

“MOBFOG no TEMA”: STEAM e Participação Computacional nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental

“MOBFOG at TEMA”: STEAM and Computational Participation in Early Years of Elementary School

Ricardo Scucuglia Rodrigues da Silva¹

Daiane Ketrine Donegá²

Immaculate Kizito Namukasa³

Resumo: Relatamos uma pesquisa cujo objetivo foi investigar aspectos da pedagogia STEAM e da participação computacional nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Engajamos duplas de alunos de 4º ano na exploração de tarefas com o GeoGebra e o ChatGPT relacionadas à Mostra Brasileira de Foguetes. No âmbito qualitativo, realizamos experimentos de ensino com quatro duplas, destacando a noção de *engineering design process*. Em termos de resultados, discutimos: (i) a elaboração da tarefa envolvendo a construção de um aplicativo GeoGebra; (ii) dois episódios sobre a experimentação com GeoGebra de uma das duplas alunos; (iii) a disseminação de resultados por meio da produção musical e audiovisual, relevando-se o uso de inteligência artificial. Finalmente, destacamos dimensões pragmáticas-pedagógicas bem como limitações do estudo.

Palavras-chave: Educação Matemática. Tecnologia Digital. STEM/STEAM. Artes.

Abstract: We report a study aimed at investigating aspects of STEAM pedagogy and computational participation in the early years of elementary education. We engaged pairs of 4th-grade students in exploring tasks using GeoGebra and ChatGPT related to the Brazilian Rocket Exhibition. In the qualitative domain, we conducted teaching experiments with four pairs of students, emphasizing the notion of the engineering design process. In terms of results, we discuss: (i) the development of a task involving the creation of a GeoGebra app; (ii) two episodes concerning one pair of students' experimentation with GeoGebra; (iii) the dissemination of results through musical and audiovisual production, highlighting the use of artificial intelligence. Finally, we underscore pragmatic-pedagogical dimensions of the study as well as the its limitations.

Keywords: Mathematics Education. Digital Technology. STEM/STEAM. Arts.

1 Introdução

Podemos considerar que a gênese da pesquisa relatada neste artigo perpassa pela seguinte situação: em visita à uma escola pública municipal de uma cidade do interior do estado de São Paulo, em maio de 2023, nos deparamos com diversos alunos de 4º ano do Ensino Fundamental realizando atividades relacionadas à Mostra Brasileira de Foguetes (MOBFOG). De acordo com os organizadores da Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (OBA), a MOBFOG é “uma olimpíada inteiramente experimental, pois consiste em construir e lançar, obliquamente (...), foguetes, a partir de uma base de lançamento, o mais distante possível” (OBA, 2024, para 1)⁴. Parte das atividades realizadas pelos alunos na escola, as quais tivemos o prazer em testemunhar, foram divulgadas pelos gestores da escola em suas redes sociais:

¹ Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas • Universidade Estadual Paulista (UNESP). São José do Rio Preto, SP — Brasil • ✉ ricardo.scucuglia@unesp.br • ORCID <https://orcid.org/0000-0002-5810-2259>

² Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas • Universidade Estadual Paulista (UNESP). São José do Rio Preto, SP — Brasil • ✉ daiane.donega@unesp.br • ORCID <https://orcid.org/0009-0008-4367-6437>

³ Western University • London, ON — Canadá • ✉ inamukas@uwo.ca • ORCID <https://orcid.org/0000-0001-7231-0671>

⁴ <http://www.oba.org.br/site/?idcat=29&p=conteudo&pag=conteudo>

<https://www.facebook.com/tema.riopreto/posts/pfbid02t27TukYrynmohp4tEv3HbxzKBmceeY4pcu3LmdrhmqRdHxB2GgXTm8YHN3jPiEdI>

Na ocasião de nossa visita, identificamos que gestores, professores, inspetores de alunos e alunos mediram com trenas as distâncias alcançadas pelos foguetes de cada equipe. Em particular, a equipe vencedora lançou o foguete a uma distância de 44 metros. Em determinado momento, um aluno indagou: “a distância nós medimos e sabemos, mas qual a altura alcançada pelos foguetes?”. Nesse momento, diante de grande inquietação, iniciamos uma investigação que culminou no desenvolvimento da presente pesquisa em Educação Matemática cujo objetivo foi investigar aspectos da pedagogia STEAM e da participação computacional nos Anos Iniciais do Ensino Fundamental. Especificamente, buscamos responder ao seguinte questionamento: que aspectos da pedagogia STEAM e da participação computacional emergem quando alunos de Ensino Fundamental exploram atividades relacionadas à MOBFOG?

2 Quadro Teórico

O quadro teórico desta pesquisa é constituído fundamentalmente por duas perspectivas: (i) STEM/STEAM; e (ii) participação computacional (Kafai, 2016).

STEM é um acrônimo em língua inglesa para “*Science, Technology, Engineering and Mathematics*”. Devido à sua relação com a inovação tecnológica, políticas educacionais têm destacado nas últimas décadas a importância das habilidades STEM para o Século XXI (Clapp & Jimenez, 2016). Isso tem levado ao que Sanders (2009) chama de “STEMmania”, ou seja, a realização de uma quantidade significativa de investigações educacionais e de financiamentos de práticas dedicadas à criação de políticas e programas STEM para/na educação básica. Um dos objetivos fundamentais da educação STEM é a “resolução de problemas que se baseiam em conceitos e procedimentos da matemática e das ciências, ao mesmo tempo que incorpora o trabalho em equipe e a metodologia de design da engenharia” (Shaughnessy, 2013, p. 324).

Nos últimos anos, uma ampliação da abordagem STEM pôde ser vista com a integração do componente Artes, representada pela incorporação da letra “A” em STEM, formando, assim, a sigla STEAM (Maia, Carvalho & Appelt, 2021). O objetivo da educação STEAM é incentivar o aprendizado, a participação, a criatividade e o interesse dos alunos em campos relacionados com STEM. Isso é feito incentivando os alunos a desenvolverem habilidades criativas, artísticas e de design, bem como a resolução criativa e inovadora de problemas. A inovação, a imaginação/criatividade e o *design thinking* são valorizados nos programas STEAM devido à ênfase na interdisciplinaridade (Clapp & Jimenez, 2016).

A execução eficaz do modelo STEAM, para Vuerzler (2020), demanda dos educadores um domínio do mesmo, associado à familiaridade com o método científico. É contundente que os professores possuam uma compreensão abrangente das disciplinas que compõem o STEAM ou colaborem de maneira produtiva com especialistas nessas áreas (Bullock & Sator, 2017). Para além do conhecimento pedagógico e teórico, é essencial que detenham um saber especializado acerca das estratégias de ensino que melhor atendam à aprendizagem de conteúdos STEAM aos estudantes. Quando avaliamos as demandas da sociedade em que vivemos, percebemos que o modelo STEAM desempenha um papel de destaque (English, Hudson & Dawes, 2013). Isso se deve ao fato de que não é apenas crucial para os profissionais em ciência, tecnologia, engenharia e matemática possuírem conhecimentos tecnológicos, mas também habilidades para criar soluções inovadoras em suas áreas (Corbat & Quinn, 2018). Além disso, é necessário que profissionais de outras esferas e o público em geral desenvolvam tais habilidades e competências essenciais para enfrentarem os desafios de uma sociedade altamente tecnológica (NSPE, 2013).

Desse modo, como considerado por Quina e Cardoso (2022), vivemos em uma época em que a educação enfrenta um expressivo desafio de redefinir suas finalidades e expectativas. E neste contexto, a educação STEM/STEAM não é uma mera terminologia, mas uma tendência educacional que surgiu da necessidade de criar condições para que capacidades, competências e conteúdos de diferentes disciplinas sejam trabalhados e desenvolvidos de forma integrada em um contexto educacional. Nesta pesquisa, argumentamos que a noção de STEM/STEAM pode ser conceitualmente engendrada a noção de participação computacional (Kafai, 2016). A integração dessas perspectivas pode fomentar um ambiente de aprendizado colaborativo e criativo, no qual a participação ativa dos estudantes e usuários é essencial. Através da participação computacional, indivíduos são incentivados a contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento de projetos tecnológicos, combinando conhecimentos científicos e artísticos (Kafai, 2016). Isso não só fomenta o processo educativo, mas oferece meios para promover a criação de soluções inovadoras e multidisciplinares. Ao engajar estudantes na aplicação prática de conceitos STEM/STEAM, a participação computacional possibilita que as tecnologias desenvolvidas sejam mais relevantes, acessíveis e adaptadas às necessidades reais, além de estimular o pensamento crítico e a resolução colaborativa de problemas.

De acordo com Kafai, Proctor e Lui (2020), a noção denominada *participação computacional* considera fundamentalmente três quadros fundamentais. São eles: cognitivo, situado e crítico. O quadro cognitivo se refere a questões relacionadas a modelos mentais dos indivíduos, ao desenvolvimento de processos e o uso de artefatos. O quadro situado diz respeito a aspectos como a formação de comunidades, aos contextos pessoais significativos, interações em sala de aula, relações envolvendo trabalho, família e amigos, etc. O quadro crítico engloba aspectos como raça, gênero, classe social, estruturas e regulações governamentais, interesses locais e globais, infraestruturas (computacionais), relações globais, corporações privadas, financiamentos e capital, dentre outros. Especificamente, Kafai, Proctor e Lui (2020) descrevem estes quadros em termos de perspectivas de aprendizagens considerando unidade de análise, epistemologia, prioridades e pensamento (Quadro 1).

Quadro 1. Perspectivas de aprendizagem em participação computacional

Quadro	Unidade de análise	Epistemologia	Prioridades	Pensamento
Cognitivo	Aprendizes individualmente	Habilidades, competências, conhecimento de uma disciplina específica	Habilidades mensuráveis e transferíveis, oportunidade econômica	Conceitos e práticas computacionais (algoritmos, abstração, remixagem, iteração, etc.)
Situado	Comunidades de prática, sistemas e ecologias de aprendizagem	Práticas, participação, preparação para aprendizagem futura	Equidade, interesse, desenvolvimento de identidade, criatividade	Criação de aplicações personificadas significativas, construção de comunidades, interações sociais de suporte, ludicidade
Crítico	Sociedade em geral: estruturas existentes de poder, privilégios e oportunidades (raça, gênero, classe social)	Consciência sobre ideologias, estratégias de ação social	Justiça, entendimento crítico, promulgação de mudança social	Entendimento e crítica acerca de infraestruturas computacionais existentes, criação de aplicações para promover prosperidade, conscientização e ativismo

Para concluir esta seção, é importante destacar que a combinação de abordagens STEM/STEAM e a participação computacional oferece uma possibilidade pedagógica de atuação para a educação matemática (Namukasa, Hughes & Scucuglia, 2022). Este modelo não só integra competências técnicas e criativas, mas promove potencialmente um ambiente educativo inclusivo e relevante para explorar competências do século XXI. Abordagens interdisciplinares e colaborativas são essenciais para formar cidadãos que possam abordar e resolver problemas complexos de forma inovadora e socialmente responsável. Portanto, a incorporação dessas práticas na educação básica pode fomentar a formação de alunos não apenas para demandas profissionais, mas para a participação ativa e crítica na sociedade.

3 Metodologia de Pesquisa

Esta pesquisa é de natureza qualitativa (Patton, 2002), sendo a realização de experimentos de ensino (Steffe & Thompson, 2000) o principal procedimento metodológico. A realização desta pesquisa foi aprovada por um Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CAAE: 74714723.1.0000.5466).

Steffe e Thompson (2000) definiram uma sessão de experimento de ensino como um conjunto de reuniões que atendem a requisitos pedagógicos ou educacionais específicos. O objetivo dos experimentos de ensino é explorar e explicar as atividades matemáticas dos alunos em um ambiente colaborativo, permitindo-lhes compartilhar livremente suposições e discutir objetivos e metas comuns. Cada reunião inclui o educador (pesquisador) e um ou mais alunos, bem como uma testemunha e um método para registro/gravação das atividades e do ambiente.

Na presente pesquisa foram realizadas 4 (quatro) sessões de experimentos de ensino de 2 (duas) horas cada. Em cada sessão, houve a participação de uma dupla de alunos de 4º ano do Ensino Fundamental da referida escola pública municipal, além de dois pesquisadores-professores. Cada dupla de alunos participantes, sendo uma dupla de cada uma das 4 (quatro) turmas de 4º ano da escola, foi selecionada pelas próprias professoras das turmas, sendo utilizado o seguinte critério: qualidade do engajamento do aluno durante a participação na MOBFOG. Foram então formadas as 4 (quatro) duplas de alunos participantes desta pesquisa. Neste artigo, discutimos especificamente alguns resultados emergentes a partir da exploração realizada pela dupla formada pelos estudantes Jared e Shannon (nomes fictícios). A escolha por essa dupla se baseou na noção denominada amostra por conveniência (Marshall, 1996), a qual envolve a seleção de assuntos mais acessíveis, o que a torna menos rigorosa. Também, pela amostra de julgamento (conhecida como amostra proposital), a qual é a mais comum entre as técnicas de amostragem para pesquisas qualitativas e permite que o pesquisador selecione ativamente a amostra mais produtiva para responder à pergunta de pesquisa (Marshall, 1996).

A atividade ou tarefa elaborada para as sessões de experimentos de ensino foi composta por três partes principais. Na primeira, buscamos identificar conhecimentos prévios dos alunos relacionados a suas participações na MOBFOG. Na segunda parte, buscamos engajar os alunos em um cenário investigativo pautado na experimentação com o GeoGebra baseada na simulação computacional do lançamento de projétil/foguete realizado durante a MOBFOG. Por fim, solicitamos aos alunos que criassem poemas sobre suas aprendizagens utilizando do ChatGPT.

Todas as etapas da tarefa, em especial a segunda, estiveram pautadas na noção de *engineering design process* (EDP) como princípio pedagógico. O EDP é uma metodologia sistemática no contexto do ensino de engenharias para resolver problemas complexos de forma eficaz (Haik & Shahin, 2011). Tal perspectiva tem sido explorada na Educação Matemática (Berry *et al.*, 2010, Vistara, Rochmad & Wijayanti, 2022). Diversos documentos e propostas curriculares (e.g. TEA, 2020) apresentam um modelo de EDP composto por etapas como: (i)

identificação do problema; (ii) imaginação: exploração e *brainstorm*; (iii) planejamento: criação de um plano individual e/ou coletivo; (iv) criação: construção e teste de um protótipo e (v) aprimoramento: análise dos resultados visando a melhoria do processo e dos resultados. Identificamos nesse sentido significativas convergências entre EDP e resolução de problemas (Polya, 2004). Na presente pesquisa, o processo de elaboração da tarefa matemática e a conduta didática dos pesquisadores durante as sessões de experimentos de ensino estiveram pautadas no modelo de EDP proposto pelo currículo de OME (2022). Tal modelo é composto por 4 componentes fundamentais - *iniciação e planejamento*; *execução e gravação*; *análise e interpretação*; e *comunicação* - sendo estes formados por habilidades específicas (ver: <https://www.dcp.edu.gov.on.ca/en/curriculum/science-technology/context/processes>).

Para a efetiva produção de dados na pesquisa evidenciamos que todas as sessões de experimentos de ensino foram filmadas com câmera digital. Além disso, foi disponibilizado um notebook para que cada dupla de alunos pudesse explorar a tarefa (uso do GeoGebra e do Chat GPT), sendo a tela do notebook gravada, bem como a face e o áudio dos alunos (uso de webcam com microfone). Também, são considerados dados da pesquisa os registros escritos dos alunos nas folhas das tarefas, os arquivos salvos de suas experimentações com o GeoGebra, todos *inputs/outputs* com o Chat GPT e o diário de campos dos pesquisadores. Além da noção de triangulação de dados (Lincoln & Guba, 1978), a análise de dados desta pesquisa foi desenvolvida com base no modelo de análise de vídeos de Powell, Francisco e Maher (2004). Esse modelo é composto pelos seguintes procedimentos: (a) familiarização com os dados: assistir aos registros de vídeos várias vezes; (b) descrição: elaboração de registros escritos que descrevam os eventos registrados; (c) transcrição: elaboração de registros que representem rigorosamente a fala e os gestos dos estudantes e dos participantes das sessões; (d) identificação de eventos críticos: um evento é crítico quando representa uma evidência para as perguntas diretrizes propostas; (e) codificação: criação de códigos para a diversidade de momentos críticos que auxiliam na identificação de padrões e unidades de significados no processo analítico; (f) criação de episódios e do enredo: refere-se ao texto que compila os vários momentos críticos e ao processo de contraste com outras fontes de dados como notas de campo; (g) composição da narrativa: interpretação particular do todo usando os dados como evidência, produzindo, dessa forma, uma narrativa escrita.

4 Resultados

Apresentamos nossos resultados em três eixos principais. O primeiro eixo tem foco na dimensão cognitiva da participação computacional (Kafai, Proctor & Lui, 2020), uma vez discutimos aspectos matemáticos, físicos e tecnológicos inerentes ao processo de elaboração da tarefa matemática utilizada nos experimentos de ensino. O segundo eixo aborda os quadros cognitivo e situado da participação computacional (Kafai, Proctor & Lui, 2020), pois apresentamos dois episódios que expressam eventos críticos emergentes nas sessões de experimentos de ensino. O primeiro episódio discute aspectos do pensamento dos alunos sobre a ideia de “parábola” e o segundo episódio discute o evento no qual os alunos exploraram a ideia de que a altura máxima alcançada pelo foguete foi de $\frac{1}{4}$ da distância alcançada pelo foguete. Por fim, evidenciado as dimensões situadas e crítica da participação computacional (Kafai, Proctor & Lui, 2020), apresentamos possibilidades de disseminação dos resultados da pesquisa por meio de linguagens artísticas, pautados fundamentalmente na noção de pesquisa baseada em arte (Finley, 2005). Em cada um dos três eixos buscamos discutir questões sobre STEM/STEAM, visando prover respostas para nossa pergunta de pesquisa: que aspectos da pedagogia STEAM e da participação computacional emergem quando alunos de Ensino Fundamental exploram atividades relacionadas à MOBFOG?

4.1 Física, Matemática e uma Construção com o GeoGebra

Após termos sido indagados pelo aluno na escola - “a distância nós medimos e sabemos, mas qual a altura alcançada pelos foguetes?”- buscamos nos apropriar de (ou relembrar) conceitos sobre lançamento de projéteis em livros de Física. De acordo com Halliday, Resnick e Waker (2012), no âmbito de um movimento balístico, em um lançamento oblíquo, a distância máxima ($D_{\text{máx}}$) e a altura máxima ($H_{\text{máx}}$) alcançadas por um projétil podem ser calculadas utilizando as seguintes expressões, sendo V_0 a velocidade inicial do projétil, θ o ângulo de lançamento e g a gravidade:

$$D_{\text{máx}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\theta}{g}; H_{\text{máx}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \theta}{2g}.$$

Para desenvolvermos nossos cálculos, obtivemos a relevante informação de que a base de lançamento do foguete construída na escola pelos alunos, professores e gestores fixou o ângulo de lançamento em 45° , ou seja, $\theta = 45^\circ$. Assim, podemos deduzir o seguinte:

$$D_{\text{máx}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2\theta}{g} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 2 \cdot 45}{g} = \frac{V_0^2 \cdot \sin 90}{g} = \frac{V_0^2 \cdot 1}{g} \Rightarrow V_0^2 = D_{\text{máx}} \cdot g.$$

$$E, H_{\text{máx}} = \frac{V_0^2 \cdot \sin^2 \theta}{2g} = \frac{D_{\text{máx}} \cdot g \cdot \sin^2 45}{2g} = \frac{D_{\text{máx}} \cdot \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2}{2} \Rightarrow H_{\text{máx}} = \frac{D_{\text{máx}}}{4}.$$

Portanto, em um lançamento oblíquo de 45° , a altura máxima alcançada por um projétil é $\frac{1}{4}$ da distância máxima alcançada pelo projétil. Além disso, deduzimos que a parábola que representa o lançamento desse projétil nessas condições é determinada por $f(x) = \frac{-x^2}{D_{\text{máx}}} + x$. Tendo “descoberto” estes fatos, passamos então a elaborar um aplicativo com o GeoGebra que simulasse tal situação (<https://www.geogebra.org/m/gcuyhwwb>) (Figura 1).

Figura 1: Aplicativo criado com o GeoGebra



Fonte: Acervo da Pesquisa

No exemplo do lançamento de projéteis apresentado, observamos uma aplicação de princípios STEM (Namukasa, Hughes & Scucuglia, 2022). A investigação científica é evidente na utilização dos princípios físicos de lançamentos oblíquos, no qual conceitos como velocidade inicial, ângulo de lançamento, e gravidade são cruciais para compreender as trajetórias dos projéteis. A tecnologia é integrada através do uso do software GeoGebra, permitindo simular e visualizar o lançamento do foguete, proporcionando uma representação visual das equações matemáticas e conceitos físicos aplicados. O design e a construção da base de lançamento do foguete durante a MOBFOG, que são os objetivos modelados, envolveram práticas de

engenharia (OEA, 2024). No contexto do projeto descrito, a engenharia não se limitou apenas à construção física da base de lançamento do foguete, mas se estendeu ao uso pedagógico intencional do EDP para elaboração da atividade (OME, 2022). A matemática nesse contexto foi aplicada no desenvolvimento de equações que determinam a distância máxima e altura máxima que o projétil pode alcançar, utilizando funções trigonométricas e cálculos de força gravitacional. Este resultado mostra uma aplicação do conhecimento interdisciplinar de forma prática e contextualizada, uma característica central da pedagogia STEM (Shaughnessy, 2013).

A participação computacional (Kafai, 2016) neste contexto se refere ao uso de tecnologias digitais e software para modelar e fomentar a resolução de um problema. Aqui, ela se manifesta através do desenvolvimento e uso de um aplicativo no GeoGebra para simular o lançamento de projéteis (Halliday, Resnick & Walker, 2012). Este uso incorporou várias dimensões cognitivas como a abstração e a modelagem, pois um problema físico real (o lançamento do foguete) foi transformado em um modelo matemático que pôde ser simulado computacionalmente (da Silva Nobrega *et al.*, 2022). Isso requer uma compreensão profunda tanto dos conceitos físicos quanto matemáticos envolvidos. Ao se programar a simulação no GeoGebra, o pensamento algorítmico foi também desenvolvido para definir as etapas necessárias para calcular e representar a trajetória do projétil (Giusti & Groenwald, 2021). Ainda, o problema maior (simular o lançamento de um foguete) foi decomposto em problemas menores, como calcular a altura máxima e a distância máxima, cada um dos quais é abordado separadamente. A simulação a ser explorada permite potencialmente aos alunos testar e refinar seus modelos, uma habilidade essencial no desenvolvimento de soluções de engenharia e tecnológicas. A aplicação prática dessas habilidades computacionais em um contexto real de lançamento de projéteis ilustra como os alunos podem utilizar a tecnologia não apenas como uma ferramenta de aprendizado, mas como um meio essencial para inovação e resolução de problemas complexos (Araújo *et al.*, 2021).

4.2 Pensamento dos Estudantes

Como resultado da pesquisa, discutimos também dois episódios com base em dados produzidos nas sessões de experimentos de ensino com os estudantes Jared e Shannon. No primeiro episódio, investigamos a dupla de estudantes considerando-se a mediação da pesquisadora, a qual explorou a noção de parábola para descrever o movimento do foguete durante a MOBFOG e na simulação com o GeoGebra. Vejamos o seguinte trecho transcrito:

Pesquisadora: Tipo, sem mexer com as mãos, como você descreveria com palavras essa trajetória que ele fez no ar?

Jared: Olha. Como eu descreveria... no começo ele voou, mas quando ele chegou na metade ele virou assim para cima e depois ele começou a cair. É assim, né?

Shannon: O meu já foi assim, olha. O meu então, ele já foi tipo um círculo, né? Quando você faz um círculo, metade de um círculo, ele já foi assim, já foi caindo mesmo. Só, tipo, ele pegou bastante pressão, porque assim não tinha caído pouco, porque, ele foi direto, tipo, fazendo um círculo mesmo. Ele foi direto assim, hum, tipo...

Pesquisadora: Por que vocês acham que tem uma hora que ele começa a cair e ele para de subir?

Jared: Ok. Olha, na minha opinião, eu acho que quando ele voa, ele já tá tranquilo, ele já... Vamos pegar um exemplo de... Uma coisa que voa depois de... Um aviãozinho de papel. Melhor. Quando você taca ele, ele voa, ele vai voando, e depois ele vai perdendo velocidade ao longo do caminho. Por causa que ele vai no ar e o ar faz alguma coisa que esqueci qual que é o nome, né. Aí ele para ele faz alguma coisa lá, aí depois ele começa a diminuir a velocidade, que ele começa a planar e depois ele cai, entendeu?

Shannon: Eu acho que é por causa da pressão, porque a pressão do ar ela faz que vai longe, só que quando essa pressão vai acabando, ele vai caindo por causa da pressão. A pressão já passou lá atrás, então isso vai caindo e é assim.

Jared e Shannon, ao explorarem o conceito de uma parábola durante uma discussão sobre trajetórias de objetos lançados no ar, refletem abordagens interessantes que se alinham aos princípios de STEM (Sanders, 2009) e participação computacional (Kafai, 2016). Jared descreveu a trajetória como um objeto que inicialmente “voou”, atingiu um ponto máximo, e então começou a cair. Esta descrição é bastante alinhada com a forma clássica de uma parábola em matemática, na qual o movimento inicial ascendente é seguido por um ápice e subsequente declínio, indicativo das mudanças de velocidade e direção sob a influência da gravidade. Shannon, por outro lado, descreveu uma trajetória que lembra “metade de um círculo”, sugerindo uma compreensão inicialmente menos precisa da forma parabólica, mas igualmente válida para iniciar discussões sobre a dinâmica de forças em jogo, como a pressão do ar. Esta observação pode ser vista como uma ponte para introduzir conceitos de física mais complexos, como a dinâmica de fluidos e resistência do ar, áreas ricas para exploração no contexto de STEM/STEAM. Em suas explanações, os alunos demonstram certo envolvimento na modelagem e compreensão de conceitos científicos. Inferimos que o ensino integrado de STEAM pode facilitar uma compreensão através da participação ativa e reflexão sobre fenômenos físicos reais (Clapp & Jimenez, 2016).

No segundo episódio, investigamos como a mesma dupla de alunos explorou com o GeoGebra o evento no qual no qual culminou na conjectura de que a altura máxima alcançada pelo foguete foi de $\frac{1}{4}$ da distância alcançada pelo foguete. Vejamos o seguinte trecho transcrito:

Pesquisadora: E aí, agora vamos analisar o da Shannon.
Jared: Olha, vai aqui no lançar e você coloca mais no meio. Tenta colocar ele no...
Isso. Foi 7.5.
Shannon: Olha, eu chutei mais ou menos então, ó.
Jared: Ah, foi 7.5.
Pesquisadora: E a menina correu quanto?
Shannon: 15.
Pesquisadora: 15? E aí, querem... Se eu perguntar agora, vocês notaram alguma coisa em comum entre a altura máxima e a distância?
Jared: Ah, eu notei uma coisa. Aqui, vamos pegar o da Shannon. Aqui deu 7.5 no foguete dela, certo? E o da menina deu o dobro.
Pesquisadora: Deu o dobro. E a distância que é total do foguete?
Jared: Foi 30, que é o dobro de 15.
Pesquisadora: Então o que você está me dizendo? O que você entendeu? Você entendeu o que ele falou?
Shannon: Não. É que eu não entendo nada que ele fala.
Pesquisadora: Então tenta explicar melhor pra ela.
Jared: Deixe-me explicar. A altura do foguete é metade do que ela correu aqui, entendeu? Então se a gente colocasse 15 aqui, ela teria corrido 30.
Shannon: Porque é o dobro.
Jared: Porque... né? Aí sempre vai dar o dobro aqui da distância que ele chegou, entendeu?
Shannon: Ah... porque o meu deu 30 e o seu deu 40. O resultado do meu vai ser sempre vezes 3, o dobro né? Eu não entendi.
Jared: O dobro é vezes 2. Deixe-me explicar de novo.
Shannon: Ah, é o triplo.
Pesquisadora: Explica de novo, então, pra ela.
Jared: Ok. A altura que tá o foguete ali, é o dobro do que a menina correu. Então se a gente colocasse 15 ali, que ele voou 15 ela teria corrido 30, entendeu? Que seria o dobro do que ela teria corrido agora. Aí o foguete teria caído em 60 que é o dobro de 30.

No diálogo entre Jared, Shannon e a Pesquisadora, observa-se uma tentativa de correlacionar a altura máxima alcançada pelo foguete com a distância percorrida. Jared buscou estabelecer uma relação proporcional entre essas duas medidas, evidenciando uma abordagem inicial à ideia de funções matemáticas e a sua aplicação prática em um contexto físico, aqui representado pelo movimento do foguete. Ao final do trecho transcrito, Jared relacionou os valores 15, 30 e 60. Nesse momento, com base no uso do aplicativo com GeoGebra, Jared buscou explicar a Shannon que o foguete atingiu 15 metros de altura (altura máxima) no momento em que o avatar percorreu 30 metros, sendo que a distância máxima atingida pelo projétil foi de 60 metros. Então, a altura máxima neste caso é metade da metade da distância. Isso é relevante em cenários STEM/STEAM, pois a habilidade de aplicar conceitos matemáticos para modelar, elaborar conjecturas e resolver problemas oferece meios para a produção de sentidos matemáticos (Namukasa, Hughes & Scucuglia, 2022).

Shannon, por outro lado, expressou dificuldade em seguir o raciocínio de Jared, o que destaca um aspecto importante da aprendizagem em STEM e EDP: a necessidade de comunicação clara e eficaz (OME, 2022). Este diálogo explicita também o fato de que os estudantes estiveram engajados em um ciclo de hipóteses, testes e reformulações de ideias com base em evidências empíricas e interações entre pares. A troca de ideias e a tentativa de esclarecimento entre os alunos também são indicativos do desenvolvimento de habilidades sociais e de colaboração, cruciais para ambientes de aprendizagem voltados a participação computacional (Kafai, Proctor & Lui, 2020). A exploração contínua de Jared para explicar o conceito mostra uma abordagem iterativa ao problema, um princípio fundamental nos campos explorados: STEM/STEAM, EDP e participação computacional.

O uso do GeoGebra nos diálogos entre os estudantes Jared e Shannon e a pesquisadora pode desempenhar um papel crucial no desenvolvimento do pensamento crítico e na integração das disciplinas STEM. O GeoGebra é um recurso tecnológico que permite aos alunos visualizar e manipular objetos matemáticos e físicos, facilitando possíveis compreensões dos conceitos abordados (Borba, Scucuglia & Gadanidis, 2014). A discussão sobre a trajetória parabólica e as relações de proporção entre altura e distância total percorrida é um excelente exemplo de como a matemática e a física podem ser integradas usando o GeoGebra. O recurso permite que os estudantes criem simulações visuais de experimentos físicos, como o lançamento de um foguete, no qual podem ajustar variáveis e observar os resultados em tempo real (Araújo *et al.*, 2021). Isso não apenas reforça o entendimento matemático através de representações gráficas, mas também ilustra conceitos físicos, como gravidade e resistência do ar, em um contexto prático e interativo (Araújo *et al.*, 2021).

No contexto cognitivo da participação computacional (Kafai, Proctor & Lui, 2020), o GeoGebra ofereceu meios para os alunos desenvolverem habilidades de resolução de problemas e raciocínio lógico. Ao manipular equações e visualizar suas representações gráficas, alunos como Jared e Shannon podem explorar o impacto de diferentes variáveis em tempo real, oferecendo meios para possíveis compreensões dos conceitos matemáticos e físicos. Isso é fundamental para o desenvolvimento de uma habilidade analítica, na qual estudantes aprendem a pensar criticamente sobre as relações entre diferentes entidades e conceitos (Sanders, 2009). Por sua vez, a dimensão situada da participação computacional enfatiza a aprendizagem em contextos sociais e culturais reais (Kafai, Proctor & Lui, 2020). No diálogo vemos essa interação em ação quando Jared tenta explicar seus pensamentos para Shannon, usando o ambiente compartilhado do GeoGebra como um ponto focal. O uso da tecnologia digital pode viabilizar um espaço onde o diálogo, a colaboração e o compartilhamento de ideias ocorram de maneira significativa. Esse ambiente colaborativo pode encorajar os alunos a participarem ativamente e contribuir para o aprendizado coletivo (Borba, Scucuglia & Gadanidis, 2014).

Portanto, neste estudo, o GeoGebra não apenas ofereceu meios a integração de diferentes disciplinas dentro do quadro STEM, mas também atuou potencialmente no fomento das dimensões cognitiva e situada da participação computacional (Kafai, Proctor & Lui, 2020). O GeoGebra atuou como um mediador entre teoria e prática, permitindo aos alunos não apenas explorar conceitos ou conteúdos, mas experimentá-los de forma interativa e colaborativa.

4.3 “MOBFOG no TEMA”: Disseminação da pesquisa por meio das artes

Temos ciências de que, neste artigo, até o momento, os dados foram mais explorados em termos de STEM do que STEAM. Embora consideremos que elementos inerentes às artes como a dimensão lúdica estiveram presentes em ações diversas dos alunos ao participarem da MOBFOG, nossa intenção explícita em envolver as artes nos experimentos de ensino se deu pela propositividade em engajar os alunos na criação de poemas com o ChatGPT sobre suas aprendizagens tanto na MOBFOG quanto na experimentação com o GeoGebra. Optamos ainda em apresentar nossas análises específicas e aprofundadas sobre os 4 (quatro) poemas criados pelos alunos participantes em outro locus científico. Contudo, nossa análise geral é de que as duplas interagiram pouco com a inteligência artificial, ou seja, se mostraram satisfeitos com a primeira versão de seus poemas apresentadas pelo ChatGPT. Nesse sentido, os poemas não abordaram aspectos matemáticos e tecnológicos específicos emergentes nas sessões de ensino. Além disso, além das noções de STEM/STEAM, participação computacional e EDP a inteligência artificial (IA) é também uma temática presente neste estudo.

Considerando-se nossa empreitada em se explorar possibilidades da pesquisa baseada em artes (Finley, 2005, Scucuglia, Gimenez & Carvalho, 2023), apresentamos a seguir resultados desta pesquisa no qual, a partir dos poemas dos alunos, criamos uma música e um videoletra. Tais narrativas são concebidas nesta pesquisa como uma representação artística da inteligência coletiva emergente em cenários diversos da pesquisa realizada, principalmente nas sessões de experimentos de ensino. A música criada está disponível em <https://soundcloud.com/rp-matematica-unesp-ibilce/mobfog-no-tema>, sendo a letra a seguinte:

MOBFOG no TEMA

Lançamos um foguete na escola
O lançamento foi em 45°
Medimos a distância alcançada
Mas que altura ele chegou?

Com o GeoGebra descobrimos
Que a curva foi uma parábola $(-x^2/D + x)$
Simulamos o lançamento
E a distância dividimos por quatro

MOBFOG no TEMA
STEAM, foguete é diversão
A altura alcançada
É um quarto da distância

MOBFOG no TEMA
STEAM, foguete é diversão
A altura alcançada
É um quarto da distância

Ao menos dois aspectos sobre a produção desta música podem ser destacados. O primeiro é o uso de aplicativos de IA para tal produção. Em nossas pesquisas anteriores sobre

a produção musical em Educação Matemática (da Silva, 2020, Gadanidis & Scucuglia, 2020), desenvolvemos produções autorais baseadas no uso do software Logic Pro X. Contudo, na presente pesquisa, utilizamos o App SUNO.AI para experimentar diversas possibilidades de transformar em música uma letra criada por nós pesquisadores a partir dos poemas dos alunos. Após diversas experimentações com o app de IA, exportamos a música para o Logic Pro X e, além de ajustes em termos de edição e masterização, procedemos com o desenvolvimento de uma vertente fundamental em nosso trabalho musical e audiovisual: a exploração de mensagens subliminares (referencia). No caso da música, o leitor/ouvinte poderá identificar que trechos como “ $(-x^2/D + x)$ ” são explorados em uma dimensão subliminar. As imagens na Figura 2 exibem a plataforma de edição no Logic Pro X e do canal SoundCloud.

Figura 2: Produção de divulgação da música “MOBFOG no TEMA”



Fonte: Acervo da Pesquisa e <https://soundcloud.com/rp-matematica-unesp-ibilce/mobfog-no-tema>

Tendo produzido a música, procedemos com a produção do videoclipe, que, neste caso, possui o formato videoletra (ver: https://www.youtube.com/watch?v=WN_RePIS8ZM). Igualmente, nos utilizamos recursos de IA para produção do vídeo, sendo que toda as imagens foram criadas a partir do uso do ChatGPT 4.0 (*Glibatree art Design*) e o vídeo editado no software Final Cut Pro. A produção do vídeo nesta pesquisa também explorou elementos subliminares, sendo a identificação destas deixadas à audiência. Cabe destacar que narrativas cinematográficas e televisivas têm utilizado mensagens subliminares. Para McLuhan (1994), a repetição de anúncios faz com que marcas e produtos anunciados se afirmem gradativamente para o consumidor. “Os anúncios não são endereçados ao consumo consciente. São como ‘pílulas subliminares’ para o subconsciente, com o fito de exercer um feitiço hipnótico” (McLuhan, 1994, p. 257). De acordo com Key (1973), as principais estratégias em termos de mensagens subliminares são: inversão de figura/fundo; método de embutir imagens; duplo sentido; projeção taquioscópica; luz de baixa intensidade; luz e som de fundo. Ao discorrer sobre a “propaganda subliminar multimídia”, Calazans (2006) destaca avanços emergentes com resultados de pesquisas nessa área envolvendo o uso do equipamento denominado taquioscópio. Esses estudos mostram evidências de que há uma reação do cérebro à apresentação de imagens no tempo de 1/3000 de segundo, sendo esta a definição de subliminar em termos taquioscópicos. A Figura 3 exibe algumas imagens do videoletra.

Figura 3: Videoletra “MOBFOG no TEMA”



Fonte: https://www.youtube.com/watch?v=WN_RePIS8ZM

Para concluir esta seção, é essencial refletir sobre as implicações do uso de ferramentas de IA e pesquisa baseada em artes no contexto educacional. A incorporação da dimensão artística por meio da criação de poemas, música e videoletra ampliou a perspectiva pedagógica da pesquisa. Esses elementos artísticos possibilitaram novas formas de expressão e engajamento com os conteúdos. A produção musical e audiovisual, utilizando recursos de IA, exemplifica como a arte pode ser integrada de maneira criativa e significativa na divulgação científica envolvendo o ensino de conceitos matemáticos e tecnológicos. Assim, ao abordar a educação de maneira interdisciplinar e inovadora, este estudo contribui para uma compreensão mais ampla das possibilidades que surgem na pesquisa educacional envolvendo STEM/STEAM e IA reafirmando a importância de explorar metodologias que transcendam as abordagens tradicionais de ensino e de popularização da ciência.

5 Conclusões

A pesquisa relatada neste artigo explora uso da pedagogia STEAM e da participação computacional em um contexto educacional prático envolvendo alunos dos anos iniciais do Ensino Fundamental. O estudo destaca a integração bem-sucedida de conceitos STEM com elementos artísticos, fortalecendo a aprendizagem interdisciplinar e criativa através de atividades experimentais como a MOBFOG. A pesquisa confirmou que atividades práticas, como o projeto de lançamento de foguetes, são eficazes para engajar alunos jovens e desenvolver habilidades importantes dentro das áreas de ciência, tecnologia, engenharia, artes e matemática. Os alunos não apenas aplicaram conhecimentos teóricos em um contexto prático, mas também desenvolveram habilidades de resolução de problemas e pensamento crítico.

A participação ativa dos alunos na simulação de lançamentos usando o software GeoGebra foi crucial para a compreensão dos conceitos matemáticos e físicos envolvidos. Esse envolvimento ajudou a transformar teoria em prática, o que potencializa a retenção de conhecimento e o entendimento de conceitos complexos. A inclusão de componentes artísticos, como a criação de poemas e música, proporcionou uma experiência de aprendizado mais rica e diversificada. Esses elementos ajudaram a promover a expressão criativa junto com o rigor científico, destacando a importância do componente “A” (Artes) em STEAM.

O estudo sublinha a necessidade de abordagens educacionais que transcendam o ensino tradicional e integrem a tecnologia e a criatividade para enfrentar desafios reais, preparando os alunos para as demandas do século XXI. Os resultados apontam para a necessidade de mais pesquisas e desenvolvimento de currículos que integrem STEAM de maneira eficaz, além de recomendarem o aumento da participação computacional como meio de ensino e aprendizado interativos.

Limitações diversas podem também ser explicitadas. A pesquisa foi conduzida com um número pequeno de alunos (quatro duplas de alunos de 4º ano) de uma única escola pública municipal. Isso limita a generalização dos resultados para outros contextos educacionais ou demografias mais amplas. A amostragem de conveniência pode não representar adequadamente a população geral de estudantes dessa faixa etária. O estudo focou no uso do software GeoGebra para as atividades de aprendizado. Embora o GeoGebra seja uma ferramenta poderosa para ensino de matemática e ciências, a dependência de uma única ferramenta tecnológica pode não capturar o impacto de outras tecnologias ou metodologias que poderiam ser igualmente ou mais efetivas. A integração de artes no STEAM, embora inovadora, pode enfrentar desafios em termos de avaliação objetiva dos resultados de aprendizagem. Medir o impacto da arte na educação STEM requer métodos de avaliação que podem não estar totalmente desenvolvidos ou aceitos no contexto educacional tradicional. Dado que a pesquisa é qualitativa e envolve

análises de vídeos e interações em tempo real, pode haver limitações relacionadas à subjetividade nas interpretações dos dados. Além disso, as interações capturadas podem ser influenciadas pelo ambiente de experimento, possivelmente afetando a naturalidade e espontaneidade das reações dos alunos. As atividades descritas na pesquisa requerem acesso a recursos tecnológicos e materiais que podem não estar disponíveis em todas as escolas, especialmente em regiões menos desenvolvidas ou escolas com orçamentos limitados. Isso pode limitar a aplicabilidade das descobertas em ambientes com menos recursos.

Embora tais limitações sejam reconhecidas, o artigo ressaltou que a educação STEAM, quando combinada com métodos de ensino envolventes e participativos, pode significativamente enriquecer a experiência educacional e preparar melhor os alunos para as demandas futuras em diferentes disciplinas profissionais e acadêmicas.

Agradecimentos

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, Processos: 307278/2022-0 e 403790/2023-9).

Referências

- Araújo, E. S., do Nascimento, J. L. B., Silva, J. C., & Bim, C. F. A. (2021). O uso de simuladores virtuais educacionais e as possibilidades do PhET para a aprendizagem de Física no Ensino Fundamental. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 12(3), 1-25.
- Berry, R.Q., Bull, G., Browning, C., Thomas, C.D., Starkweather, G. & Aylor, J. (2010). Use of Digital Fabrication to Incorporate Engineering Design Principles in Elementary Mathematics Education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(2), 167-172. Waynesville, NC USA: Society for Information Technology & Teacher Education.
- Borba, M. C., Scucuglia, R., & Gadanidis, G. (2014). *Fases das tecnologias digitais em Educação Matemática: sala de aula e internet em movimento*. Belo Horizonte: Autêntica.
- Bullock, S. M., & Sator, A. (2017). Developing a Pedagogy of “Making” through Collaborative Self-Study. *Studying Teacher Education*, 14(1), 56–70.
- Calazans, F. M. (2006). *Propaganda subliminar multimídia* (Vol. 42). Summus editorial.
- Clapp, E. P., & Jimenez, R. L. (2016). Implementing STEAM in maker-centered learning. *Psychology of Aesthetics, Creativity and the Arts*, 10(4), 481-491.
- Corbat, J., & Quinn, C. (2018). Engaging preservice teachers in the makerspace: Embracing the maker movement in a multi-level teacher preparation program. In *Society for Information Technology and Teacher Education International Conference* (pp. 1251-1254). Association for the Advancement of Computing in Education (AACE).
- da Silva, R. S. R. (2020). On music production in mathematics teacher education as an aesthetic experience. *ZDM Mathematics Education*, 52, 973–987.
- da Silva Nobrega, J. C., Pedrosa, M. G., Maia, A. G., de Oliveira, M. J. C., de Sousa Ferreira, I. W., de Sousa Ferreira, F. K., & dos Santos, S. A. (2022). Uso da simulação computacional

- para ensino e aprendizagem de anatomia para aulas EAD nos cursos de Saúde. *Research, Society and Development*, 11(1), e50611124055-e50611124055.
- English, L., Hudson, P., & Dawes, L. (2013). Engineering-based problem solving in the middle school: Design and construction with simple machines. *Journal of Pre-College Engineering Education Research*, 3(2), 1-13.
- Finley, S. (2005). Arts-based inquiry: Performing revolutionary pedagogy. *The Sage handbook of qualitative research*, 3, 681-694.
- Gadanidis, G., & Scucuglia, R. (2020). Making mathematics special through song: What math experiences are worth singing about?. In *The Routledge Companion to Interdisciplinary Studies in Singing, Volume II: Education* (pp. 462-473). Routledge.
- Giusti, N. M. D. R., & Groenwald, C. L. O. (2021). Matemática na Comunidade: um contexto educativo para a aprendizagem social e desenvolvimento do pensamento algébrico. *Educação Matemática Pesquisa*, 23(1), 561-590.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1978). Reward systems and emergent missions: Higher education's dilemma. *The Phi Delta Kappan*, 59(7), 464-466.
- Haik, Y., Shahin, T. M., & Sivaloganathan, S. (2011). *Engineering design process*. Stamford: Cengage Learning.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2012). *Fundamentos de Física - Mecânica*, Vol. 1, 9ª ed. LTC- Livros Técnicos e Científicos Editora.
- Kafai, Y. B. (2016). From computational thinking to computational participation in K-12 education: Seeking to reframe computational thinking as computational participation. *Communications of the ACM*, 59(8), 26-27.
- Kafai, Y. B., Proctor, C., & Lui, D. (2020). From Theory Bias to Theory Dialogue: Embracing Cognitive, Situated, and Critical Framings of Computational Thinking in K-12 CS Education. *ACM Inroads*, 11(1), 44-53.
- Key, W. B. (1973). *Subliminal Seduction: Ad media's manipulation of a not so innocent America*. New York: New American Library.
- Maia, D. L., de Carvalho, R. A., & Appelt, V. K. (2021). Abordagem STEAM na educação básica brasileira: uma revisão de literatura. *Revista Tecnologia e Sociedade*, 17(49), 68-88.
- McLuhan, M. (1994). *Understanding media: The extensions of man*. MIT press.
- Marshall, M. N. (1996). Sampling for qualitative research. *Family Practice*, 13(6), 522-526. <https://doi.org/10.1093/fampra/13.6.522>.
- Namukasa, I. K., Hughes, J., & Scucuglia, R. (2022). STEAM and critical making in teacher education. In *Handbook of cognitive mathematics* (pp. 939-970). Cham: Springer International Publishing.

- NSPE - National Society of Professional Engineers (2013). *Professional engineering body of knowledge*. Alexandria, VA: NSPE.
- OBA - Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica (2024). *Olimpíada Brasileira de Astronomia e Astronáutica*. <http://www.oba.org.br/site/>
- OME - Ontario Ministry of Education, 2020. *The Ontario curriculum, Grades 1-8 mathematics*. <https://www.dcp.edu.gov.on.ca/en/curriculum/elementary-mathematics/downloads>.
- Patton, M. Q. (2002). Two decades of developments in qualitative inquiry: A personal, experiential perspective. *Qualitative social work*, 1(3), 261-283.
- Polya, G., & Pólya, G. (2014). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (Vol. 34). Princeton university press.
- Powell, A. B., Francisco, J. M., & Maher, C. A. (2004). Uma abordagem à análise de dados de vídeo para investigar o desenvolvimento das ideias matemáticas e do raciocínio de estudantes. *Bolema: Boletim de Educação Matemática*, 17(21), 81-140.
- Quina, N., & Cardoso, M. (2022). STEAM no futuro da educação. *VI Encontro Internacional de Formação na Docência (INCTE): livro de atas*, 944-949.
- Sanders, M. (2009). STEM, STEM education, STEMmania. the technology teacher. *Virginia Tech Blacksburg*.
- Scucuglia, R. R. S., Gimenez, H., & Carvalho, A. C. B. (2023). Pesquisas envolvendo Artes no GPIMEM. In M. C. Borba, J. F. Xavier, & T. A. Schunemann (Orgs.), *Educação Matemática: múltiplas visões sobre Tecnologias Digitais* (Vol. 1, pp. 67-78). São Paulo: Livraria da Física.
- Shaughnessy, J. M. (2013). Mathematics in a STEM context. *Mathematics Teaching in the Middle school*, 18(6), 324-324.
- Steffe, L. P., & Thompson, P. W. (2000). Teaching experiment methodology: Underlying principles and essential elements. In R. Lesh & A. E. Kelly (Eds.), *Research design in mathematics and science education* (pp. 267- 307). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- TEA – Texas Education Agency (2020). *Engineering Design Process* (EDP). <https://tea.texas.gov/academics/221013-teabriefs-engineering-design-process.pdf>
- Vistara, M. F., Rochmad, R., & Wijayanti, K. (2022). Systematic Literature Review: STEM Approach through Engineering Design Process with Project Based Learning Model to Improve Mathematical Creative Thinking Skills. *Mathematics Education Journal*, 6(2), 140-156.
- Vuerzler, H. L. (2020). *Modelo de educação integrativa: a abordagem STEAM em uma proposta de ensino investigativo experienciado em uma Escola Estadual, Cuiabá, MT*.