

Seres-humanos-com-ChatGPT em Modelagem Matemática

Humans-with-ChatGPT in Mathematical Modeling

Aldo Peres Campos e Lopes¹

Marcelo de Carvalho Borba²

Resumo: Diversos estudos têm destacado a importância da modelagem na educação matemática, especialmente no contexto da tecnologia. Com o avanço da inteligência artificial (IA) e o surgimento de ferramentas como o ChatGPT, seu emprego está se tornando cada vez mais presente na educação, tornando-se fundamental investigar suas implicações na modelagem matemática. Neste cenário, realizamos uma pesquisa com estudantes de engenharia envolvendo atividades de modelagem utilizando o ChatGPT. Este estudo qualitativo foca na interação humano-ChatGPT, considerando a noção de seres-humanos-com-mídias. Os resultados indicam que a integração da IA pode enriquecer a modelagem e ressaltam a influência do poder de ação dos seres-humanos-com-ChatGPT, além de apontar uma dicotomia na utilização dessa tecnologia.

Palavras-chave: Tecnologia. ChatGPT. Poder de ação. Modelagem Matemática. Seres-humanos-com-mídias.

Abstract: Several studies have emphasized the importance of modeling in mathematics education, particularly in the context of technology. With the advancement of artificial intelligence (AI), such as ChatGPT, AI is becoming increasingly prevalent in education, making it essential to investigate its implications in mathematical modeling. In this context, we conducted research with engineering students involving modeling activities using ChatGPT. This qualitative study focuses on the human-ChatGPT interaction, considering the notion of humans-with-media. The results indicate that AI integration can enhance modeling and highlight the influence of the agency of humans-with-ChatGPT, while also pointing to a dichotomy in the use of this technology.

Keywords: Technology. ChatGPT. Agency. Mathematical Modeling. Humans with media.

1 Introdução

Bakker, Cai e Zenger (2021), em um número especial do periódico *Educational Studies in Mathematics* sobre pandemia e educação matemática, destacaram áreas promissoras para pesquisas futuras, enfatizando a importância de direcionar mais atenção para a modelagem (esse número pode ser acessado pelo seguinte endereço: <https://link.springer.com/journal/10649/volumes-and-issues/107-1>, acesso em 10 de setembro de 2024). Particularmente, pode-se investigar o uso costumeiro que a modelagem faz da tecnologia. A tecnologia pode desempenhar um papel eficaz em todas as etapas de modelagem, no entanto, é importante considerar cuidadosamente seu emprego adequado, pois ela pode tanto facilitar quanto apresentar desafios, quando utilizada nesse contexto (Galbraith

¹ Instituto de Ciências Puras e Aplicadas (ICPA), Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) • Itabira, MG — Brasil • ✉ aldolopes@unifei.edu.br • ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4046-0840>

Instituto de Geociência e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP) • Rio Claro, SP — Brasil • ✉ aldo.lopes@unesp.br

² Instituto de Geociência e Ciências Exatas (IGCE), Universidade Estadual Paulista (UNESP) • Rio Claro, SP — Brasil • ✉ marcelo.c.borba@unesp.br • ORCID <https://orcid.org/0000-0003-3101-5486>

& Fisher, 2021). Conforme observado por Galbraith e Fisher (2021), esses desafios incluem a forma como os estudantes lidam e operam com a tecnologia na obtenção de modelos.

Nesse contexto de crescente utilização de tecnologias no ensino, um recurso inovador que tem ganhado espaço é o ChatGPT, um *chatbot* de inteligência artificial (IA) desenvolvido pela OpenAI. Lançado para o público em novembro de 2022 em sua versão 3.5, o ChatGPT se tornou rapidamente popular, acumulando um milhão de usuários em apenas uma semana (Ghassemi *et al.*, 2023). Este assistente de IA é capaz de gerar soluções textuais para uma ampla gama de perguntas, utilizando um vasto banco de dados que inclui informações da Wikipedia, artigos acadêmicos e redes sociais. Com isso, ele pode ser uma ferramenta útil em diversos contextos educacionais, inclusive na resolução de questões matemáticas, como destacam Hwang, Flavin e Lee (2023).

Embora o ChatGPT ainda não estivesse disponível na época do estudo de Bakker *et al.* (2021), esses autores já apontavam para a necessidade de se explorar mais profundamente o papel da tecnologia no ensino de matemática. Eles enfatizaram que os estudantes não apenas devem aprender a usar essas ferramentas, mas também podem integrá-las como parte de seu processo de aprendizagem. Seguindo essa linha, Engelbrecht, Borba e Kaiser (2023) levantam uma questão central para a evolução da educação matemática que é a seguinte: “que tecnologia os alunos devem usar para apoiar seu próprio aprendizado matemático, bem como o aprendizado colaborativo de outros alunos?” (p. 10). Além disso, Hwang *et al.* (2023) sublinham a carência de pesquisas sobre o uso de tecnologias emergentes, particularmente aquelas baseadas em IA, por professores e alunos, por destacarem a carência de pesquisas sobre “os sistemas de aprendizagem matemática baseados em IA” – tradução nossa de “AI-based mathematics learning systems (Hwang *et al.*, 2023, p. 10776).

Com a chegada de novas tecnologias, surgem também debates sobre suas vantagens e limitações. Por isso, é crucial avaliar de forma crítica como as IAs, como o ChatGPT, impactam a educação. Engelbrecht e Borba (2023) destacam que as abordagens pedagógicas precisam se adaptar ao cenário tecnológico em constante mudança, especialmente com o crescente uso dessas ferramentas por estudantes de ensino superior (Milano, McGrane, & Leonelli, 2023). Esses alunos já utilizam o *chatbot* para revisar respostas de exercícios, resolver problemas complexos e melhorar o estilo de escrita em trabalhos acadêmicos. Contudo, como observam Milano *et al.* (2023), o desafio reside na capacidade do ChatGPT de gerar textos fluentes e confiáveis, o que levanta questões sobre sua aplicação em relatórios acadêmicos e provoca respostas variadas das universidades, que vão desde proibições até o retorno de métodos tradicionais de avaliação com papel e caneta.

Por fim, Borba e Balbino Junior (2023) analisam o impacto do ChatGPT em situações práticas, ressaltando tanto seu potencial quanto suas limitações. Em três exemplos – um cálculo financeiro, um paradoxo e uma questão de geometria – o ChatGPT demonstrou sucesso em algumas áreas, mas cometeu erros significativos em outras, como na resolução de problemas geométricos. Diante disso, os autores concluem que o uso dessa ferramenta no ensino de matemática precisa ser cuidadosamente investigado, com pesquisas que analisem tanto a sua eficácia quanto os desafios e os riscos envolvidos.

A fim de contribuir para esse debate, apresentamos dados de uma pesquisa empírica conduzida em 2023, envolvendo estudantes de engenharias em uma disciplina de matemática, Equações Diferenciais. Esses alunos obtiveram modelos matemáticos com o auxílio do ChatGPT e o objetivo foi compreender os papéis que esses estudantes atribuem a esse *chatbot* em atividades de modelagem matemática. Com isso, pretende-se responder à seguinte questão: como o poder de ação do ChatGPT influencia a obtenção de um modelo matemático, produzido por estudantes do ensino superior? Essa pergunta busca explorar o papel dessa

ferramenta de IA na modelagem matemática, abordando como a tecnologia pode tanto facilitar quanto desafiar o processo de aprendizado, e como os alunos lidam com a interdependência entre humanos e inteligência artificial no contexto educacional de modelagem.

Os resultados da pesquisa levaram a possíveis implicações práticas, visto que sugerem que o ChatGPT pode ser uma ferramenta útil para educadores e alunos, ampliando estratégias pedagógicas e ajudando na compreensão de conceitos matemáticos complexos e no uso em metodologias, como a modelagem matemática. Para os professores, é importante orientar o uso criterioso e ético da tecnologia, enquanto os alunos podem se beneficiar ao identificar erros e melhorar sua autonomia na modelagem matemática, desde que reconheçam os limites e potenciais vieses da IA.

2 Seres-humanos-com-ChatGPT e poder de ação

Para identificar os possíveis papéis que os alunos podem atribuir ao ChatGPT na elaboração de modelos matemáticos, é importante destacar o poder de ação das mídias e tecnologias de IA, dentro do conceito de seres-humanos-com-ChatGPT. Esse conceito, que examina a interdependência entre atores humanos e não humanos, está relacionado às discussões apresentadas em edições anteriores do SIPEM (Oliveira & Souza, 2021).

Nesse contexto, Borba (2021) sugere que a crescente dependência em relação à internet é uma realidade cada vez mais presente no cotidiano das pessoas, consolidando-se como um elemento essencial da sociedade contemporânea. Essa mudança de cenário impacta diretamente a percepção do que significa ser humano, uma vez que a presença da tecnologia se torna indispensável em nossas vidas. Se considerarmos verdadeira essa conjectura sobre a redefinição da humanidade, será necessário integrar a internet às atividades educacionais como forma de engajar uma ampla gama de alunos. A tecnologia digital, nesse sentido, vai além de um simples artefato pedagógico; ela constitui parte essencial das práticas educacionais, dada sua relevância na vida de alunos e professores. A relação de interdependência entre atores humanos e tecnológicos, conforme discutido por Oliveira e Souza (2021), sugere que, com o avanço da inteligência artificial, recursos como o ChatGPT devem ser integrados às práticas educacionais para garantir maior envolvimento dos estudantes.

Essa mudança tecnológica afeta significativamente o ensino, a aprendizagem e o raciocínio matemático, impactando diretamente as possibilidades de produção de conhecimento. A concepção de um coletivo de seres-humanos-com-mídias (Borba & Villarreal, 2005), considerada como a unidade básica responsável por essa produção, reforça a ideia de que o conhecimento emerge da interação entre seres humanos e diferentes mídias, como a oralidade, a escrita e as novas linguagens digitais. As ferramentas tecnológicas, portanto, assumem o papel de guias experientes, oferecendo recursos que expandem a compreensão conceitual e o entendimento aprofundado dos conteúdos. Essa perspectiva vê a tecnologia como uma coprodutora ativa do pensamento e do conhecimento, com poder de ação. Assim, a interação entre humanos e mídias cria um coletivo pensante, no qual novas formas tecnológicas reorganizam o pensamento humano (Borba, 2021). Nesse cenário, os artefatos tecnológicos funcionam como catalisadores, facilitando a exploração colaborativa de ideias matemáticas mais complexas e ampliando o leque de possibilidades de aprendizado.

Nessa perspectiva, o conceito de seres-humanos-com-mídias pode ser ampliado para abarcar a noção de seres-humanos-com-ChatGPT. Essa abordagem sugere que o conhecimento não é gerado de forma isolada pelos indivíduos, mas em colaboração com a inteligência artificial. O ChatGPT, por sua vez, reorganiza o pensamento humano e influencia

diretamente o processo de produção do conhecimento. A interação entre humanos e IA amplia o coletivo pensante e levanta questões éticas sobre a responsabilidade na geração de conteúdo, além de ressaltar a importância de um aprendizado contínuo e de uma adaptação mútua entre os usuários e o assistente de IA. Em suma, o conceito de seres-humanos-com-ChatGPT reconhece essa colaboração na produção do conhecimento e reforça a necessidade de uma abordagem crítica e reflexiva nesse processo.

A introdução de tecnologias educacionais, como calculadoras e computadores, gerou debates sobre seus efeitos no processo de aprendizagem e no papel dos professores. As calculadoras, por exemplo, oferecem praticidade e rapidez nos cálculos, além de promoverem a experimentação com tecnologias. De maneira similar, os computadores facilitaram o acesso à informação e proporcionaram ambientes interativos de aprendizagem (Borba & Balbino Junior, 2023). Nesse sentido, o ChatGPT representa um avanço, pois, além de realizar cálculos e fornecer informações, gera respostas personalizadas em linguagem natural sobre uma ampla variedade de temas, o que pode ser especialmente útil no ensino de matemática, ao facilitar a compreensão e o engajamento dos alunos.

Neste artigo examinam-se o papel e o poder de ação da inteligência artificial dentro do coletivo seres-humanos-com-ChatGPT. Para que a experiência com o ChatGPT seja positiva e útil, a confiabilidade e a precisão dos dados fornecidos são fundamentais. No entanto, pesquisas já apontaram a ocorrência de respostas incorretas, seja na realização de cálculos matemáticos, seja na interpretação de problemas (Borba & Balbino Junior, 2023; Ghassemi et al., 2023). Se não houver cautela, o uso dessa ferramenta pode reforçar a ideologia da certeza. De acordo com Lopes (2023), essa ideologia envolve, primeiramente, a concepção de que a matemática é perfeita e isenta de influências empíricas ou interesses específicos e, em segundo lugar, a crença de que a matemática é universal e aplicável a qualquer situação. Essas noções podem levar à adoção de decisões consideradas certas e objetivas, sem questionamento. Entretanto, a matemática não deve ser vista como uma fonte inquestionável de certezas. É essencial promover um ambiente que valorize o questionamento e que desafie a noção de respostas definitivas, reconhecendo a dúvida como parte integral do processo matemático. Essa abordagem crítica também deve ser considerada no uso do ChatGPT, especialmente em questões que envolvem a matemática.

Os educadores continuarão desempenhando papel essencial na orientação do progresso matemático dos alunos, utilizando a inteligência artificial como ferramenta de apoio para melhorar o ensino e facilitar a aprendizagem. Embora a IA forneça informações úteis, ela não substitui o processo de pensamento nem promove efetivamente o aprendizado, mas pode, sim, facilitá-lo (Niemi, 2021). Há uma preocupação, no entanto, de que sua utilização pelos alunos possa resultar em um trabalho individualizado com o bot, buscando respostas imediatas sem estimular a reflexão ou a retenção do conhecimento.

Brandtzaeg, You, Wang e Yucong (2023) discutem uma importante dicotomia entre o poder de ação “bom” e o “mau” das máquinas, especialmente do ChatGPT, o que amplia nossa compreensão sobre o impacto da IA na interação humana. A distinção entre esses poderes de ação pode variar conforme o contexto e ser subjetiva. Mesmo assim, os autores ressaltam a necessidade de avaliar aspectos como autonomia humana, alinhamento ético, privacidade, transparência, inclusão social, bem-estar e saúde mental. Um “bom” poder de ação do ChatGPT facilita a interação humano-IA, fornecendo informações corretas, precisas e úteis, de forma clara e acessível. Por outro lado, um “mau” poder de ação pode ser prejudicial, ao gerar informações incorretas ou imprecisas, restringir o acesso a dados importantes, promover práticas discriminatórias e enfraquecer a comunicação entre humanos e IA. Um exemplo prático dessa dicotomia envolve a autonomia humana (Brandtzaeg et al., 2023).

- *Poder de ação bom*: as máquinas potencializam os indivíduos, aperfeiçoando suas habilidades de tomada de decisão, otimizando seu desempenho profissional e fomentando sua autonomia.
- *Poder de ação mau*: as máquinas comprometem a autonomia humana ao tomar decisões excessivamente intrusivas ou controladoras em nome dos indivíduos, colocando em risco ou perturbando o trabalho.

Portanto, a noção de uma dicotomia entre poder de ação “bom” e “mau” da IA, conforme discutido por Brandtzaeg et al. (2023), oferece uma perspectiva inicial para a análise do uso do ChatGPT. Embora essa abordagem não abarque toda a complexidade do uso desse tipo de tecnologia, ela constitui uma base relevante para futuras reflexões sobre seu impacto.

Para analisar a dinâmica dos seres-humanos-com-ChatGPT no contexto educacional de modelagem, uma alternativa promissora é o conceito de poder de ação (ou “agência”, numa tradução literal do termo “agency” – Borba & Villarreal, 2005). Essa perspectiva pode contribuir para preencher uma lacuna no campo da educação matemática, conforme apontado por Villa-Ochoa, Molina-Toro e Borba (2023), que sugerem que “pesquisas futuras poderiam fornecer informações sobre outras (novas) tecnologias com poder de ação” (p. 218). Borba (2021) ressalta a necessidade de superar uma visão antropocêntrica do poder de ação, reconhecendo que tanto humanos quanto não humanos, como o ChatGPT, desempenham papéis essenciais na produção de conhecimento. A capacidade generativa do ChatGPT torna evidente seu poder de ação, pois ele é capaz de criar respostas sintéticas e convincentes em linguagem natural, simulando uma interação humana.

A compreensão desse poder de ação pode ser dividida em duas vertentes: o poder de ação das coisas e o poder de ação humana. A adoção dos conceitos de seres-humanos-com-mídias e seres-humanos-com-ChatGPT implica o reconhecimento de que as mídias – e, em particular, o ChatGPT – detêm poder de ação ao influenciarem e serem influenciadas pelos seres humanos. Essa visão está alinhada com uma abordagem epistemológica que explora tanto as ações dos objetos quanto as ações humanas. O termo “coisas” abrange artefatos que mediam as ações humanas, sejam eles materiais ou imateriais, como hardware, software, gestos, máquinas, fala e números (Cunha, 2023). Nosso foco recai sobre artefatos tecnológicos digitais, especialmente a internet e as ferramentas que a utilizam, como o ChatGPT.

Cunha (2023), após revisar ideias de teóricos da Teoria da Atividade, argumenta que as “coisas” também têm poder de ação, na medida em que atuam como mediadoras nas atividades humanas. A principal distinção entre humanos e coisas reside no fato de que os seres humanos, assim como outros seres vivos, manifestam ação para atender a necessidades biológicas e culturais. Já as coisas têm duas dimensões de poder de ação, delegada e condicional. O poder de ação delegado ocorre quando entidades agem em nome de outros, como um cão que executa ordens de seu tutor, mas também age por conta própria em situações como comer ou beber. No caso dos artefatos tecnológicos, como os computadores, isso se manifesta quando eles executam ações sob comando humano. Já o poder de ação condicional refere-se aos efeitos não intencionais produzidos por algo ou alguém, como, por exemplo, quando um computador reinicia inesperadamente, sem que o usuário tenha dado essa ordem.

Na perspectiva teórica da ação humana, adotamos a noção desenvolvida por Cunha (2023), que se baseia na Teoria da Atividade de autores como Annalisa Sannino e Yrjö Engeström. Essa abordagem, conhecida como Agência Transformadora por Dupla Estimulação do original *Transformative Agency by Double Stimulation*, TADS), oferece uma

teoria pedagógica da aprendizagem, enfatizando o surgimento da agência transformadora em situações que exigem ação coletiva. A pedagogia associada à TADS capacita os aprendizes a enfrentarem conflitos, ajudando-os a identificar ou criar artefatos que os auxiliem a superar desafios motivacionais e ampliar suas possibilidades de ação. Cunha (2023) identifica seis formas de expressão do poder de ação transformador que são: (i) *resistir* a mudanças ou novas iniciativas; (ii) *criticar* as práticas atuais para reconhecer problemas e sugerir mudanças; (iii) *explicar* alternativas ou novas possibilidades com base em experiências anteriores; (iv) *prever* tendências futuras na atividade; (v) *comprometer-se* com ações transformadoras e (vi) *tomar medidas* concretas para modificar a atividade. Esses conceitos de poder de ação serão aplicados na análise das interações dos seres-humanos-com-ChatGPT.

O conceito de agência dos seres-humanos-com-mídias já foi amplamente explorado em pesquisas sobre educação matemática, especialmente em estudos de modelagem matemática. Villarreal e Mina (2020) relataram um estudo realizado em uma cidade da Argentina, no qual o aprendizado coletivo entre humanos e tecnologias digitais foi fundamental. Nesse estudo, um software para a produção de gráficos foi utilizado e os alunos, ao trabalharem em grupos, envolveram-se em atividades como formulação de problemas, seleção de variáveis e levantamento de hipóteses. Esse processo colaborativo resultou em níveis variados de participação e compromisso dos alunos, destacando o impacto positivo da modelagem na aprendizagem matemática (Villarreal & Mina, 2020).

Com base nessa crescente integração da tecnologia no processo educacional, especialmente na modelagem matemática, na próxima seção explora-se como a elaboração e a compreensão de modelos matemáticos podem ser aprimoradas por meio do uso de tecnologias como o ChatGPT.

3 Modelagem matemática

A modelagem matemática na educação busca conectar a matemática à realidade, tornando-a mais acessível por meio de situações contextualizadas na sala de aula. Internacionalmente, diferentes perspectivas de modelagem foram identificadas, como a modelagem realista, a contextual, a educacional, a sociocrítica, a epistemológica e a cognitiva (Abassian, Safi, Bush & Bostic, 2020). Essas abordagens variam conforme os objetivos do pesquisador e suas crenças teóricas. Enquanto alguns fundamentam a modelagem em Piaget, Vygotsky e no pragmatismo, outros se apoiam em influências etnomatemáticas e socioculturais (Abassian *et al.*, 2020, p. 55).

Conectando-se a essas diversas perspectivas, o uso da tecnologia na obtenção de modelos matemáticos tem se mostrado uma forma eficaz de aprimorar as habilidades de modelagem dos alunos (Galbraith & Fisher, 2021). Pesquisas destacam a importância de integrar ferramentas tecnológicas no processo de modelagem, pois isso pode apoiar os alunos em aspectos pedagógicos, psicológicos, culturais e práticos (Abassian *et al.*, 2020). Além disso, o uso de tecnologias durante a modelagem facilita a aprendizagem de conceitos matemáticos, o raciocínio, a exploração de situações, a aplicação da matemática à realidade, a construção de diferentes representações e a verificação de soluções.

Para que a tecnologia seja integrada de forma eficaz no ensino da modelagem matemática, os professores precisam de conhecimento e habilidades abrangentes para utilizar ferramentas digitais. Contudo, ainda há questões sobre como a tecnologia é aplicada na modelagem e sobre a interação entre humanos e mídias nesse contexto. Este estudo busca preencher essa lacuna, considerando que novas tecnologias e pedagogias inovadoras, como inteligência artificial e sala de aula invertida podem se tornar mais presentes na educação em modelagem matemática (Galbraith & Fisher, 2021).

Complementando essa discussão, a obtenção de um modelo matemático passa por várias etapas, que podem ser descritas de maneiras diferentes conforme a concepção teórica adotada. O processo de modelar é frequentemente chamado de ciclo, devido à sua natureza iterativa (Abassian *et al.*, 2020). Se o modelo validado não for satisfatório, as etapas podem ser repetidas. Biembengut (2016) subdivide o ciclo de modelagem matemática em três etapas principais, cada uma com características próprias, que são:

1. interação (exploração inicial): reconhecimento e compreensão da situação-problema; familiarização com o contexto a ser modelado;
2. matematização (formalização, equacionamento): formulação precisa do problema; resolução do problema utilizando conceitos e técnicas matemáticas;
3. modelo matemático (avaliação do modelo): análise e interpretação dos resultados obtidos; validação por meio de verificação da validade e eficácia do modelo proposto.

As etapas mencionadas podem ser aplicadas na criação de modelos matemáticos baseados em situações reais (Klüber, Tambarussi & Mutti, 2021), oferecendo um método sistemático para compreender e resolver problemas complexos por meio da matemática. Essas etapas foram utilizadas no desenvolvimento das atividades descritas a seguir.

Um modelo matemático representa a realidade ao usar símbolos e relações matemáticas para descrever e compreender aspectos específicos de fenômenos do mundo real (Klüber *et al.*, 2021). Segundo Klüber *et al.* (2021), na modelagem, a matemática cria uma versão simplificada ou idealizada de um sistema real, permitindo explorar suas interações e modificações. Assim, o modelo matemático funciona como uma ferramenta para entender, prever e até moldar a realidade, com base em conhecimentos científicos construídos e compartilhados socialmente.

Na próxima seção, abordam-se os aspectos metodológicos da pesquisa, que buscou contribuir para o Grupo de Trabalho 10 (GT10) sobre modelagem matemática. Em conformidade com as etapas propostas por Biembengut (2016), a discussão explora como a inteligência artificial, especialmente o ChatGPT, pode enriquecer o processo de modelagem, ampliando as possibilidades de interação e aprendizado no ensino da matemática.

4 Metodologia

O estudo aqui relatado foi realizado em uma universidade federal brasileira, no estado de Minas Gerais, no primeiro semestre de 2023. Os 33 participantes desse estudo eram estudantes de oito cursos de engenharias em cuja grade curricular consta a disciplina Equações Diferenciais I, que aborda conteúdos como equações diferenciais ordinárias (EDO) de primeira ordem e de ordem superior, sistemas de EDO e transformadas de Laplace. Os estudantes eram dos cursos de Engenharia da Computação (8 alunos), Engenharia de Controle e Automação (7 alunos), Engenharia da Mobilidade (5 alunos), Engenharia de Materiais (4 alunos), Engenharia de Produção (4 alunos), Engenharia Ambiental (2 alunos), Engenharia de Saúde e Segurança (2 alunos) e Engenharia Mecânica (1 aluno). A condução do conteúdo programático foi realizada durante os três primeiros meses do curso e no quarto mês foi conduzida a atividade de modelagem matemática. Nesse período, o professor (primeiro autor deste texto) atuou como um tutor, tirando dúvidas dos alunos e auxiliando-os na obtenção do modelo.

Quando os alunos escolhem um tema e elaboram um problema a partir dele, assumem automaticamente uma postura ativa, envolvendo-se na situação proposta. Isso estimula o desenvolvimento da criatividade e reforça a compreensão da situação em questão. Por isso, os

alunos escolheram os temas. O incentivo era que o tema escolhido fosse de interesse entre os colegas do grupo e se baseasse em situações reais (do dia a dia ou do futuro profissional).

Os alunos escolheram colegas para comporem os grupos, totalizando sete grupos (nomeados de G1 até G7), que variaram de dois até seis componentes. Inicialmente, os temas escolhidos foram debatidos, a fim de que cada grupo se familiarizasse com o conteúdo e comesse a identificar as principais variáveis envolvidas. Em seguida, eles equacionaram o modelo, geralmente com auxílio de alguma referência bibliográfica pesquisada por eles ou sugerida pelo professor e produziram gráficos relacionados. Por fim, os grupos interpretaram o significado do que foi obtido, tentando fazer uma conexão com a realidade. Dessa forma, os grupos passaram pelas etapas delineadas por Biembengut (2016). Depois disso, cada grupo apresentou para turma o modelo obtido e produziu um relatório do que foi feito.

Foi permitido que cada grupo utilizasse o ChatGPT 3.5, em sua versão gratuita, em qualquer etapa da modelagem. Porém, esse uso deveria ser identificado no relatório produzido pelo grupo e na apresentação feita para a turma após a finalização dos modelos. Conforme será abordado nas seções seguintes, nem todos os grupos fizeram uso da IA.

Além dos relatórios produzidos pelos grupos e das apresentações realizadas, outro instrumento de produção de dados foi utilizado. Após a obtenção dos modelos, uma entrevista foi conduzida com todos os grupos. Algumas das perguntas das entrevistas semiestruturadas foram:

- Os grupos foram incentivados a usarem o ChatGPT. Caso tenha usado essa ferramenta, como o ChatGPT auxiliou na produção do modelo?
- O que poderia dizer dos aspectos positivos (e/ou negativos) para a produção de um modelo matemático com o uso do ChatGPT?
- De que maneira você entende que o ChatGPT pode influenciar a humanidade?
- Quais são os possíveis benefícios e malefícios dessa ferramenta?

Para a análise dos dados, utilizamos a noção de estudo de caso qualitativo (Ponte, 2006), a análise do conteúdo (Mayring, 2022) e a noção de triangulação para fidedignidade (Mayring, 2022) ao analisar os modelos obtidos (pelos relatórios e apresentações) e as respostas obtidas nas entrevistas. Nos resultados, não incluiremos dados dos grupos G5 e G7. O G5 iniciou a produção do modelo, mas desistiu de concluí-lo sem fornecer justificativas. Embora o G7 tenha apresentado um relatório, seus membros não participaram da entrevista. Nos demais grupos, durante a entrevista, observamos a ausência de um componente nos grupos G1, G2 e G4, dois no G3, e três no G6.

A análise foi realizada em três etapas. O *corpus* da análise foi formado pela transcrição da entrevista de cada grupo, os relatórios dos modelos feitos pelos grupos e a apresentação realizada após a obtenção dos modelos. Após a transcrição das entrevistas, na primeira etapa da análise, realizou-se uma leitura do material e ele foi organizado para a análise. Na segunda etapa identificaram-se os momentos de poder de ação e como os alunos produziram os modelos e, na última etapa, em um esforço de efetuar uma categorização, analisaram-se as respostas dos grupos nas entrevistas para compreender os papéis que os alunos atribuem ao ChatGPT nas atividades de modelagem (No que segue, adotamos nomes distintos dos reais nomes dos alunos para preservar a identidade deles. Ressaltamos que a pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética e Pesquisa – processo nº 57711922.0.0000.5150). Ao revisar as entrevistas e os relatórios de modelagem foram notados padrões que destacam os papéis atribuídos ao ChatGPT pelos alunos. Portanto, as subseções 5.1 e 5.2 representam as categorias emergentes dessa análise, organizadas nos resultados.

5 Resultados

5.1 Poder de ação na interação entre seres humanos e ChatGPT na obtenção de um modelo

Notou-se que as atividades coletivas de modelagem estimularam esforços conjuntos em prol do poder de ação dos alunos. O primeiro estímulo (ou conflito motivacional) surgiu na elaboração e na escolha do problema por parte dos grupos. Cada grupo escolheu um tema diferente. O grupo G3 queria compreender melhor o movimento de braços robóticos. Por isso, escolheu o tema “Desvio de obstáculos em plano cartesiano”, visto que, na robótica, o plano cartesiano pode ser utilizado para controlar o movimento dos robôs.

Dois grupos escolheram problemas ligados ao trabalho de um dos seus componentes (G6 e G2). Um dos componentes do grupo G6, Vitor, trabalhava em um bar-restaurante. Ele atuava como garçom, mas passou a ser o gerente do estabelecimento. Com isso, tendo em vista o início de um período de tempo mais frio (maio/junho de 2023), ele teve a ideia de introduzir um novo item no menu, caldo de feijão. O problema proposto para a modelagem foi analisar os possíveis impactos financeiros no restaurante com esse novo prato. A sugestão de Vitor foi aceita pelos colegas de seu grupo. Similarmente, uma aluna do G2, Lorraine, percebeu uma oportunidade. Ela estava fazendo estágio na empresa responsável pela construção de um prédio no *campus* da universidade. Com isso, ela procurou uma alternativa para fazer alguma ligação entre a temática de modelagem e o trabalho. Ela notou que futuros cálculos seriam necessários e, por isso, escolheu o tema “Análise de deflexão de vigas de construções”. Os colegas de seu grupo G2 prontamente aceitaram a proposta.

Dessa forma, os grupos se inteiraram do tema, compreendendo a situação-problema e se familiarizaram com o contexto. Com isso, realizaram a primeira etapa de modelagem. Nessa etapa inicial, o ChatGPT foi empregado como auxílio para alguns grupos. Por exemplo, na entrevista com o grupo G2, Hannah reconheceu que

A gente só usou o ChatGPT para entender algumas variáveis da modelagem. Por exemplo, a inércia, que a gente precisava calcular para poder apresentar a modelagem. Mas, fora isso, a gente não usou o ChatGPT não.

A segunda etapa da modelagem envolveu cálculos matemáticos. Isso direcionou os grupos não somente para uma representação da realidade, mas também para a expressão matemática pelo que foi visto daquele que está no mundo (Klüber *et al.*, 2021). O grupo de Vitor (G6) já tinha escolhido o tema, mas procurou auxílio do ChatGPT para equacionar seu problema. Mas essa não foi uma etapa fácil. Segundo ele,

Usei o ChatGPT pra me ajudar a fazer a fórmula e tal. Só que ele estava me dando uma fórmula que não estava muito fiel à realidade. Aí eu peguei a fórmula que ele me deu e alterei pro meu sistema. Porque, tipo assim, a fórmula dele estava considerando duas variáveis. Uma que era uma variável que eu multiplicava pelo dinheiro que eu investi e outra variável que eu multiplicava pelo lucro que eu ia conseguir. Aí cada variável tinha um peso e tal. Só que o peso que ele estava me dando não tinha muito sentido, no meu contexto, com o bar que eu trabalhava. Aí eu a modifiquei de acordo com o que eu achava mais fiel à realidade e coloquei lá.

Percebemos que Vitor usou a IA para auxiliar a produzir a equação do modelo, mas ele não se ateve à informação que recebeu e tomou medidas para modificar a equação, conforme se observa na Figura 1. Uma equação diferencial ordinária de primeira ordem foi construída, sendo $P(t)$ o lucro em função do tempo t , dP/dt a variação do lucro, D é a demanda e I é o investimento, que depende do contexto do problema. Segundo a fala de Vitor (e a Figura 1), D

e I foram considerados constantes. As constantes de proporcionalidade k_1 e k_2 são determinadas pelo impacto do investimento e da demanda no crescimento no lucro.

Figura 1: Equação obtida pelo G6 seguida de sua resolução algébrica

- Semana 1

Calculando a taxa de variação do lucro:

$$dP/dt = k_2 * D - k_1 * I$$

$$dP/dt = 17 * 20 - 1 * 60$$

$$dP/dt = 280$$

$$P_1 = P_0 + dP/dt$$

$$P_1 = 5500 + 280$$

$$P_1 = 5780$$

Fonte: Acervo da Pesquisa

Como mostrado na Figura 1, o lucro inicial P_0 do restaurante foi de R\$5.500, o I foi R\$60,00, o D foi considerado como 20 unidades, a constante $k_2=17$ (o que indica que o aumento de uma unidade na demanda representa um aumento de R\$ 17,00 no lucro) e $k_1=1$, representando peso I para cada real investido. O grupo observou que, na primeira semana, obteve um lucro líquido de R\$280,00, resultando em um lucro total de $P_1=R\$5.780,00$. Aplicando o mesmo cálculo para as semanas seguintes, concluiu-se que o lucro líquido mensal foi de aproximadamente R\$1.000,00.

Por outro lado, alguns grupos optaram por não usar o ChatGPT na criação da equação do modelo. O grupo G2, por exemplo, contou com a ajuda de um professor especializado em Resistência dos Materiais. Hannah, integrante do grupo, relatou o conselho recebido: “[...] foi ele que aconselhou a procurar o capítulo 13 do Hibbeler, porque lá tinha todas as informações que a gente precisaria”.

De forma semelhante, o grupo G3 também não usou a IA para equacionar o modelo, mas a utilizou para entender as variáveis envolvidas. Magno, do G3, comentou: “a gente conseguiu aplicar para analisar as equações que já tinha. Mas, na parte de matemática, ela não ajudou muito, pelo menos no nosso caso, visto que às vezes ela comete alguns erros”. Assim, o grupo desenvolveu uma simulação do movimento de um robô bidimensional em um campo de futebol, usando uma função de duas variáveis para representar a posição do robô no plano. O resultado foi apresentado em um vídeo, mostrando uma ação concreta ao tomar medidas que superaram as abordagens dos demais grupos na obtenção do modelo.

Finalmente, a terceira etapa da modelagem envolveu a análise e a interpretação dos resultados. Depois do lucro projetado pelo modelo elaborado, o grupo G6 concluiu seu relatório da seguinte forma:

Com um aumento de R\$ 980,00 no lucro mensal, fica evidente que o caldo de feijão se mostrou uma escolha acertada, atraindo a demanda dos clientes e gerando retornos financeiros satisfatórios. O *feedback* dos clientes também foi extremamente encorajador. (...) Esse *feedback* reforça a importância de ouvir e atender às preferências dos clientes, bem como a relevância de introduzir novos itens no cardápio que atendam às suas expectativas.

Diante dos resultados obtidos pelo grupo durante a modelagem, a introdução do novo item no cardápio do restaurante foi uma decisão “acertada”. Além do *feedback* favorável dos clientes, do lucro inicial obtido e da projeção matemática feita pelo modelo, Vitor decidiu manter o item no cardápio nos meses seguintes.

Essa terceira etapa da modelagem foi bem sucinta para o grupo G2: “conclui-se que o estudo da deflexão de estruturas, como vigas, é de fundamental importância para o projeto e a análise de sua capacidade de suportar cargas e evitar falhas”. Na apresentação do grupo G2, após a discussão da parte matemática, foi mostrado o progresso da obra de um novo prédio no *campus* universitário por meio de fotos que o próprio chefe de Lorraine concedeu – algo que todos os alunos estavam curiosos de ver. Em seguida, realizaram uma breve validação do que foi feito, tendo em vista o contexto das vigas da obra em estudo. Entretanto, o grupo não realizou uma análise crítica do modelo utilizado, deixando de apontar algumas de suas limitações. Depois disso, na entrevista com o grupo, o professor perguntou: “com um trabalho desses você até poderia ganhar um aumento, né?” Para a surpresa do professor e dos colegas, ela admitiu: “Sim, eu ganhei um aumento. Teve outros fatores, como tempo de serviço, mas o trabalho influenciou sim”. Os grupos G2 e G6 não fizeram uso do ChatGPT na última etapa de modelagem. Em contrapartida, o grupo G3 utilizou o ChatGPT e chegou à seguinte conclusão, incluída no relatório:

Neste relatório, foi abordado o uso do plano cartesiano e equações diferenciais para orientar movimentos em um espaço 2D com um obstáculo, representado pelo ponto central de um átomo. (...) A aplicação dessas técnicas pode ser estendida para diversos cenários, como a navegação autônoma de robôs, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias avançadas de movimento em ambientes complexos. Assim, a combinação do plano cartesiano, equações diferenciais e a aproximação da curva em espiral oferece uma base sólida para futuras aplicações práticas em áreas da robótica.

Dessa forma, o grupo G3 delegou ao ChatGPT a responsabilidade pela realização de parte do relatório. No que se refere ao poder de ação dos seres-humanos-com-ChatGPT, Cunha (2023) identifica seis formas de expressão desse poder, sendo que algumas, como “comprometer-se” e “tomar medidas”, foram manifestadas em menor grau, enquanto outras, como “resistindo”, não se manifestaram nas atividades de modelagem observadas.

Conforme relatado anteriormente, tanto Vitor quanto Lorraine tomaram iniciativas importantes durante a atividade (Cunha, 2023). Inicialmente, ambos propuseram um tema ao restante do grupo. Em seguida, atuaram no equacionamento do problema, seja modificando as sugestões do ChatGPT, seja buscando o auxílio de outro professor, conforme mencionado anteriormente. Essas ações culminaram em decisões práticas. Vitor decidiu manter um item no cardápio, enquanto Lorraine, ao identificar uma oportunidade de aumento salarial, resolveu solicitar uma promoção ao chefe.

Durante o processo de criação de modelos com o ChatGPT, os grupos demonstraram poder de ação de duas formas principais: explicando e compartilhando suas experiências com o software, e criticando ao identificar problemas no seu uso. Baseando-se no estudo de Cunha (2023), observamos que o ChatGPT exerceu poder de ação delegada dentro dos grupos. Os participantes confiaram a essa inteligência artificial tarefas específicas, como interpretar variáveis, obter a equação do modelo e redigir partes do relatório, incluindo a conclusão. Além disso, os alunos utilizaram o ChatGPT juntamente com outras tecnologias digitais para superar limitações, reorganizando seu pensamento, o que demonstra um uso crítico do ChatGPT (Borba & Villarreal, 2005).

Por outro lado, o poder de ação condicional, conforme descrito por Cunha (2023), refere-se aos efeitos não intencionais gerados pelo uso de um artefato. No caso do ChatGPT, isso pode ser exemplificado pelas respostas inadequadas que a IA forneceu. Um exemplo disso foi o grupo G6, que precisou adaptar uma resposta obtida para equacionar e desenvolver seu modelo.

5.2 A dicotomia do poder de ação do ChatGPT

Alguns alunos citaram apenas aspectos positivos do ChatGPT, destacando a boa agência desse artefato. Na entrevista com o grupo G2, Marcos destacou alguns pontos favoráveis: “acho que, para fazer pesquisas rápidas, ajuda bastante”; “auxilia a fazer algoritmos para programar”. Em seguida ele completou: “outro colega pode falar os aspectos negativos do ChatGPT”. Percebemos que Marcos reconheceu alguns aspectos positivos no uso da IA, mas delegou a outros a identificação de aspectos negativos. Isso pode ser um indicativo de que ele não percebeu a dicotomia da ferramenta. Esse não foi o caso de Pedro (G3):

Independente da pergunta que você fazer, ele pode até te auxiliar a tomar algumas decisões. (...) Suponha que eu quero fazer uma dieta mais balanceada. Eu quero comer menos carboidrato, mais proteína, qual dieta você recomenda? Tal, tal e tal. Claro, mas você tem que procurar um especialista, mas se você quer algo mais superficial, ele pode ajudar bastante nisso.

Mas ele também reconheceu outro lado da ferramenta.

É... nem toda informação que ele dá realmente é precisa. Então, você vai sempre, às vezes, ter problemas com erro de informação, um erro ali, um erro aqui. Ou seja, você não pode confiar 100% pra coisas muito técnicas com o ChatGPT.

Diversos alunos, assim como Pedro, reconheceram essa dicotomia do ChatGPT. No Quadro 1 ilustramos essa percepção notada por outros alunos.

Quadro 1: Dicotomia do poder de ação do ChatGPT identificada pelos alunos

Aluno/Grupo	Boa atuação	Má atuação
Lorraine (G2)	É muito útil quando você conhece o assunto.	Se você não sabe nada do que está procurando ele vai te levar para o buraco.
Ângelo (G4)	Ele te ajuda a organizar as ideias para você chegar num objetivo; é uma ferramenta que todo mundo pode ter acesso.	É uma ferramenta que não é tão fácil de mexer; uma dificuldade é saber como você pesquisa na ferramenta para obter uma resposta completa e dentro do seu objetivo.
Vitor (G6)	Ele pode ajudar você a fazer qualquer coisa que você perguntar a ele.	Às vezes ele manda uma resposta errada e você fala, tem certeza disso? Aí ele vai e inventa outra resposta. Aí você fala, tem certeza? Ele vai e inventa outra também.
Leandro (G1)	Ele tem um banco de dados com bastante informação e fornece também as respostas muito rápidas. Então, a gente não precisa ficar procurando muito.	Ele não fornece os cálculos 100% com precisão. Tem algumas variações e não é tão preciso quanto a isso.

Fonte: Dados da Pesquisa

Foram poucos os alunos que se expressaram como Marcos, que apenas listaram aspectos positivos do ChatGPT. Conforme ilustrado no Quadro 1, a maioria reconheceu a dicotomia da ferramenta.

Os resultados destacam a dicotomia do poder de ação nas ferramentas de IA, como o ChatGPT, algo já apontado por Brandtzaeg *et al.* (2023). O poder de ação bom, que envolve respostas rápidas e contextualmente apropriadas, oferece oportunidades para melhorar a eficiência. No entanto, o poder de ação mau gera incompreensão por meio de respostas inadequadas, apresenta preocupações, como disseminação de desinformação e violações de privacidade. Em alguns poucos grupos, observou-se uma tendência em não questionar (ou questionar pouco) os dados produzidos pela ferramenta. Com isso, há uma relação de interdependência entre atores humanos e não humanos (Oliveira & Souza, 2021), entre os estudantes e o ChatGPT.

O problema de modelagem era, na nossa perspectiva, um problema para coletivos de seres-humanos-com-mídias e, neste caso, todas as mídias eram aceitas como preconizou Borba (2009). O ChatGPT não foi utilizado por alguns grupos, em vista do poder de ação dos membros do grupo que preferiram utilizar livros ou sites para auxiliá-los na obtenção do modelo. Vamos nos deter àqueles em que o ChatGPT foi coparticipe na produção de conhecimento. Analisando os dados, pode-se inferir que o ChatGPT não foi utilizado de modo imperativo pelos estudantes. Eles obtiveram a resposta do ChatGPT e averiguaram em grupo o que foi obtido.

No ensaio de Borba e Balbino Junior (2023) foram propostos problemas para o ChatGPT. Esses problemas visavam aferir erros e conferir certeza. Foi constatado que essa ferramenta pode cometer erros, mesmo em cálculos relativamente simples. Portanto, da mesma forma que a ideologia da certeza pode ser questionada em atividades de modelagem (Lopes, 2023), é importante aplicar o mesmo questionamento à obtenção de modelos com o auxílio do ChatGPT. Em outras palavras, a confiabilidade matemática dos dados gerados por ele deve ser objeto de questionamento. Neste estudo, observou-se que, em ambiente educacional, o uso do ChatGPT ajudou certos grupos a compreenderem as limitações das tecnologias. Simultaneamente, outros grupos desenvolveram habilidades de comunicação com a ferramenta, interagindo e questionando-a, para assegurar a veracidade e a lógica dos argumentos apresentados. Enquanto alguns poucos grupos confiaram na precisão dos dados gerados pelo assistente de IA, outros questionaram as respostas que lhes foram fornecidas, reconhecendo que até os resultados matemáticos apresentados podem ser questionados e que o *bot* de conversação não traz uma resposta definitiva. Ao desafiar a certeza desse artefato, tais grupos apresentaram um pensamento reflexivo (Lopes, 2023) e se distanciaram da ideologia da certeza.

6 Discussão e considerações finais

Como o poder de ação do ChatGPT influencia a obtenção de um modelo matemático, produzido por estudantes do ensino superior? Foi observado que alguns grupos utilizaram essa ferramenta de IA para auxiliá-los em alguma etapa da obtenção do modelo, variando desde a compreensão das variáveis envolvidas até em estabelecerem conclusões sobre o que foi feito pelo grupo. Dessa forma, os grupos atribuíram um poder de ação delegado ao ChatGPT. Além disso, os alunos destacaram a distinção entre um poder de ação bom e mau, observando que o assistente de IA pode contribuir para a compreensão de certos aspectos do modelo, como as variáveis envolvidas e suas relações, ao mesmo tempo em que pode identificar imprecisões nos cálculos matemáticos ou em outros aspectos.

O estudo revela que a percepção do poder de ação do ChatGPT é influenciada por vários fatores. Os usuários podem interpretá-lo como tendo um poder de ação bom, quando produz respostas coerentes e contextualmente apropriadas. Por outro lado, atribuem um poder de ação mau quando ele luta para compreender ou responder adequadamente. A percepção de má ação também pode surgir se os usuários se sentirem manipulados ou enganados pelo assistente de IA, como ao receberem informações imprecisas, incompletas ou tendenciosas. No contexto da interação seres-humanos-com-ChatGPT, entender como as nuances do poder de ação da máquina afetam a experiência do usuário é de grande importância. Essas descobertas destacam a importância da pesquisa e do desenvolvimento do poder de ação de máquinas com IA, dada sua influência nas interações entre máquinas, humanos e ambiente circundante.

Diante da dicotomia que envolve a “boa” e a “má” ação do ChatGPT, das diversas possibilidades que essa ferramenta apresenta e dos variados usos feitos pelos alunos, futuros estudos podem se aprofundar em aspectos importantes da interação entre seres-humanos-com-mídias e ChatGPT. Em futuras pesquisas, podem-se analisar o pensamento crítico e a consciência crítica dos alunos ao utilizarem essa IA em atividades de matemática e, em particular, em atividades de modelagem. Além disso, à medida que atualizações e novas versões forem lançadas com o surgimento de outras ferramentas de IA, é importante estudar as possibilidades do uso e integração dessas novas tecnologias no ambiente escolar.

Para encerrar, compreendemos que IA é uma ferramenta poderosa que pode apoiar o aprendizado, mas não substitui a necessidade de professores e de ensino de qualidade. Seu uso deve ser ético e responsável, priorizando o apoio ao poder de ação dos alunos. A implementação de IA, como o ChatGPT, tem o potencial de transformar a modelagem matemática na educação, mas é crucial considerar suas implicações no poder de ação dos alunos e das coisas.

Referências

- Abassian, A., Safi, F., Bush, S. & Bostic, J. (2020). Five different perspectives on mathematical modeling in mathematics education. *Investigations in Mathematics Learning*, 12(1), 53-65.
- Bakker, A., Cai, J. & Zenger, L. (2021). Future themes of mathematics education research: an international survey before and during the pandemic. *Educational Studies in Mathematics*, 107(1), 1–24.
- Biembengut, M. S. (2016). *Modelagem na Educação Matemática e na Ciência*. São Paulo: Editora Livraria da Física.
- Borba, M. C. (2009). Potential scenarios for Internet use in the mathematics classroom. *ZDM - The International Journal on Mathematics Education*, 41(4), 453–465.
- Borba, M. C. (2021). The future of mathematics education since COVID-19: humans-with-media or humans-with-non-living-things. *Educational Studies in Mathematics* 108(1-2), 385–400.
- Borba, M. C. & Balbino Junior, V. R. (2023). O ChatGPT e educação matemática. *Educação Matemática Pesquisa*, 25(3), 142-156.
- Borba, M. C. & Villarreal, M. E. (2005). *Humans-with-media and the reorganization of mathematical thinking: Information and communication technologies, modeling, experimentation and visualization*. New York: Springer.

- Brandtzaeg, P. B., You, Y., Wang, X. & Yucong, L. (2023). “‘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.
- 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.
- Engelbrecht, J., Borba, M. C. (2023). Recent developments in using digital technology in mathematics education. *ZDM Mathematics Education*.
- Engelbrecht, J., Borba, M.C. & Kaiser, G. (2023). Will we ever teach mathematics again in the way we used to before the pandemic? *ZDM Mathematics Education* 55(1), 1–16.
- Galbraith, P., & Fisher, D. M. (2021). Technology and mathematical modelling: addressing challenges, opening doors. *Quadrante*, 30(1), 198-218.
- Ghassemi M., Birhane A., Bilal M., Kankaria, S., Malone, C., Mollick, E. & Tustumi, F. (2023). ChatGPT one year on: who is using it, how and why? *Nature*, 624, 39-41.
- Hwang, S., Flavin, E. & Lee, J. E. (2023). Exploring research trends of technology use in mathematics education: A scoping review using topic modeling. *Education and Information Technologies*, 28(8), 10753–10780.
- Klüber, T. E., Tambarussi, C. M., Mutti, G. S. L. (2021). Sobre o Problema da Representação na Modelagem Matemática na Educação Matemática. In: *Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática* (VIII SIPEM). *Anais...Uberlândia* (MG) Uberlândia, 2021.
- Lopes, A. P. C. (2023). Contrapondo a ideologia da certeza por meio do conhecimento reflexivo na modelagem matemática. *Bolema: Boletim De Educação Matemática*, 37(77), 936–957.
- Mayring, P. (2022). *Qualitative content analysis: A step-by-step guide*. Sage Publications.
- Milano, S., McGrane, J. A., & Leonelli, S. (2023). Large language models challenge the future of higher education. *Nature Machine Intelligence*, 5(4), 333–334.
- Niemi, H. (2021). AI in learning: Preparing grounds for future learning. *Journal of Pacific Rim Psychology*, 15.
- Oliveira, L. A. R. N. & Souza, E. G. (2021). Etapas De Modelagem Matemática A Partir Da Teoria Ator-Rede. In: *Seminário Internacional de Pesquisa em Educação Matemática* (VIII SIPEM). *Anais...Uberlândia* (MG) Uberlândia.
- Ponte, J. P. (2006). Case study in mathematics education. *Bolema*, 25, 105–132.
- Villa-Ochoa, J.A., Molina-Toro, J.F. & Borba, M. C. (2023). Roles of technologies for future teaching in a pandemic: activity, agency, and humans-with-media. *ZDM Mathematics Education* 55(1), 207–220.
- Villarreal, M. E., & Mina, M. (2020). Actividades Experimentales con Tecnologías en Escenarios de Modelización Matemática. *Bolema: Boletim De Educação Matemática*, 34(67), 786–824.