

ALDO PERES CAMPOS E LOPES

**IMPLICAÇÕES DO DESENVOLVIMENTO DA CONSCIÊNCIA CRÍTICA POR
MEIO DA MODELAGEM MATEMÁTICA COM O USO DO CHATGPT**

Relatório de Pós-doutorado realizado
na Universidade Estadual Paulista
(UNESP), Instituto de Geociências e
Ciências Exatas – IGCE, Rio Claro.

Supervisor: Prof. Dr. Marcelo de
Carvalho Borba

Rio Claro
2025

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO MATEMÁTICA

Relatório final de Pós-Doutorado

Título da pesquisa:

Implicações do desenvolvimento da consciência crítica por meio da modelagem matemática com o uso do ChatGPT

Grande Área - CIÊNCIAS HUMANAS

Acadêmico: Aldo Peres Campos e Lopes

Supervisor – Marcelo de Carvalho Borba

Local de realização **UNESP/ Rio Claro**

Início do Projeto – 01/03/2024

Término do projeto – 28/02/2025

Observação sobre o título

Uma justificativa prévia foi feita no início do projeto de Pós-Doc, mas a resumo aqui. Meu projeto de Pós-Doutorado, “Implicações do desenvolvimento da consciência crítica por meio da modelagem matemática com o uso do ChatGPT”, está diretamente vinculado ao projeto “Modelagem Matemática na Educação Matemática”, aprovado pelo Comitê de Ética e Pesquisa (CEP). O título do meu projeto deriva dos dados coletados no estudo anterior, que apontaram a necessidade de uma investigação mais aprofundada nessa área. Assim, embora os títulos sejam diferentes, os projetos estão diretamente relacionados e compartilham o mesmo campo de pesquisa. Estou à disposição para esclarecer quaisquer dúvidas.

Resumo

Desde suas primeiras aplicações, a inteligência artificial evoluiu rapidamente, impactando diversos campos acadêmicos. Na educação, ferramentas como o ChatGPT oferecem oportunidades para aprimorar a aprendizagem, incluindo a produção de modelos matemáticos, que podem estimular o pensamento crítico. Além disso, uma educação voltada para a formação cidadã deve promover o desenvolvimento da consciência crítica. No entanto, ainda há poucas pesquisas sobre a relação entre modelagem matemática e consciência crítica. Este estudo busca entender como essa consciência se manifesta no processo de modelagem com o ChatGPT e suas implicações para uma nova visão da matemática. A modelagem matemática, além de fortalecer o pensamento crítico, pode tornar a matemática mais atrativa e conectada ao cotidiano. Para analisar e validar os modelos gerados, propõe-se uma estrutura analítica baseada na educação matemática crítica. A expectativa é que, por meio da prática – envolvendo a criação e discussão dos modelos

–, os estudantes aprimorem sua consciência crítica ao longo do processo, consolidando a modelagem matemática como uma ferramenta essencial nesse desenvolvimento.

Palavras-Chave - Consciência crítica, Pensamento crítico. modelagem matemática, inteligência artificial, ChatGPT.

Introdução

Inicialmente, conforme apontado por Freire, a concepção da educação bancária parte do pressuposto de que, assim como o dinheiro depositado não pertence ao banco, o conhecimento não pertence ao aluno. De forma sucinta, aquele que se considera detentor do saber transmite esse conhecimento àqueles que são vistos como desprovidos dele (FREIRE, 1974). Segundo o autor, essa visão do educando é desumanizadora, pois o reduz a um mero recipiente passivo, destinado apenas a armazenar informações. Como consequência desse modelo educativo opressor, há a limitação do pensamento crítico, algo que se contrapõe aos princípios da pedagogia crítica de Freire. Dessa maneira, essa abordagem pedagógica enfatiza a necessidade do uso da linguagem para auxiliar o estudante a desenvolver um olhar crítico sobre si, sobre a sociedade e sobre o mundo, permitindo-lhe construir e expressar sua identidade. Em outras palavras, para que essa perspectiva seja efetiva, é fundamental estimular o pensamento e a ação crítica, o que está diretamente relacionado à consciência crítica.

As instituições de ensino, no entanto, têm se estruturado de forma a priorizar compromissos que afastam os alunos do desenvolvimento dessa consciência crítica, dificultando o exercício da cidadania por meio da participação coletiva. Além disso, há uma desconexão entre os objetivos da educação matemática e seus métodos de avaliação (NISS, 1999; IVERSEN; LARSON, 2006). Assim, torna-se essencial resgatar o processo de humanização na educação, proporcionando aos estudantes meios para desenvolver uma compreensão crítica sobre o mundo (ARAÚJO, 2012).

Nesse contexto, a modelagem matemática surge como um método ativo de ensino e aprendizagem que pode contribuir para essa transformação. De acordo com Freire (1974, p. 48), “como método educativo ativo, ajuda a pessoa a tomar consciência do seu contexto e da sua condição de ser humano como Sujeito”. Dessa forma, a modelagem matemática

pode atuar como um instrumento para romper com a educação bancária e promover uma educação crítica (VELEDA; BURAK, 2017). Nesse sentido, a construção de modelos matemáticos não deve se limitar a um caráter descritivo, mas deve assumir um papel prescritivo – ou seja, não apenas formular conclusões e interpretações matemáticas, mas também sugerir maneiras de transformar a realidade, estimulando a reflexão e a tomada de decisões (MEYER, 1984; NISS, 2015; SKOVSMOSE; NISS, 2008). Para Freire (1974, p. 40), “entendimento crítico leva a uma ação crítica”, ou seja, a reflexão e a compreensão antecedem a prática.

Nos últimos anos, o uso de tecnologias digitais na educação tem se expandido significativamente. Entre essas inovações, destaca-se o ChatGPT, uma ferramenta que, assim como outras tecnologias, exige uma reflexão aprofundada sobre sua utilização e impactos no ensino. Apesar das discussões em torno de suas limitações e desafios, a inteligência artificial aplicada à educação veio para ficar e pode impulsionar mudanças substanciais nas metodologias de ensino e aprendizagem (Grassini, 2023). Alguns pesquisadores ressaltam a importância de estabelecer estratégias eficazes para o uso do ChatGPT e de outras ferramentas de inteligência artificial, de modo a enriquecer a experiência educacional e desenvolver módulos de ensino personalizados que atendam tanto professores quanto alunos, potencializando os benefícios dessas tecnologias na aprendizagem (GRASSINI, 2023; WU et al., 2023). Wardat e colaboradores (2023) também destacam a necessidade de pesquisas futuras que investiguem abordagens eficientes para a criação de cursos voltados ao uso de chatbots na educação e seus impactos. Além disso, enfatiza-se a importância de desenvolver chatbots educacionais que priorizem valores humanos acima de preocupações meramente técnicas, garantindo um uso seguro e responsável dessas ferramentas. A implementação adequada dessas tecnologias pode contribuir para o desenvolvimento do pensamento crítico dos alunos (SARRAZOLA-ALZATE, 2023).

Com o objetivo de investigar como os alunos manifestam a consciência crítica ao utilizarem o ChatGPT, pretende-se empregar a modelagem matemática em disciplinas do ensino superior, como Cálculo Diferencial e Integral, Cálculo Numérico ou Equações Diferenciais. Além disso, busca-se explorar as possíveis implicações desse processo para

uma nova perspectiva sobre a matemática. Dessa forma, a pesquisa se propõe a responder às seguintes questões: como a consciência crítica se manifesta por meio da modelagem matemática com o uso do ChatGPT? Quais são as relações e implicações desse processo para um novo olhar sobre a matemática?

Justificativa

Por estar diretamente ligado ao ambiente da sala de aula, este estudo pode contribuir para o desenvolvimento da criticidade e da consciência crítica dos alunos, além de possibilitar uma nova perspectiva sobre a matemática. Além disso, a pesquisa apresenta um caráter inovador, uma vez que ainda há poucas investigações sobre a relação entre a consciência crítica e atividades de modelagem matemática. Os resultados obtidos poderão, assim, oferecer subsídios para práticas pedagógicas mais motivadoras, que não apenas engajem os estudantes no aprendizado, mas também os preparem para atuar de forma crítica e reflexiva em suas futuras profissões.

Objetivo Geral

Investigar de que maneira atividades de modelagem matemática mediadas pelo uso de inteligência artificial, como o ChatGPT, podem contribuir para o desenvolvimento da criticidade e da consciência crítica dos estudantes no ensino superior, bem como para a construção de uma nova perspectiva sobre a matemática, tornando-a mais conectada com a realidade e com a reflexão social.

Objetivos específicos

Analisar o impacto da modelagem matemática mediada pelo ChatGPT no desenvolvimento da consciência crítica dos estudantes, verificando se e como essa abordagem incentiva a problematização da realidade e a tomada de decisões informadas. Investigar a relação entre a utilização do ChatGPT na modelagem matemática e a construção de um pensamento crítico e reflexivo, avaliando a maneira como os estudantes interpretam, questionam e reelaboram conceitos matemáticos diante de problemas contextualizados.

Examinar de que forma o uso da modelagem matemática com inteligência artificial pode transformar a percepção dos estudantes sobre a matemática, promovendo uma visão mais significativa, dinâmica e aplicada à realidade.

Avaliar os desafios e possibilidades da integração do ChatGPT em práticas pedagógicas de modelagem matemática, identificando limitações, oportunidades e melhores estratégias para seu uso no ensino superior.

Referencial Teórico: Educação Matemática Crítica

A Educação Crítica (EC) tem uma influência significativa nas Ciências Humanas e Sociais, mas sua aplicação em áreas técnicas ainda é limitada (SKOVSMOSE, 2001b). Para estabelecer essa conexão, Ole Skovsmose propõe a aproximação entre a concepção de democracia e a Educação Matemática (EM), destacando os desafios democráticos em uma sociedade altamente tecnológica sob a ótica da EC. Essa abordagem se caracteriza pelo desenvolvimento da capacidade crítica, pela adoção de uma postura de distanciamento crítico e pelo comprometimento crítico. Segundo Skovsmose (2001a, p. 37), “a democracia não caracteriza apenas estruturas institucionais da sociedade com relação às distribuições de direitos e deveres”, mas também está relacionada à competência da sociedade em lidar criticamente com as questões que a envolvem.

A relação entre Educação Matemática e democracia, segundo Skovsmose (2001a), se dá por duas razões principais. A primeira, denominada **argumento social**, considera que a matemática não se restringe a um conhecimento técnico, mas influencia diretamente a estruturação da sociedade, sendo essencial compreendê-la para o exercício da cidadania. A segunda razão, o **argumento pedagógico da democratização**, propõe uma reflexão sobre os métodos educacionais, analisando tanto os processos internos da escola quanto os impactos externos da matemática na sociedade. Para que a cidadania seja plenamente exercida, é necessário que as práticas democráticas não se limitem às instituições, mas sejam incorporadas às ações individuais, abrangendo tanto o nível macro quanto o micro. Nesse sentido, Skovsmose enfatiza a importância do diálogo entre professores e alunos como um meio de fomentar uma postura democrática no ambiente educacional.

Dentro da Educação Matemática Crítica, destacam-se dois conceitos fundamentais: **a ideologia da certeza** e **o paradigma do exercício**.

A **ideologia da certeza** (BORBA; SKOVSMOSE, 1997; BORBA, 2001) se baseia na concepção absolutista da matemática, sustentada por três premissas identificadas por Skovsmose (2019). Primeiramente, a matemática é vista como neutra, ou seja, como um conhecimento isento de influências externas e sem ligação com interesses particulares. Em segundo lugar, é considerada objetiva, pois supostamente representa os fenômenos da realidade de forma exata e sem subjetividade. Por fim, seu caráter racional é tido como garantia de sua certeza. No entanto, essa visão tem consequências problemáticas, pois leva à aceitação de decisões matemáticas como necessariamente corretas, neutras e objetivas, mascarando interesses políticos e sociais. Esse entendimento reforça a ideia de que a matemática é pura e universalmente aplicável, o que lhe confere uma posição de autoridade tanto na mídia quanto no meio acadêmico. Expressões como “foi provado matematicamente” ou “os números falam por si” (BORBA, 2001, p. 129) ilustram essa ideologia, perpetuada também pelas instituições de ensino e pesquisa, que frequentemente separam a matemática pura da aplicada sem questionar essa divisão. Além disso, muitos problemas matemáticos apresentados em sala de aula são artificialmente simplificados, ignorando aspectos sociais, políticos, ambientais e econômicos, que são centrais ao debate sobre a ideologia da certeza.

O **paradigma do exercício** (SKOVSMOSE, 2001b; BORBA, 2001) está relacionado à forma como os conteúdos matemáticos são tradicionalmente ensinados. Nessa abordagem, a matemática é ensinada por meio de uma repetição sistemática de exercícios, sem conexão com a realidade e sem espaço para questionamentos. Os alunos são treinados para resolver problemas seguindo um modelo fixo, onde a validação do aprendizado se resume à obtenção da resposta correta. Se a solução encontrada coincide com a do livro, o estudante simplesmente passa ao próximo exercício, reforçando a ideologia da certeza e limitando sua capacidade de reflexão crítica. Para romper com esse paradigma, é necessário um esforço consciente, visto que os alunos já estão habituados a essa previsibilidade no ensino da matemática. No entanto, essa mudança pode gerar resistência, pois desafia a zona de conforto estabelecida pelo modelo tradicional de ensino. Uma alternativa para combater a ideologia da certeza é promover práticas pedagógicas que encorajem os alunos a questionarem a matemática e compreender que, em muitas situações, não há respostas únicas ou definitivas.

No contexto da Educação Matemática Crítica, o conceito de **literacia matemática** é abordado por meio das noções de **materacia** e **matemacia**. A **materacia**, segundo D’Ambrósio (2005), refere-se à capacidade de utilizar modelos e simulações para interpretar situações do cotidiano e tirar conclusões sobre a realidade. Já a **matemacia**, conforme Skovsmose (1998), possui duas dimensões: a técnica, que envolve a reprodução de cálculos, raciocínios matemáticos e teoremas, e a sociopolítica, que implica a reflexão sobre o uso da matemática na sociedade. Essa última dimensão destaca a necessidade de um olhar crítico para a matemática e suas aplicações, considerando implicações políticas, ambientais e econômicas. Para promover o desenvolvimento sociopolítico da matemacia, é fundamental criar um ambiente educacional que estimule o debate e a reflexão sobre o papel da matemática na sociedade, permitindo que os alunos compreendam não apenas os conceitos matemáticos, mas também as suas consequências e impactos no mundo real.

Sobre o ChatGPT

Nos últimos anos, os avanços tecnológicos, especialmente no campo da inteligência artificial (IA), têm provocado transformações significativas nas práticas educacionais. Dentre esses avanços, os modelos generativos pré-treinados, conhecidos como GPT, representam um marco essencial no desenvolvimento da IA. Baseados na arquitetura de transformadores, esses modelos possibilitam a geração de textos com alto nível de coerência e naturalidade, permitindo interações automatizadas em diversos contextos, incluindo o educacional (GRASSINI, 2023; SARRAZOLA-ALZATE, 2023).

Estudos recentes têm demonstrado o potencial do ChatGPT como ferramenta educacional. Wardat e colegas (2023) destacam que essa tecnologia pode auxiliar tanto alunos quanto professores, promovendo a autorregulação da aprendizagem e a construção do conhecimento. Wu et al. (2023) apontam que o ChatGPT pode facilitar o ensino híbrido ao fornecer feedback instantâneo e sintetizar informações de modo acessível. Além disso, a interação com sistemas inteligentes pode estimular a aprendizagem ativa, permitindo que os alunos consolidem conceitos e explorem novas ideias (SARRAZOLA-ALZATE, 2023).

Entretanto, algumas limitações devem ser consideradas. Estudos indicam que o ChatGPT ainda apresenta dificuldades em corrigir equívocos matemáticos complexos, como erros em problemas de geometria (WARDAT et al., 2023). A precisão e a eficácia das respostas

dependem da complexidade do problema, da qualidade dos dados fornecidos e da clareza das instruções dadas ao modelo. Apesar dessas limitações, os desenvolvedores da OpenAI vêm aprimorando continuamente sua capacidade de lidar com cálculos matemáticos e problemas avançados, como apontado em suas pesquisas mais recentes (<https://openai.com/research/gpt-4>).

Embora o potencial do ChatGPT seja promissor, seu uso na educação tem gerado preocupações. Alguns estudiosos temem que a ampla adoção dessa tecnologia possa comprometer o desenvolvimento de habilidades analíticas nos alunos e facilitar práticas antiéticas, como o plágio (GRASSINI, 2023). Sarrazola-Alzate (2023) argumenta que o uso dessas ferramentas deve ser supervisionado por professores, garantindo uma abordagem ética e responsável. Além disso, Wardat e colegas (2023) sugerem a criação de diretrizes para o uso seguro do ChatGPT no ambiente educacional. Outra preocupação levantada por Borba e Junior (2023) é o risco de disseminação de desinformação, já que os algoritmos não são politicamente neutros e podem reforçar narrativas enviesadas. Segundo esses autores, é fundamental questionar de que forma professores e alunos estão sendo influenciados por algoritmos que operam de maneira opaca.

Diante desse cenário, Grassini (2023) argumenta que proibir o uso do ChatGPT nas escolas seria tão ineficaz quanto a proibição de calculadoras no ensino de matemática ou a tentativa de restringir o acesso ao Google. Com grandes empresas como a Microsoft investindo na integração do ChatGPT em seus produtos, é inevitável que ferramentas de IA se tornem parte do cotidiano educacional. Dessa forma, as instituições de ensino enfrentarão desafios ao estabelecer diretrizes eficazes para a implementação dessas tecnologias. Segundo Grassini (2023), ao invés de tentar barrar seu uso, o foco deve estar na integração estratégica do ChatGPT no ensino, garantindo que os alunos aprendam a utilizá-lo de maneira crítica e produtiva.

Wardat et al. (2023) enfatizam a necessidade de compreender como o ChatGPT pode ser incorporado aos métodos pedagógicos, explorando suas potencialidades e limitações. De modo semelhante, Grassini (2023) destaca que, apesar dos riscos envolvidos, o uso bem planejado dessa ferramenta pode otimizar processos de ensino e aprendizagem, ressaltando o papel essencial dos professores nesse contexto. A IA não deve substituir o docente, mas sim atuar como um recurso complementar para aprimorar a experiência educacional. Além disso, à medida que a inteligência artificial se torna cada vez mais

presente no mercado de trabalho, preparar os alunos para interagir com essas tecnologias será fundamental para sua inserção profissional.

Portanto, a inclusão do ChatGPT na educação deve ser acompanhada por estratégias pedagógicas que incentivem seu uso consciente e reflexivo. Ignorar essa transformação tecnológica pode resultar em uma lacuna na formação dos alunos, colocando-os em desvantagem competitiva em relação àqueles que adquirirem familiaridade e experiência prática com essas ferramentas. Dessa maneira, estabelecer um modelo educacional que explore criticamente a IA pode ser um passo essencial para preparar os estudantes para os desafios do futuro.

Referencial Teórico: Consciência Crítica

A consciência crítica é um processo dinâmico e historicamente situado, que se desenvolve a partir da experiência e da reflexão sobre a realidade. Segundo Freire (1967, p. 106), trata-se da capacidade de perceber o mundo tal como ele se apresenta na experiência empírica, identificando suas contradições sociais, econômicas e políticas. Esse processo leva o indivíduo a agir para transformar a realidade opressiva, promovendo uma participação ativa na sociedade e ampliando sua capacidade de intervenção política. Dessa forma, o desenvolvimento da consciência crítica pode ser considerado um dos principais objetivos da educação.

Embora a consciência crítica não possa ser reduzida a uma simples ferramenta cognitiva sem propósito social ou político, ela possibilita a compreensão dos mecanismos coercitivos presentes nos discursos simbólicos, que desempenham um papel significativo na pedagogia crítica. A escola, nesse sentido, apresenta um paradoxo: ao mesmo tempo que pode reforçar estruturas de dominação simbólica, também pode servir como espaço para a criação de novas formas de pensamento e resistência (GIROUX, 1983).

Um conceito central na pedagogia freiriana é a **transitividade crítica**, que representa um ponto de chegada desejável no processo educacional (SHUDAK; AVOSEH, 2015). Esse conceito pode ser compreendido como um fenômeno psicológico que conduz à tomada de consciência crítica e à transformação da percepção da realidade. Assim, uma pedagogia verdadeiramente crítica não se limita à transmissão de conhecimento, mas deve possibilitar mudanças na consciência dos indivíduos, garantindo que, ao longo do processo educativo, cada sujeito se torne diferente do que era inicialmente.

Referencial Teórico: Novo Olhar para a Matemática

A modelagem matemática tem ganhado crescente reconhecimento no currículo educacional, sendo apontada como uma ferramenta essencial para o desenvolvimento de habilidades, a aplicação do conhecimento teórico e a promoção da reflexão crítica (LINGEFJÄRD, 2006; HERNANDEZ-MARTINEZ; VOS, 2018; LU; KAISER, 2022). Nesta pesquisa, busca-se investigar como a modelagem matemática pode contribuir para o surgimento de um novo olhar para a matemática. Esse conceito será explorado a partir de três perspectivas fundamentais: **interesse, utilidade e aplicação da matemática na sociedade**.

O interesse é um fator crucial no processo de aprendizagem. De acordo com um estudo etimológico (ERNOUT; MEILLET, 1985), a palavra “interesse” está associada àquilo que importa para o indivíduo. No contexto educacional, refere-se ao que desperta a curiosidade e o engajamento do aluno. Segundo Abbagnano (1971) e Abbagnano e Visalberghi (1992), o interesse desempenha um papel central na pedagogia, especialmente na abordagem de John Dewey (1978), que o considera um elemento dinâmico e essencial para a motivação do estudante.

A percepção da **utilidade** da matemática também influencia a motivação e o desempenho acadêmico. Estudos indicam que os alunos aprendem melhor quando reconhecem a aplicabilidade dos conceitos matemáticos em sua vida cotidiana (HULLEMAN et al., 2017). Heymann (2003) argumenta que a modelagem matemática amplia essa percepção, tornando o aprendizado mais significativo. Pesquisas apontam que até mesmo estudantes universitários passam a enxergar a matemática como mais relevante quando ela é ensinada por meio da modelagem (HERNANDEZ-MARTINEZ; VOS, 2018).

Por fim, a relação entre a matemática e a sociedade tem sido objeto de diversas investigações (MAAß, 2010; IKEDA, 2018), mas ainda há poucos estudos sobre a modelagem matemática no ensino superior e seu impacto na percepção dos alunos sobre o papel social da matemática. Diante disso, compreender como os estudantes interpretam a matemática e seus múltiplos usos na sociedade é uma questão fundamental para a pesquisa.

Metodologia

O estudo será conduzido em duas etapas principais: uma pesquisa teórico-bibliográfica e uma pesquisa de campo.

Na primeira fase, será realizada uma investigação bibliográfica baseada na análise de artigos, livros, teses e dissertações que abordam temas relacionados à educação matemática no ensino superior e à educação matemática crítica. Esse levantamento teórico permitirá fundamentar a pesquisa e contextualizar sua relevância dentro do campo da educação matemática.

Em um segundo momento, será desenvolvida a pesquisa de campo com alunos do ensino superior, por meio da elaboração, aplicação e avaliação de atividades de modelagem matemática sob uma perspectiva crítica. A participação dos estudantes será voluntária, sendo-lhes previamente esclarecidos os objetivos e procedimentos do estudo. Além disso, será garantido o direito de desistência a qualquer momento, mediante simples comunicação ao professor pesquisador.

Para a coleta de dados, serão utilizados três instrumentos: uma atividade de modelagem matemática, um questionário e entrevistas semiestruturadas. A realização dessas atividades não acarretará custos para os participantes nem interferirá no andamento da disciplina, pois as modelagens estarão alinhadas ao conteúdo matemático programado e serão conduzidas pelo próprio professor pesquisador. Além disso, espera-se que a proposta contribua para o engajamento dos alunos, aumentando seu interesse pela matemática e favorecendo uma percepção mais ampla sobre suas aplicações na sociedade. A fim de assegurar a confidencialidade dos participantes, qualquer eventual divulgação dos resultados será realizada de forma anônima. Os nomes reais serão substituídos por pseudônimos, e nenhum documento será associado à identidade dos alunos.

Os dados coletados foram analisados por meio da **análise de conteúdo**, metodologia que busca interpretar os significados subjacentes às falas dos participantes (BARDIN, 2011). Para isso, seguimos as três etapas descritas por Bardin (2011): **(i) análise prévia**, na qual o material será organizado e categorizado; **(ii) tratamento dos dados**, fase em que serão extraídas inferências e padrões relevantes; e **(iii) discussão dos resultados**, em que os achados serão interpretados à luz do referencial teórico.

Por fim, os resultados foram analisados de forma comparativa, buscando identificar possíveis contrastes, convergências e novas perspectivas que possam enriquecer a compreensão sobre a manifestação da consciência crítica no ensino da matemática.

Resultados e Discussões

Ampliação do referencial teórico

Algo relevante a se destacar, conforme será resumido a seguir, foi a ampliação do referencial teórico. Isso se deu por uma pesquisa bibliográfica feita nos primeiros meses do pós-doutorado, incluindo textos publicados nos últimos anos pelo supervisor, prof. Marcelo de Carvalho Borba, além de outros dentro da temática em estudo.

Seres-humanos-com-ChatGPT e Poder de Ação. Para compreender os papéis que os alunos atribuem ao ChatGPT na elaboração de modelos matemáticos, é essencial considerar o conceito de seres-humanos-com-ChatGPT, que explora a interdependência entre humanos e IA. Estudos anteriores (Oliveira & Souza, 2021) destacam como a tecnologia digital se tornou parte fundamental da sociedade e da educação. Borba (2021) sugere que essa dependência da internet redefine o que significa ser humano, tornando a integração da tecnologia essencial no ensino.

A inteligência artificial não é apenas um suporte pedagógico, mas um agente ativo na produção do conhecimento. A perspectiva de seres-humanos-com-mídias (Borba & Villarreal, 2005) reforça que o conhecimento emerge da interação entre humanos e mídias, como a escrita e as linguagens digitais. O ChatGPT assume o papel de um mediador cognitivo, facilitando a compreensão de conceitos matemáticos complexos e reorganizando o pensamento humano.

A introdução de tecnologias educacionais sempre gerou debates. Calculadoras e computadores facilitaram o acesso à informação e a experimentação matemática (Borba & Balbino Junior, 2023). O ChatGPT representa um avanço, pois, além de realizar cálculos, oferece respostas personalizadas em linguagem natural, promovendo maior engajamento dos alunos. No entanto, sua confiabilidade é essencial: pesquisas apontam erros em cálculos e interpretações (Ghassemi et al., 2023), o que pode reforçar a ideologia da certeza – a crença equivocada de que a matemática é absoluta e universal (Lopes, 2023). Para evitar isso, é fundamental estimular o pensamento crítico e questionador no uso da IA.

A IA pode aprimorar o ensino, mas não substitui professores. Há preocupações sobre o uso excessivo do ChatGPT para obter respostas rápidas, sem reflexão. Brandtzaeg

et al. (2023) discutem a dicotomia entre “bom” e “mau” poder de ação da IA: um poder positivo amplia a autonomia e a tomada de decisão; um poder negativo pode induzir erros, restringir informações e prejudicar a comunicação.

No contexto educacional, o poder de ação (agency) ajuda a analisar como humanos e IA interagem para produzir conhecimento. Borba (2021) sugere que essa visão deve ir além do antropocentrismo, reconhecendo que tanto humanos quanto tecnologias exercem influência. Cunha (2023), ao revisar a Teoria da Atividade, defende que as coisas também possuem poder de ação, podendo agir sob comando humano (ação delegada) ou gerar efeitos imprevistos (ação condicional).

A agência transformadora (TADS) propõe que aprendizes superem desafios ao interagir com artefatos tecnológicos (Cunha, 2023). Seis formas de poder de ação foram identificadas: resistência a mudanças, crítica a práticas atuais, explicação de alternativas, previsão de tendências, comprometimento com ações transformadoras e implementação de mudanças concretas. Esses conceitos ajudam a entender como o ChatGPT pode impactar a aprendizagem matemática.

Pesquisas sobre seres-humanos-com-mídias mostram que a tecnologia pode aprimorar a modelagem matemática. Villarreal & Mina (2020) observaram que softwares gráficos facilitaram o aprendizado coletivo, promovendo a formulação de problemas, seleção de variáveis e levantamento de hipóteses. Com base nessa integração crescente da IA na educação, na próxima seção, exploram-se os impactos do ChatGPT na modelagem matemática e na produção do conhecimento.

O impacto do ChatGPT na obtenção de modelos matemáticos por estudantes do ensino superior

A influência do ChatGPT na construção de modelos matemáticos por universitários tem se mostrado significativa. Observou-se que diversos grupos utilizaram essa ferramenta de IA para auxiliá-los em diferentes etapas do processo, desde a compreensão das variáveis envolvidas até a formulação de conclusões sobre o trabalho realizado. Nesse contexto, o ChatGPT foi percebido como um agente de apoio, ao qual os estudantes delegaram certo grau de poder de ação.

Além disso, os alunos identificaram uma distinção clara entre o impacto positivo e negativo dessa ferramenta. De um lado, o ChatGPT contribui para a compreensão de

elementos-chave do modelo, como a identificação e a relação entre variáveis, além de apontar possíveis inconsistências nos cálculos matemáticos. Por outro lado, quando o assistente de IA não consegue interpretar corretamente o problema ou gera respostas imprecisas, incompletas ou tendenciosas, ele passa a ser visto como um fator de risco, podendo gerar desinformação ou induzir a erros.

O estudo revela que a percepção do poder de ação do ChatGPT é moldada por diferentes fatores. Quando suas respostas são coerentes e contextualmente adequadas, os alunos o enxergam como um recurso valioso. No entanto, sua credibilidade é questionada sempre que ele apresenta dificuldades em compreender questões matemáticas ou quando suas respostas parecem manipuladoras ou enganosas. Assim, compreender as nuances dessa interação entre humanos e IA é essencial para avaliar o impacto dessa tecnologia na experiência de aprendizado.

Essas descobertas ressaltam a necessidade de aprofundar pesquisas sobre o desenvolvimento do poder de ação das inteligências artificiais, dada sua crescente influência na educação. Considerando a dualidade entre a “boa” e a “má” ação do ChatGPT, bem como as múltiplas formas de uso dessa tecnologia pelos alunos, futuros estudos podem explorar aspectos como o pensamento crítico e a consciência dos estudantes ao empregarem a IA em atividades matemáticas, especialmente na modelagem.

À medida que novas versões do ChatGPT e outras ferramentas de IA forem lançadas, torna-se fundamental investigar suas possibilidades de integração no ambiente educacional. Por fim, é crucial reconhecer que a IA é uma ferramenta poderosa para potencializar o aprendizado, mas não substitui a necessidade de professores qualificados e ensino de qualidade. Seu uso deve ser ético e responsável, promovendo a autonomia dos alunos e garantindo que a tecnologia seja um meio de aprimoramento da educação, e não uma limitação ao desenvolvimento do pensamento crítico e da tomada de decisão.

Referências

ABBAGNANO, N. **Dizionario di filosofia**. Second revised and expanded edition. Turin: Utet, 1971.

ABBAGNANO, N.; VISALBERGHI, A. **Historia de la pedagogía**. Madrid: Fondo de Cultura Económica. México, 1992.

ALRØ, H.; SKOVSMOSE, O. **Diálogo e aprendizagem em educação matemática**. Belo Horizonte: Autêntica, 2006.

ARAÚJO, J. L. Ser crítico em projetos de modelagem em uma perspectiva crítica de educação matemática. **Bolema**, Rio Claro, v. 26, n. 43, p. 839-860, 2012. Recuperado em 01 ago. 2023, de <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-636X2012000300005>

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BORBA, M. C. A ideologia da certeza em educação matemática. In: O., SKOVSMOSE (Org.) **Educação matemática crítica: A questão da democracia** (pp. 127-148). Campinas: Papirus, 2001.

BORBA, M. C.; JUNIOR, V. R. B. (2023). O ChatGPT e educação matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, v. 25, n. 3, p. 142-156. <https://doi.org/10.23925/1983-3156.2023v25i3p142-156>

BORBA, M.; SKOVSMOSE, O. The ideology of certainty in mathematics education. **For the learning for mathematics**, v. 17, n. 3, p. 17-23, 1997. Recuperado em 01 ago. de 2023, de <https://www.jstor.org/stable/40248248>

BORBA, M. C. The future of mathematics education since COVID-19: humans-with-media or humans-with-non-living-things. **Educational Studies in Mathematics**, v. 108, n. 1-2, p. 385-400, 2021.

BORBA, M. C. & BALBINO JUNIOR, V. R. O ChatGPT e educação matemática. **Educação Matemática Pesquisa**, v. 25, n. 3, p. 142-156, 2023.

BORBA, M. C. & VILLARREAL, M. E. **Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: Information and communication technologies, modeling, experimentation and visualization**. New York: Springer, 2005.

BRANDTZAEG, P. B., YOU, Y., WANG, X. & YUONG, L. “‘Good’ and ‘bad’ machine agency in the context of human-AI communication: The case of ChatGPT,” In: H. Degen, S. Ntoa & A. Moallem (eds.). **HCI International 2023 —Late Breaking Papers: 25th International Conference on Human-Computer Interaction. Proceedings**. Lecture Notes in Computer Science (v.14059, pp. 3-23). Cham, Switzerland: Springer, 2023.

CUNHA, J. F. T. (2023). **Licenciatura híbrida de Matemática: quais são os papéis dos vídeos digitais**. 2023. 148f. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Matemática). Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, MT.

D’AMBRÓSIO, U. Sociedade, cultura, matemática e seu ensino. **Educação e Pesquisa**. São Paulo, v. 31, n. 1, p. 99-120, 2005.

DEWEY, J. **Vida e Educação**. São Paulo: Melhoramentos. Fundação Nacional de Material Escolar. Tradução de Teixeira, A., 1978.

ERNOUT, A.; MEILLET, A. **Dictionnaire étymologique de la langue latine: Histoire des mots**. Paris: C. Klincksieck, 1985.

FREIRE, P. **Educação como Prática da Liberdade**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1967.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. São Paulo: Paz e Terra, 1974.

GIROUX, H. Theories of reproduction and resistance in the new sociology of education: A critical analysis. **Harvard Educational Review**, v. 53, n. 3, pp. 257–293, 1983.

GHASSEMI M., BIRHANE A., BILAL M., KANKARIA, S., MALONE, C., MOLLICK, E. & TUSTUMI, F. ChatGPT one year on: who is using it, how and why? **Nature**, v. 624, p. 39-41, 2023.

GRASSINI S. Shaping the Future of Education: Exploring the Potential and Consequences of AI and ChatGPT in Educational Settings. **Education Sciences**, v. 13, n. 7, 692, 2023. <https://doi.org/10.3390/educsci13070692>

HERNANDEZ-MARTINEZ, P.; VOS, P. “Why do I have to learn this?” A case study on students’ experiences of the relevance of mathematical modelling activities. **ZDM Mathematics Education**, v. 50, n. 1-2, pp. 245–257, 2018. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.1007/s11858-017-0904-2>

HEYMANN, H. W. **Why teach mathematics?** A focus on general education. Springer Science & Business Media, 2003.

HULLEMAN, C. S., KOSOVICH, J. J., BARRON, K. E.; DANIEL, D. B. Making connections: Replicating and extending the utility value intervention in the classroom. **Journal of Educational Psychology**, v. 109, n. 3, pp. 387–404, 2017. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.1037/edu0000146>

IKEDA, T. Evaluating student perceptions of the roles of mathematics in society following an experimental teaching program. **ZDM Mathematics Education**, v. 50, n. 1-2, pp. 259–271, 2018. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.1007/s11858-018-0927-3>

IVERSEN, S.M.; LARSON, C. J. Simple thinking using complex math vs. complex thinking using simple math—A study using model eliciting activities to compare students’ abilities in standardized tests to their modelling abilities. **Zentralblatt für Didaktik der Mathematik**, v. 38, n. 3, pp. 281–292, 2006. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.1007/BF02652811>

LINGEJÄRD, T. Faces of mathematical modeling. **Zentralblatt für Didaktik der Mathematik**, n. 38, n. 2, pp. 96–112, 2006. Recuperado em 01 ago. 2023 <https://doi.org/10.1007/BF02655884>

Lopes, A. P. C. Contrapondo a ideologia da certeza por meio do conhecimento reflexivo na modelagem matemática. **BOLEMA: Boletim De Educação Matemática**, v. 37, n. 77, p. 936–957, 2023.

LU, X.; KAISER, G. Creativity in students’ modelling competencies: conceptualisation and measurement. **Educational Studies in Mathematics**, v. 109, n. 2, pp. 287-311, 2022. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.1007/s10649-021-10055-y>

MAAß, K. Modelling in class and the development of belief about the usefulness of mathematics. In: LESH, R.; GALBRAITH, P. L.; HAINES, C. R.; HURFORD, A.

(Eds.), **Modeling students' mathematical competencies** (pp. 409–420). Dordrecht: Springer, 2010.

MEYER, W. J. Descriptive and prescriptive models–Inventory policy. In: MEYER, W. J. (Ed.), **Concepts of mathematical modeling** (pp. 60–68). New York: McGraw-Hill, 1984.

NISS, M. Aspects of the nature and state of research in Mathematics Education, **Educational Studies in Mathematics**, v. 40, n. 1 pp. 1–24, 1999.

NISS, M. Prescriptive modelling–challenges and opportunities. In: STILLMAN, G. A.; BLUM, W.; BIEMBENGUT, M. S. (Eds.), **Mathematical modelling in education research and practice: Cultural, societal, and cognitive influences** (pp. 67–79). Cham: Springer, 2015.

NISS, M.; BLUM, W. **The learning and teaching of mathematical modelling**. London: Routledge, 2020. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.4324/9781315189314>

OLIVEIRA, L. A. R. N. & SOUZA, E. G. Etapas De Modelagem Matemática A Partir Da Teoria Ator-Rede. In: Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática (VIII SIPEM). **Anais...**Uberlândia (MG) Uberlândia, 2021.

SARRAZOLA-ALZATE, A. Uso de ChatGPT como herramienta en las aulas de clase **Revista EIA**, v. 20, n. 40, Reia4020, p. 1-23, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1718>, acesso em 21 out. 2023.

SHUDAK, N. J. The Need for Philosophical Frameworks in Teacher Education. In: GOERING, S.; SHUDAK, N. J.; WARTENBERG, T. E. (Eds.), **Philosophy in Schools: An Introduction for Philosophers and Teachers** (pp. 21-33). New York: Routledge, 2013.

SHUDAK, N. J. The Re-Emergence of Critical Pedagogy: A Three-Dimensional Framework for Teacher Education in the Age of Teacher Effectiveness. **Creative Education**, v. 5, n. 11, pp. 989-999, 2014. Recuperado em 01 ago. 2023, de <http://dx.doi.org/10.4236/ce.2014.511113>

SHUDAK, N. J.; AVOSEH, M. B. M. Freirean-based critical pedagogy: The challenges of limit-situation and critical transitivity. **Creative Education**, v. 6, n. 4, pp. 463-471, 2015. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.4236/ce.2015.64046>

SKOVSMOSE, O. Linking mathematics education and democracy: Citizenship, mathematical archaeology, mathemacy and deliberative interaction. **Zentralblatt für Didaktik der Mathematik**, v. 30, n. 6, pp. 195–203, 1998. <https://doi.org/10.1007/s11858-998-0010-6>

SKOVSMOSE, O. **Educação Matemática crítica: a questão da democracia**. Campinas: Papyrus, 2001a.

SKOVSMOSE, O. Landscapes of Investigation. **Zentralblatt für Didaktik der Mathematik**, v. 33, n. 4, pp. 123–132, 2001b. Recuperado em 01 ago. 2023, de <https://doi.org/10.1007/BF02652747>

SKOVSMOSE, O. Crisis, Critique and Mathematics. *Philosophy of Mathematics Education Journal*, n. 35, 2019. Recuperado em 01 de ago. 2023, de <https://vbn.aau.dk/en/publications/crisis-critique-and-mathematics>

SKOVSMOSE, O.; NISS, M. Critical mathematics education for the future. In: NISS, M. (Ed.), **ICME-10 Proceedings**: proceedings of the 10th International Congress on Mathematical Education IMFUFA, Roskilde University, 2008.

VELEDA, G. G.; BURAK, D. Mathematical Modelling in Mathematics Education as Way to Develop Critical Consciousness: A Theoretical Study. *Acta Scientiae*, v. 19, n. 2, pp. 211-223, 2017.

Villarreal, M. E., & Mina, M. (2020). Actividades Experimentales con Tecnologías en Escenarios de Modelización Matemática. **BOLEMA: Boletim De Educação Matemática**, v. 34, n. 67 p. 786–824, 2020.

WARDAT, Y.; TASHTOUSH, M. A.; ALALI, R.; JARRAH, A. M. ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, v. 19, n. 7, em2286, 2023. <https://doi.org/10.29333/ejmste/13272>

WU, T.-T.; LEE, H.-Y.; LI, P.-H.; HUANG, C.-N.; HUANG, Y.-M. Promoting Self-Regulation Progress and Knowledge Construction in Blended Learning via ChatGPT-Based Learning Aid. *Journal of Educational Computing Research*, 2023. <https://doi.org/10.1177/07356331231191125>

Cronograma com resumo das atividades desenvolvidas

Atividade	Período
Pesquisa Bibliográfica	Março-Maio/2024
Transcrição das entrevistas	Março-Abril/2024
Análise dos dados	Abril-Dezembro/2024
Escrita de artigos para revistas científicas (nacionais e internacionais), anais de eventos	Maio/2024 a fevereiro/2025
Participação de evento nacional - SIPEM	Novembro/2024

Participação de evento internacional - ICMI	Janeiro/2025
Preparação para apresentação em eventos e reuniões nacionais e internacionais	Abril/2024, Agosto/2024, Outubro/2024 a janeiro/2025
Aprofundamento e ampliação da busca por pesquisas científicas, estudos, teorizações sobre os temas e subtemas.	Agosto a dezembro/2024
Reuniões semanais com os membros do grupo GPIMEM	Março à dezembro/2024

Comentários do Supervisor

Aldo Lopes mostrou uma capacidade de trabalho incrível. Preparamos diversos artigos científicos, concluímos outros que estavam em andamento e, além disso, auxiliou o supervisor em algumas aulas na graduação, ajudou alunos de mestrado e doutorado com suas pesquisas, além de trabalhar em um projeto de pesquisa que pretendemos submeter a FAPESP. O projeto não foi submetido devido ao supervisor. Foi a congresso internacional altamente relevante, apresentando artigo em conjunto comigo. Ele sai deste estágio, pronto para atuar/ingressar em pós-graduação em sua instituição de origem.