

**Ensino de Funções Polinomiais com o Polibot App: Um
Estudo de Pesquisa Baseada em Design**
**Teaching Polynomial Functions with the Polibot App: A
Design-Based Research Study**

Cleidinaldo Aguiar Souza (1)¹

Mário Gomes dos Santos (2)²

Ediney Laurindo Alves (3)³

RESUMO

Este artigo apresenta os resultados de uma Pesquisa Baseada em Design (DBR) que teve como objetivo desenvolver, implementar e refinar um aplicativo interativo para o ensino de funções polinomiais, em um contexto escolar real. Fundamentado na teoria da aprendizagem construtivista, na teoria da carga cognitiva e nas possibilidades pedagógicas oferecidas por tecnologias educacionais. O estudo foi realizado ao longo de quatro ciclos iterativos, envolvendo diagnóstico do problema, desenvolvimento do protótipo, aplicação em sala de aula e reconfiguração da ferramenta. O produto educacional, intitulado *Polibot*, utiliza simulações robóticas para promover a compreensão conceitual por meio de atividades contextualizadas e progressivas. Os resultados indicam que a ferramenta contribuiu para ampliar o engajamento dos alunos, facilitar a interpretação gráfica e promover uma aprendizagem mais significativa dos conceitos de função polinomial, especialmente ao aproximar teoria e prática em um ambiente virtual de resolução de problemas.

PALAVRAS-CHAVE: Ensino de Matemática. Funções Polinomiais. Tecnologia Educacional. Robótica. Pesquisa Baseada em Design.

ABSTRACT

This article presents the results of a Design-Based Research (DBR) that had as objective to develop, implementing, and refining an interactive application for teaching polynomial functions, in a real school context. It is grounded in constructivist learning theory, in cognitive load theory, and in the pedagogical possibilities that are offered by the educational technologies. The study was realized through four

¹ Universidade Federal do Piauí. aguarnaldo@ufpi.edu.br. <https://orcid.org/0000-0001-5419-4558>

² Universidade Federal do Piauí. mario@ufpi.edu.br. <https://orcid.org/0009-0005-8730-0894>

³ Secretaria Municipal de Educação da Cidade de José de Freitas- PI. Ediney_regina@hotmail.com. <https://orcid.org/0009-0002-1821-3963>

interactive cycles, involving problem analysis, prototype development, classroom application, and tool reconfiguration. The educational product, named *Polibot*, uses robotic simulations to promote conceptual understanding through contextualized and progressive activities. The results indicate that the tool contributed to increase the student engagement, facilitating the graphical interpretation and promoting more meaningful learning of polynomial function concepts, especially, when approach theoretical knowledge and practical application in a virtual problem-solving environment.

KEYWORDS: Mathematics Education. Polynomial Functions. Educational Technology. Robotics. Design-Based Research.

Introdução

O ensino de funções polinomiais constitui uma etapa fundamental no currículo de Matemática do Ensino Médio, sendo essencial para a formação do pensamento algébrico, geométrico e para o desenvolvimento da capacidade de modelar e resolver situações-problemas. No entanto, muitos estudantes apresentam dificuldades em compreender os conceitos relacionados a estas funções, especialmente, no que diz respeito à sua representação gráfica, ao comportamento dos coeficientes e à aplicação em contextos reais. Tais dificuldades, frequentemente, estão associadas às abordagens tradicionais de ensino, centradas na exposição teórica e na resolução mecânica de exercícios, o que pode comprometer a aprendizagem significativa dos conteúdos (Eviyanti *et al.*, 2017).

A desmotivação dos estudantes, em relação aos conceitos matemáticos, pode ser intensificada quando eles não conseguem enxergar sentido no conteúdo ou se sentem incapazes de aprender, levando à frustração e ao desinteresse (Tan, 2017). Desta forma, existe a necessidade de uma reflexão crítica acerca dos modelos de ensino atualmente empregados. Segundo Hofer e Harris (2019), modelos de ensino podem ser definidos como estruturas sistemáticas que delineiam os processos essenciais para a construção de ambientes educacionais propícios à interação discente, com vistas à promoção de mudanças comportamentais específicas. Esses modelos devem estar alinhados com objetivos de aprendizagem bem definidos, observáveis, mensuráveis e alcançáveis, considerando o tempo e os recursos disponíveis (Tractenberg *et al.*, 2020).

Assim, a incorporação de tecnologias digitais ao ensino de matemática tem emergido como uma estratégia promissora para a promoção de aprendizagens significativas. Dentre essas tecnologias, a robótica educacional destaca-se como uma ferramenta eficaz para aproximar os estudantes dos conteúdos matemáticos, ao possibilitar a articulação entre conceitos abstratos e experiências concretas, práticas e interativas. A criação de ambientes de aprendizagem mediados por tecnologias digitais favorece a atuação dos alunos como agentes ativos na construção do conhecimento, permitindo-lhes transformar e reorganizar informações por meio da formulação e testagem de hipóteses, comparação de resultados e revisão de suas próprias compreensões.

Tal compreensão alinha-se aos pressupostos da Teoria da Aprendizagem Construtivista, a qual coloca o estudante como sujeito ativo no processo de construção do conhecimento. A prática construtivista implica incentivar os alunos a

utilizarem técnicas ativas, como experimentos, resolução de problemas reais e simulações para desenvolver novos conhecimentos e refletir sobre suas próprias compreensões (Oliver, 2000). Fossa (2020) investigou o ensino de matemática por atividades sob a perspectiva do construtivismo, destacando o aluno como agente ativo na construção do conhecimento. Da Silva *et al.* (2021) propôs o ensino de funções de modo significativo através da análise dos dados de infecção por COVID-19. Macedo e Souza (2023), utilizando robótica, apresentaram uma estratégia para o ensino de funções, através da resolução de problemas reais. Recentemente, Macedo e Souza (2024) estenderam esta proposta para funções exponenciais.

Neste trabalho, apresentamos o Polibot App, um aplicativo educacional interativo que desenvolvemos com o objetivo de mediar o ensino e a aprendizagem de funções polinomiais por meio da simulação de robôs móveis. A proposta pedagógica do Polibot visa promover uma aprendizagem ativa, significativa e contextualizada, contribuindo para superar os desafios identificados no ensino tradicional de funções. O aplicativo foi desenvolvido com base em princípios de design instrucional orientados pela Teoria da Carga Cognitiva. Segundo Wiliam (2017), essa teoria representa uma das habilidades mais importantes que um professor deve dominar, pois oferece fundamentos científicos para projetar instruções eficazes.

Do ponto de vista metodológico, este trabalho adota a abordagem de Pesquisa Baseada em Design (Design-Based Research–DBR), que se assemelha ao processo de desenvolvimento de produtos na engenharia: identifica-se um problema de aprendizagem, projeta-se uma solução teórica e instrucional, testa-se a solução em contextos autênticos e, com base nos dados empíricos, refina-se o produto e a teoria associada (Anderson e Shattuck, 2012; McKenney e Reeves, 2013). Nesse contexto, este trabalho busca responder a seguinte questão de pesquisa: como a abordagem de Pesquisa Baseada em Design pode contribuir para o desenvolvimento, refinamento e análise da usabilidade do aplicativo Polibot como recurso de apoio ao ensino de funções polinomiais em contexto escolar?

O objetivo geral deste trabalho é analisar à luz da abordagem (DBR), o processo de desenvolvimento, refinamento e usabilidade do aplicativo Polibot como recurso de apoio ao ensino de funções polinomiais. O trabalho concentra-se na investigação da adequação da ferramenta ao contexto escolar, considerando sua utilização por estudantes do Ensino Médio e os resultados qualitativos produzidos durante sua implementação.

Para alcançar esse objetivo geral, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos: desenvolver e refinar o aplicativo Polibot com base nos ciclos interativos da Pesquisa Baseada em Design; analisar a usabilidade e a adequação pedagógica do aplicativo durante sua implementação em ambiente escolar; discutir as contribuições da abordagem de Pesquisa Baseada em Design para o desenvolvimento e o refinamento de tecnologias digitais educacionais voltadas ao ensino de Matemática.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na próxima seção, apresentaremos o referencial teórico que sustenta o desenvolvimento da pesquisa, com foco na aprendizagem construtivista, no uso de tecnologias educacionais e na teoria da carga cognitiva. Em seguida, descreveremos a metodologia adotada, com ênfase na abordagem DBR. A quarta seção é dedicada à descrição do produto educacional, o Polibot App. Na seção de resultados e discussão, analisam-se os resultados empíricos obtidos durante a implementação do aplicativo, seguida da conclusão que apresenta as principais contribuições do estudo.

Referencial Teórico

Adotamos neste trabalho uma abordagem qualitativa de caráter intervencionista, fundamentada na Pesquisa Baseada em Design (DBR). Com base nessa perspectiva, esta seção apresenta os principais aportes teóricos que sustentam a metodologia adotada.

Teoria da Aprendizagem Construtivista na Educação Matemática

A teoria construtivista da aprendizagem, proposta por Piaget (1964) e Vygotsky (1978), entende o conhecimento como um processo ativo, no qual o aprendiz constrói a compreensão por meio da interação com o ambiente e mediação social (Diaz-Barriga e Hernández, 2002). Piaget foca nos estágios cognitivos individuais, enquanto Vygotsky destaca o papel do contexto social e das ferramentas culturais na aprendizagem. Assim, a aprendizagem é tanto um processo interno quanto socialmente mediado.

Na educação matemática, o construtivismo desloca o foco da recepção passiva para a resolução ativa de problemas e construção de conceitos significativos (Rokaya, 2021), enfatizando a interação entre alunos, professores e problemas (Vygotsky, 1978). Boaler e Selling (2017) ressaltam que essa abordagem melhora o desempenho ao incentivar estratégias diversas e a metacognição. O professor atua como facilitador, promovendo ambientes colaborativos que valorizam o diálogo e a negociação social (Yilmaz, 2008; Diaz-Barriga e Hernández, 2002). A contextualização dos conteúdos, por meio de tarefas autênticas, aumenta o engajamento e a relevância para os alunos (Vintere, 2018).

Papert (1993) amplia o construtivismo com a aprendizagem construcionista, que orienta o design de ambientes educacionais por cinco dimensões: pragmática, sintônica, sintática, semântica e social, promovendo autoria, reflexão e interações significativas. Na educação matemática, especialmente, no ensino de funções polinomiais, a robótica educacional exemplifica essa abordagem ao proporcionar experiências práticas que tornam conceitos abstratos concretos, estimulando criatividade, curiosidade e engajamento emocional e social (Papert, 1993).

Assim, a robótica educacional apoia a aprendizagem reflexiva e colaborativa, alinhando-se à pedagogia construcionista ao empoderar alunos como criadores ativos de conhecimento. Ao inserir funções polinomiais em contextos interativos, promove-se uma compreensão profunda e o desenvolvimento de habilidades essenciais do século XXI, como pensamento crítico, criatividade e trabalho em equipe.

Ambientes de Aprendizagem com Uso de Tecnologia

A integração de tecnologias digitais ao ensino de matemática tem potencial significativo para aprimorar os resultados de ensino e aprendizagem quando apoiada por uma reflexão pedagógica robusta. Fundamental para essa integração é o modelo de Conhecimento Pedagógico Tecnológico do Conteúdo TPACK (Technological Pedagogical Content Knowledge), originalmente utilizado para capturar a complexa interação entre o conhecimento tecnológico, as estratégias pedagógicas e a expertise em conteúdo dos professores (Sampaio e Coutinho, 2014). O modelo TPACK pressupõe que o uso eficaz da tecnologia na educação depende da capacidade do professor de integrar harmoniosamente esses três domínios, possibilitando, assim, designs instrucionais que sejam tecnologicamente informados e pedagogicamente sólidos.

A aplicação do TPACK pode fortalecer a autoeficácia, o pensamento reflexivo docente e o desempenho dos estudantes, ao articular tecnologia, pedagogia e conteúdo em práticas instrucionais coerentes (Aldalalah, 2025).

No contexto específico da robótica educacional, o TPACK serve como um guia para selecionar e empregar ferramentas tecnológicas que concretizem conceitos matemáticos abstratos, como funções polinomiais. A robótica integra conceitos matemáticos como coordenadas cartesianas, raciocínio espacial, razões, velocidades, distâncias, ângulos, frações e razões em atividades envolventes, como programar robôs para navegar em labirintos ou realizar tarefas em planos coordenados. Esta aplicação prática ajuda os alunos a compreender ideias matemáticas abstratas de forma concreta (Galupar, 2024). Ao integrar a robótica em uma aula baseada no TPACK, os professores podem fortalecer a compreensão conceitual dos alunos por meio da resolução prática de problemas e da aplicação no mundo real, conectando, assim, o conhecimento teórico à experiência prática.

A implementação do TPACK, entretanto, pode ser limitada pela infraestrutura tecnológica, pela formação docente e pelo apoio institucional disponível (Putri et al., 2024).

Teoria da Carga Cognitiva na Resolução de Problemas Matemáticos

A Teoria da Carga Cognitiva (TCC), originalmente proposta por Sweller (1988), postula que a eficácia da aprendizagem depende do gerenciamento da carga cognitiva imposta à memória de trabalho que possui capacidade limitada de processamento de informações. Segundo Sweller (1988), a aprendizagem é otimizada quando a carga cognitiva total está alinhada à capacidade cognitiva do aprendiz, prevenindo assim a sobrecarga e facilitando a aquisição de esquemas (Sweller, 1988; Paas et al., 2003).

A TCC distingue entre carga cognitiva intrínseca, inerente à complexidade do material, e carga cognitiva externa, decorrente da maneira como a informação é apresentada ou as tarefas são elaboradas (Chandler e Sweller, 1991). No contexto da educação matemática, particularmente ao abordar a resolução de problemas envolvendo funções polinomiais, o equilíbrio entre as cargas cognitivas intrínsecas e externas é crucial. A carga intrínseca está relacionada à dificuldade inerente aos conceitos polinomiais e ao número de elementos interativos que devem ser

processados simultaneamente (interatividade dos elementos), enquanto a carga externa decorre de fatores de design instrucional que podem sobrecarregar desnecessariamente a memória de trabalho (Sweller, 1988). Por exemplo, problemas polinomiais complexos que exigem múltiplas etapas de solução e manipulações de variáveis aumentam a carga intrínseca, que deve ser cuidadosamente gerenciada por meio de apoio temporário e fragmentação de informações para evitar sobrecarga cognitiva (Gupta e Zheng, 2020).

Paas *et al.* (2003), demonstraram que estudantes com maior experiência em conhecimento prévio reduziram a carga cognitiva intrínseca devido à recuperação mais eficiente de esquemas, possibilitando melhor desempenho na resolução de problemas. Fuchs e Seethaler (2020) corroboram essa perspectiva ao apresentarem a estreita relação entre a capacidade da memória de trabalho e a utilização eficaz dos recursos cognitivos durante a resolução de problemas matemáticos, ressaltando, assim, a importância de delineamentos instrucionais que favoreçam a gestão adequada da carga cognitiva. Nessa direção, estratégias didáticas como a apresentação de exemplos práticos e a retirada gradual de apoios instrucionais têm se mostrado eficazes na redução da carga cognitiva extrínseca, ao mesmo tempo em que promovem o fortalecimento da carga germinativa diretamente vinculada aos processos de aprendizagem significativa e duradoura (Paas, *et al.*, 2003).

O desenvolvimento de ambientes digitais para o ensino de matemática requer a articulação entre diferentes perspectivas teóricas. Enquanto Piaget (1964), Vygotsky (1978) e Papert (1993) defendem que a aprendizagem ocorre pela construção ativa do conhecimento, mediada pelas interações sociais e pela manipulação de artefatos significativos, Sampaio e Coutinho (2014) argumentam, por meio do modelo TPACK, que a efetividade das tecnologias educacionais depende de sua integração ao conhecimento matemático e às estratégias pedagógicas. Nessa direção, Aldalalah (2025) e Galupar (2024) reforçam que a robótica educacional pode favorecer a compreensão de conceitos matemáticos abstratos quando inserida em propostas didáticas que promovam investigação, experimentação e resolução de problemas. Esses pressupostos convergem com a DBR, que orienta o desenvolvimento interativo de soluções educacionais fundamentadas em princípios teóricos e continuamente aperfeiçoadas a partir de sua aplicação em contextos reais de ensino.

Por sua vez, a Teoria da Carga Cognitiva amplia essa discussão ao oferecer princípios para que esses ambientes sejam projetados de forma a potencializar a aprendizagem. Sweller (1988), Chandler e Sweller (1991) e Paas *et al.* (2003) destacam que o equilíbrio entre a complexidade do conteúdo e a organização das informações é essencial para evitar a sobrecarga da memória de trabalho, aspecto também propostos por Gupta e Zheng (2020) e Fuchs e Seethaler (2020) na resolução de problemas matemáticos. Assim, ao reunir os pressupostos construtivistas, as orientações do TPACK e os princípios da Teoria da Carga Cognitiva, esta pesquisa fundamenta o desenvolvimento do aplicativo Polibot, desenvolvido seguindo a abordagem da DBR.

Metodologia

A metodologia deste trabalho fundamenta-se na Pesquisa Baseada em Design (Design-Based Research – DBR), cuja natureza interventiva e cíclica é particularmente adequada ao desenvolvimento e aprimoramento de soluções educacionais em contextos reais de ensino. O objetivo principal foi criar e refinar o aplicativo *Polibot*, voltado ao ensino de funções polinomiais, por meio de quatro ciclos iterativos de desenvolvimento, aplicação em ambiente escolar e aperfeiçoamento do material. Esses ciclos foram guiados por três eixos teóricos: Teoria da Aprendizagem Construtivista na Educação Matemática; Ambientes de Aprendizagem com Uso de Tecnologia; Teoria da Carga Cognitiva na Resolução de Problemas Matemáticos. Estes eixos teóricos orientaram as decisões de design ao longo do processo.

Pesquisa Baseada em Design (DBR)

A Pesquisa Baseada em Design (Design-Based Research – DBR) busca aproximar teoria e prática por meio do desenvolvimento e refinamento de soluções educacionais em contextos autênticos. Diferentemente de abordagens centradas no controle de variáveis, a DBR privilegia intervenções situadas, ajustadas com base em evidências empíricas (Collins, Joseph e Bielaczyc, 2016).

A DBR caracteriza-se por ciclos de design, testagem, análise e reconfiguração, conduzidos de forma colaborativa entre pesquisadores e educadores. Esse processo favorece tanto o aprimoramento de artefatos pedagógicos quanto a produção de conhecimentos sensíveis ao contexto (Anderson e Shattuck, 2012).

Por se apoiar em problemas reais do cotidiano escolar, a DBR busca produzir soluções com relevância prática e potencial de contribuir para melhorias pedagógicas e processos de inovação educacional (Anderson e Shattuck, 2012).

Etapas do Processo

A DBR organiza-se em quatro fases inter-relacionadas: análise, design, implementação e avaliação, executadas de forma cíclica, permitindo o refinamento contínuo da intervenção e dos conhecimentos produzidos (Bakker e Van Eerde, 2018).

- (1) Análise: identificação do problema no contexto real, considerando literatura, práticas pedagógicas e necessidades dos participantes.
- (2) Design: concepção e prototipagem da intervenção, articulando fundamentos teóricos, usabilidade, aplicabilidade e alinhamento curricular.
- (3) Implementação: aplicação da solução no ambiente educacional e acompanhamento de seu uso para obtenção de evidências empíricas.
- (4) Avaliação: análise dos resultados e identificação de aspectos a serem refinados, retroalimentando o ciclo de desenvolvimento.

A integração de tecnologias educacionais, como a robótica ao ensino de matemática introduz mudanças complexas e dinâmicas que são desafiadoras de examinar usando métodos tradicionais de pesquisa preditiva. Nesse contexto, a DBR se apresenta como uma metodologia particularmente adequada, pois combina

abordagens qualitativas e quantitativas para estudar intervenções educacionais em cenários autênticos.

A adoção da DBR como abordagem metodológica nesta investigação justifica-se pela sua consonância com os fundamentos teóricos que sustentam o estudo, notadamente, a teoria da aprendizagem construtivista, os ambientes de aprendizagem mediados por tecnologia e a teoria da carga cognitiva.

Do ponto de vista construtivista, a DBR favorece contextos em que o estudante pode explorar, testa e reconstruir ideias matemáticas durante ciclos de intervenção e análise (Piaget, 1964; Vygotsky, 1978).

Simultaneamente, a DBR também permite analisar, de forma integrada, as relações entre conteúdo, pedagogia e tecnologia e ajustar estratégias instrucionais conforme seus efeitos sobre a aprendizagem e a carga cognitiva dos estudantes (Valente, 2005; Mishra e Koehler, 2006; Sweller, 1988; Paas *et al.*, 2003). Desta forma, a DBR mostra-se coerente com a investigação do uso da robótica no ensino de funções polinomiais.

A pesquisa foi desenvolvida ao longo de diferentes ciclos interativos entre 2023 e 2025, conforme os princípios da DBR, envolvendo o desenvolvimento, a implementação e o refinamento do aplicativo Polibot. As figuras e registros apresentados neste artigo mostram as modificações realizadas na ferramenta a partir das evidências obtidas em cada ciclo de investigação.

Ciclos de Pesquisa

Neste trabalho, foram executados quatro ciclos interativos do processo de Pesquisa Baseada em Design. Os resultados desses ciclos são descritos nas subseções a seguir.

Ciclo I: Análise do Problema

No ciclo inicial desta pesquisa, o objetivo principal foi identificar e compreender os desafios práticos relacionados à utilização de simuladores robóticos no contexto da educação pública brasileira, com foco específico no ensino de funções polinomiais de primeiro e segundo grau. Esta fase diagnóstica foi essencial para fundamentar as decisões de design da intervenção, bem como para orientar os testes e as reflexões críticas posteriores.

A primeira etapa envolveu uma análise detalhada das barreiras contextuais enfrentadas pelas instituições escolares, particularmente, no que diz respeito à infraestrutura tecnológica e à formação docente. Observou-se que a limitação de recursos materiais, como a escassez de dispositivos compatíveis com softwares educacionais e de conectividade adequada, representa um dos principais entraves à integração efetiva de tecnologias digitais no cotidiano escolar. Paralelamente, a ausência de oferta sistemática de formação continuada voltada ao uso pedagógico de tecnologias foi identificada como um obstáculo significativo à adoção crítica e significativa de recursos como a robótica educacional.

Com base nesse diagnóstico, optou-se pelo desenvolvimento de uma ferramenta tecnológica de baixo custo, capaz de operar com os recursos já

disponíveis nas escolas públicas, como computadores básicos ou dispositivos móveis simples. Essa escolha estratégica visou maximizar a viabilidade e a escalabilidade da intervenção, sem depender de reformas estruturais ou investimentos financeiros substanciais.

A proposta foi pensada com a intenção de fomentar abordagens pedagógicas centradas na criatividade, na colaboração e na resolução de problemas, elementos associados ao desenvolvimento do pensamento matemático e da autonomia dos estudantes (Boaler e Selling, 2017; Rokaya, 2021).

A delimitação inicial do conteúdo sobre funções polinomiais de primeiro e segundo grau foi orientada por sua relevância no currículo da educação básica e pelas percepções do professor-pesquisador quanto às dificuldades, frequentemente, enfrentadas pelos estudantes no processo de aprendizagem desses conceitos.

Como parte do processo de análise inicial, foi aplicado no dia 26 de outubro de 2023 um questionário diagnóstico aos estudantes participantes, com o objetivo de identificar seus conhecimentos prévios relacionados ao conceito de função e verificar quais conhecimentos seriam necessários para o desenvolvimento da intervenção, como ilustra a Figura 1.

Figura 1 - aplicação do questionário diagnóstico sobre o conceito de função



Fonte: elaborado pelos autores (2023)

O instrumento buscou avaliar, principalmente, a capacidade dos estudantes em reconhecer relações que representam funções, diferenciar diferentes tipos de funções e interpretar suas representações matemáticas.

Os resultados do diagnóstico indicaram que os estudantes apresentavam conhecimentos iniciais sobre o conceito de função, especialmente, no reconhecimento de situações mais diretas envolvendo relações funcionais. Entretanto, também foram identificadas dificuldades relacionadas à interpretação das representações algébricas e à compreensão das implicações dos coeficientes

no comportamento das funções. Esses dados contribuíram para a definição do foco da intervenção, direcionando o desenvolvimento do Polibot para a exploração de funções polinomiais de primeiro e segundo grau por meio da manipulação de parâmetros e da visualização das alterações produzidas nas trajetórias simuladas.

Embora as funções polinomiais envolvam relações conceitualmente complexas, a carga cognitiva intrínseca foi atenuada pelo fato de os alunos já possuírem conhecimento prévio sobre o conteúdo (Ayres e Sweller, 2005).

Dessa forma, a etapa inicial do estudo não apenas permitiu o reconhecimento das limitações estruturais e pedagógicas do contexto, como também, estabeleceu as bases para o desenvolvimento de uma intervenção educacional contextualizada, acessível e teoricamente fundamentada.

Ciclo II: Desenvolvimento da Solução

Na segunda fase da pesquisa, desenvolveu-se a plataforma de simulação robótica para o ensino de funções polinomiais. Conversas informais e observações com professores ajudaram a identificar restrições contextuais técnicas, didáticas e temporais a serem consideradas na elaboração da solução tecnológica.

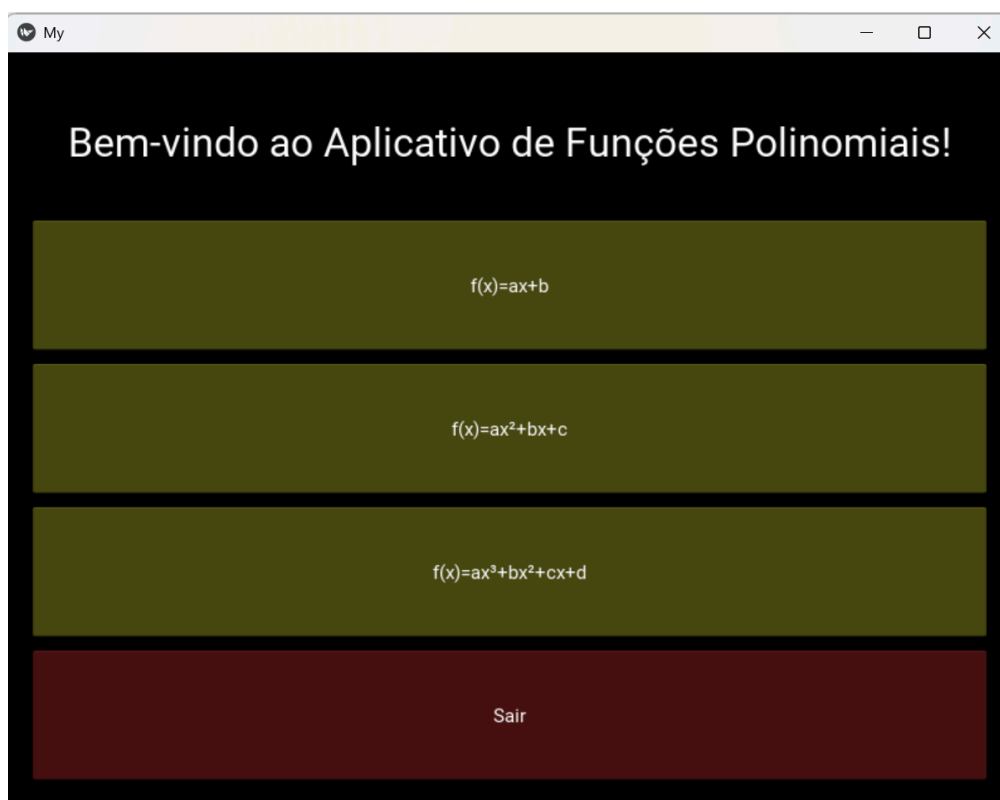
Com base nesse diagnóstico, priorizou-se o desenvolvimento de uma primeira versão da ferramenta com boa usabilidade, cuja implementação em sala de aula não exigisse conhecimentos prévios de programação por parte dos docentes ou discentes, como ilustra a Figura 2. Essa decisão foi motivada pela recorrente limitação de tempo disponível para o planejamento de aulas com recursos tecnológicos, bem como pelo interesse demonstrado pelos professores na utilização de metodologias ativas mediadas por robótica, ainda que com pouca familiaridade técnica.

Figura 2 – primeira versão Aplicativo.

Fonte: elaborado pelos autores (2023).

O Aplicativo Polibot, foi desenvolvido pelo grupo de pesquisa Interface Entre Educação e Robótica Para o Ensino de Matemática (IEREM) da Universidade Federal do Piauí, para operar de forma integrada ao simulador virtual CoppeliaSim (<https://www.coppeliarobotics.com/>). Com base nesse ambiente de simulação, foram criados cenários, pelo IEREM, que incorporam problemas extraídos de contextos reais, com o intuito de tornar a aprendizagem de funções polinomiais mais significativa, contextualizada e motivadora para os estudantes. No ano de 2025 o design da ferramenta contemplou janelas interativas nas quais os alunos inserem dados diretamente relacionados as funções, como ilustra a Figura 3.

Figura 3 – tela da versão final do Polibot para escolha dos dados da função



Fonte: elaborado pelos autores (2025).

A manipulação dos dados permite observar, em tempo real, seus efeitos sobre os deslocamentos do robô no CoppeliaSim, favorecendo o pensamento algébrico, a interpretação gráfica e a análise de relações entre grandezas.

A interface simples e segmentada foi projetada para reduzir a carga cognitiva extrínseca, organizando as atividades em etapas e fornecendo feedback imediato no Coppeliasim. Essa estrutura favorece o raciocínio matemático e o engajamento dos estudantes

Ciclo III: Implementação em Contexto Escolar

A terceira etapa da pesquisa correspondeu à fase de implementação da intervenção educacional em ambiente escolar, momento fundamental para a coleta de dados empíricos e para a avaliação preliminar da eficácia pedagógica da ferramenta desenvolvida. A aplicação da pesquisa foi realizada em dois encontros totalizando quatro horas-aula, com cada aula de 50 minutos, em uma escola da rede básica pública por nome de Centro de Ensino de Tempo Integral Governador Dirceu Mendes Arcoverde, localizada na cidade de Teresina-PI. A pesquisa foi realizada com alunos da faixa etária entre 16 e 17 anos de idade de uma turma do 3º ano do Ensino Médio, composta por 27 alunos, sendo 17 do sexo feminino e 10 do sexo masculino. Previamente, no dia 3 de outubro de 2023, foi realizada uma visita à escola para apresentar o aplicativo à coordenação e à professora de matemática da turma.

No dia 26 de outubro de 2023, o aplicativo foi apresentado à mesma turma com o objetivo de mostrar o funcionamento e contextualizar sua utilização, logo em seguida, no mesmo dia, identificamos que os estudantes, embora conhecessem sobre o conceito de função, eles não tinham se deparado com este conceito em situações reais, o que dificultava o entendimento dos estudantes quanto à manipulação de coeficientes relacionados às situações práticas envolvendo funções. Desta forma, preparamos os estudantes para as atividades pedagógicas que seriam desenvolvidas posteriormente.

A coleta de dados ocorreu por meio de três instrumentos principais: (i) questionário diagnóstico aplicado aos estudantes antes da intervenção; (ii) observações realizadas pelos pesquisadores durante as atividades desenvolvidas em sala de aula e no laboratório de informática; e (iii) registros fotográficos das etapas de aplicação da pesquisa. As observações buscaram identificar as estratégias utilizadas pelos estudantes durante a resolução das atividades, as dificuldades encontradas na manipulação dos parâmetros do simulador, a interação com o aplicativo e as discussões realizadas durante o processo de aprendizagem.

A aplicação da atividade com o aplicativo Polibot ocorreu em 31 de outubro de 2023, no laboratório de informática da escola, em duas horas-aula, como ilustra a Figura 4.

Figura 4 – aplicação da atividade com o Polibot App.



Fonte: elaborado pelos autores (2023).

A turma foi escolhida porque os estudantes já haviam estudado funções polinomiais de primeiro e segundo grau, mas apresentavam dificuldades na interpretação dos coeficientes e das representações gráficas. O diagnóstico também mostrou que, embora reconhecessem sentenças que representavam funções, tinham dificuldade em manipular coeficientes para resolver situações contextualizadas. Essas lacunas reforçaram a necessidade de uma abordagem que articulasse conteúdo matemático, resolução de problemas e simulação robótica.

Essa etapa validou inicialmente a intervenção e forneceu subsídios para o ciclo seguinte de aprimoramento do aplicativo.

Ciclo IV: Redesign da Ferramenta e Expansão Conceitual

O quarto ciclo da pesquisa representou uma fase de refinamento significativo tanto no aspecto técnico quanto pedagógico da intervenção. A partir das observações e inferências qualitativas obtidas durante a implementação descrita no ciclo anterior, foram identificadas demandas relevantes para a melhoria da experiência do usuário e para o aprofundamento dos conteúdos matemáticos abordados. Embora não tenha sido realizada, até o momento, uma análise quantitativa sistemática dos resultados da aplicação, as evidências empíricas observadas em sala de aula como o padrão de engajamento, os erros recorrentes e as dificuldades de navegação na interface apontaram a necessidade de ajustes no design da primeira versão da ferramenta, ilustrada na Figura 2.

Diante disso, este ciclo foi dedicado ao redesenho da interface do aplicativo Polibot, com o objetivo de torná-la mais intuitiva, responsiva e adequada ao perfil dos usuários tanto estudantes quanto os professores, como ilustra a Figuras 3. Foram implementadas melhorias visuais e funcionais, com a inclusão de elementos gráficos mais acessíveis, instruções contextuais mais claras e uma navegação simplificada. Essa reformulação baseou-se em princípios de usabilidade e acessibilidade educacional, buscando reduzir a carga cognitiva extrínseca e maximizar o foco dos usuários nos aspectos conceituais da atividade (Sweller, 1988; Paas *et al.*, 2003).

Paralelamente, decidiu-se pela ampliação do escopo matemático da intervenção, com a inclusão de funções polinomiais de terceiro grau no conjunto de atividades propostas. Essa decisão foi fundamentada na análise do potencial da ferramenta para apoiar a transição dos alunos da manipulação de funções de comportamento linear e quadrático para a compreensão de padrões algébricos mais complexos, respeitando a progressão curricular e fomentando o pensamento matemático avançado. A simulação do percurso do robô a partir de funções cúbicas possibilita aos estudantes explorar cenários com inflexões, mudanças de concavidade e crescimento não uniforme, desafiando-os a aplicar e interpretar essas propriedades no contexto da resolução de problemas.

O processo iterativo e cumulativo é parte intrínseca da lógica metodológica adotada, e os avanços realizados no presente ciclo destacam o amadurecimento

tanto da ferramenta quanto da compreensão sobre os fatores que mediam a aprendizagem matemática em ambientes mediados por tecnologia.

Este ciclo, portanto, marca a consolidação de uma versão mais estável, funcional e teoricamente fundamentada do Polibot, resultado de um processo de investigação atento às condições reais de aplicação, às limitações contextuais e às possibilidades formativas do uso da robótica no ensino de funções polinomiais.

Produto Educacional: Aplicativo Interativo para o Ensino de Funções Polinomiais

O principal produto educacional resultante desta pesquisa é um aplicativo interativo voltado ao ensino de funções polinomiais do 1º, 2º e 3º grau, mediado por simulações robóticas em ambiente virtual. O aplicativo, denominado Polibot foi desenvolvido para ser funcional em modo offline, considerando as limitações de infraestrutura tecnológica, frequentemente, enfrentadas por escolas públicas brasileiras, especialmente, no que diz respeito à conectividade com a internet.

A proposta pedagógica do aplicativo fundamenta-se na resolução de problemas contextualizados, utilizando como mediador um robô que executa trajetórias definidas pelas funções polinomiais inseridas ou selecionadas pelos próprios estudantes. A interface da aplicação foi construída com foco na clareza das interações e na acessibilidade do conteúdo matemático, permitindo que alunos com diferentes níveis de familiaridade tecnológica possam se engajar nas tarefas propostas.

Estrutura das Atividades

As atividades foram organizadas progressivamente para favorecer experimentação, observação e análise. O Polibot contempla três atividades, associadas a funções polinomiais de 1º, 2º e 3º grau; as duas primeiras foram levadas para Escola CETI Governador Dirceu Mendes Arcoverde.

Atividade 1: Função Polinomial do 1º Grau

O primeiro cenário simula uma linha de produção automatizada para empacotamento de medicamentos, como ilustra a Figura 5.

Figura 5 – empacotadora de medicamentos.



A 3D perspective view of a simulated environment. A mobile robot, represented by a small grey cylinder with a purple top, is positioned in the center. The environment includes a large blue rectangular block, a large light blue cylinder, a large light purple cylinder, and a large red rectangular block. A black conveyor belt system runs along the bottom and right sides of the scene. A green dashed line indicates a path or boundary. Several yellow rectangular blocks are scattered on the floor. Arrows labeled [A] through [F] point to specific locations or objects: [A] points to the robot, [B] points to a small grey cylinder, [C] points to a small yellow block, [D] points to a small yellow block, [E] points to a small yellow block, and [F] points to a small yellow block. A person's legs are visible through a glass partition in the top right corner.

Para esta atividade, o aluno deve programar a trajetória do robô indicado pela seta [B], para que este recolha a caixa indicada pela seta [C] e transporte até um ponto seguro, como indica a seta [E], ilustrado na Figura 6. O professor atuando como um mediador do processo de aprendizagem, orienta os estudantes que a origem do plano a qual está o cenário é indicado pela seta [A], e que cada quadrado que compõe o piso tem lado medindo 0,5 metros. Além disso, o professor orienta os alunos que em direção a caixa indicada pela seta [D], os valores das abscissas x são positivos e em direção ao robô, os valores das ordenadas são positivos. A atividade é dividida em duas etapas: na primeira, o aluno seleciona, entre opções fornecidas, a função cujo gráfico representa corretamente a trajetória linear do robô até a caixa; na segunda, insere os dados da função e as coordenadas iniciais e finais, permitindo ao sistema aplicativo simular o deslocamento do robô em tempo real com base no gráfico da função do 1º grau.

Do ponto de vista construtivista, a atividade ativa conhecimentos prévios e promove descoberta com mediação docente, enquanto sua estrutura visual contribui para reduzir a carga extrínseca (Piaget, 1964; Papert, 1993).

Mantendo a lógica da tarefa anterior, esta atividade eleva o nível de complexidade ao trabalhar com trajetórias parabólicas. O robô (seta [B]) deve recolher a caixa (seta [D]) e transportá-la até o ponto [F] (Figura 6). Novamente, o aluno seleciona a representação gráfica correta, insere os dados da função e observa o comportamento da parábola na simulação. Esta tarefa explora, de maneira aplicada, conceitos-chave da função quadrática, como concavidade, vértice e crescimento/decrescimento. A comparação com o comportamento linear da

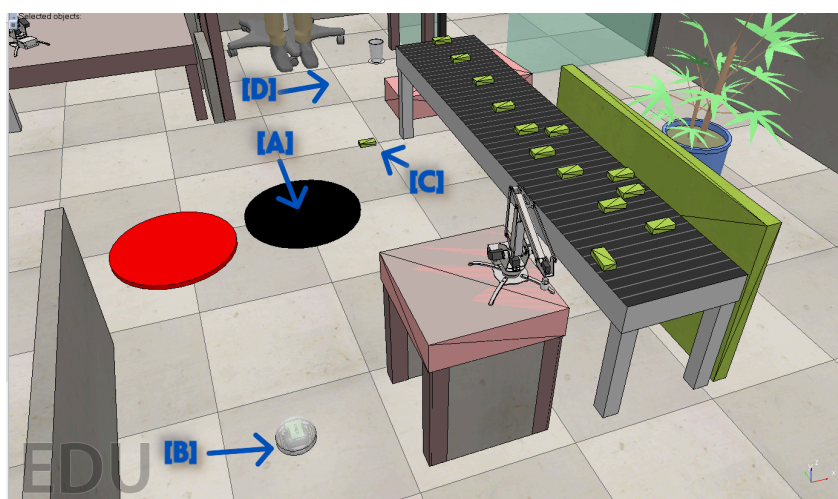
atividade anterior promove a reflexão crítica e a abstração progressiva, conforme defende o construtivismo (Rokaya, 2021).

Do ponto de vista da Teoria da Carga Cognitiva, o sequenciamento da tarefa, a mediação docente e o feedback imediato favoreceram a gestão da carga cognitiva. A possibilidade de experimentar e validar soluções por simulações aproxima o conhecimento abstrato da aplicação prática (Fitria *et al.*, 2021).

Atividade 3: Função Polinomial do 3º Grau

A terceira atividade representa o ápice da sequência, desafiando os estudantes a compreender o comportamento gráfico de uma função cúbica. O robô (seta [B]) deve recolher uma caixa (seta [C]) e entregá-la nas proximidades do funcionário que comanda o processo (seta [D]), como ilustra a Figura 7. A estrutura do plano cartesiano é mantida, reforçando a familiaridade com o ambiente e reduzindo a carga extrínseca.

Figura 7 – cenário para a atividade 3.



Fonte: elaborado pelos autores (2024).

Neste cenário, o robô (seta [B]) deve seguir uma trajetória para retirar da caixa medicamentos (seta [C]) e levar bem próximo ao funcionário que comanda todo o processo (seta [D]). O professor, atuando como mediador, orienta os alunos que a origem do plano ao qual se encontra o cenário é indicado pela seta [A], e que à direita, os valores da abscissa x são positivos e em direção ao funcionário as ordenadas são positivas. Além disso, cada lado dos quadrados que compõe o piso mede 0,5 metros.

A complexidade conceitual dessa tarefa exige uma leitura crítica do gráfico e maior sensibilidade às variações no comportamento da função. A autonomia do aluno na seleção da função e na inserção dos dados, aliada ao feedback da simulação, favorece o desenvolvimento da autonomia e da generalização de conceitos, elementos centrais da aprendizagem significativa.

Nesse estágio, o aluno já está mais confortável com o ambiente tecnológico e com a estrutura do aplicativo, o que, segundo a Teoria da Carga Cognitiva, permite uma maior alocação de recursos cognitivos à tarefa essencial, a resolução do problema, e não à interface em si. Do ponto de vista construcionista, a atividade está

em consonância com as dimensões pragmática (uso autêntico), semântica (relevância do conteúdo) e social (interação com o professor e com o cenário), concordando com Papert (1993).

Resultados e Discussão

A implementação do aplicativo Polibot em ambiente escolar produziu resultados qualitativos relacionados à sua usabilidade e à sua adequação como recurso tecnológico para a exploração de conceitos associados às funções polinomiais. Durante as atividades, observou-se que embora alguns estudantes apresentassem dificuldades iniciais para realizar as manipulações algébricas necessárias à obtenção dos coeficientes das funções, conseguiram interagir com o aplicativo e participar das tarefas propostas, demonstrando interesse e persistência na resolução dos desafios apresentados.

As observações realizadas pelos pesquisadores durante a utilização do Polibot indicaram que os estudantes compreenderam o funcionamento do ambiente simulado, embora tenham tido dificuldades nos primeiros contatos com a primeira versão da ferramenta. Ao longo das atividades, foi possível observar que passaram a estabelecer relações entre as alterações realizadas nos coeficientes das funções e as modificações produzidas nas trajetórias do robô simulado. A visualização imediata dos resultados forneceu aos estudantes um retorno sobre suas ações, favorecendo a exploração das relações entre as representações algébrica, gráfica e espacial das funções.

As observações são coerentes com a aprendizagem construtivista, segundo as quais, o conhecimento é construído por meio da interação do estudante com situações de aprendizagem significativas (Piaget, 1964). Ao possibilitar formular hipóteses, testar diferentes soluções e observar seus efeitos, o Polibot favorece uma postura ativa diante das relações parâmetros e trajetórias (Boaler e Selling, 2017).

Os pesquisadores observaram ainda que os estudantes utilizaram o aplicativo com algumas dificuldades relacionadas à interface ou aos comandos disponíveis, referentes à primeira versão do aplicativo, conforme ilustrada a Figura 2, pois esta primeira versão não deixava claro de imediato se a função utilizada seria de 1º ou 2º grau. Solucionamos estes problemas com a segunda versão do aplicativo, ilustrado na Figura 3, corroborando com a Teoria da Carga Cognitiva (Sweller, 1988; Paas *et al.*, 2003). Desta forma, redesenhamos o aplicativo com organização progressiva das atividades e a integração entre diferentes formas de representação matemática que favoreçam a interação com o ambiente.

Os resultados obtidos também apontam contribuições da abordagem DBR para o desenvolvimento do Polibot. A implementação da ferramenta em contexto escolar possibilitou observar aspectos relacionados à sua utilização pelos estudantes, fornecendo subsídios para o refinamento do aplicativo em ciclos posteriores de desenvolvimento. Esse processo iterativo, característico da DBR, permitiu que decisões de design fossem fundamentadas em evidências produzidas durante a utilização do artefato em um ambiente autêntico de ensino, aproximando teoria e prática conforme defendem Anderson e Shattuck (2012) e McKenney e Reeves (2013). Dessa forma, a pesquisa contribuiu não apenas para o

aperfeiçoamento do Polibot, mas também para a compreensão de como a DBR pode orientar o desenvolvimento de tecnologias educacionais voltadas ao ensino de matemática.

Após os refinamentos, o Polibot apresentou usabilidade compatível com o ambiente escolar e mostrou-se viável como recurso de apoio ao ensino de funções polinomiais. Como limitação da pesquisa, destaca-se que não foi possível realizar uma atividade avaliativa posterior à aplicação do aplicativo, em razão da indisponibilidade de tempo e da organização da escola para uma nova intervenção.

Dessa forma, os resultados apresentados referem-se às evidências observadas durante a implementação da proposta, não permitindo afirmar, de maneira conclusiva, os efeitos do Polibot sobre a aprendizagem dos estudantes em longo prazo. Os resultados deste trabalho restringem-se, portanto, à análise da usabilidade, da adequação pedagógica da ferramenta e das contribuições da abordagem DBR para o desenvolvimento e o refinamento do aplicativo.

Conclusão

Este trabalho teve como objetivo analisar, sob a ótica da abordagem de Pesquisa Baseada em Design, o processo de desenvolvimento, refinamento e usabilidade do aplicativo Polibot como recurso de apoio ao ensino de funções polinomiais. A utilização da DBR possibilitou o desenvolvimento iterativo da ferramenta, articulando fundamentos teóricos, implementação em contexto escolar e análise dos resultados produzidos durante sua utilização. Esse processo permitiu aperfeiçoar o aplicativo a partir das necessidades observadas no ambiente educacional, reforçando a adequação da abordagem para o desenvolvimento de tecnologias educacionais.

A implementação do Polibot em uma turma do Ensino Médio permitiu analisar sua usabilidade e sua adequação ao contexto escolar. As observações realizadas durante a intervenção indicaram que os estudantes conseguiram utilizar o aplicativo, interagindo com os recursos de simulação e explorando as relações entre diferentes representações das funções polinomiais.

Os resultados também mostraram as contribuições da Pesquisa Baseada em Design para o desenvolvimento de tecnologias digitais educacionais. A implementação em ambiente escolar forneceu embasamentos que subsidiaram o refinamento do Polibot e permitiram identificar aspectos relacionados à sua usabilidade e adequação pedagógica, demonstrando a importância da avaliação do artefato em contextos reais de ensino. Assim, além de apresentar um recurso tecnológico voltado ao ensino de funções polinomiais, este trabalho contribui para a discussão sobre o emprego da DBR como metodologia para o desenvolvimento de soluções educacionais fundamentadas teoricamente e orientadas pelas demandas da prática escolar.

Como limitação da pesquisa, destaca-se a realização de apenas uma intervenção com uma única turma e a impossibilidade de aplicação de uma avaliação posterior ao uso do aplicativo. Dessa forma, os resultados obtidos não permitem inferir efeitos sobre a aprendizagem dos estudantes a longo prazo. Como perspectivas para trabalhos futuros, recomenda-se a realização de novos ciclos da

DBR envolvendo diferentes escolas, professores e conteúdos matemáticos, bem como estudos específicos sobre os impactos do Polibot na aprendizagem, na motivação e no desempenho dos estudantes.

Referências

ALDALALAH, Osamah Mohammad Ameen *et al.* The Effectiveness of Interactive Digital Content Based on the TPACK Model in Developing the Skills of Educational Aids Production and Improving Cognitive Achievement among Early Childhood University Students. **Contemporary Educational Technology**, v. 17, n. 2, 2025.

ANDERSON, Terry; SHATTUCK, Julie. Design-based research: A decade of progress in education research?. **Educational researcher**, v. 41, n. 1, p. 16-25, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3102/0013189X11428813>. Acesso em: 12 jan. 2024.

AYRES, Paul; SWELLER, John. The split-attention principle in multimedia learning. **The Cambridge handbook of multimedia learning**, v. 2, p. 135-146, 2005.

BAKKER, Arthur; VAN EERDE, Dolly. An introduction to design-based research with an example from statistics education. **Approaches to qualitative research in mathematics education: Examples of methodology and methods**, p. 429-466, 2015.

BOALER, Jo; SELLING, Sarah Kate. Psychological Imprisonment or Intellectual Freedom? A Longitudinal Study of Contrasting School Mathematics Approaches and Their Impact on Adults' Lives. **Journal for Research in Mathematics Education**, v. 48, n. 1, p. 78-105, 2017. Disponível em: <https://pubs.nctm.org/view/journals/jrme/48/1/article-p78.xml>.

CHANDLER, Paul; SWELLER, John. Cognitive load theory and the format of instruction. **Cognition and instruction**, v. 8, n. 4, p. 293-332, 1991. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s1532690xci0804_2.

COLLINS, Allan; JOSEPH, Diana; BIELACZYK, Katerine. Design research: Theoretical and methodological issues. In: **Design-based research**. Psychology Press, 2016. p. 15-42.

DA SILVA, Cleomacio Miguel *et al.* Ajuste de funções matemáticas de crescimento aos números de casos de pessoas contaminadas com o COVID-19 no Brasil: uma abordagem para o ensino médio. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 16. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23881>

DÍAZ, Frida; HERNÁNDEZ, Gerardo. **Estrategias docentes para un aprendizaje significativo**. México: McGraw-Hill, 2002. Disponível em: <https://www.academia.edu/download/53051798/EstratDocParaUnAprendSignif.pdf>.

EVIYANTI, Cut Yuniza *et al.* Improving the students' mathematical problem solving ability by applying problem based learning model in VII grade at SMPN 1 Banda Aceh Indonesia. **International Journal of Novel Research in Education and Learning**, v. 4, n. 2, p. 138-144, 2017.

FITRIA, Tira Nur. Artificial intelligence (AI) in education: Using AI tools for teaching and learning process. In: **Prosiding Seminar Nasional & Call for Paper STIE AAS**. 2021. p. 134-147.

FOSSA, John A. Algumas considerações teóricas sobre o ensino de matemática por atividades. **REMATEC**, v. 15, n. 35, p. 10-26, 2020. Disponível em:

<http://www.rematec.net.br/index.php/rematec/article/view/92>

FUCHS, Lynn S. *et al.* Improving language comprehension to enhance word-problem solving. **Reading & Writing Quarterly**, v. 36, n. 2, p. 142-156, 2020. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10573569.2019.1666760>.

GALUPAR, Ian John M. *et al.* Advancing Pedagogical Methodologies through the Development of a Robotics Training Manual (RTM) for Mathematics. **International Journal of Information and Education Technology**, v. 14, n. 12, 2024.

GUPTA, Udit; ZHENG, Robert Z. Cognitive Load in Solving Mathematics Problems: Validating the Role of Motivation and the Interaction among Prior Knowledge, Worked Examples, and Task Difficulty. **European Journal of STEM Education**, v. 5, n. 1, p. 5, 2020. Disponível em: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1276025>.

HOFER, Mark; HARRIS, Judi. Topics & Sequences in Experienced Teachers' Instructional Planning for Technology Integration. **Research Highlights in Technology and Teacher Education**, v. 35, 2019.

MACEDO, Cássio Lima; SOUZA, Cleidinaldo Aguiar. Função polinomial do segundo grau com o Lumibot-CoppeliaSim. **Revista do Professor de Matemática Online**, v. 11, n. 02, p. 295-314, 2023.

MACEDO, Cássio Lima; SOUZA, Cleidinaldo Aguiar. Proposição de atividades com o uso do Lumibot-Coppelasim para a aprendizagem do conceito de função exponencial. **Boletim Cearense de Educação e História da Matemática**, v. 11, n. 31, p. 1-21, 2024. <https://revistas.uece.br/index.php/BOCEHM/article/view/11257>

MCKENNEY, Susan; REEVES, Thomas C. Educational design research. In: **Handbook of research on educational communications and technology**. New York, NY: Springer New York, 2013. p. 131-140.

MISHRA, Punya; KOEHLER, Matthew J. Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge. **Teachers college record**, v. 108, n. 6, p. 1017-1054, 2006.

OLIVER, Kevin M. Methods for developing constructivist learning on the web. **Educational technology**, v. 40, n. 6, p. 5-18, 2000.

PAAS, Fred; RENKL, Alexander; SWELLER, John. Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. **Educational psychologist**, v. 38, n. 1, p. 1-4, 2003. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15326985ep3801_1.

PAPERT, Seymour. The children's machine. **Technology Review-Manchester NH-**, v. 96, p. 28-28, 1993.

PIAGET, Jean. Part I: Cognitive Development in Children--Piaget Development and Learning. **Journal of research in science teaching**, v. 40, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/tea.3660020306>.

PUTRI, Amelia Defrianti *et al.* Mastering the TPACK framework: Innovative approaches by mathematics teachers. **Jurnal Elemen**, v. 10, n. 3, p. 582-594, 2024. Disponível em: <https://e-journal.hamzanwadi.ac.id/index.php/jel/article/view/26311>.

Rokaya, Bhim Bahadur. "Constructive Learning Approach in Mathematics Education: Challenges and Possibilities." *Academic Journal of Mathematics Education* 4.1 (2021): 1-6. Disponível em: <https://nepjol.info/index.php/ajme/article/view/45583>.

SAMPAIO, Patrícia Alexandra da Silva Ribeiro; COUTINHO, Clara Pereira. Integração do TPACK no processo de ensino/aprendizagem da matemática. **Revista Paidéi@-Revista Científica de Educação a Distância**, v. 6, n. 10, 2014. Disponível em: <https://periodicosunimes.unimesvirtual.com.br/index.php/paideia/article/view/358>.

SWELLER, John. Cognitive load during problem solving: Effects on learning. **Cognitive science**, v. 12, n. 2, p. 257-285, 1988. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0364021388900237>.

TAN, Paulo. Advancing Inclusive Mathematics Education: Strategies and Resources for Effective IEP Practices. **International Journal of Whole Schooling**, v. 13, n. 3, p. 28-38, 2017.

TRACTENBERG, Rochelle E. *et al.* Guidelines for curriculum and course development in higher education and training. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.31235/osf.io/7qeht>.

VALENTE, José Armando. Aspectos críticos das tecnologias nos ambientes educacionais e nas escolas. **Revista Educação e Cultura Contemporânea**, v. 2, n. 3, p. 11-28, 2005.

VINTERE, Anna *et al.* A constructivist approach to the teaching of mathematics to boost competences needed for sustainable development. **Rural Sustainability Research**, v. 39, n. 334, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://sciendo.com/pdf/10.2478/plua-2018-0001>.

VYGOTSKY, Lev S. **Mind in society: The development of higher psychological processes**. Harvard university press, 1978.

WILIAM, D. *Embedded formative assessment*. 2. ed. Bloomington, IN: **Solution Tree Press**, 2017.

YILMAZ, Kaya. Constructivism: Its theoretical underpinnings, variations, and implications for classroom instruction. **Educational horizons**, v. 86, n. 3, p. 161-172, 2008. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/42923724>.

Submetido em:10/06/2025

Aceito em:17/08/2026