou uma definição, ou um axioma como é o caso de uma prova matemática; em vez disso, pode ser uma conjectura, uma construção ou princípio pessoal (por exemplo, um teorema em ação) fornecido pela concepção mobilizada ou uma função de raciocínio.
Bicer <i>et al.</i> (2021)	A criatividade separa os seres humanos da inteligência artificial . Muitas categorias de trabalho que antes exigiam envolvimento humano (por exemplo, automação, economia), mas não envolvem criação ativa e diária, agora podem ser realizadas por robôs (Sawyer, 2015). Enquanto as habilidades (por exemplo, computação rápida) que antes eram altamente respeitadas tornaram-se menos valorizadas devido ao desenvolvimento de computadores avançados, o pensamento criativo como uma característica distinta dos seres humanos tornou-se uma das habilidades mais importantes necessárias no século XXI.	O currículo Matemática Preparatória para Faculdade foi concebido à luz da abordagem socioconstrutivista em que se esperava que os professores criassem um ambiente no qual os alunos pudessem refletir suas ideias matemáticas e justificar seus raciocínios matemáticos para seus colegas de classe. Este currículo também enfatiza a importância das visualizações para garantir que os alunos compreendam as ideias matemáticas por trás dos problemas por meio de múltiplas representações (por exemplo, imagens, tabelas, diagramas, gráficos).
Marmur e Zazkis (2018)	A lógica fuzzy é um ramo inovador da matemática que foi desenvolvido na década de 1960 por Lotfi A. Zadeh (por exemplo, Zadeh, 1965), e tem sido usado para modelar a linguagem humana e a tomada de decisão em inteligência artificial .	De acordo com Oehrtman, Carlson e Thompson (2008), uma compreensão abrangente do conceito, que está ligada à noção de composição de funções e incluem a capacidade de alternar entre suas várias representações, por sua vez, promove habilidades de raciocínio matemático flexíveis e poderosas.

Fonte: Autores (2024).

Para uma melhor compreensão dos artigos analisados apresentamos uma breve síntese da pesquisa com base nas categorias preestabelecidas: criatividade matemática, modelo e raciocínio, que se revelaram na nuvem de palavras e nas leituras realizadas. Nesse sentido, buscou-se com as sínteses trazer elementos para responder à questão norteadora desta pesquisa.

Criatividade matemática

Bicer et al. (2021) e Sriraman (2022) apontam em seus estudos o uso da “criatividade matemática”. Bicer et al. (2021) apresentam como objetivo o desenvolvimento de uma estrutura para identificar que tipo de tarefas matemáticas promovem a criatividade matemática dos estudantes. Já Sriraman (2022) investigou o que constitui incerteza em matemática e sua relação com a criatividade matemática, em que 30 matemáticos foram convidados a participar do estudo ao longo de 4 anos (10 e 20 pessoas) de universidades de pesquisa intensiva na América do Norte, Europa, Rússia, América do Sul e Sul da Ásia. O Sriraman (2022, p. 13) concluiu que “no campo da matemática, a incerteza e as restrições serviram tanto como condições necessárias quanto como catalisadores para a criatividade, e estimularam o desenvolvimento do campo”.

Modelos

Weber (2016), apresentou como objetivo principal do artigo sugerir elementos de uma abordagem que torne os logaritmos acessíveis e significativos na aprendizagem sustentadas do ponto de vista semântico e epistemológico. Para isso, apresenta quatro modelos que podem ter potencial de auxiliar os estudantes a gerar significado sobre os logaritmos, nomeados de (i) o modelo básico de medição multiplicativa, (ii) o modelo básico de contagem do número de dígitos, (iii) o modelo básico de diminuição do nível de hierarquia, e (iv) o modelo básico de expoente inverso” (Weber, 2016, p. 69).

Coulibaly et al. (2020) apresentaram a partir da elaboração de um modelo matemático, uma metodologia progressiva para a avaliação da qualidade da simulação em um modelo numérico de previsão de tempo e clima. Nesse sentido, ao utilizar a criação de modelos matemáticos, “afirmamos que para um determinado conhecimento matemático, um aprendiz pode não ter uma concepção única, mas um conjunto de concepções passíveis de serem mobilizadas dependendo da situação em que está envolvido” (Pedemonte; Balacheff, 2014, P. 104).

Abrahamson e Kapur (2018), apresentam seis projetos de pesquisa educacional que tem como foco construir modelos de fenômenos científicos ou situações de problemas matemáticos utilizando os princípios da aprendizagem baseada na descoberta. Como resultado ressaltaram que o papel atribuído ao professor era gerenciar a atividade e o discurso reflexivo, mas não diretamente delinear os insights direcionados (ou seja, os objetivos de aprendizagem).

Raciocínio

Alguns artigos apresentaram outros elementos que podem estar relacionados ao raciocínio matemático como raciocínio geométrico e pensamento difuso. Nesse conteúdo, Marmur e Zazkis (2018, p. 274) destacam que “primeiro precisamos ajudar os futuros

professores a se conscientizarem do pensamento difuso dentro das explicações ou abordagens que eles próprios escolhem”. (Marmur; Zazkis, 2018, p. 274) destacam que “primeiro precisamos ajudar os futuros professores a se conscientizarem do pensamento difuso dentro das explicações ou abordagens que eles próprios escolhem”.

Pedemonte e Balacheff (2014) analisam a concepção de 30 estudantes no Raciocínio Matemático observando a relação existente entre a concepção e a representação matemática realizada pelo estudante. Foi possível compreender que as concepções mobilizadas pelos estudantes impactam fortemente a atividade de argumentação e na construção e representações de suas conjecturas. Com esse estudo os autores conseguiram verificar a complexidade de realizar uma análise cognitiva argumentativa de argumentação e demonstração a qual explica o sistema de conhecimento do estudante.

Os autores discutem o uso da IA de forma sutil, destacando seu potencial para impulsionar o uso da tecnologia no campo educacional. Eles mencionam, entre outros aspectos, a aplicação de plataformas tecnológicas e a lógica fuzzy.

Além disso, os autores sugerem que os computadores do futuro poderão se aproximar da capacidade de raciocínio humano, especialmente no que diz respeito ao raciocínio matemático, tornando-se mais "inteligentes" ao ponto de simular processos cognitivos.

A partir das análises realizadas pelos autores foram identificadas as categorias “Criatividade matemática”, “Modelos” e “Raciocínio”. Tanto na IA quanto no RM a “Criatividade matemática” pode auxiliar na descoberta de padrões, a partir da criação de diferentes conjecturas e generalizações que auxiliam e exploram diferentes maneiras de resolver problemas. Os “Modelos” que estão presentes na IA no RM envolvem diferentes estruturas e representações que podem descrever um sistema, um processo ou um problema, que segundo Jeannotte e Kieran (2017) são caminhos para encontrar uma generalização.

Trabalhar o desenvolvimento do “Raciocínio” na IA e no RM pode ser uma maneira de possibilitar ao aluno o desenvolvimento de novas formas de pensar e resolver problemas, utilizando desafios inovadores e do cotidiano, apresenta-se como potencial para fortalecer as práticas que englobam a ciência, a tecnologia e a sociedade.

O RM fornece a estrutura lógica necessária para validar modelos de maneira criativa, conectando diretamente o desenvolvimento cognitivo humano à forma como a IA opera.

Considerações finais

A contar da intenção de apresentar quais artigos e o que eles descrevem sobre IA e RM, destacamos que ao todo sete artigos foram analisados com a realização da presente revisão de literatura. Os artigos apresentam a IA de forma tímida e o RM como possibilidade de desenvolvimento de competências, de pensamentos matemáticos, em práticas que possibilitem compor, constituir, argumentar, participar, explorar e compreender conceitos

matemáticos ao fazer uso de tecnologias. Relacionando ao Modelo Conceitual de Jeannotte e Kieran (2017) verificamos que os artigos sugerem a implementação das estruturas e processos, porém não os destacam nitidamente, apenas fazem menção aos termos utilizados.

Identificamos que alguns estudos fazem a indicação de possibilidades do uso da IA em conjunto com o RM. No entanto, nenhum dos trabalhos faz o uso diretamente dessas duas temáticas, abrindo possibilidades para aprofundamento de estudos envolvendo essas temáticas. No entanto, a utilização de recursos digitais, suportados por IA, podem auxiliar na compreensão de conceitos matemáticos e na criação de atividades mais dinâmicas e interativas. Desse modo a incorporação das tecnologias digitais na formação de professores de Matemática é importante para que esses profissionais possam desenvolver habilidades e competências para atender às demandas contemporâneas da sociedade e da educação (Kalinke et al., 2017).

Nesse viés a utilização de suporte de IA em conjunto com o RM pode ser vista como uma possibilidade para potencializar e mediar o ensino, especialmente no que se refere à personalização do processo de ensino e aprendizagem podendo contribuir com o ensino de Matemática, uma vez que oferece possibilidades inovadoras para explorar conceitos matemáticos complexos, aprimorar a resolução de problemas e fornecer feedbacks personalizados.

Algo destacado pelos autores dos artigos é a necessidade de conhecimento docente tanto da IA quanto do RM, isso nos leva a compreender que práticas envolvendo as temáticas ainda não são envolventes devido ao fato de os professores não terem domínio em uma das duas temáticas.

Todavia, mesmo sem possíveis relações nas pesquisas podemos compreender que a IA e o RM podem envolver-se pois com o uso da programação se faz necessário mobilizar e desenvolver o raciocínio, como por exemplo a criação de conjecturas, que precisam ser inferidas nas tomadas de decisões sobre quais direções a serem tomadas quando se está programando. Outras possibilidades são a comparação e a identificação de padrão que além de serem importantes para a construção da IA auxiliam no pensamento computacional, quando o estudante precisa comparar suas estruturas programáveis a posteriormente identificar possíveis padrões a serem seguidos para nortear a criação.

A partir de uma análise realizada pelos autores, identificou-se as categorias “Criatividade matemática”, “Modelos” e “Raciocínio”, que apresentam possíveis relações entre as temáticas. Essas três categorias podem auxiliar na resolução de problemas, a formular conjecturas e generalizações, expandindo as possibilidades de novas descobertas e compreensões.

No entanto, percebemos que as relações entre as temáticas, IA e RM representam, principalmente na formação de professores, que envolvam a mobilização de conhecimentos

matemáticos e tecnológicos com intuito de promover o aprendizado profissional da IA e do RM. Os resultados apresentados neste trabalho podem, em outras RL, incorrer em divergências de resultados, isso desentendera da metodologia adotada para o seu desenvolvimento. Por fim, espera-se que este artigo incentive novas pesquisas na área, a fim de explorar ainda mais o potencial dessa relação e sua aplicação em práticas educacionais.

Referências

- ABRAHAMSON, D.; KAPUR, M. **Reinventing discovery learning**: a field-wide research program. *Instr Sci* v. 46, p. 1–10, 2018.
- AKSU, N., ZENGİN, Y. **Disclosure of students' mathematical reasoning through collaborative technology-enhanced learning environment**. *Educ Inf Technol* v. 27, p. 1609–1634, 2022.
- BICER, A.; MARQUEZ, A.; COLINDRES, K. V. et al. **Investigating creativity-directed tasks in middle school mathematics curricula, Thinking Skills and Creativity**, v. 40, 2021.
- BADIN, E.; BORDIGNON, M.; AGOSTI, C. **Inteligência artificial aplicada ao ensino de expressões algébricas**: sistema tutor inteligente PAT2Math. *Unoesc & Ciência – ACET*, 8(1), 61–68, 2017.
- COULIBALY, L.; KAMSU-FOGUEM, B.; TANGARA, F. **Rule-based machine learning for knowledge discovering in weather data, Future Generation Computer Systems**, v. 108, p. 861-878, 2020.
- FALVO, S. R.; JUCÁ, R. S. O raciocínio proporcional através da resolução de problemas: uma experiência de formação com professores que atuam nos anos iniciais. ***Com a Palavra, o Professor***, 2022, vol. 7, no 18, p. 135-152.
- GATTI, F. N. **Educação básica e inteligência artificial**: perspectivas, contribuições e desafios. São Paulo, 90 p., 2019. Dissertação (Mestrado em Educação: Currículo) – Pontifícia Universidade Católica.
- HITT, F; GONZÁLEZ-MARTÍN, A. S. Covariation between variables in a modelling process: The ACODESA (collaborative learning, scientific debate and self-reflection) method. ***Educational Studies in Mathematics***. v. 88, I. 3, p. 201 –219, 2015.
- JEANNOTTE, D.; KIERAN, C. A conceptual model of mathematical reasoning for school mathematics. ***Educational Studies in Mathematics***, v. 96(1), p. 1-16, 2017.
- KALINKE, M. A.; MOCROSKY, L. F.; PANOSSIAN, M. L.; BANIN, E. S. Tecnologias digitais na formação e prática dos futuros professores de Matemática. ***Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia***. v. 10, n. 2, 2017.
- MARMUR, O.; ZAZKIS, R. **Space of fuzziness**: avoidance of deterministic decisions in the case of the inverse function. *Educ Stud Math*, v. 99, p. 261–275, 2018.

- MATA-PEREIRA J.; PONTE, J. P. Promover o Raciocínio Matemático dos Alunos: uma investigação baseada em design. **Bolema**, Rio Claro, v. 32, n. 62, p. 781–801, 2018.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, p. 1–27, 2015.
- PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. **Tics na composição da methodi ordinatio: construção de portfólio bibliográfico sobre modelos de transferência de tecnologia**. *Ciência da Informação*. v. 46, n. 2, 2017.
- PEDEMONTE, B.; BALACHEFF, N. Establishing links between conceptions, argumentation and proof through the cke-enriched Toulmin model, **The Journal of Mathematical Behavior**, v. 41, p. 104-122, 2016.
- SRIRAMAN, B. Uncertainty as a catalyst and condition for creativity: the case of mathematics. **ZDM Mathematics Education** v. 54, p. 19–33, 2022.
- VICARI, R. M. **Tendências em inteligência artificial na educação no período de 2017 a 2030: sumário executivo**. Brasília: SENAI, 2018. Disponível em: <http://tracegp.sesi.org.br/handle/uniepro/259>. Acesso em: 25 ago. 2022
- ZATTI, E; B. R.; MATTOS, S.; KALINKE, M. A. Uma proposta para a criação de uma plataforma assistida pela inteligência artificial para construção de objetos de aprendizagem de Matemática. **Revista Paradigma**, v. 43, n. 2, p. 259-281, 2022.
- WEBER, C. **Making Logarithms Accessible – Operational and Structural Basic Models for Logarithms**. *J Math Didakt*, v. 37 (1), p. 69–98, 2016.
- TREVISAN, A. L. Raciocínio matemático em aulas de Cálculo Diferencial e Integral: uma análise a partir de tarefas exploratórias. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 3, 2022.
- TREVISAN, A. L; MENDES, M. T. Ambientes de ensino e aprendizagem de Cálculo Diferencial e Integral organizados a partir de episódios de resolução de tarefas: uma proposta. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 1, 2018.

Biografia Resumida

Neumar Regiane Machado Albertoni: Mestranda em Educação Matemática pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Membro do Grupo de Pesquisa sobre Tecnologias na Educação Matemática (GPTEM). Licenciada em Matemática na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR (2018), tem Especialização em Tecnologias da Informática na Educação - Universidade Estadual de Londrina - UEL(2019). Possui

interesse em pesquisas sobre Tecnologias Digitais voltadas para o Ensino de conteúdos matemáticos. Experiência com ensino de Matemática na Rede Estadual com turmas de Ensino Fundamental Anos Finais e Ensino Médio.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6458529151331436>

Contato:

Giane Fernanda Schneider Gross: Doutoranda em Ciência, Tecnologia e Ensino no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciência e Tecnologia (PPGECT) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ensino de Ciências e Matemática pelo Programa de Pós-Graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica (PPGFCET) também pela UTFPR. Especializada em Alfabetização Matemática e Educação do Campo pela Faculdade São Bráz, e especialização em Educação em Direitos Humanos pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Licenciada em Matemática pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Membro do Grupo de Pesquisa sobre Tecnologias na Educação Matemática (GPTEM)

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4842927068605892>

Contato:

Arnold Vinicius Prado Souza: Doutorando em Ensino de Ciência e Tecnologia pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR-PG) e em Ciências com Especialidade em Matemática Educativa pela Universidade Autónoma de Guerrero (UAGro - México). Mestre em Ensino de Ciências e Educação Matemática pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG, 2020). Neuropsicopedagogo Clínico pelo Instituto Rhema (2018), Psicopedagogo pela Censupeg (2024) e especialista em Metodologia do Ensino de Matemática (FAPI, 2017) e em Psicopedagogia Escolar (FAPI, 2017). Licenciado em Matemática pela UEPG e em Pedagogia pela Faculdade Educacional da Lapa (2020). Participou do Programa de Licenciaturas Internacionais (PLI) na Universidade de Coimbra, Portugal (2013-2014). Possui curso técnico em Formação de Docentes em Nível Médio na modalidade Normal, pelo Instituto de Educação Estadual

Professor César Prieto Martinez (2010). Áreas de interesse incluem Educação Matemática, Formação Inicial de Professores, Indisciplina, Ensino e Aprendizagem, Letramento Matemático, Ensino de Cálculo, Raciocínio Matemático e Extensão Universitária.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9505568626372336>

Contato:

Marco Aurélio Kalinke: Doutor em Educação Matemática pela PUC-SP, tem pós-doutorado pela Universidade de Milão (Clínica del Lavoro Luigi Devoto), mestrado em Educação pela UFPR e graduação em Matemática pela UTP-PR. É professor Associado DE da UTFPR e membro do corpo docente do do Programa de Pós-graduação em Formação Científica, Educacional e Tecnológica (PPGFCET) da UTFPR. Foi professor permanente do Programa de Pós-graduação em Educação em Ciências e em Matemática (PPGECM) da UFPR entre 2011 e 2023. Atuou como Coordenador Adjunto do PPGFCET, presidente da Comissão de Implantação do curso de doutorado no mesmo programa, presidente da comissão de Internacionalização, membro de diversas outras comissões e colegiados tanto na graduação quanto na pós-graduação. Foi membro da Comissão Central para Homologação dos Processos de Reconhecimento de Diplomas Stricto Sensu. Atualmente é membro da comissão de Seleção do PPGFCET, professor responsável pelas atividades de internacionalização do Curso de Licenciatura em Matemática e membro do Conselho do Campus Curitiba. Tem experiência na área de Educação, com ênfase em Matemática e Formação de Professores, atuando principalmente com: tecnologia educacional, internet e educação, tecnologias digitais em processos de ensino e aprendizagem de Matemática. É membro líder do GPTEM: Grupo de Pesquisa sobre Tecnologias na Educação Matemática e do Grupo de Estudos e Pesquisa em Formação de Professores (GEForProf). Participa do Grupo de Pesquisa em Inovação e Tecnologias na Educação (GPINTEDUC).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9505568626372336>

Contato: <http://lattes.cnpq.br/8579058312261603>