EXPLORANDO FOGUETES COM O *OPENROCKET*: UMA SEQUÊNCIA INVESTIGATIVA EM FÍSICA E MATEMÁTICA

Arquimar Barbossa de Oliveira[1], Elaine Moreira da Rocha Rodrigues[2], Geovanna Gomes de Jesus[3], Paulo Henrique de Souza[4]

[1]Instituto Federal Goiano/ arquimarbarbosa@gmail.com
[2]Instituto Federal de Goiás/ elainemat.ifg@gmail.com
[3]Instituto Federal de Goiás/qeovannagomes68@gmail.com
[4]Instituto Federal de Goiás/paulo.souza@ifg.edu.br

Resumo: Este estudo analisa o potencial de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), mediada pelo simulador *OpenRocket*, para favorecer a construção de conhecimentos de Física e Matemática por estudantes do Ensino Médio. A proposta foi organizada a partir da situação-problema "Missão Apogeu Máximo", na qual os estudantes projetaram, testaram e otimizaram virtualmente um foguete, buscando alcançar o maior apogeu possível. A pesquisa, de abordagem qualitativa e caracterizada como intervenção pedagógica, foi desenvolvida em quatro encontros com um grupo voluntário de seis estudantes da primeira série do ensino médio integrado de uma escola pública federal em Trindade – GO. Para a produção dos dados, foram utilizados observação, diário de bordo, entrevistas, questionário e registros das versões dos foguetes. Os resultados indicaram que a proposta favoreceu a formulação e o teste de hipóteses, a tomada de decisões com base em evidências e a compreensão de conceitos relacionados à massa, estabilidade, centro de gravidade, centro de pressão, apogeu e interpretação de gráficos. Também foram identificadas dificuldades na compreensão da Segunda Lei de Newton. Conclui-se que o *OpenRocket*, associado à mediação docente e à sistematização conceitual, apresenta potencial para promover práticas investigativas e interdisciplinares no ensino de Física e Matemática.

Palavras-chave: Ensino de Física e Matemática. *OpenRocket*. Sequência de Ensino Investigativa.

Introdução

Nas últimas décadas o ensino de Ciência e Matemática tem sido desafiado a superar o ensino tradicional, (onde o professor é o transmissor do conhecimento e o estudante tem o papel de receptor passivo, focado em ouvir, memorizar fórmulas, repetir e reproduzir o conteúdo ensinado, sem muita participação na construção do saber) por um ensino que favoreça a autonomia e o pensamento crítico do estudante. Nessa ótica, o Ensino por Investigação (EI), uma abordagem que, segundo Carvalho (2013), organiza o processo educativo a partir de situações-problema que mobilizam o estudante a formular hipóteses, testar ideias, analisar dados e justificar conclusões. O EI é uma perspectiva de ensino que promove tanto o aprendizado de conceitos, termos e noções científicas, quanto o aprendizado de ações, atitudes e valores. Essa perspectiva possibilita ao aluno assumir uma postura ativa na construção do conhecimento científico, participando efetivamente do processo de investigação (Carvalho,

2013).

A investigação foi estruturada com base no EI, por meio da aplicação de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) e mediada pelo simulador *OpenRocket*[1]. O desafio central apresentado aos estudantes, denominado "Apogeu Máximo", consiste em projetar, testar e otimizar um foguete simulado capaz de atingir a maior altitude possível. Para realizar essa missão, os estudantes usaram conhecimentos da Física e da Matemática de forma interdisciplinar, permitindo interpretar fenômenos reais associados ao lançamento de foguetes e aproximando o conteúdo escolar da prática científica.

O *OpenRocket* possibilita a experimentação virtual contínua, oferecendo *feedback* imediato, permitindo múltiplas versões do projeto e favorecendo o teste sistemático de variáveis, fatores essenciais para a investigação científica. Estudos recentes apontam que simulações computacionais ampliam o entendimento conceitual ao integrar visualização, modelagem e raciocínio lógico, especialmente no ensino de Física e Matemática (Jaime; Leonel, 2024; Igreja; Camargos, 2022). Esses autores destacam que o uso de simuladores potencializa a compreensão de fenômenos complexos ao relacionar grandezas, representar dados numericamente e aproximar o pensamento abstrato de experiências concretas.

O uso do simulador também se alinha às olimpíadas de foguetes. Ao adotar parâmetros semelhantes aos da olimpíada como configuração estrutural, dimensões e critérios de desempenho, os estudantes percebem sentido no trabalho e se aproximam de práticas reconhecidas nacionalmente. Essa conexão contribui para elevar o engajamento e o interesse pela aprendizagem, conforme já apontado em pesquisas que relacionam olimpíadas científicas à melhoria do desempenho acadêmico e ao desenvolvimento de atitudes positivas em relação às Ciências (Santos; Oliveira; Prado, 2020).

A proposta de Ensino foi estruturada a partir de um conjunto de Atividades Investigativas (AI). A esse conjunto de aulas organizadas, coerentes e integradas para trabalhar uma determinada temática, a professora Anna Maria Pessoa de Carvalho (2013) chamou de Sequência de Ensino Investigativa (SEI). Para Carvalho (2013) uma SEI é organizada em etapas, que ajudam o estudante a construir o conhecimento de forma ativa, participativa e reflexiva. Cada etapa tem um papel importante no processo de aprendizagem. O quadro a seguir apresenta a caracterização de cada etapa que deve compor uma SEI.

[1] *OpenRocket* – é um *software* gratuito de código aberto para projetar, simular e analisar voos de foguetes modelo, permitindo que entusiastas e estudantes calculem a estabilidade, trajetória, apogeu e outros parâmetros de voo antes da construção física, sendo amplamente utilizado em olimpíadas científicas como a MOBFOG no Brasil para modelagem virtual. Ele ajuda a determinar pontos cruciais como o Centro de Gravidade (CG) e o Centro de Pressão (CP) para garantir a segurança e o sucesso do lançamento, economizando tempo e recursos.

Quadro 1 – Etapas da Sequência de Ensino Investigativa (SEI)

Etapa	Caracterização
1. Apresentação do problema ou situação desafiadora	Apresentação de um problema, pergunta ou desafio que desperte a curiosidade e o envolvimento dos estudantes. A situação deve possibilitar diferentes possibilidades de resposta e favorecer a reflexão e o levantamento de hipóteses.
2. Levantamento de hipóteses e planejamento da investigação	Compartilhamento das ideias iniciais, formulação de hipóteses e discussão sobre possíveis caminhos para investigar o problema. O professor atua como mediador, realizando questionamentos e organizando o raciocínio dos estudantes.
3. Investigação, experimentação ou resolução do problema	Agora é hora de testar as hipóteses. Os estudantes colocam suas ideias em prática por meio de experimentos, simulações, cálculos, pesquisas, uso de softwares ou outras atividades investigativas. Durante essa etapa, os estudantes analisam resultados, comparam dados, discutem erros e acertos e ajustam suas estratégias quando necessário.
4. Sistematização e aprofundamento do conhecimento	Após a investigação, acontece um momento de organização das ideias. Com a mediação do professor, os estudantes relacionam os resultados obtidos aos conceitos científicos ou matemáticos envolvidos. É nessa etapa que o conhecimento é estruturado, ganhando sentido e clareza, conectando a investigação realizada com os conteúdos estudados.
5. Contextualização, aplicação e avaliação	Os estudantes são convidados a aplicar o que aprenderam em novas situações, relacionando o conhecimento com o cotidiano, com questões sociais, tecnológicas ou científicas. Essa etapa também permite avaliar o aprendizado, refletir sobre o processo investigativo e compreender como o conhecimento construído pode ser usado em outros contextos

Fonte: Elaborado pelos autores, a partir de Carvalho (2013).

Como podemos verificar, o professor organiza atividades e problemas que partem do que estudantes já sabem sobre o tema para construir novos saberes de forma autônoma, focando na exploração, manipulação de materiais, discussão e sistematização, transformando o conhecimento espontâneo em científico através de um ambiente de curiosidade e investigação em sala de aula, sem o objetivo de formar cientistas, mas sim cidadãos com pensamento crítico

Diante desse cenário, surge a seguinte questão-problema, que orienta a pesquisa: De que forma uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), estruturada a partir da "Missão Apogeu Máximo" com o uso do simulador *OpenRocket*, pode favorecer a construção de saberes nas disciplinas de Física e Matemática por estudantes do Ensino Médio? Essa pergunta leva ao objetivo geral do estudo, que consiste em "Analisar o potencial de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI) mediada pelo simulador *OpenRocket* para promover a construção de conhecimento no ensino de Física e Matemática". A investigação buscará, ainda, identificar evidências de raciocínio investigativo, compreender como os estudantes utilizam os conceitos dessas áreas de forma articulada para resolver a situação-problema e analisar os critérios adotados no design final do foguete simulado.

Metodologia

A pesquisa caracteriza-se quanto a abordagem, como pesquisa qualitativa, a qual buscou-se compreender os processos vivenciados pelos participantes e os significados atribuídos às atividades (Lüdke e André, 2018). Quanto ao tipo de pesquisa, este estudo caracteriza-se como uma pesquisa de intervenção pedagógica. De acordo com Damiani et al. (2013), pesquisas dessa natureza distinguem-se pela implementação intencional de interferências em processos educativos, visando promover melhorias nas práticas pedagógicas e produzir conhecimentos acerca dos efeitos dessas intervenções.

Foi elaborada uma intervenção pedagógica, desenvolvida em quatro encontros. A investigação foi realizada com grupo voluntário de estudantes que tinham interesse em participar de olímpiadas de foguetes. Estes alunos cursavam a primeira série do curso técnico em Edificações integrado ao ensino médio de uma escola da rede pública federal na cidade de Trindade – GO, cidade da região metropolitana de Goiânia.

Para a coleta de dados foram utilizados diferentes instrumentos de acompanhamento: observação, diário de bordo, entrevista, questionário e registros das versões dos foguetes. Essa triangulação permitiu confrontar percepções, respostas e comportamentos observados durante a atividade. A análise de dados, foi empregada a triangulação como técnica central da pesquisa. Conforme Flick (2009), a triangulação consiste em confrontar e integrar informações provenientes de diferentes instrumentos e fontes neste estudo, entrevistas, questionário final, observações e registros permitindo validar os dados e oferecer uma visão mais ampla e robusta do fenômeno estudado. Essa estratégia ajuda a assegurar a confiabilidade e a validade da investigação.

A temática foi escolhida por integrar tecnologia digital (simulador), experimentação científica e resolução de problemas reais, favorecendo a aprendizagem ativa e relacionando o conteúdo escolar ao interesse dos estudantes. O tema também permite explorar conceitos fundamentais de Física e Matemática em um cenário prático e motivador, contribuindo para o desenvolvimento de competências investigativas, analíticas e colaborativas, bem como para a construção do conhecimento científico de forma criativa.

A SEI, discute o uso do *OpenRocket* de forma interdisciplinar em Física e Matemática sob a perspectiva investigativa foi elaborada com o objetivo de contribuir para a produção de materiais didáticos, que possam ser utilizados por professores/pesquisadores da educação básica interessados em integrar tecnologias digitais, investigação e conteúdos de Física e

Matemática. Entretanto, este material pode ser adaptado para aulas regulares, projetos interdisciplinares, oficinas, preparação para olimpíadas científicas e atividades de iniciação científica na educação básica, no ensino superior, na formação de professores, especialmente na área de Física e Matemática. A SEI pode ser adaptada

A SEI foi organizada originalmente para uma intervenção pedagógica distribuída em quatro encontros, devido às limitações do calendário escolar (ver Quadro 2). A estrutura contempla problematização, levantamento e teste de hipóteses, sistematização de conhecimentos, contextualização, aprofundamento conceitual e avaliação. A proposta considera o estudante como sujeito ativo da investigação e o professor como mediador, em consonância com Carvalho (2013).

Quadro 2 – Síntese da organização do produto educacional

Encontro	Foco investigativo	Principais conceitos	Produção dos estudantes
1	Problematização e exploração do *OpenRocket*	Apogeu, massa, arrasto, estabilidade	Hipóteses iniciais e familiarização com o simulador
2	Construção e teste da versão 1	CG, CP, estabilidade e geometria	Projeto V1, dados e gráficos
3	Sistematização e otimização	Forças, proporcionalidade e gráficos	Análise comparativa e versão otimizada
4	Contextualização e avaliação	Apogeu, trajetória e Segunda Lei de Newton	Avaliação, discussão e reflexão sobre o processo

Fonte: elaborado pelos autores, a partir da organização da SEI.

No primeiro encontro, a situação-problema foi apresentada e os estudantes foram convidados a levantar conhecimentos prévios e hipóteses. A exploração livre da interface do *OpenRocket* permitiu reconhecer componentes do foguete e variáveis de desempenho. No segundo encontro, os estudantes construíram a primeira versão virtual e registraram os resultados da simulação. Questões sobre centro de gravidade, centro de pressão, número e formato das aletas e relação entre massa e apogeu orientaram a investigação.

No terceiro encontro, os dados da primeira versão foram retomados para a sistematização dos conceitos de Física e Matemática. Os estudantes analisaram gráficos, compararam variáveis e construíram uma nova versão do foguete. A atividade procurou favorecer a passagem da ação manipulativa para a reflexão conceitual, aspecto central da SEI. A leitura dos resultados das simulações foi utilizada como evidência para justificar as modificações realizadas.

No quarto encontro, foram desenvolvidas atividades de contextualização, aprofundamento e avaliação. A comparação entre as versões permitiu discutir os efeitos das alterações no design. A avaliação também tornou visíveis dificuldades que não haviam sido

superadas, sobretudo em relação à Segunda Lei de Newton. A limitação do calendário impediu a realização do relatório investigativo final inicialmente previsto; por isso, o produto foi posteriormente reorganizado de modo a recomendar uma etapa específica de sistematização e registro final.

Resultados e discussões

A análise dos dados produzidos durante a intervenção indica que a utilização de uma situação-problema relacionada à construção e otimização de foguetes favoreceu o envolvimento dos estudantes e possibilitou a mobilização de conhecimentos prévios de Física e Matemática. O desafio de alcançar o maior apogeu possível, mantendo as condições estabelecidas pela Olimpíada Brasileira de Foguetes (OBA, 2021). Criou-se assim uma situação na qual os estudantes precisaram formular hipóteses, realizar modificações, testar alternativas e interpretar os resultados obtidos.

No início da intervenção, os estudantes apresentaram diferentes explicações sobre os fatores que poderiam interferir na altura alcançada pelo foguete. As discussões permitiram identificar conhecimentos prévios relacionados à massa, à aerodinâmica e à estabilidade. A situação-problema, portanto, não foi utilizada apenas como introdução ao conteúdo, mas como elemento organizador das atividades investigativas.

Esse aspecto é importante porque, na perspectiva do Ensino por Investigação, o problema deve possibilitar que os estudantes mobilizem seus conhecimentos e construam hipóteses antes da sistematização formal dos conceitos. Durante a intervenção, essa dinâmica foi favorecida pelo fato de que o *OpenRocket* permitia testar as hipóteses e observar suas consequências. Em vez de concentrar a atividade apenas na obtenção de uma resposta final, passaram a testar alterações, observar resultados e discutir possíveis relações entre as variáveis. Esse movimento é coerente com a perspectiva investigativa de Carvalho (2013), na qual hipóteses, erros, testes e argumentações integram o processo de construção do conhecimento.

A construção da primeira versão do foguete evidenciou que os estudantes precisavam considerar simultaneamente diferentes variáveis. A alteração de determinada característica poderia produzir efeitos positivos em um aspecto do projeto e negativos em outro. Essa percepção apareceu de maneira significativa nas falas dos estudantes.

E1, por exemplo, relatou dificuldade em alcançar a estabilidade desejada: *"Eu só fiquei com dificuldade mesmo em encontrar a estabilidade que ela tava ficando bem menor que 1,5 [...] se aumenta uma coisa aí diminui outra"*. A fala demonstra que o estudante passou a

perceber o projeto como um sistema no qual as variáveis estão relacionadas.

De modo semelhante, E2 destacou que a busca por maior altura poderia comprometer a estabilidade do foguete. Essa percepção indica uma mudança importante em relação a uma compreensão mais simples do problema, na qual bastaria aumentar uma determinada característica para melhorar o desempenho.

A construção da segunda versão do foguete representou um momento importante da intervenção porque permitiu verificar se os estudantes utilizavam as informações obtidas na primeira simulação para modificar suas estratégias.

O processo não foi linear. Os estudantes encontraram situações nas quais uma alteração produzia um resultado diferente daquele inicialmente esperado. Essas situações exigiram novas tentativas e contribuíram para a percepção de que a investigação envolve também erros, reformulações e revisão das hipóteses.

A passagem da versão 1 para a versão 2 constituiu, portanto, um momento de retomada das evidências produzidas. Os estudantes puderam comparar os resultados e discutir quais alterações poderiam contribuir para melhorar o desempenho.

Esse movimento reforça o caráter investigativo da proposta, pois o conhecimento foi construído a partir da relação entre ação e reflexão. Os estudantes não apenas produziram um foguete; precisaram analisar o comportamento do modelo e utilizar as informações produzidas para aperfeiçoá-lo. Essa possibilidade de testar diferentes configurações no *OpenRocket* contribuiu para esse processo. Em vez de depender exclusivamente de cálculos prévios ou de uma única tentativa experimental, os estudantes puderam modificar o projeto, executar a simulação e observar imediatamente as consequências das alterações.

Essa característica do simulador favoreceu um ciclo investigativo constituído por *modificar* → *simular* → *observar* → *comparar* → *decidir*. O software, portanto, assumiu uma função de mediação entre as hipóteses formuladas pelos estudantes e as evidências produzidas durante a investigação.

Esse aspecto pode ser observado na fala de E2:

“Quando o software nos apresentou uma estabilidade abaixo do esperado, modificamos a aleta para que obtivéssemos um resultado melhor.”

A fala evidencia que a alteração do projeto foi realizada a partir de uma informação obtida na simulação. O estudante não apenas modificou o foguete, mas utilizou o resultado produzido pelo software como elemento para justificar sua decisão. Nesse sentido, o *OpenRocket* mostrou potencial para favorecer uma postura investigativa, uma vez que os

estudantes puderam utilizar os resultados para avaliar suas próprias hipóteses. A experimentação virtual, contudo, mostrou-se mais produtiva quando associada à mediação docente e às discussões coletivas, pois foi nesse processo que os resultados das simulações passaram a ser relacionados aos conceitos científicos.

Entre os resultados mais consistentes da intervenção estão aqueles relacionados à estabilidade aerodinâmica, ao centro de gravidade e ao centro de pressão. Os resultados do questionário indicaram 100% de acerto nas questões relacionadas à relação entre CG e CP. As entrevistas também apresentaram evidências de que os estudantes compreenderam que a distribuição das massas e a posição dos componentes do foguete interferiam em sua estabilidade.

Durante a construção das versões, os estudantes perceberam que modificações na geometria e nas aletas produziam alterações nos resultados apresentados pelo software. Dessa maneira, conceitos que poderiam ser apresentados de maneira abstrata passaram a ser discutidos a partir de uma situação concreta de projeto.

A compreensão desses conceitos também esteve relacionada à necessidade de alcançar simultaneamente duas condições: estabilidade e maior apogeu. Os estudantes perceberam que não bastava produzir um foguete que alcançasse uma determinada altura; era necessário considerar sua estabilidade durante o voo. Esse resultado sugere que o contexto do foguete contribuiu para atribuir significado aos conceitos físicos. O CG e o CP deixaram de ser apenas elementos apresentados em uma representação esquemática e passaram a ser variáveis que precisavam ser consideradas na tomada de decisões. Também avançaram na leitura de gráficos, reconhecendo o apogeu como ponto de altura máxima e utilizando dados numéricos para justificar decisões de projeto.

Na Matemática, a atividade favoreceu a interpretação de gráficos e o uso de relações de proporcionalidade para analisar massa, estabilidade e desempenho. O *OpenRocket* oferece um ambiente rico para a leitura dos dados do *software* como gráficos e alertas de instabilidade para tomar decisões de design. Trata-se de uma leitura não simplesmente textual, mas crítica dos dados e do modelo físico. A simulação transforma os conhecimentos abstratos da Matemática em uma ferramenta prática e necessária para resolver um problema concreto como “projetar um foguete estável e eficiente”. Vejamos o gráfico do E1 da Versão 1 e 2, que em encontro posterior foram comparados:

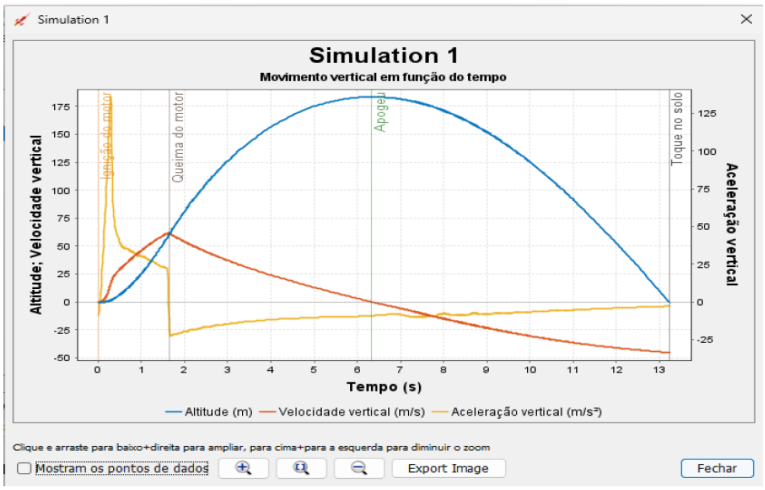


Figura 1: Print na planilha de registro da atividade investigativa dos alunos
Fonte: material produzido por estudante, Versão 1 do E1

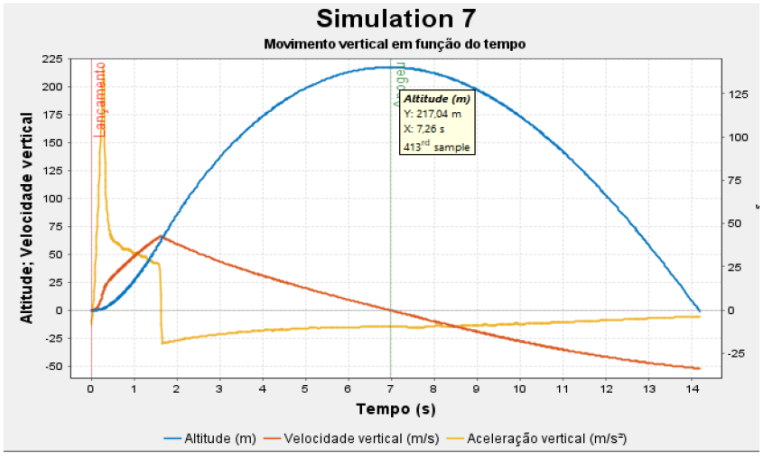


Figura 2: Print na planilha de registro da atividade investigativa dos alunos
Fonte: material produzido por estudante, Versão 2 do E1

O *OpenRocket* contribuiu para atribuir significado físico às representações gráficas e numéricas, aproximando conceitos abstratos de uma situação concreta de modelagem. Essa característica converge com estudos que apontam potencialidades das simulações para a aprendizagem de Matemática e Física (Igreja; Camargos, 2022; Jaime; Leonel, 2024).

Por outro lado, permaneceram dificuldades relacionadas à Segunda Lei de Newton. Parte dos estudantes não consolidou a relação entre força resultante, massa e aceleração quando a força é mantida constante. Esse resultado é pedagogicamente relevante porque revela que a manipulação bem-sucedida do simulador não garante, por si só, a formalização conceitual. A experiência indica a necessidade de uma etapa final de sistematização da Mecânica Clássica, com retomada explícita das relações matemáticas e físicas observadas durante as simulações.

As observações realizadas durante a intervenção e as entrevistas indicaram

envolvimento dos estudantes nas atividades. O caráter interativo do simulador foi apontado como um dos elementos que contribuíram para o interesse.

E1 classificou a experiência como *"super divertida"* e *"muito legal"*, destacando especialmente a possibilidade de visualizar o foguete em três dimensões e realizar modificações em seus componentes.

O estudante também demonstrou interesse em continuar utilizando o software fora da atividade desenvolvida, indicando que a experiência ultrapassou o cumprimento imediato da tarefa proposta. Entretanto, embora essas manifestações sejam indicativas de engajamento, é importante não confundir interesse com aprendizagem. O que os dados permitem afirmar é que o ambiente de simulação favoreceu condições de participação, exploração e interação com o objeto de estudo. A aprendizagem conceitual, por sua vez, apresentou resultados diferenciados entre os conteúdos investigados.

O protagonismo também esteve presente na tomada de decisões. Os estudantes não receberam uma configuração pronta para o foguete. Eles precisaram decidir quais alterações realizar, testar suas escolhas e avaliar os resultados. Esse aspecto diferencia a atividade de uma simples demonstração do funcionamento do software. O *OpenRocket* foi utilizado dentro de uma situação na qual os estudantes tinham responsabilidade pelas decisões de projeto. O resultado reforça que o valor pedagógico do simulador depende da mediação docente: é a articulação entre problema, questionamentos, dados, discussão e sistematização que transforma a simulação em experiência investigativa.

Apesar dos resultados observados, a intervenção apresentou limitações que precisam ser consideradas. O número reduzido de participantes, que foi de seis estudantes. Dessa forma, os resultados devem ser compreendidos como evidências produzidas em um contexto específico e não como dados passíveis de generalização para outros grupos. Outra questão identificada refere-se às condições necessárias para reaplicar a proposta. Como o *OpenRocket* foi utilizado como principal ambiente de experimentação, a escola precisa dispor de laboratório de informática ou equipamentos suficientes para que os estudantes possam utilizar o simulador.

Além da infraestrutura, a experiência mostrou que é importante que o professor tenha conhecimento básico do *OpenRocket*. O domínio da ferramenta não significa apenas saber construir o foguete, mas também compreender as informações apresentadas pelo software para que possa realizar intervenções pedagógicas adequadas, questionar os estudantes e auxiliá-los na interpretação dos resultados. Seu papel é mediar a investigação, ajudando os estudantes a compreender o significado dos dados e a relacioná-los aos conceitos científicos e matemáticos.

Considerações finais

A pesquisa permitiu analisar o potencial de uma Sequência de Ensino Investigativa mediada pelo *OpenRocket* para favorecer a construção de conhecimentos de Física e Matemática no Ensino Médio. A partir da situação-problema "Missão Apogeu Máximo", os estudantes foram envolvidos em um processo que articulou problematização, levantamento de hipóteses, experimentação virtual, análise de dados, tomada de decisões e sistematização dos conhecimentos.

Os resultados evidenciaram que a proposta favoreceu a participação ativa dos estudantes e a mobilização de conhecimentos prévios relacionados à massa, estabilidade, aerodinâmica, centro de gravidade, centro de pressão e apogeu. A possibilidade de construir diferentes versões do foguete e simular seu desempenho possibilitou aos estudantes testar hipóteses, comparar resultados e modificar seus projetos a partir das evidências produzidas. Nesse sentido, o *OpenRocket* mostrou-se um recurso relevante para mediar o processo investigativo, especialmente por possibilitar a experimentação virtual e o retorno imediato dos resultados.

Outro aspecto relevante foi a articulação entre conhecimentos de Física e Matemática. A interpretação de gráficos, a análise de dados numéricos e as relações de proporcionalidade foram mobilizadas em uma situação concreta de modelagem e tomada de decisões. Entretanto, os resultados também demonstraram que a utilização do simulador não é suficiente para garantir a aprendizagem conceitual. As dificuldades identificadas na compreensão da Segunda Lei de Newton evidenciam a importância da mediação docente e de momentos específicos de sistematização.

O estudo também evidenciou algumas limitações para a aplicação e reaplicação da SEI. Destaca-se que a proposta demanda uma infraestrutura mínima de laboratório de informática, uma vez que as atividades dependem do acesso aos computadores conectado à internet para fazer o *download* do *OpenRocket*. Essa exigência pode limitar sua implementação em escolas que não disponham de equipamentos em quantidade suficiente ou de condições adequadas para o desenvolvimento simultâneo das atividades pelos estudantes. Soma-se a isso a necessidade de que o professor tenha conhecimentos básicos para utilização e exploração pedagógica do *OpenRocket*, incluindo a construção do modelo virtual, a inserção e alteração de componentes, a execução das simulações e a interpretação dos dados e gráficos produzidos pelo software. Dessa forma, a utilização do produto requer não apenas infraestrutura tecnológica,

mas também familiarização docente com a ferramenta.

A SEI oferece uma proposta aplicável e adaptável a diferentes níveis e contextos escolares, articulando tecnologias digitais, metodologia investigativa e conteúdos curriculares de Física e Matemática. Entretanto, sua implementação deve considerar as condições de infraestrutura da escola e a preparação docente para o uso do simulador. Novas aplicações poderão aprofundar a análise da aprendizagem, ampliar o número de participantes e explorar a integração com outras áreas do conhecimento, mantendo o desafio relacionado aos foguetes como contexto para o desenvolvimento do pensamento científico e matemático.

Termos de uso de Inteligência Artificial Generativa

Neste trabalho foi utilizada a ferramenta de Inteligência Artificial Generativa ChatGPT como apoio à reorganização textual, síntese e adequação do manuscrito às orientações de formatação do evento. A ferramenta não foi utilizada para produzir dados de pesquisa, resultados empíricos, análises dos participantes ou referências que não constassem do material de origem. A responsabilidade pelo conteúdo científico, pela interpretação dos dados, pelas citações e pela versão final do texto permanece com os autores.

Referências

CARVALHO, A. M. P. (org.). **Ensino de Ciências**: unindo a pesquisa e a prática. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

DAMIANI, M. F. et al. Discutindo pesquisas do tipo intervenção pedagógica. **Cadernos de Educação**, FaE/PPGE/UFPel, Pelotas [45] 57 – 67, maio/agosto 2013.

IGREJA, C. L. V. de S.; CAMARGOS, H. S. de. **O uso do simulador PhET para o ensino da Matemática**. Revista Desafios, v. 9, especial, 2022.

JAIME, D. M.; LEONEL, A. **A. Uso de simulações: um estudo sobre potencialidades e desafios apresentados pelas pesquisas da área de ensino de Física.** Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 46, e20230309, 2024.

LÜDKE, M.; ANDRÉ, M. E. D. A. de. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas.** 2. ed. Rio de Janeiro: E.P.U., 2018.

OBA. **Regulamento da 15ª Olimpíada Brasileira de Foguetes (OBAFOG**). 2021.

SANTOS, G. dos; OLIVEIRA, L. C. dos S. de; PRADO, J. W. do. **O papel das olimpíadas científicas na aprendizagem de Ciências e no desenvolvimento de talentos escolares**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v. 13, n. 2, p. 122-140, 2020.