TECNOLOGIAS DIGITAIS E MODELAGEM MATEMÁTICA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE MATEMÁTICA: DESAFIOS E POSSIBILIDADES A PARTIR DA MOBILIZAÇÃO DO TPACK

DIGITAL TECHNOLOGIES AND MATHEMATICAL MODELING IN MATHEMATICS TEACHER EDUCATION: CHELLENGES AND POSSIBILITIES FROM THE MOBILIZATION OF TPACK

Thiago Sawada[1]
Bianca de Oliveira Martins[2]
Rudolph dos Santos Gomes Pereira[3]

Resumo

Neste artigo investiga-se a mobilização dos conhecimentos tecnológico, pedagógico e do conteúdo junto às funções das tecnologias digitais em atividades de Modelagem Matemática em um curso de Licenciatura em Matemática, bem como identificar desafios e possibilidades que emergem desse processo na formação inicial de professores. A base teórica da pesquisa é o modelo TPACK (Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo) e a Modelagem Matemática na Educação Matemática. Os dados da pesquisa são registros escritos e respostas a questionários produzidos durante o desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática por dez alunos de um curso de Licenciatura em Matemática. Esses materiais possibilitam uma análise qualitativa. Resultados evidenciam a mobilização dos conhecimentos do modelo TPACK junto às funções das tecnologias digitais, bem como a emergência de questões como a dificuldade no uso de simuladores online e desigualdades de domínio tecnológico entre os alunos. Conclui-se que o uso de atividades de Modelagem Matemática na formação inicial de professores pode beneficiar-se de uma abordagem que integre o modelo TPACK a uma reflexão crítica sobre dataficação e vigilância algorítmica.

Palavras-chave: Educação Matemática; Tecnologias Digitais; Formação Inicial de Professores.

[1] Discente da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), Mestrando em Ensino (UENP).
[2] Docente da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), Doutora em Ensino de Ciências e Educação Matemática (UEL).
[3] Docente da Universidade Estadual do Norte do Paraná (UENP), Doutor em Educação (UNESP).

Abstract
This paper investigates the mobilization of technological, pedagogical, and content knowledge in relation to the functions of digital technologies within Mathematical Modelling activities in an undergraduate Mathematics Teacher Education program, as well as identifying the challenges and possibilities that emerge from this process in initial teacher education. The theoretical framework is based on the TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge) model and Mathematical Modelling in Mathematics Education. The research data consists of written records and questionnaire responses produced during the development of Mathematical Modelling activities by ten undergraduate students enrolled in a Mathematics Teacher Education program. These materials enabled a qualitative analysis. The results reveal the mobilization of the knowledge domains proposed by the TPACK model alongside the functions of digital technologies, while also highlighting issues such as difficulties in the use of online simulators and inequalities in students' levels of technological proficiency. It is concluded that the use of Mathematical Modelling activities in initial teacher education can benefit from an approach that integrates the TPACK model with a critical reflection on datafication and algorithmic surveillance.

Keywords: Mathematics Education; Digital Technologies; Initial Teacher Education.

Introdução

A compreensão, o uso e a criação de tecnologias digitais de maneira crítica, ética e com vistas à reflexão, podem ultrapassar seu uso instrumental, bem como proporcionar sua integração na resolução de problemas, na comunicação e na produção de novos saberes (Brasil, 2018). Esse argumento é apresentado nos documentos oficiais reguladores da Educação Básica e reforçado para a Formação de Professores pela Base Nacional Comum para Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação) (Brasil, 2019).

Centrada em uma formação baseada em competências, as prescrições para a Educação Básica e a Formação de Professores, em particular de Matemática, têm o entendimento que “[...] competência é definida como a mobilização de conhecimentos (conceitos e procedimentos), habilidades (práticas, cognitivas e socioemocionais), atitudes e valores para resolver demandas complexas da vida cotidiana, do pleno exercício da cidadania e do mundo do trabalho” (Brasil, 2018, p. 9). No entanto, a mera prescrição de competências tecnológicas, seja na formação da Educação Básica, seja na formação docente, não assegura uma integração crítica e reflexiva das tecnologias digitais. E, ainda, pode colocar um cenário de disputas comerciais no âmbito educacional, advindo, por exemplo, da ausência de formação em tecnologias digitais pelos sujeitos. Como alerta Selwyn (2017), o discurso oficial

tende a naturalizar a tecnologia como solução neutra para problemas educacionais, obscurecendo disputas políticas, econômicas e éticas que as atravessam.

Contudo, a incorporação das tecnologias digitais na educação não é isenta de desafios. Conforme evidenciado por Herrera-Urízar et al. (2024), a presença de infraestruturas comerciais, como plataformas educacionais das Big Tech, pode tensionar tanto os direitos da infância quanto as finalidades pedagógicas da escola. Rivera-Vargas et al. (2024) demonstram que confiança e privacidade digital tornam-se dimensões centrais, ainda que pouco discutidas, nas relações entre escolas, famílias e plataformas. Assim, alinhar a formação docente às competências tecnológicas requeridas pelos documentos oficiais exige, simultaneamente, um olhar crítico sobre quais racionalidades tecnológicas estão sendo privilegiadas e a que custos (Williamson, 2017).

Diante desse cenário, a formação de professores de Matemática não pode limitar-se ao domínio técnico de recursos tecnológicos. É necessário também desenvolver uma postura investigativa sobre as implicações do uso de plataformas, simuladores e softwares, incluindo questões de privacidade, vigilância algorítmica (processo pelo qual algoritmos monitoram, classificam e influenciam comportamentos a partir de dados coletados) e dependência de infraestruturas comerciais (Williamson, 2017; Herrera-Urízar et al., 2024).

Desde a década de 1990 a Formação de Professores em Matemática tem visado ao desenvolvimento de competências que conectem a matemática ao uso de tecnologias digitais, mais fortemente agora, no século XXI, com a intensificação das tecnologias digitais, para, por exemplo, integrar o pensamento computacional e a cultura digital nas diferentes abordagens metodológicas de ensino e promover o domínio de diferentes recursos tecnológicos de informação e comunicação em sala de aula (Brasil, 2019).

Historicamente, a inserção das tecnologias digitais na educação brasileira, iniciada na década de 1980 com a linguagem LOGO e as propostas construcionistas de Seymour Papert, ganhou novos contornos a partir da década de 1990, com a popularização dos computadores pessoais e a disseminação da Internet. Kenski (2007) argumenta que embora o uso das Tecnologias Digitais da Informação e Comunicação (TDIC) na educação tenha se expandido consideravelmente nesse período, ele ainda ocorreu de forma desigual, o que tornou a inclusão digital nas escolas um desafio.

Em igual medida, configura-se desafiador formar professores de matemática para a sociedade contemporânea. Para analisar os conhecimentos que os futuros professores mobilizam ao planejar e desenvolver atividades que envolvem tecnologias digitais, adota-se neste artigo o modelo TPACK[4] (Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo), proposto por Koehler e Mishra (2008) com base nos trabalhos de Shulman (1986, 1987). O TPACK descreve a integração dinâmica entre conhecimento do conteúdo (CK[5]), conhecimento pedagógico (PK[6]) e conhecimento tecnológico (TK[7]), bem como suas interseções (PCK[8], TCK[9], TPK[10] e o próprio TPACK).

Este modelo tem sido utilizado na formação de professores com diferentes finalidades, por exemplo, Gonçalves e Lima (2020) analisaram o desenvolvimento do conhecimento docente no contexto do Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência (PIBID), com ênfase no uso do software GeoGebra para o ensino de funções; Prieto e Buitrago (2019) identificaram saberes necessários à gestão do trabalho matemático na elaboração de simuladores com GeoGebra, tais como analisar inconsistências, comunicar técnicas de construção e antecipar procedimentos; Santos, Silva e Santos (2025), em uma revisão da literatura, apontaram que o TPACK tem sido reconhecido como uma estrutura conceitual que contribui para compreender como os professores integram efetivamente as tecnologias digitais ao ensino de matemática, promovendo a ação docente para se adaptar às demandas da sociedade contemporânea; já Ruas e Macêdo (2025) articularam o modelo TPACK à Educação Matemática Crítica, destacando a importância do conhecimento contextual nas decisões epistemológicas dos professores durante a integração das tecnologias digitais ao ensino da matemática.

Williamson (2017) demonstrou que as tecnologias digitais na educação não apenas medeiam práticas, mas reconfiguram quem detém o poder de definir o que conta como “conhecimento válido”, uma vez que algoritmos e plataformas passam a operar como autoridades epistêmicas. Essa crítica nos interessa particularmente

[4] TPACK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Technological Pedagogical Content Knowledge”*.
[5] CK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Content Knowledge*”.
[6] PK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Pedagogical Knowledge*”.
[7] TK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Technology Knowledge*”.
[8] PCK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Pedagogical Content Knowledge*”.
[9] TCK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Technological Content Knowledge*”.
[10] TPK refere-se as iniciais do termo em inglês “*Technological Pedagogical Knowledge*”.

neste artigo, pois o modelo TPACK, embora útil para descrever conhecimentos docentes, raramente é tensionado por essas questões de poder e controle.

No âmbito da formação docente, o Plano Nacional de Formação de Professores da Educação Básica (PARFOR), instituído em 2007, estabeleceu diretrizes que destacam a importância das TDIC para a prática pedagógica. Essas diretrizes foram atualizadas na BNC-Formação em 2019, propondo a incorporação transversal das TDIC na prática pedagógica, objetivando que o professor tenha domínio das tecnologias digitais não apenas para ensinar, mas para a sua própria atualização, comunicação e resolução de problemas reais (Brasil, 2019).

Nesse contexto, a Modelagem Matemática emerge como uma estratégia de ensino (Bassanezi, 2015) que, por sua própria natureza, frequentemente demanda o uso de tecnologias digitais, seja para coletar dados, realizar simulações, visualizar fenômenos ou validar modelos (Greefrath e Siller, 2017). Atividades de Modelagem Matemática estão associadas à investigação de situações-problema da realidade por meio da matemática e se articulam aos objetivos de formação das prescrições nacionais e da necessidade de entendimento do mundo por meio dos conhecimentos científicos (Almeida, Silva e Vertuan, 2024).

Ao propor situações-problema contextualizadas, a Modelagem Matemática permite a articulação de diferentes áreas do conhecimento, promovendo uma abordagem transdisciplinar e crítica da realidade (Giboski, 2013). O desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática exige que o professor mobilize diferentes conhecimentos para selecionar recursos e estratégias pedagógicas que possibilitem resolver as situações-problema reais, bem como aprender a usar a Modelagem Matemática para ensinar matemática. Se, por um lado, a formação inicial precisa capacitar os professores para a inclusão de atividades dessa natureza (Sousa e Almeida, 2021), por outro, as políticas públicas e diretrizes para a Educação Básica visam direcionar programas de formação e desenvolvimento profissionais, com ênfase na inserção das tecnologias digitais e de recursos computacionais em sala de aula.

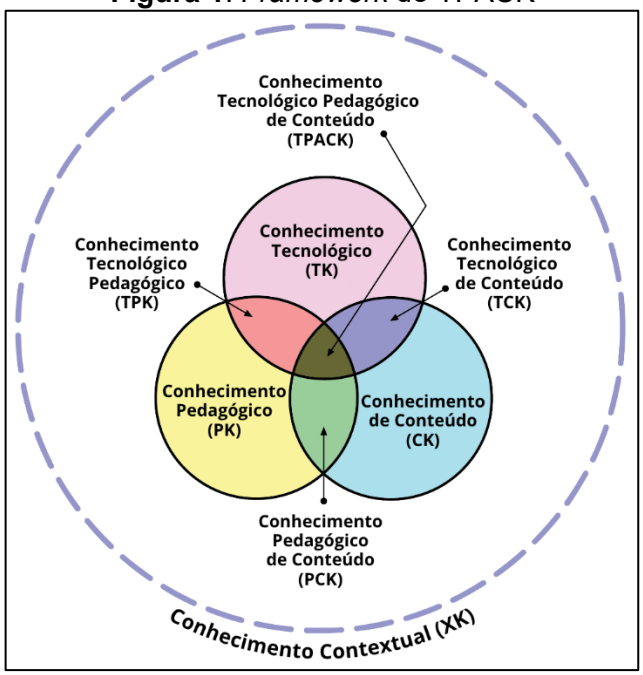
Diante desse cenário, este artigo tem por objetivo investigar a mobilização dos conhecimentos tecnológico, pedagógico e do conteúdo junto às funções das tecnologias digitais em atividades de Modelagem Matemática em um curso de Licenciatura em Matemática, bem como identificar desafios e possibilidades que emergem desse processo na formação inicial de professores. O texto apresenta

elementos teóricos sobre o modelo TPACK e sobre a Modelagem Matemática na Educação Matemática.

Sobre o TPACK

O modelo TPACK (Conhecimento Tecnológico, Pedagógico e do Conteúdo), proposto por Mishra e Koehler (2006, 2008), Koehler, Mishra e Cain (2013), Mishra (2019) e Petko, Mishra e Koehler (2025), expande o conceito de conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK), proposto por Shulman (1986, 1987), ao integrar a tecnologia como um componente essencial da prática docente, conforme Figura 1.

Figura 1: *Framework* do TPACK



Fonte: Adaptado de Mishra (2019, p.2)

Essa abordagem se sustenta sobre três eixos, o conhecimento do conteúdo (CK), o conhecimento pedagógico (PK) e o conhecimento tecnológico (TK).

O CK, refere-se ao conhecimento sobre a matéria específica que deve ser apreendida ou ensinada (Mishra e Koehler, 2006). Já o PK, como um conhecimento sobre os processos, práticas ou métodos de ensino e aprendizagem e como ele abrange, entre outras coisas, os propósitos, valores e objetivos educacionais (Mishra e Koehler, 2006). E, o PK, que abrange o conhecimento sobre tecnologias como livros, giz e quadro, e tecnologias digitais como a internet e o vídeo (Mishra e Koehler, 2006).

De acordo com Nahirne e Boscarioli (2025), a habilidade para empregar tecnologias de maneira eficaz no contexto escolar implica compreender as potencialidades pedagógicas das tecnologias digitais e suas relações com o ensino e a aprendizagem. A principal contribuição do modelo, no entanto, emerge das interações dinâmicas entre esses três eixos, conforme ilustrado pelas setas na Figura 1.

Dessas interações emergem quatro categorias, o conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK), o conhecimento tecnológico do conteúdo (TCK), o conhecimento tecnológico-pedagógico (TPK) e o conhecimento tecnológico-pedagógico do conteúdo (TPACK).

O PCK consiste em saber quais abordagens de ensino se adequam ao conteúdo e, da mesma forma, saber como os elementos do conteúdo podem ser organizados para um ensino melhor (Mishra e Koehler, 2006). Já o TCK é o conhecimento sobre a maneira como a tecnologia e o conteúdo se relacionam reciprocamente (Mishra e Koehler, 2006). O TPK, como o conhecimento da existência, dos componentes e das capacidades de diversas tecnologias utilizadas em contextos de ensino e aprendizagem e, inversamente, no conhecimento de como o ensino pode ser transformado pelo uso de tecnologias específicas (Mishra e Koehler, 2006). Por fim, o TPACK compreendido como uma forma emergente de conhecimento que vai além dos três componentes centrais (conteúdo, pedagogia e tecnologia). Trata-se de uma compreensão que emerge das interações entre o conhecimento do conteúdo, pedagógico e tecnológico (Koehler, Mishra e Cain, 2013), este último correspondendo à articulação entre os três domínios fundamentais.

Koehler e Mishra (2008) referem-se ao fato de que a eficácia do uso de tecnologias digitais em sala de aula não decorre do domínio isolado de cada componente do TPACK, mas sim da capacidade do professor em integrar esses saberes de maneira dinâmica e contextualizada, considerando as exigências do ambiente escolar, do conteúdo trabalhado e das características dos estudantes. Essa articulação mostra-se particularmente relevante na formação inicial docente, pois favorece uma prática pedagógica mais reflexiva, crítica e sintonizada com os desafios do mundo contemporâneo. O desenvolvimento dessa competência não só aprimora os processos de ensino e de aprendizagem, como também amplia o repertório do futuro professor para planejar intervenções ajustadas às especificidades dos alunos e ao contexto educacional.

Nesse sentido, o planejamento de atividades demanda que o professor acione os conhecimentos inerentes ao TPACK com vistas a selecionar recursos, estratégias pedagógicas e recursos tecnológicos compatíveis com a resolução dos problemas propostos.

Pesquisas de revisão sistemática têm sido realizadas de modo a realizar um panorama sobre as investigações envolvendo o TPACK (Rosyid e Martadiputra, 2025; Priyanda et.al, 2025; Nahirne e Boscarioli, 2025).

A integração da tecnologia na formação inicial de professores de Matemática tem sido um desafio recorrente, demandando estratégias que superem abordagens isoladas. Nesse contexto, Rosyid e Martadiputra (2025), sobre o desenvolvimento do TPACK em licenciandos em Matemática, sintetizam as evidências disponíveis na literatura internacional no período entre 2010 e 2024. O estudo aponta que, embora diversos métodos individuais, como treinamentos específicos ou oficinas, promovam certo desenvolvimento do TPACK, cada um deles apresenta limitações e vantagens particulares quando analisado separadamente. A revisão conclui que, para o desenvolvimento desse conhecimento a combinação articulada de diferentes abordagens metodológicas formativas, especialmente aquelas que integram a tecnologia como elemento estruturante do processo de aprendizagem, e que direcionam os futuros docentes à produção de artefatos pedagógicos pode ser uma alternativa profícua.

Quando o uso da TPACK é associado a abordagens metodológicas, em particular, a Modelagem Matemática, Santos e Schimiguel (2025) propõem a Cultura Digital como lente para ressignificar a prática pedagógica. Eles argumentam que o sucesso dessa transformação depende de uma formação de professores estruturada em torno do desenvolvimento do TPACK, tendo como base a Modelagem Matemática e o uso de dados reais para desenvolver o letramento em dados. Já a pesquisa de Quarder et al. (2025), vai além ao demonstrar que o conhecimento necessário para ensinar Modelagem Matemática com tecnologia não se desenvolve automaticamente a partir do conhecimento de Modelagem Matemática isolado. Ele exige uma formação deliberada e específica que integre, desde o planejamento até a execução, os recursos tecnológicos como parte constitutiva da abordagem de ensino.

Ao analisar esses e outros estudos sobre TPACK em Educação Matemática, é possível observar que a Modelagem Matemática é tratada como um domínio de conteúdo particularmente fértil para a integração tecnológica. Isso ocorre porque o

próprio processo de Modelagem Matemática (compreender um problema real, simplificar, matematizar, resolver, interpretar e validar) se beneficia do uso de recursos tecnológicos para simular cenários, processar dados, visualizar funções e testar hipóteses de forma dinâmica (Quarder et.al, 2025).

Modelagem Matemática na Educação Básica

Apesar da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) não apresentar uma definição explícita de Modelagem Matemática, é possível identificar indícios desse enfoque ao longo do documento, sobretudo quando associa a resolução de problemas e a investigação como estratégias metodológicas para a aprendizagem (Brasil, 2018).

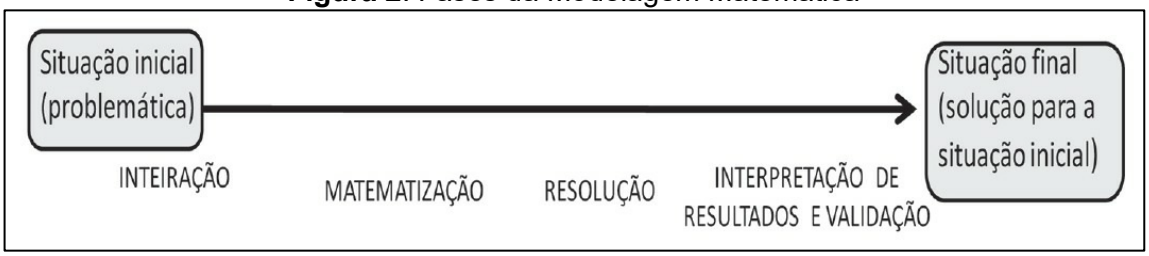
A produção acadêmica relacionada à Modelagem Matemática é vasta tanto no cenário nacional (Bassanezi, 2002; Burak, 1992; Biembengut, 2003; Meyer, Caldeira e Malheiros, 2011; Almeida, Silva e Vertuan, 2024, entre outros) quanto no internacional (Blum, 2015; Borromeo Ferri, 2018; Stillman, 2015; Galbraith, 2007, entre outros). Esses estudos têm fomentado a busca atual por seu desenvolvimento nos processos de ensino e de aprendizagem (Silva e Pinho, 2025; Kowalek, Veronez e Zanim, 2024; Sousa e Pfahl, 2024, entre outros). Os pesquisadores mencionados representam apenas uma parcela dos que se dedicam ao tema, o que reflete a existência de múltiplas compreensões sobre o ensino e a aprendizagem por meio da Modelagem Matemática.

Bassanezi (2015) concebe a Modelagem Matemática como a arte de converter problemas do mundo real em problemas matemáticos, resolvê-los e, em seguida, interpretar suas soluções novamente na linguagem da realidade.

Em sala de aula, o desenvolvimento de atividades de Modelagem Matemática pode ser conduzido a partir das indicações de Almeida, Silva e Vertuan (2024), que propõem quatro fases, as quais não ocorrem necessariamente de forma linear. A primeira delas é a fase de inteiração, correspondente ao primeiro contato com a situação-problema, abrangendo as impressões iniciais e a identificação das características presentes na situação-problema. A matematização caracteriza-se pela transição das informações da linguagem natural para a linguagem matemática, por meio da seleção de variáveis, simplificação de dados e formulação de hipóteses. A resolução consiste no processo de obter uma resposta à situação-problema inicial por meio de um modelo matemático. Por fim, a interpretação de resultados e validação

visa à análise do modelo matemático e sua adequação para responder a problemática inicial; para que seja julgada adequada, é necessário verificar as representações matemáticas da situação, conforme ilustrado na Figura 2.

Figura 2: Fases da Modelagem Matemática



Fonte: Almeida, Silva e Vertuan (2024, p. 20)

Assim, diante de sua formação e com o objetivo de ensinar Matemática por meio da Modelagem Matemática, cabe ao professor considerar as três vertentes indicadas por Almeida e Dias (2007). Aprender sobre, ou seja, aprender utilizando teorias da Modelagem Matemática. Aprender por meio, ou seja, aprender desenvolvendo atividades de Modelagem Matemática. E, ensinar usando, ou seja, ensinar por meio de atividades de Modelagem Matemática. Desse modo, espera-se que a atividade de Modelagem Matemática não se limite ao domínio matemático, mas também promova a conscientização e a compreensão das situações que fazem parte da vida cotidiana dos alunos.

No que tange à relação entre Modelagem Matemática e formação de professores (Omodei e Almeida, 2019; Oliveira, 2020; Sousa e Almeida, 2021; Bisognin e Bisognin, 2024), as pesquisas evidenciam que tais experiências contribuem para a prática do professor que ensina Matemática. Isso se deve ao potencial das atividades de Modelagem Matemática em mobilizar a base de conhecimentos para a docência proposta por Shulman (1987), conforme evidenciado por Omodei e Almeida (2019), Sousa e Almeida (2021) e Bisognin e Bisognin (2024).

Destaca-se ainda a possibilidade de a Modelagem Matemática mobilizar conhecimentos tecnológicos. De acordo com Greefrath e Siller (2017), as tecnologias digitais utilizadas em atividades de Modelagem Matemática exercem funções específicas, a saber. Primeiramente, a experimentação, com a transformação de uma situação real em um modelo geométrico ou numérico por meio de software de geometria dinâmica ou planilhas eletrônicas, podendo ser empregada para formular e testar hipóteses sobre a situação real. Em seguida, a visualização, com a

representação com auxílio de tecnologias digitais para observar e analisar aspectos que poderiam não ser notados, servindo como ponto de partida para o desenvolvimento da análise dos resultados. A simulação, com a criação de uma analogia de uma situação real, que pode ser usada para investigar uma operação ou experimento com base em modelos matemáticos. Por fim, o controle, com o gerenciamento de informações de entrada e saída em modelos matemáticos, definindo valores de parâmetros e analisando suas implicações.

Nesse sentido, a literatura sugere que atividades de Modelagem Matemática, quando articuladas a recursos tecnológicos, podem criar condições favoráveis à mobilização do TPACK (Rosa e Nagaro, 2024). Essa mobilização, por sua vez, tem sido associada a processos que favorecem a compreensão de conteúdos de Ciências e Matemática, bem como ao protagonismo e à autonomia dos estudantes. Contudo, como alertam os autores, o uso de recursos tecnológicos, por si só, não assegura a aprendizagem; ele atua como suporte que pode potencializar a assimilação dos conteúdos matemáticos.

Até este ponto, apresentaram-se separadamente os referenciais do TPACK e da Modelagem Matemática. Contudo, a Modelagem Matemática, por exigir que o professor mobilize diferentes conteúdos matemáticos, estratégias pedagógicas e, frequentemente, recursos tecnológicos (seja para simular, visualizar ou validar), pode oferecer um contexto privilegiado para que o modelo TPACK seja integrado. A atividade descrita na sequência, desenvolvida no âmbito de uma disciplina de Prática de Ensino em uma licenciatura em Matemática, exemplifica essa articulação e serve como lente analítica para a investigação proposta.

Encaminhamento Metodológico

Esta pesquisa assume caráter qualitativo, descritivo e interpretativo, buscando compreender o fenômeno da mobilização dos conhecimentos tecnológico, pedagógico e do conteúdo junto às funções das tecnologias digitais em atividades de Modelagem Matemática em um curso de Licenciatura em Matemática, bem como identificar desafios e possibilidades que emergem desse processo na formação inicial de professores, como indicada pelas características da pesquisa qualitativa na investigação de fenômenos em Flick (2004) a partir da perspectiva dos participantes da situação estudada.

Os dados que subsidiaram as argumentações foram coletados junto a dez alunos da licenciatura em Matemática de uma universidade pública localizada no estado do Paraná. A turma da disciplina de Prática de Ensino de Matemática era composta por dez estudantes, que desenvolveram a atividade de Modelagem Matemática em duplas. O tema da atividade foi sugerido pelos professores, que também são autores deste trabalho.

A análise qualitativa, fundamentada em Creswell (2018), buscou compreender os significados que os participantes atribuíram às suas experiências. Os dados foram coletados durante o desenvolvimento da atividade de Modelagem Matemática e incluem os registros escritos dos alunos produzidos durante e após a atividade, e as respostas objetivas e subjetivas a um questionário sobre o uso da atividade em futuras situações de ensino.

Os alunos foram organizados em cinco duplas, sendo utilizados os registros de todos os dez participantes. Para preservar o anonimato dos estudantes, eles foram codificados como A01, A02, A03, ..., A10. As duplas, por sua vez, foram identificadas como G01 (composta por A01 e A02), G02 (A03 e A04), G03 (A05 e A06), G04 (A07 e A08) e G05 (A09 e A10). A atividade analisada foi desenvolvida ao longo de quatro aulas de 50 minutos cada, distribuídas em dois dias.

O percurso de análise dos dados seguiu três etapas sequenciais. Primeiramente, procedeu-se à leitura integral dos registros coletados. Em seguida, realizou-se a seleção dos dados relevantes que indicassem, a partir das fases da atividade de Modelagem Matemática, evidências do TPACK em seu desenvolvimento. Na terceira etapa, promoveu-se a articulação entre os dados selecionados e os conhecimentos do TPACK adotados no referencial teórico.

Além da identificação dos conhecimentos do TPACK, a análise também buscou identificar desafios e possibilidades emergentes no desenvolvimento da atividade, entendidas como conflitos, dificuldades ou potencialidades relacionados ao uso das tecnologias digitais. Para tanto, foram analisados os momentos em que os grupos enfrentaram obstáculos (ex.: dificuldade com recursos tecnológicos, necessidade de validação externa, uso de simuladores) ou protagonizaram reapropriações criativas das tecnologias. Essas emergências foram interpretadas à luz das discussões críticas sobre dataficação e vigilância algorítmica (Williamson, 2017; Couldry e Mejias, 2019).

Descrição da atividade

O tema da atividade de Modelagem Matemática “Vale a pena consumir energias sustentáveis: painéis fotovoltaicos?” foi proposto pelos professores e desenvolvida pelos dez alunos a partir de interesses comuns pré-determinados durante as aulas da disciplina de Prática de Ensino, como possíveis temas geradores de curiosidade e interesse dos alunos. O tema contemporâneo faz parte de um rol de temas sobre consumo sustentável, educação financeira e a mobilização de conhecimentos matemáticos, como destacado nos estudos de Vidaletti, Corassa e Vertuan (2025); Rios e Santana (2023).

No início da atividade, os alunos se inteiraram do tema a partir de instruções proporcionadas pelos professores, bem como elementos sobre uma breve história da energia elétrica e a seguinte situação-problema “O investimento em Painéis Fotovoltaicos para produção de energia solar vale a pena para a escola?” (Quadro 1).

Quadro 1: Situação-problema entregue para os alunos

Vale a pena consumir energias sustentáveis: painéis fotovoltaicos?

Popularmente conhecido como Placas Solares, os Painéis Fotovoltaicos são responsáveis por produzir energia solar, transformando os raios solares em energia elétrica. Tudo começou em 1839 na França e os aprimoramentos dessa tecnologia se desdobraram por pesquisadores renomados, como por exemplo, Albert Einstein com o efeito fotoelétrico, resultando em seu Prêmio Nobel de Física.

O uso da energia solar advém de uma fonte de energia limpa e econômica, o que se opõe à atual demanda de energias não-renováveis. No Brasil, segundo uma pesquisa realizada pela ABSOLAR em 2022, a produção de energia solar no país superou a potência gerada pela hidrelétrica binacional de Itaipu e estima a possibilidade de redução das emissões do gás carbônico em 37% para 2025 e até 43% em 2030 no Brasil.

As placas solares são tendências nas residências por meio de sua facilidade de acessibilidade, ocupam pouco espaço, são alimentadas por uma fonte abundante e produzem energia de forma silenciosa. E, possuem uma vida útil de aproximadamente 25 anos com manutenções baratas, possibilitando uma redução em até 95% dos gastos com a conta de luz.

Considerando o interesse em investigar a economicidade das placas solares, foram coletados os dados do consumo de energia de um Colégio Estadual no interior de São Paulo que não utiliza nenhum método pensado na redução do consumo:

O cálculo para determinar o valor que deve ser pago consiste em dois fatores: consumo TE (Tarifa de Energia) e consumo TUSD (Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição). E, para cada consumo é atribuído um valor que será multiplicado pelos kWh (quilowatt-hora) e posteriormente, somados para obter o valor total da tarifa de energia. Assim, para o consumo TE é cobrado R$0,28 e para o consumo TUSD é cobrado R$0,42.

Histórico de consumo			
Ano	Meses	kWh (quilowatt-hora)	Dias
2024	Março	11.760	28
	Abril	12.180	30
	Maio	10.620	31
	Junho	8.640	31
	Julho	6.720	32
	Agosto	6.480	29
	Setembro	10.200	31
	Outubro	10.620	32
	Novembro	9.660	29
	Dezembro	10.560	33
2025	Janeiro	3.360	29
	Fevereiro	7.320	30
	Março	12.480	29

A partir dessas informações, o investimento em Painéis Fotovoltaicos para produção de energia solar vale a pena para a escola?

Fonte: Os autores

Para o desenvolvimento da atividade de Modelagem Matemática, os alunos estavam organizados na tríade de aprender sobre Modelagem Matemática para ensinar usando, como disposto por Almeida e Dias (2007), e tinham como norte as indicações sobre atividades de Modelagem Matemática de Almeida, Silva e Vertuan (2024). Com base nos dados coletados, a análise apresentada na sequência investiga

a mobilização dos conhecimentos tecnológico, pedagógico e do conteúdo junto às funções das tecnologias digitais em atividades de Modelagem Matemática em um curso de Licenciatura em Matemática.

O uso do TPACK no desenvolvimento da atividade

Durante a fase de inteiração, após a entrega e leitura coletiva do Quadro 1, todos os participantes chegaram à mesma compreensão da situação-problema que precisariam calcular os gastos mensais com energia elétrica e obter uma média que determinasse a quantidade de placas solares necessárias.

No processo de matematização, ao buscarem identificar os elementos essenciais para a resolução, emergiram questionamentos como "Quais fatores influenciam o custo?" (A01), "Tamanho da escola e o preço dos equipamentos." (A02) e "E também o tipo do sistema, se serão conectados à rede elétrica ou com baterias" (A02), o que resultou na construção de hipóteses.

No decorrer dos cálculos dos valores, observou-se uma divisão nas estratégias dos grupos. Enquanto os grupos G01, G03 e G05 optaram por utilizar papel e caneta para dar início aos trabalhos, os grupos G02 e G04 empregaram recursos digitais, especificamente o software Excel. Estes inseriram os dados da situação-problema no programa e valeram-se do recurso de funções, o qual possibilita a realização de cálculos por meio de fórmulas pré-definidas.

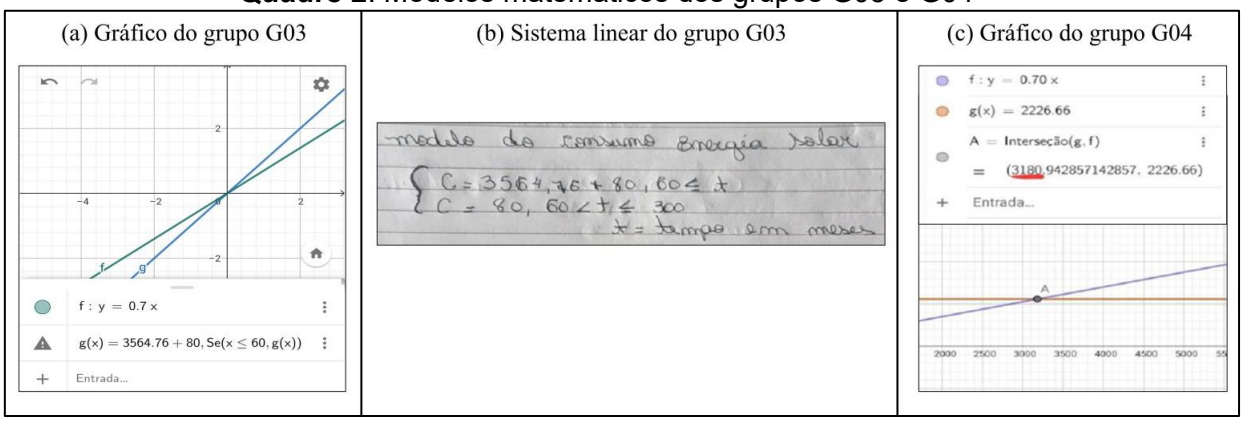
De posse de um valor representativo, os grupos seguiram por caminhos diferentes para a resolução. Os grupos G01, G03 e G04 partiram para a coleta de informações na internet, buscando valores das placas fotovoltaicas, a quantidade de material necessária para a escola e o custo de instalação. Assim, encerrou-se o primeiro dia de atividade, correspondente às duas primeiras aulas.

No segundo dia, os alunos prosseguiram com a fase de resolução, dedicando-se à interpretação dos dados e à validação. Quanto ao uso de recursos tecnológicos, os grupos G03 e G04 concluíram que, com o consumo de energia solar, a escola poderia economizar mais de 2 milhões de reais, o que corresponde a aproximadamente R$ 104.832,00 por ano. Para chegar a esse resultado, ambos os grupos empregaram o software GeoGebra, por meio do qual determinaram duas funções, uma representando o gasto com energia elétrica e outra representando o valor total bruto dividido pela quantidade de meses de duração de uma placa (Quadro

2 – (a) Gráfico do grupo G03 e (c) Gráfico do grupo G04). Contudo, suas abordagens diferiram, o G04 buscou evidenciar a intersecção entre a economia de energia e o gasto da escola, enquanto o G03 comparou o consumo das duas fontes energéticas para identificar, no longo prazo, qual delas seria mais vantajosa financeiramente. Observa-se que nenhum dos grupos restringiu o domínio das funções, limitando-se a considerar valores maiores que zero para efetuar os cálculos.

No que tange às funções das tecnologias digitais, os grupos G03 e G04 utilizaram o software GeoGebra para visualizar, observar e analisar os dados, com o objetivo de construir um modelo matemático que representasse a compensação do uso de energia elétrica na escola. Adicionalmente, com base nos recursos fornecidos pelo software, os grupos experimentaram, formularam e testaram hipóteses relativas à situação-problema, alinhando-se às funções tecnológicas descritas por Greefrath e Siller (2017), a visualização (representar graficamente as funções para observar tendências de economia ao longo do tempo) e a experimentação (testar diferentes parâmetros, como variação no consumo mensal ou no preço do kWh, para verificar o comportamento do modelo em diferentes cenários). Essa dupla articulação entre visualizar e experimentar evidencia a mobilização, pelos grupos, do Conhecimento Tecnológico Pedagógico (TPK), na medida em que compreenderam como o GeoGebra poderia apoiar o processo de ensino e aprendizagem da situação-problema.

Quadro 2: Modelos matemáticos dos grupos G03 e G04



Fonte: Registros dos grupos G03 e G04

O Quadro 2 – (c) Gráfico do grupo G04 apresenta as funções construídas pelos alunos do grupo G04 no ambiente do GeoGebra. A função linear representa o custo líquido acumulado ao longo do tempo, considerando a economia gerada pelos

painéis solares; a função constante indica o valor do investimento inicial amortizado mensalmente. O ponto de intersecção entre as duas curvas (aproximadamente no mês 180) indica o momento a partir do qual o investimento torna-se financeiramente vantajoso. Observa-se, contudo, que os grupos não restringiram o domínio das funções ao período de vida útil dos equipamentos (300 meses), o que levaria a uma projeção matemática válida, porém desconectada da realidade física do problema, uma questão que poderia ser explorada em uma validação criteriosa. Essa ação revela a mobilização do Conhecimento do Conteúdo (CK) ao expressar as relações matemáticas entre as grandezas, mas também evidencia uma lacuna no Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (TCK), pois os grupos não exploraram como o software poderia auxiliar na definição de um domínio mais realista para as funções.

Os grupos G01 e G05 apresentaram dificuldades no uso de tecnologias digitais, optando por recorrer a esses recursos apenas no momento da validação. Isso porque, durante o desenvolvimento da atividade, depararam-se com um valor discrepante em relação à realidade das instalações das placas solares, o que resultou em um modelo matemático que o grupo julgou necessitar de algum recurso tecnológico para retomar os processos anteriores. Por meio de uma página na web que fornecia simulações de orçamento, foi possível obter um valor condizente para o grupo, conforme indicado na Figura 3.

Figura 3: Simulação feita pelo grupo G01



Fonte: Registros do grupo G01

De acordo com Greefrath e Siller (2017), a função de simulação, realizada por meio de simuladores, busca investigar uma operação no contexto da Modelagem Matemática. No caso específico dos grupos G01 e G05, essa função foi mobilizada para avaliar as operações, ou seja, para analisar os resultados obtidos a partir do modelo matemático por eles construído. O uso do simulador online pelo G01, embora

funcional para validar o modelo construído, levanta uma questão pouco explorada na literatura do TPACK, a dependência de recursos tecnológicos cujos algoritmos e premissas são frequentemente opacas.

Conforme Couldry e Mejias (2019), a dataficação, processo pelo qual aspectos da realidade são traduzidos em dados computáveis, pode obscurecer as escolhas políticas e econômicas embutidas nas tecnologias. No caso do simulador utilizado pelo G01, não foi possível identificar quais taxas, juros ou condições de mercado foram programados, o que evidencia uma tensão entre a autonomia do futuro professor e a "caixa-preta" algorítmica (isto é, a opacidade dos processos internos do software, que oculta critérios, premissas e vieses de programação) que ele é levado a confiar (Williamson, 2017).

O grupo G02, após identificar os valores consumidos mensalmente e o local para instalação das placas solares, solicitou um orçamento a uma empresa especializada. Com base nesse orçamento, o grupo realizou a matematização da situação e construiu um modelo matemático utilizando o software Excel (Quadro 3). O orçamento obtido serviu, ainda, como parâmetro de comparação para os resultados alcançados. Conforme Czocher (2018), esse procedimento caracteriza um movimento de validação ao longo do desenvolvimento da atividade, no qual o grupo compara o que foi produzido para dar prosseguimento à resolução.

Quadro 3: Registro no software Excel criado pelos alunos do grupo G02

Ano	Meses	kWh	0,28	0,42	Total (TE+TUSD)	Comparação dos kwh dos meses com a média feita com todos os valores
2024	Março	11.760,00	3.292,80	4.939,2	8.232,00	2.483,08
2024	Abril	12.180,00	3.410,4	5.115,6	8.526,00	2.903,08
2024	Maio	10.620,00	2.973,6	4.460,4	7.434,00	1.343,08
2024	Junho	8.640,00	2.419,2	3.628,8	6.048,00	-636,92
2024	Julho	6.720,00	1.881,6	2.822,4	4.704,00	-2.556,92
2024	Agosto	6.480,00	1.814,4	2.721,6	4.536,00	-2.796,92
2024	Setembro	10.200,00	2.856	4.284	7.140,00	923,08
2024	Outubro	10.620,00	2.973,6	4.460,4	7.434,00	1.343,08
2024	Novembro	9.660,00	2.704,8	4.057,2	6.762,00	383,08
2024	Dezembro	10.560,00	2.956,8	4.435,2	7.392,00	1.283,08
2025	Janeiro	3.360,00	940,8	1.411,2	2.352,00	-5.916,92
2025	Fevereiro	7.320,00	2.049,6	3.074,4	5.124,00	-1.956,92
2025	Março	12.480,00	3.494,4	5.241,6	8.736,00	3.203,08
Total (Médias)		**9.276,92**			**6.493,85**	**0,00**

Fonte: Registro do G02

No que tange às funções das tecnologias digitais preconizadas por Greefrath e Siller (2017), o grupo G02 mobilizou tanto a experimentação, ao transformar a situação real em um modelo numérico por meio do software de planilha eletrônica, quanto o controle, ao gerenciar as informações de entrada. Desse modo, determinou-se que, mensalmente, a escola obteria uma economia de R$6.493,85, totalizando R$ 1.948.155,00 no período de 300 meses (25 anos, correspondentes à vida útil da placa solar). Como conclusão consensual, todos os grupos reconheceram que o consumo de energia solar vale a pena, ainda que demande um investimento inicial e área disponível para instalação dos equipamentos. Os valores estimados para a economia, caso a escola opte pela energia solar, mostraram-se aproximados entre os diferentes grupos.

A análise realizada permitiu destacar a potencialidade que uma atividade de Modelagem Matemática oferece para a mobilização do TPACK por parte dos futuros professores. Essa potencialidade se manifesta na possibilidade de integrar os diversos conhecimentos do modelo, o TK, ao recorrer aos softwares, o CK, ao expressar as relações matemáticas entre a quantidade de kWh e o valor pago pela energia consumida, o TCK, ao explorar e administrar essas relações por meio de tecnologias digitais, o PK, ao percorrer as fases da Modelagem Matemática e utilizá-las na resolução do problema, TPK, ao recorrer às funções das tecnologias digitais em atividades de Modelagem Matemática, conforme Greefrath e Siller (2017) e, por fim, o TPACK, que corresponde às reflexões dos futuros professores sobre uma futura prática docente que reconhece a relevância das atividades de Modelagem Matemática e do uso da tecnologia digital, evidenciadas de forma combinada na resolução da atividade e nas respostas ao formulário. Desse modo, é possível detalhar a mobilização de cada componente do TPACK pelos diferentes grupos:

Conhecimento do Conteúdo (CK): Todos os grupos mobilizaram o CK ao compreenderem a relação entre as grandezas envolvidas (kWh consumido, valor da conta, número de placas necessárias, tempo de retorno do investimento). Os grupos G02 e G04, que utilizaram planilhas eletrônicas e o GeoGebra, demonstraram um CK mais articulado, pois conseguiram expressar algebricamente as relações e interpretar seus significados no contexto do problema. Já os grupos G01 e G05, que inicialmente recorreram a papel e caneta, apresentaram dificuldades na formulação algébrica das relações, recorrendo a simuladores online para validar, e, em certa medida, substituir seus próprios modelos.

Conhecimento Pedagógico (PK): A mobilização do PK se manifestou nas fases da Modelagem Matemática (inteiração, matematização, resolução, interpretação e validação). O grupo G02, por exemplo, solicitou um orçamento a uma empresa especializada, demonstrando compreensão de que a validação de um modelo matemático pode envolver fontes externas.

Conhecimento Tecnológico (TK): observou-se grupos com maior domínio tecnológico (grupos G02 e G04, que recorreram ao Excel e ao GeoGebra) e grupos com menor domínio (grupos G01, G03, G05, que iniciaram com papel e caneta). Essa diferença sinaliza uma desigualdade de domínio tecnológico, enquanto os grupos G02 e G04 integram as tecnologias digitais de forma intencional e reflexiva, os grupos G01 e G05 reconhecem o potencial das tecnologias digitais, mas ainda hesitam em integrá-las desde o início do processo.

Conhecimento Tecnológico do Conteúdo (TCK): mobilização observada quando os grupos selecionaram recursos tecnológicos específicos para lidar com os conteúdos matemáticos particulares. O grupo G02 utilizou o Excel para gerenciar e controlar informações de entrada e saída (função de controle), enquanto os grupos G03 e G04 utilizaram o GeoGebra para visualizar funções e testar hipóteses (funções de visualização e experimentação). O grupo G01, ao recorrer a um simulador online, mobilizou o TCK de forma mais limitada, pois a ferramenta realizou os cálculos de maneira opaca, sem que o grupo precisasse explicitar as relações matemáticas subjacentes.

Conhecimento Tecnológico Pedagógico (TPK): O TPK foi mobilizado quando os grupos compreenderam como as tecnologias digitais poderiam apoiar processos de ensino e aprendizagem específicos da Modelagem Matemática. O grupo G03, por exemplo, ao afirmar que usaria “GeoGebra para construção de gráficos e calculadoras” em sua futura prática docente, demonstrou compreensão de que o software pode tornar conceitos abstratos mais acessíveis aos alunos. Contudo, nenhum grupo problematizou as limitações pedagógicas dos recursos tecnológicos utilizados, como a dificuldade no uso dos simuladores.

Conhecimento Pedagógico do Conteúdo (PCK): a mobilização do PCK foi evidente na decisão dos grupos de utilizar as fases da Modelagem Matemática como organizadoras do processo de resolução. Os grupos compreenderam que o conteúdo matemático (funções lineares, sistemas de equações, porcentagens) precisava ser ensinado e aprendido no contexto de um problema real, e não de forma isolada. Essa

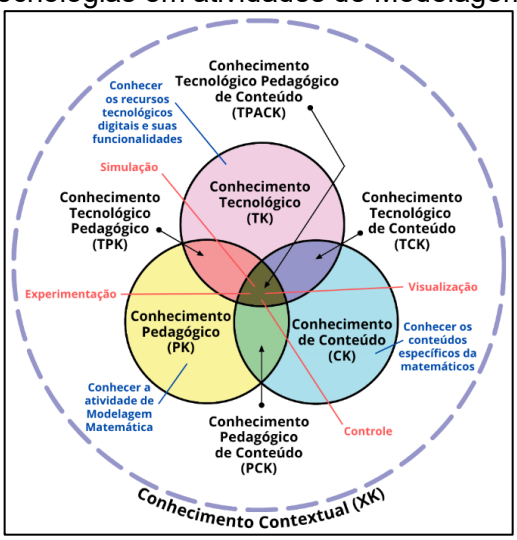
é uma característica central do PCK: transformar o conhecimento do conteúdo em formas pedagogicamente poderosas e adaptadas à situação.

TPACK (conhecimento integrado): O TPACK, enquanto síntese dos demais conhecimentos, foi mobilizado quando os grupos articularam, de forma integrada, o que ensinar (CK), como ensinar (PK) e com quais recursos tecnológicos ensinar (TK), considerando ainda o contexto da situação-problema. Os grupos G02, G03 e G04 mobilizaram mais conhecimentos do modelo TPACK, pois conseguiram planejar e executar a atividade integrando as três dimensões desde o início. Já os grupos G01 e G05 apresentaram conhecimentos do modelo TPACK de forma fragmentada, mobilizando as tecnologias digitais apenas na fase de validação.

Por fim, destacamos que a formação inicial de professores em Modelagem Matemática deve contemplar a tríade proposta por Almeida e Dias (2007) de aprender sobre, aprender por meio e ensinar usando a Modelagem Matemática. Essa tríade pode, igualmente, contribuir para o fortalecimento do TPACK, na medida em que as dimensões “aprender sobre” e “aprender por meio” favorecem a mobilização dos conhecimentos do conteúdo, pedagógico e tecnológico, além de suas respectivas intersecções. Por sua vez, o “ensinar usando” completa a trama que articula esses conhecimentos ao TPACK.

Com base nas análises realizadas, a Figura 4 ilustra a possibilidade de articulação entre os diferentes conhecimentos essenciais à prática docente. Nela, evidencia-se como a integração da tecnologia, do conteúdo e da pedagogia pode ser trabalhada de forma combinada e integrada.

Figura 4: Funções das tecnologias em atividades de Modelagem Matemática no TPACK



Fonte: Os autores

Para além do uso das tecnologias e a articulação com o modelo TPACK, é relevante discutir os desafios e problematizações que podem emergir da análise do desenvolvimento da atividade. Isso porque essa integração, na prática, é atravessada por disputas e condições materiais que o diagrama, por si só, não captura.

Primeiro, a desigualdade de acesso e domínio tecnológico, a divisão observada entre grupos que recorreram imediatamente a recursos digitais (G02 e G04) e aqueles que iniciaram com papel e caneta (G01, G03, G05) pode ser interpretada não apenas como diferença de estratégia, mas como manifestação das desigualdades de domínio tecnológico que atravessam a formação inicial de professores (Rivera-Vargas et al., 2024). Embora todos os licenciandos estivessem matriculados na mesma disciplina, suas trajetórias prévias de acesso e uso de tecnologias – possivelmente marcadas por desigualdades de território, renda ou escolarização prévia – emergiram como um fator diferenciador. Os grupos G01 e G05, que demonstraram maior dificuldade, só conseguiram validar seus modelos ao recorrer a tecnologias na fase final, o que sugere que a integração do TPACK não pode ser considerada uma competência individual, mas sim dependente de condições materiais e sociais de possibilidade.

Tanto o simulador online acessado pelo G01 quanto o orçamento solicitado pelo G02 a uma empresa especializada constituem “caixas-pretas” algorítmicas (Williamson, 2017). Os licenciandos confiaram nos resultados gerados sem questionar as premissas, taxas de juros, depreciação de equipamentos ou condições de mercado embutidas nesses artefatos. Rivera-Vargas et al. (2024) alertam que a confiança depositada em plataformas e simuladores digitais, quando não acompanhada de uma compreensão crítica de seu funcionamento interno, pode fortalecer relações de dependência tecnológica e obscurecer a autonomia docente. Neste estudo, nenhum grupo questionou a procedência ou os parâmetros dos simuladores utilizados, o que indica uma lacuna na formação para o uso crítico das tecnologias.

Especificamente no caso dos alunos do grupo G01, o simulador online acessado (Figura 3) solicitava apenas dados de consumo médio e localização, gerando um orçamento sem explicitar taxas de instalação, depreciação dos equipamentos, custos de manutenção ou juros de financiamento. Nenhum dos integrantes do grupo questionou se esses parâmetros eram adequados à realidade da escola ou se refletiam condições de mercado de determinada região ou fornecedor. Esse comportamento evidencia uma lacuna formativa, o modelo TPACK,

tradicionalmente concebido, não contempla explicitamente a competência para “abrir a caixa-preta” algorítmica e avaliar criticamente as premissas embutidas nos recursos digitais.

E por último, a reapropriação e resistências a despeito das críticas à dataficação e dificuldade na compreensão do algoritmo, é importante reconhecer que os licenciandos também protagonizaram reapropriações criativas das tecnologias disponíveis. O G03 e o G04, embora utilizando o mesmo software GeoGebra, construíram estratégias distintas, um priorizando a interseção entre economia e gasto, outro comparando fontes energéticas no longo prazo. Essas reapropriações, conforme sugerem Moreno-González et al. (2025), indicam que o uso de tecnologias digitais não é determinístico, pois os sujeitos podem subverter, adaptar e ressignificar os recursos tecnológicos a partir de seus objetivos pedagógicos. Nesse sentido, o TPACK não foi mobilizado de forma homogênea, mas sim como um conhecimento situado e contingente, marcado por negociações e escolhas locais.

Considerações finais

O presente artigo teve por objetivo investigar a mobilização dos conhecimentos tecnológico, pedagógico e do conteúdo junto às funções das tecnologias digitais em atividades de Modelagem Matemática em um curso de Licenciatura em Matemática, bem como identificar desafios e possibilidades que emergem desse processo na formação inicial de professores. Nesse percurso, atentou-se tanto para as potencialidades de integração tecnológica quanto para os desafios, desigualdades e reapropriações que emergem nesse processo, em diálogo com as discussões críticas sobre tecnologias digitais na educação contemporânea. A pesquisa viabilizou a identificação dos conhecimentos necessários à docência quando integrados à tecnologia, tanto por meio da resolução da situação-problema “O investimento em Painéis Fotovoltaicos para produção de energia solar vale a pena para a escola?” quanto das respostas fornecidas pelos participantes em um formulário.

Os resultados evidenciaram que a atividade de Modelagem Matemática apresenta potencial para mobilizar o TPACK em futuros professores. Tal abordagem favoreceu a articulação entre diferentes conhecimentos essenciais à prática docente,

demonstrando como a integração da tecnologia, do conteúdo e da pedagogia pode ser trabalhada de maneira combinada e sinérgica.

Embora os desafios identificadas tenham se manifestado, elas não impediram a mobilização do TPACK; pelo contrário, revelaram-se como dimensões constitutivas da própria integração tecnológica, evidenciando que o TPACK se desenvolve em condições materiais, sociais e éticas que precisam ser consideradas na formação docente.

Ressalta-se, ainda, que a Modelagem Matemática não foi apenas um contexto para a mobilização do TPACK, mas uma abordagem que, por sua natureza investigativa e contextualizada, potencializou a mobilização integrada dos conhecimentos docente. A atividade de modelagem exigiu dos futuros professores decisões sobre os diferentes tipos de conhecimento de forma simultânea e articulada. Assim, a Modelagem Matemática revela-se não apenas como uma estratégia de ensino, mas como um ambiente formativo para o desenvolvimento do TPACK na formação inicial de professores.

Os futuros professores mobilizaram o conhecimento tecnológico (TK) ao recorrerem a softwares para análise e representação de dados. Ao mesmo tempo, a expressão das relações matemáticas entre as grandezas envolvidas – isto é, entre a quantidade de kWh e o valor pago pela energia consumida – exigiu a mobilização do conhecimento do conteúdo (CK). Ademais, a exploração dessas mesmas relações por meio de recursos tecnológicos demandou o conhecimento tecnológico do conteúdo (TCK).

Do ponto de vista pedagógico, o desenvolvimento da atividade viabilizou a mobilização do conhecimento pedagógico (PK), na medida em que os participantes necessitaram percorrer as distintas etapas da Modelagem Matemática para resolver o problema proposto. Paralelamente, o uso intencional de tecnologias digitais nesse contexto contribuiu para o fortalecimento do conhecimento tecnológico-pedagógico (TPK), ao evidenciar funções específicas dos recursos tecnológicos utilizados a atividades de Modelagem Matemática.

Importa mencionar que uma análise qualitativa de dados permite identificar desigualdades de acesso e reapropriações que emergem quando futuros professores de Matemática desenvolvem uma atividade de Modelagem Matemática com suporte de tecnologias digitais. Busca-se, assim, contribuir para um debate que articule os conhecimentos necessários à docência com uma reflexão crítica sobre as implicações

éticas, políticas e subjetivas do uso das tecnologias na formação inicial de professores.

Entretanto, é necessário reconhecer os limites deste estudo. O foco na análise da mobilização do TPACK não esgotou as questões éticas e políticas implicadas no uso de tecnologias digitais, como as desigualdades de domínio tecnológico manifestadas na divisão entre grupos que iniciaram com papel/caneta e aqueles que recorreram imediatamente ao Excel. Pesquisas futuras poderiam investigar como a formação inicial de professores pode incorporar, junto ao desenvolvimento do TPACK, uma reflexão crítica sobre dataficação, vigilância algorítmica e as condições materiais que tornam o acesso às tecnologias mais ou menos equitativo. Assim, almeja-se contribuir não apenas para uma integração mais eficaz da tecnologia ao ensino de Matemática, mas para um aspecto mais democrático, reflexivo e eticamente informado.

Referências

ALMEIDA, L. M. W.; DIAS, M. R. Modelagem matemática em cursos de formação de professores. In: BARBOSA, J. C.; CALDEIRA, A. D.; ARAÚJO, J. L. (org.). **Modelagem matemática na educação matemática brasileira: pesquisas e práticas educacionais**. Recife: SBEM, 2007. p. 253-268.

ALMEIDA, L. M. W.; SILVA, K. A. P.; VERTUAN, R. E. **Modelagem Matemática na educação básica**. São Paulo: Editora Contexto, 2024.

ARAÚJO, R. S.; SOUSA, F. L. N.; VANDERLEY, P. S.; BENTES, S. O. S.; GOMES, L. M.; FERREIRA, F. C. L. Fontes de energias renováveis: pesquisas, tendências e perspectivas sobre as práticas sustentáveis. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 11, p. 01-14, 2022.

BASSANEZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com Modelagem Matemática**: uma nova estratégia. São Paulo: Contexto, 2002.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Modelagem Matemática**: teoria e prática. São Paulo: Contexto, 2015.

BIEMBENGUT, M. S.; HEIN, N. **Modelagem Matemática no Ensino**. Revista. São Paulo: Contexto, 2003.

BISOGNIN, E.; BISOGNIN, V. Conhecimento especializado de professores em formação continuada no contexto da Modelagem Matemática. **Ensino e Tecnologia em Revista**. Londrina, v. 8, n. 2, p. 82-99, 2024.

BLUM, W. Quality Teaching of Mathematical Modelling: What Do We Know, What Can We Do? S.J. Cho (ed.), **Proceedings of the 12th International Congress on Mathematical Education**: Intellectual and Attitudinal Changes, p. 73–96, New York: Springer. 2015.

BORROMEO FERRI, R. **Learning How to Teach Mathematical Modelingin School and Teacher Education**. Springer International Publishing, 2018.

BRASIL. **Base Nacional Comum da Formação de Professores da Educação Básica**. Brasília: MEC/CONSED/UNDIME, 2018.

BRASIL. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Conselho Pleno. **Resolução CNE/CP n.º 2, de 20 de dezembro de 2019**. Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação Inicial de Professores para a Educação Básica e institui a Base Nacional Comum para a Formação Inicial de Professores da Educação Básica (BNC-Formação). Brasília: MEC/CNE, 2019.

BURAK, D. **Modelagem Matemática: ações e interações no processo de ensino-aprendizagem**. Campinas, 1992. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, 1992.

COULDRY, N.; MEJIAS, U. A. Making data colonialism liveable: how might data's social order be regulated?. **Internet Policy Review**, v. 8, n. 2, 2019. DOI: 10.14763/2019.2.1411

CRESWELL, J. W.; GUETTERMAN, Timothy C. **Pesquisa educacional**: planejamento,condução e avaliação de pesquisa quantitativa e qualitativa. 6. ed. Porto Alegre: Penso,2018.

CZOCHER, J. A. How does validating activity contribute to the modelingprocess?. **Educational Studies in Mathematics**, v. 99, n. 2, p. 137-159, 2018.

FLICK, U. **Uma introdução a pesquisa qualitativa**. Porto Alegre, RS: Bookman, 2004.

GALBRAITH, P. Dreaming a 'possible dream': More windmills to conquer. In: C. HAINES, C.; GALBRAITH, P.; BLUM, W.; KHAN, S. (Eds.). **Mathematical Modelling: Education**, Engineering and Economics. Chichester, UK: Horwood, p. 44-62, 2007.

GIBOSKI, J. Aspectos de interdisciplinaridade e transdisciplinaridade na Modelagem Matemática. In: **Anais...** XI Encontro Nacional de Educação Matemática. Curitiba, 21 de julho de 2013. Disponível em: https://www.sbembrasil.org.br/files/XIENEM/pdf/2710_821_ID.pdf. Acesso em agosto de 2025.

GONÇALVES, B. M. V.; LIMA, Francisco José de. Aprendizagem docente e desenvolvimento de estratégias metodológicas no contexto do PIBID: reflexões sobre o GeoGebra como recurso para o ensino de funções. **Bolema**, Rio Claro, v. 34, n. 68, p. 1056-1076, 2020.

GREEFRATH, G.; SILLER, H. S. Modelling and simulation with the help of digital tools. In: Mathematical modelling and applications. Cham, **Switzerland: Springer**, p. 529-539, 2017.

HERRERA-URÍZAR, G.; BLANCO-NAVARRO, M.; LOZANO-MULET, P.; NEUT-AGUAYO, P. ¿Interés comercial o pedagógico? Las plataformas educativas de las Big Tech y el libre desarrollo de la infancia. **REICE**: Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, v. 22, n. 2, p. 67–84, 2024. DOI: 10.15366/reice2024.22.2.004

KOEHLER, M. J.; MISHRA, P. Introducing technological pedagogical knowledge. In: AACTE (Ed.). **The handbook of technological pedagogical content knowledge for educators**. New York: Routledge, 2008. p. 3-30.

KOEHLER, M.J.; MISHRA, P.; CAIN, W. What is Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)? **Journal of Education**, v. 193, n. 3, p. 13-19, 2013. Disponível em: https://citejournal.org/wp-content/uploads/2016/04/v9i1general1.pdf.

MEYER, J. F. C. A.; CALDEIRA, A. D.; MALHEIROS, A. P. S. **Modelagem em Educação Matemática**. 1. ed. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2011.

MISHRA, P. Considering Contextual Knowledge: The TPACK diagram gets an upgrade. **Journal of Digital Learning in Teacher Education**, v. 35, n. 2, p. 76-78, 2019. Disponível em: https://punyamishra.com/wp-content/uploads/2019/04/TPACK-upgrade-Mishra-2019.pdf. Acesso em: 15 de julho de 2026.

MISHRA, P.; KOEHLER, M. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers College Record**, Nova York, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, jun. 2006.

MORENO-GONZÁLEZ, A.; RIVERA-VARGAS, P.; CALDERÓN-GARRIDO, D. Is it truly pedagogical innovation? Students' experiences with digital platforms in primary education. **Technology, Pedagogy and Education**, 2025. DOI: 10.1080/1475939X.2025.2598378

NAHIRNE, A. P.; BOSCARIOLI, C. Compreensão do conhecimento tecnológico e pedagógico do conteúdo em Matemática: uma análise da literatura. **Revista Paranaense De Educação Matemática**, v. 14, n. 35, p. 01-28, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.33871/rpem.2025.14.35.10721. Acesso em: 15 de julho de 2026.

OLIVEIRA, W. P. **Modelagem Matemática no Estágio Pedagógico: uma investigação fenomenológica**. 2020. 504 f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) – Programa de Pós-graduação em Educação para a Ciência e a Matemática da Universidade Estadual de Maringá. PCM/UEM, Maringá-PR. 2020.

OMODEI, L. B. C.; ALMEIDA, L. M. W. Geração de Energia Fotovoltaica: Uma Atividade de Modelagem na Formação Inicial de Professores de Matemática. In: **Anais...** XV Encontro Paranaense de Educação Matemática. Londrina, 12 de outubro de 2019. Disponível em: https://www.ogeogebra.com.br/sbemparana/eventos/index.php/EPREM/XV_EPREM/paper/viewFile/1143/789. Acesso em 21 de julho de 2025.

PRIETO G., J. L.; BUITRAGO, José Ortiz. Saberes necesarios para la gestión del trabajo matemático en la elaboración de simuladores con GeoGebra. **Bolema**, Rio Claro, v. 33, 2019.

PRIYANDA, R.; HERMAN, T.; AMALIA, R.; IHSAN I. R. Exploring teachers' pedagogical reasoning in mathematics education using the TPACK framework. **Frontiers in Education**, v. 10, p. 1-17, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1552760. Acesso em: 15 de julho de 2026.

QUARDER, J.; GREEFRATH, G.; GERBER, S.; SILLER, H. Pedagogical content knowledge for simulations and mathematical modelling with digital tools: a quasi-experimental study with pre-service mathematics teachers. **ZDM – Mathematics Education**, v. 57, p. 395-409, 2025. Disponível em: https://link.springer.com/article/10.1007/s11858-025-01673-4. Acesso em: 18 de julho de 2026.

RIOS, J. L.; SANTANA, F. C. M. Modelagem Matemática e as Controvérsias na Geração da Energia Solar Fotovoltaica. In: **Anais...** XX Encontro Baiano de Educação Matemática. Paulo Afonso, 04 de agosto de 2023. Disponível em: https://www.sbembrasil.org.br/eventos/index.php/ebem/article/view/767. Acesso em 21 de julho de 2025.

RIVERA-VARGAS, P.; CALDERÓN GARRIDO, D.; MORENO GONZÁLEZ, A.; MASSÓ-GUIJARRO, Belén. Percepciones de las familias sobre el uso de plataformas digitales comerciales en las escuelas públicas: un estudio sobre la confianza y la privacidad digital. **REICE** - Revista Electrónica Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, v. 22, n. 2, p. 85-99, 2024. DOI: 10.15366/reice2024.22.2.005

ROSA, A.; NAGARO, A. Modelagem Matemática e conexões com o ensino de ciências: metodologia TPACK como ensaio para uma pedagogia humanizadora. **Educação**, Porto Alegre, v. 47, n. 1, p. 1-14, 2024.

ROSYID, A.; MARTADIPUTRA, B. A. P. Analysis of Technological Pedagogical Content Knowledge Development of pre-service mathematics teacher: Systematic Literature Review. **International Journal of Education in Mathematics**, Science and Technology, v. 13, n. 3, p. 683-697, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.46328/ijemst.4842. Acesso em: 15 de julho de 2026.

RUAS, V. L. de O. F.s; MACÊDO, J. A. de. Entre contextos e decisões: a intersecção do TPACK, Educação Matemática Crítica e Tecnologias Digitais no ensino da Matemática. **Tangram – Revista de Educação Matemática**, Dourados, v. 8, p. 1-23, 2025.

SANTOS, A. G.; SCHIMIGUEL, J. Tecnologia E Aprendizagem: Novos Tempos, Novos Professores: O Ensino De Matemática Mediado Por Projetos, Por Meio De Levantamento De Interesses Dos Estudantes. **ARACÊ**, v. 7, n. 6, p. 33464-33473, 2025. Disponível em: https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/download/6060/8614/24193. Acessoe m 18 de julho de 2026.

SANTOS, L. R. O. dos; SILVA, L. T. S.; SANTOS, M. de M.. Transformações tecnológicas no ensino de matemática: um estudo sobre as multifaces do desenvolvimento do conhecimento tecnológico pedagógico do conteúdo. **Educação Matemática Pesquisa**, São Paulo, v. 27, n. 2, p. 116-137, 2025.

SELWYN, N. **Education and technology**: key issues and debates. 2. ed. London: Bloomsbury, 2017.

SHULMAN, L. S. Knowledge and teaching: foundations of the New Reform. **Harvard Educational Review**. v. 57, n. 1, p. 1-22, feb. 1987.

SHULMAN, L.S. Those who understand: Knowledge growth in teaching. **Educational Researcher**, v. 15, n. 2, p. 4-14, 1986.

SILVA, K. P.; PINHO, D. C. B. Plataformização da Educação e Modelagem Matemática: Uma Possibilidade de Descaminho da Padronização em Sala de Aula. **Revista Eletrônica de Educação Matemática**, Florianópolis, v. 20, p. 01-23, 2025.

SOUSA, A. G. de. O modelo TPACK e o software GeoGebra: uma investigação sobre frações contínuas e suas múltiplas representações. **Revista Tópicos**, 2025. DOI: 10.5281/zenodo.18111915.

SOUSA, B. N. P. A.; PFAHL, K. C. C. Planejamentos e procedimentos desenvolvidos por professores em atividades de Modelagem nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. **Ensino e Tecnologia em Revista**, Londrina, v. 8, p. 260-276, 2024.

SOUSA, B. N. V. A.; ALMEIDA, L. W. Formação do Professor em Modelagem Matemática: um olhar sobre o conhecimento pedagógico do conteúdo. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, v.12, n.2, p.1-28, 2021.

STILLMAN, G. Problem Finding and Problem Posing for Mathematical Modelling. In: HOE, L. N.; DAWN, N. K. E. (Edts.). **Mathematical Modelling**: from theory to practice. Singapore: World Scientific Publishing, 2015. p. 41-56.

VIDALETTI, V. F.; CORASSA, T. F.; VERTUAN, R. E. O ser-com tecnologias digitais manifestado por licenciados em Matemática em uma atividade de Modelagem Matemática. **Revista Paranaense de Educação Matemática**. Campo Mourão, v. 14, n. 33, p. 01-22, 2025.

WILLIAMSON, B. Who owns educational theory? Big data, algorithms and the expert power of education data science**. E-Learning and Digital Media**, v. 14, n. 3, p. 105-122, 2017. DOI: 10.1177/2042753017731238