


JOGOS SÉRIOS E SUSTENTABILIDADE: UMA PROPOSTA PARA DIFERENTES NÍVEIS EDUCACIONAIS¹

SERIOUS GAMES AND SUSTAINABILITY: A PROPOSAL FOR DIFFERENT EDUCATIONAL LEVELS

Thamyres Crystine da Costa Abreu*  E-mail: thamyresabreu@pep.ufrj.br

Igor dos Santos Gomes*  E-mail: igorsant.gomes@gmail.com

Tharcisio Cotta Fontainha*  E-mail: fontainha@pep.ufrj.br

Amanda Fernandes Xavier*  E-mail: amandaxavier@pep.ufrj.br

*Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Resumo: A educação básica pública no Brasil enfrenta graves problemas de ensino e aprendizagem que impactam também na formação em nível superior em diferentes áreas do saber. Pesquisas científicas indicam que abordagens inovadoras são essenciais para melhor engajamento dos estudantes e desenvolvimento de competências críticas, colaborativas e sustentáveis alinhadas à Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Este artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um conjunto de jogos sérios físicos voltados ao ensino em diferentes níveis educacionais, articulando conteúdos curriculares a desafios socioambientais. A pesquisa adota o método Design Science Research e ferramentas como cartões de insight e diagrama de afinidades. Como resultado, quatro jogos são concebidos: Fatal Sigma, Desenrolo, Faz a Limpa e EDU. Todos eles são desenvolvidos a partir de modelagem paramétrica e impressão 3D, passando por testes em laboratórios universitários e escolas públicas de educação básica. A avaliação dos jogos reforça o potencial dos jogos sérios no engajamento dos estudantes, aplicabilidade pedagógica e contribuição para o aprendizado significativo, especialmente no desenvolvimento de competências matemáticas, espaciais, socioambientais e críticas. Pesquisas futuras devem ampliar a aplicação dos jogos e aprofundar a análise de seus impactos educacionais em diferentes contextos de ensino.

Palavras-chave: Jogos sérios. Metodologias ativas. Impressão 3D. Modelagem paramétrica.

Abstract: Public basic education in Brazil faces serious teaching and learning problems that also affect higher education in different fields of knowledge. In this context, scientific research indicates that innovative teaching approaches are essential to promote student engagement and to support the development of critical, collaborative and sustainable competencies aligned with Education for Sustainable Development (ESD) and the Sustainable Development Goals (SDGs). This article aims to present the development of a set of physical serious games designed for teaching at different educational levels, articulating curriculum content with socio-environmental challenges. The research adopts the Design Science Research method and tools such as insight cards and affinity diagrams. As a result, four games are conceived: Fatal Sigma, Desenrolo, Faz a Limpa and EDU. All of them are developed through parametric modeling and 3D printing, and are tested in laboratories and public schools with students from basic and higher education. The games evaluation provides evidence that reinforces the potential of serious games for student engagement, pedagogical applicability and

¹ Trabalho aprovado no 45º Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), que ocorreu de 14 a 17 de outubro de 2025 em Natal, RN.

contribution to meaningful learning, especially in the development of mathematical, spatial, socio-environmental and critical competencies. Future research should broaden the games application and deepen the analysis of their educational impacts in different teaching contexts.

Keywords: Serious games. Active learning methodologies. 3D printing. Parametric modeling.

1 INTRODUÇÃO

A educação básica pública no Brasil enfrenta dificuldades persistentes que comprometem tanto o desempenho escolar quanto a formação integral dos estudantes (Hass e Silva, 2025). Como exemplo, dados da edição mais recente do Programa Internacional de Avaliação de Estudantes (PISA) indicam que o desempenho nacional de discentes de 15 anos ficou abaixo do esperado nas principais áreas avaliadas, com apenas cerca de 27% dos estudantes alcançando o nível básico de proficiência em matemática; aproximadamente 50% atingindo o mínimo estabelecido em leitura e 45% com nível considerado adequado em ciências (INEP, 2023). Tais dificuldades observadas na educação básica têm refletido nos resultados na formação no ensino superior. Por exemplo, a taxa de reprovação em Cálculo Diferencial Integral I (CDI1) em 2023, na disciplina do ciclo básico dos cursos de graduação em engenharia e outras ciências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), atingiu 70% (Sengerj 2024). Diante desse contexto, pesquisas científicas apontam a necessidade de implementar metodologias capazes de transformar positivamente o ensino público, favorecendo a compreensão conceitual e a motivação dos estudantes (Costa *et al.*, 2025).

Além desses desafios, a UNESCO (2017) destaca a educação como meio essencial para alcançar o desenvolvimento sustentável, por formar indivíduos capazes de agir de maneira crítica e responsável. Segundo a UNESCO (2023), a Educação para o Desenvolvimento Sustentável (EDS) é um processo que desenvolve conhecimentos, habilidades, valores e atitudes para escolhas responsáveis que beneficiem o meio ambiente, a economia e a sociedade, sendo assumida como eixo estratégico para promover pensamento crítico, colaboração e consciência ética (UNESCO, 2017; 2023). Essa perspectiva é também reforçada nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), propostos em 2015 como uma agenda global

que inclui mudanças estruturais nos sistemas educacionais (ONU, 2015). As pesquisas científicas também apontam há algum tempo que as transformações socioambientais contemporâneas, como as mudanças climáticas, a perda de biodiversidade e a crise dos recursos naturais, impõem problemáticas cada vez mais complexas quanto ao desenvolvimento humano sustentável (Pereira, 2023). No entanto, essa perspectiva educacional sobre desenvolvimento sustentável acaba sendo tratada com menor relevância no contexto brasileiro, com formação de profissionais historicamente centrada em abordagens técnico-produtivistas, com baixa absorção de conteúdos de aspectos socioecológicos (Alamino e Nunes, 2023). De fato, muitas instituições de ensino superior ainda encontram dificuldades para implementar a EDS de maneira robusta, devido à rigidez curricular e à falta de formação docente adequada (UNESCO, 2023; Cardiff; Polczynska; Brown, 2024).

Todo esse contexto sobre a educação básica brasileira e o conceito de EDS reforçam perspectivas científicas sobre metodologias ativas e jogos sérios (JS) como alternativas para estimular o engajamento e favorecer o desenvolvimento de competências educacionais tradicionais e também sobre sustentabilidade (Novaes *et al.*, 2023; Georges e Araújo, 2023; Bertozzi *et al.*, 2024; Cole *et al.*, 2024). Entre essas abordagens, os jogos físicos chamam atenção por seu estímulo à interação social e independência de recursos tecnológicos, apresentando potencial formativo significativo em diferentes níveis educacionais (Uzeda *et al.*, 2024; Abreu, 2023).

A compreensão dos elementos fundamentais dos jogos é essencial para sua aplicação efetiva em contextos educacionais. A Tétrade Elementar de Schell (2008) organiza esses elementos em quatro dimensões (estética, mecânica, história e tecnologia) que estruturam a experiência de jogo. Nesse mesmo sentido, os JS funcionam como sistemas nos quais os jogadores interagem em conflitos simulados organizados por regras definidas, resultando em desfechos observáveis e avaliáveis (Salen e Zimmerman, 2004). Como destaca McGonigal (2011), esses sistemas têm forte potencial educativo ao incorporarem metas claras, regras transparentes, feedback contínuo e participação voluntária, fatores que aumentam o engajamento e a motivação dos participantes.

Assim, o presente artigo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de um conjunto de JS físicos voltados ao ensino em diferentes níveis educacionais,

destacando sua contribuição para o desenvolvimento de competências críticas, colaborativas, socioemocionais e sustentáveis. Esse objetivo é alcançado através da adoção do método de *Design Science Research* (DSR), que é considerado adequado para o desenvolvimento de soluções para problemas complexos e multidisciplinares, amplamente utilizado em pesquisas recentes na área de Engenharia de Produção (Bagni *et al.*, 2025; Gauss *et al.*, 2025). Como resultado, os jogos propostos a partir do método de DSR buscam articular conteúdos curriculares a desafios socioambientais, favorecendo o engajamento dos estudantes e a construção de aprendizagens significativas em contextos formais de ensino.

O artigo está organizado em quatro seções principais. A primeira seção apresenta o contexto geral da pesquisa, destacando a relevância e conceitos relacionados à EDS, o papel dos JS no processo de ensino-aprendizagem, metodologias ativas e ao uso de jogos educacionais físicos como recursos didáticos. A segunda seção descreve o método adotado, baseada nos princípios de DSR, que orienta as etapas de concepção, prototipagem e refinamento dos jogos. A terceira seção apresenta o desenvolvimento dos artefatos e os resultados dos testes realizados em diferentes contextos educacionais, incluindo escolas públicas e ambientes de laboratório. Por fim, a quarta seção apresenta as contribuições do estudo, suas limitações e possíveis desdobramentos para pesquisas futuras.

2 MÉTODO DE PESQUISA

Conforme indicado na seção de Introdução, o presente artigo adota o método de DSR, entendido como um processo de criação e validação de soluções fundamentadas em conhecimento científico (Bagni *et al.*, 2025; Gauss *et al.*, 2025). Na presente pesquisa, o método DSR é utilizado conforme uma estrutura de seis passos propostos por Peffers *et al.* (2007), a saber: (i) identificação do problema; (ii) definição de objetivos; (iii) desenvolvimento do artefato; (iv) demonstração e testes; (v) avaliação; (vi) comunicação dos resultados.

O passo 1 se deu através do EDS Maker, projeto criado no âmbito do Centro Avançado em Sustentabilidade, Ecossistemas Locais e Governança (Casulo) voltado a atendendo demandas em contextos educacionais. Os artefatos desenvolvidos foram

direcionados a atender quatro cenários, dois no ensino básico e dois no ensino superior, onde a identificação das demandas ocorreu por meio de entrevistas, reuniões abertas e observações diretas realizadas entre 2023 e 2024, envolvendo alunos e professores. No ensino básico, a coleta de dados incluiu entrevistas com uma professora e turmas do Colégio Estadual Professor Mendes de Moraes (CEPMM), além de observações do uso da Sala Maker (SM); no ensino superior, foram conduzidas entrevistas e reuniões com estudantes e professores voltadas a entender melhor as dificuldades encontradas na graduação.

No Passo 2, os dados coletados em cada cenário foram organizados em cartões de insight e sintetizados em um diagrama de afinidades, resultando na definição dos objetivos e princípios de design.

O Passo 3 consistiu no desenvolvimento de quatro jogos sérios físicos por meio de oficinas colaborativas, prototipagem em papel, modelagem paramétrica e impressão 3D. O artefato A, realizado como abordagem do primeiro cenário, se deu através da realização de três oficinas com uma professora e dez alunos de engenharia, nas quais foram definidas a história, as mecânicas e os primeiros componentes, com apoio de modelagem paramétrica, impressão 3D e protótipos em papel. Para o segundo cenário foi desenvolvido o artefato B, entre janeiro e março de 2024, sendo uma experiência cooperativa e competitiva com base em Pré-Cálculo e Cálculo, utilizando modelagem paramétrica e impressão em 3D, além de uma identidade visual baseada em cores e ícones para facilitar a compreensão. O artefato para o terceiro cenário consolidou-se como um jogo cooperativo que requer respostas dentro de um tempo limite. Seu desenvolvimento envolveu modelagem e impressão 3D, e o conteúdo das cartas foi elaborado em parceria com a professora colaboradora entre janeiro e março de 2024. Abordando o quarto cenário o artefato D, realizado entre 2022 e 2023, foi modelado no Onshape e impresso em 3D, reunindo tabuleiro, pinos e bases poligonais que funcionam como peças de jogo e modelos didáticos, considerando limitações das SM.

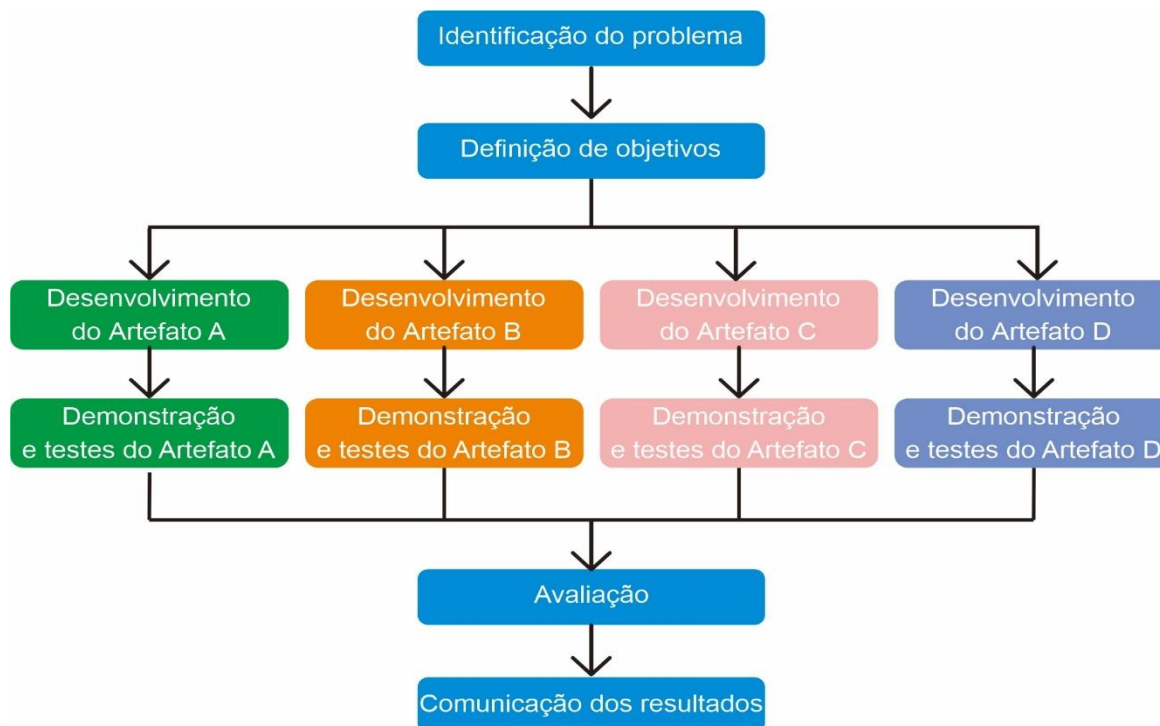
No Passo 4, os artefatos foram demonstrados e testados em escolas públicas e laboratórios, com ajustes iterativos a partir dos feedbacks. Com o artefato A foram realizados cinco testes de setembro de 2024 a setembro de 2025, em laboratório com estudantes de engenharia, uma mestranda e uma professora, permitindo avaliar o

engajamento, a clareza das regras e reunir feedbacks para ajustar mecânicas e componentes. A realização desse passo no artefato B se deu por oito testes, realizados de outubro 2024 a setembro 2025, em laboratório com graduandos de Engenharia, aprovados ou reprovados em CDI1, com grupos de quatro a oito jogadores por teste. As avaliações do artefato C ocorreram de outubro de 2024 a setembro de 2025, através de dez testes: oito em laboratório, com treze participantes, e dois na escola parceira, com seis alunos do Ensino Médio, seguidos de formulário para orientar melhorias no jogo. Já o artefato D foi aplicado em quatro escolas públicas e dez testes de laboratório ao longo de 2023.

O Passo 5 envolveu a avaliação dos jogos por observação e aplicação de instrumentos estruturados, incluindo o modelo MEEGA+ (Petri *et al.*, 2019).

Por fim, no Passo 6, os resultados são comunicados por meio desta publicação, pelo registro de propriedade intelectual dos jogos junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) e na estruturação dos jogos em formatos que apoiem sua adoção por professores e alunos interessados em matemática, ciências e sustentabilidade. Na Figura 1 é representado o fluxo dos passos metodológicos que orientaram este estudo.

Figura 1 – Passo a passo metodológico



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3 DSR

3.1. Identificação do problema e definição de objetivos

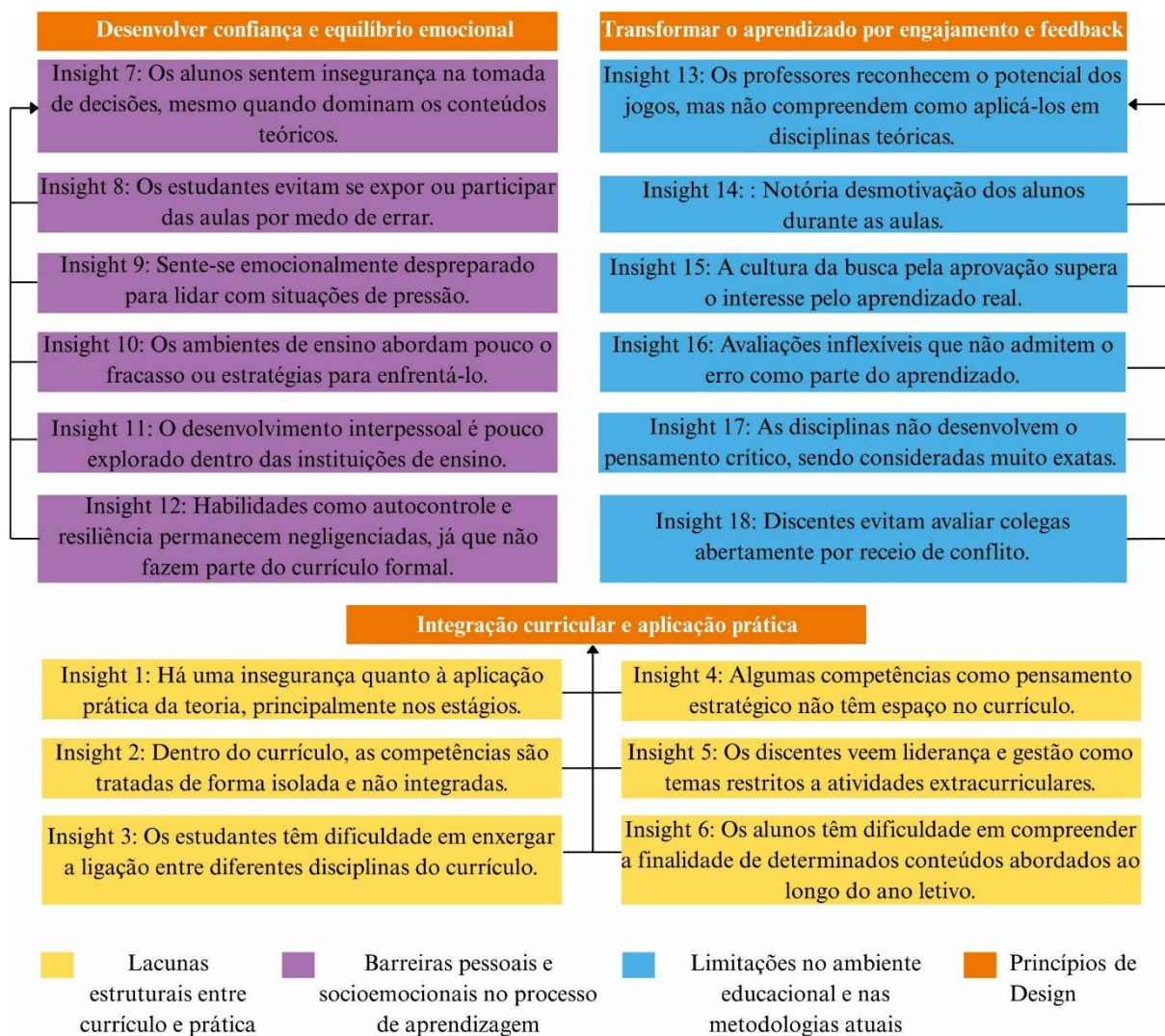
A presente pesquisa surge dentro do EDS.Maker, um projeto de extensão no âmbito do laboratório Casulo, voltado ao desenvolvimento de jogos para atender demandas educativas. Esses desafios são observados no dia a dia no âmbito do ensino do curso de Engenharia de Produção na Universidade federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e estão relacionados, de modo geral, à baixa consolidação de conhecimentos matemáticos e espaciais, à dificuldade de integrar conteúdos curriculares a temáticas socioambientais e à necessidade de estratégias pedagógicas mais engajadoras e ativas.

O cenário do artefato A situou-se sobre a dificuldade de promover a compreensão sistêmica e crítica da sustentabilidade em contextos de formação superior. No cenário B, o foco esteve nas fragilidades conceituais em Pré-Cálculo e Cálculo, refletidas em altos índices de reprovação em turmas de graduação, evidenciando a necessidade de modificar a perspectiva dos alunos inserindo-os num contexto diferente da sala de aula. O cenário C se deu diante ao desafio de implementar, em aulas de reforço escolar do ensino básico, uma abordagem de sustentabilidade de forma interdisciplinar integrando conteúdos de diferentes áreas do conhecimento em uma proposta cooperativa e acessível aos estudantes. O cenário se apresentou diante das dificuldades identificadas no ensino de geometria espacial, modelagem 3D e uso da SM nas escolas públicas estaduais do Rio de Janeiro. Esses quatro cenários evidenciam a necessidade por abordagens complementares para enfrentar desafios educacionais distintos, mantendo, contudo, princípios comuns relacionados ao uso de metodologias ativas, à ludicidade e à integração da sustentabilidade ao currículo.

Essas informações subsidiaram a criação de dezoito cartões de insight, posteriormente organizados em três princípios de design. Os cartões sintetizam desafios recorrentes no contexto educacional, especialmente no que se refere à incorporação de metodologias ativas e ao uso de tecnologias emergentes, como jogos sérios e impressão 3D. A Figura 2 apresenta a organização desses cartões no

diagrama de afinidades, e que sintetizam princípios de design considerados nos próximos passos.

Figura 2 – Diagrama de afinidade



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3.2 Desenvolvimento dos artefatos

Conforme indicado na seção anterior, os cenários A e B direcionam-se majoritariamente ao ensino superior, com ênfase em tomada de decisão, raciocínio matemático e pensamento estratégico, enquanto o C e o D concentram-se no ensino básico, priorizando a interdisciplinaridade, a cooperação e o desenvolvimento de habilidades espaciais e tecnológicas. Essas diferenças refletem não apenas os níveis

de ensino atendidos, mas também a multiplicidade pedagógica que impacta a formação de estudantes no nível básico e que seguem para o ensino superior em Engenharia de Produção, revelando um conjunto de soluções que se articulam para responder, de forma integrada, às lacunas formativas identificadas ao longo da trajetória educacional.

Considerando os diferentes cenários de coleta de dados no passo 1, a equipe decide pelo desenvolvimento de quatro jogos. O primeiro jogo deve abordar o cenário A, voltado à tomada de decisão, ao pensamento estratégico e à reflexão sobre impactos socioambientais. O segundo jogo ao cenário B, sendo um artefato que apoie o aprendizado desses conteúdos por meio de uma dinâmica lúdica e contextualizada modificando a perspectiva dos alunos inserindo-os num contexto diferente da sala de aula. O terceiro deve ser desenvolvido para atender o cenário C, como apoio ao reforço escolar integrando sustentabilidade e conteúdos interdisciplinares cooperativamente. O quarto jogo aborda o cenário D como uma ferramenta didática modular e adaptável, fundamentada em conceitos de modelagem paramétrica e em processos de fabricação digital, de modo a favorecer uma aprendizagem mais concreta e integrada desses conteúdos com o déficit em geometria espacial.

3.2.1 Artefato A – Fatal Sigma

O desenvolvimento do Artefato A incluiu oficinas com alunos e professores realizadas em julho de 2024, nas quais foram elaboradas as mecânicas, a história, as peças e as cartas. O nome Fatal Sigma remete à intensificação progressiva dos desafios, inspirada no conceito de fatorial, representando um sistema evolutivo onde os jogadores buscam restaurar o equilíbrio em um mundo em crise.

O jogo é dividido em duas partes, F-0 e F-1. Inicialmente aplica-se o F-0, projetado para que os jogadores percam, pois ele constrói o cenário para o F-1. A narrativa ocorre em um contexto de crise ambiental e social extrema, marcado por desastres naturais frequentes, desigualdades crescentes e a falta de compromisso global com a sustentabilidade. Com apenas seis anos para evitar o colapso total, o mundo sofre com ondas de calor, secas, enchentes e desmatamento, levando ao caos social e migrações em massa. Diante da urgência, líderes convocam especialistas

para formular ações estratégicas em economia, governança, sociocultural e meio ambiente.

Esse JS expressa esse dilema, exigindo que os jogadores escolham entre enfrentar crises imediatas ou investir no futuro, em um equilíbrio frágil entre curto e longo prazo. O objetivo é montar um território com nove peças de intervenção sustentável e quatro peças de tesouro, além de resolver todos os desastres. O F-0 possui seis rodadas até a destruição completa da Terra ou até que se atinja o limite de vinte e oito tragédias.

O jogo é inicialmente prototipado com peças de papel e, em etapas posteriores, com componentes modelados e impressos em 3D. Esse processo permite a evolução gradual do artefato por meio da fabricação digital, resultando em múltiplas versões sucessivamente refinadas durante os testes de laboratório.

No que tange as peças de papel, tem-se a definição de cinco cartas de personagem, sendo quatro heróis (Figura 3) e um vilão.

Figura 3 – Personagem do tipo herói



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

O vilão (Figura 4) é introduzido apenas na segunda partida, sendo representado pelo herói que acumulou a maior quantidade de recursos na rodada anterior, o que reforça a dinâmica narrativa e estratégica do jogo.

Figura 4 – Personagem Vilão



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Para a contextualização temática do jogo, são elaboradas trinta e cinco cartas de tragédias, trinta e seis cartas de sorte ou azar, sendo dezoito positivas e dezoito negativas, além de dezesseis cartas de nível (Figura 5). As cartas de tragédias são organizadas em categorias ambientais, socioculturais, econômicas e de governança, representando diferentes dimensões da sustentabilidade. As cartas de sorte ou azar simulam eventos inesperados que influenciam o desempenho do jogador enquanto líder, podendo resultar em ganhos ou perdas de recursos conforme as decisões adotadas. Esses elementos contribuem para tornar a dinâmica do jogo mais complexa e próxima de situações reais de gestão socioambiental (Figura 6).

Figura 5 – Desastres e Sorte ou Azar



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

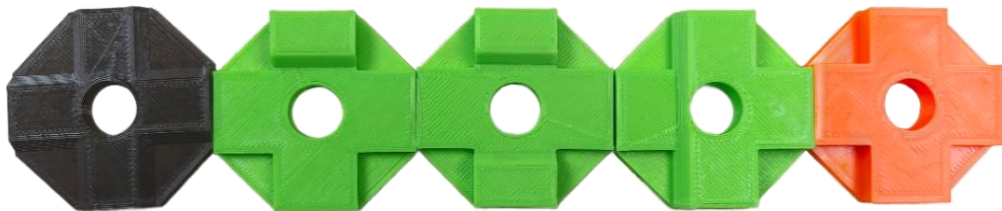
Figura 6 – Carta de nível



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

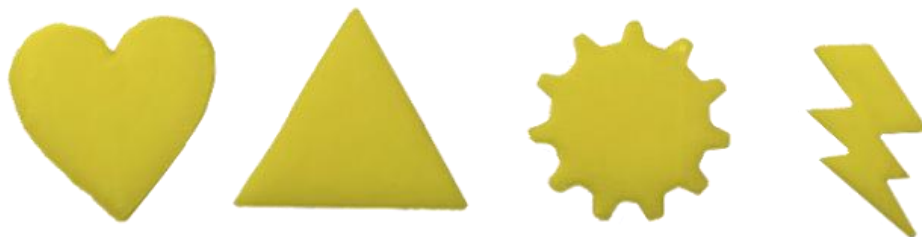
No que tange às peças produzidas em impressora 3D, o jogo conta com quarenta e nove peças de desequilíbrio, quinze peças para cada nível de intervenção sustentável e quinze peças de conhecimento científico, todas produzidas por impressão 3D (Figura 7). O conjunto inclui ainda vinte peças de cada tipo de recurso (Figura 8), também impressas em 3D, e um dado D8 que compõe os elementos do jogo.

Figura 7 – Peça de desequilíbrio, intervenção nível 1, 2 e 3 e conhecimento científico



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Figura 8 – Peça de recurso



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

As peças Tesouro de Água e de Terra (Figura 9) representam recursos distintos, cada um relacionado a um aspecto fundamental da sustentabilidade. A peça

da Água simboliza a gestão e a preservação dos recursos hídricos, enquanto a peça da Terra remete ao cuidado com o solo, à biodiversidade e ao uso responsável dos recursos naturais. No jogo, ambas funcionam como recursos estratégicos para os jogadores e reforçam a dimensão educativa da proposta, estimulando reflexões sobre o valor e a vulnerabilidade desses elementos.

Figura 9 – Tesouro



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3.2.2 Artefato B – Desenrolo

O Artefato B é desenvolvido como um jogo simultaneamente cooperativo e competitivo, no qual os participantes avançam ao responder corretamente cartas com questões de Pré-Cálculo ou Cálculo, elaboradas dentro de um contexto alinhado a desafios relacionados à sustentabilidade. Seu desenvolvimento, que ocorreu entre janeiro e março de 2024, contou com a coparticipação dos alunos, que escolheram o nome do jogo através de uma votação.

O jogo Desenrolo se passa em uma realidade na qual uma grande organização criminosa chamada Luz Verde (LV), formada por pessoas muito influentes e espalhadas pelo mundo, vem lucrando com disseminação de *Fake News* e desastres ambientais muitas vezes causados pela própria organização com objetivo de lucro.

A degradação do planeta pela LV é potencializada devido ao apoio de investidores poderosos e influentes, que estão dispostos a usar todos os métodos necessários para alcançar seus próprios interesses, inclusive passando por cima dos

princípios de sustentabilidade e bem-estar do meio-ambiente. Os desastres causados pela organização são encobertos como causas naturais ou erros acidentais, fazendo com que o público passasse a acreditar em suas mentiras e propagá-las num ciclo de desinformação.

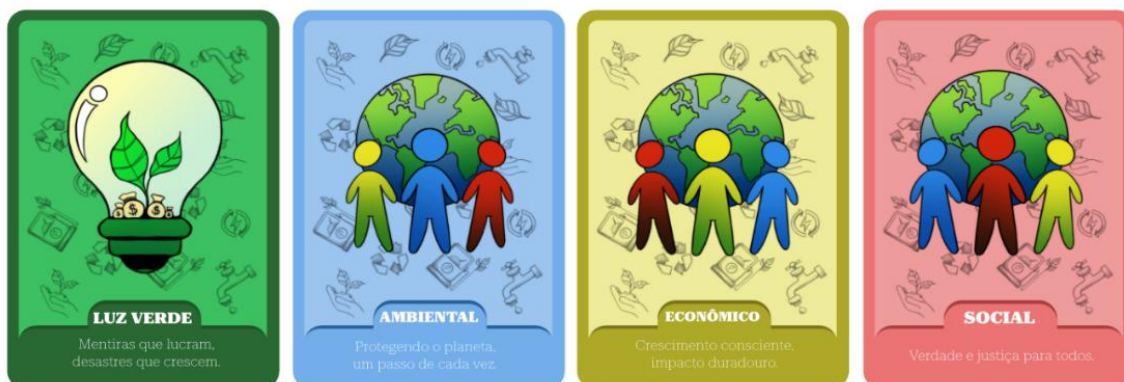
Após a descoberta da farsa da organização LV por um grupo de pessoas, entidades, faculdades e empresas uniram-se para formar um coletivo dedicado a combater a disseminação de informações falsas e a degradação do meio ambiente, defendendo a conservação do planeta e os princípios sustentáveis.

O grupo denominado UMAS (União pelo Meio Ambiente Sustentável) conta com a participação de diferentes especialistas nas áreas necessárias para a solução dessa crise, se dividindo em três braços onde cada um é focado na criação e execução de táticas sustentáveis em suas respectivas áreas. O Braço Social é uma divisão especializada no desenvolvimento de soluções e projetos sociais, buscando justiça social para populações marginalizadas; o Econômico procura desenvolver uma economia que não se baseie na busca incessante e desregulada por lucro, mas sim que concilie os interesses financeiros de grandes empresas e governos com o bem-estar do povo; o Braço Ambiental se especializa em criar políticas que previnam e revertam a degradação ambiental presente no mundo, a partir da conscientização e o combate a práticas desarmoniosas com a natureza. Essas divisões têm como foco a resolução de problemas a partir da implementação da sustentabilidade em diferentes setores da sociedade e da divulgação de informações verdadeiras, combatendo assim a LV.

Considerando a contextualização do jogo, foram desenvolvidas peças em papel e peças a partir da modelagem paramétrica, utilizando o programa *OnShape*, e impressão 3D FDM, ferramentas que possibilitaram a prototipagem rápida mediante às necessidades de aprimoramento do jogo.

No que tange às peças em papel, optou-se pelo desenvolvimento de cartas que fazem a diferenciação dos personagens do jogo através da associação por cores e símbolos. Nos versos das cartas de personagem foram inseridos ícones para cada agente com sua cor característica, facilitando sua distinção (Figura 10).

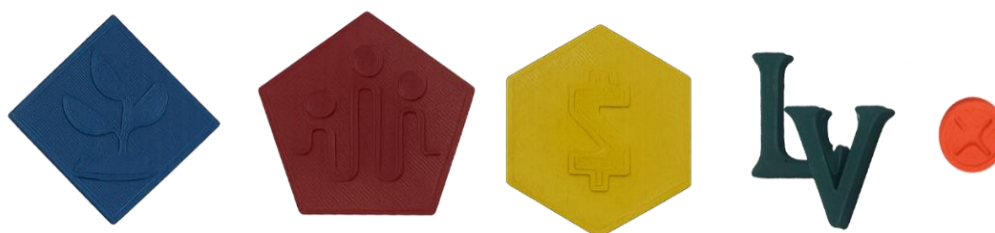
Figura 10 – Cartas de personagem da Luz Verde, Braço Ambiental, Braço Econômico e Braço Social



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

No que tange às peças produzidas em impressora 3D, elas também seguem uma lógica de cores e ícones, com um adicional de formas e geometrias distintas. As peças de intervenção dos Braços da UMAS têm formatos simples de polígonos com lados crescentes, com cada ícone representando sua respectiva função dentro da UMAS (*i.e.*, ambiental, social ou econômico). A peça de sabotagem da LV é simples e menor que as outras, podendo ser colocada sobre as outras peças para representar que a intervenção empregada foi sabotada. A ficha de pular pergunta é menor e de cor diferente das outras peças (Figura 11).

Figura 11 – Peças de intervenção ambiental, social e econômico, peça de sabotagem da LV e peça de pular pergunta



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Cada Braço da UMAS tem um tabuleiro separado, com desenho simples e intuitivo, indicando o posicionamento das peças de intervenções através de um caminho que as liga, representando o caminho para a sustentabilidade (Figura 12).

Figura 12 – Tabuleiros do braço econômico, braço social e braço ambiental



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3.2.3 Artefato C – Faz a Limpa

O Artefato C é desenvolvido no período entre janeiro e março de 2024, contando com interações junto a uma professora e alunos da escola parceira e recebeu, por votação dos estudantes, o nome Faz a Limpa, em referência à temática de sustentabilidade.

O jogo retrata um mundo marcado pelo descaso e pela falta de planejamento urbano, onde três cidades vizinhas enfrentam problemas gerados pelo crescimento desordenado, como aumento da poluição, fragilidade dos serviços essenciais e degradação ambiental. Diante desse cenário, grupos de moradores dessas cidades reconhecem o agravamento da situação decidem buscar soluções.

A busca por soluções leva essas comunidades a formar parcerias com estudantes e pesquisadores universitários, que oferecem apoio técnico e científico para compreender melhor os desafios locais. A partir desse diálogo, passam a definir prioridades e a elaborar estratégias sustentáveis organizadas nos eixos social, tecnológico e ambiental.

As ações precisam ocorrer dentro de um tempo limitado, que é representado pelas rodadas do jogo. Por isso, o Faz a Limpa adota uma dinâmica cooperativa em que o avanço depende do compartilhamento de recursos, de respostas corretas e de escolhas estratégicas. Dessa maneira, os jogadores reduzem os impactos socioambientais alcançam um ambiente mais equilibrado e saudável.

O jogo é composto por três tipos de peças: peças produzidas em impressora 3D, elementos em papel, e um item comercial. As peças tridimensionais foram desenvolvidas por meio de modelagem paramétrica e fabricação FDM.

Para este jogo, as peças de conjunto foram criadas em formato hexagonal, facilitando o encaixe entre elas. As peças-problema foram feitas menores e em formato circular para serem colocadas sobre as peças de conjunto (Figura 13).

Figura 13 – Peças de conjunto e peças-problema



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

O tabuleiro foi desenvolvido como a base estrutural do jogo, servindo para posicionar as peças de marco e permitir o deslocamento dos personagens ao longo da partida (Figura 16).

Figura 14 – Tabuleiro



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Com o objetivo de aproximar os estudantes do tema da sustentabilidade, o jogo incorpora peças e cartas de marcos que apresentam projetos universitários, evidenciando a contribuição da universidade pública na proposição de soluções para desafios socioambientais (Figura 15 e 16).

Figura 15 – Peças de marcos



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Figura 16 – Carta marco.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Foram desenvolvidos nove personagens para o jogo, cada um com poderes especiais e representando graduandos de diferentes áreas do conhecimento. Essa inserção ampliou a dinamicidade da partida e introduziu novos níveis de risco, uma

vez que cada personagem possui vantagens e desvantagens específicas em sua jogabilidade (Figura 17).

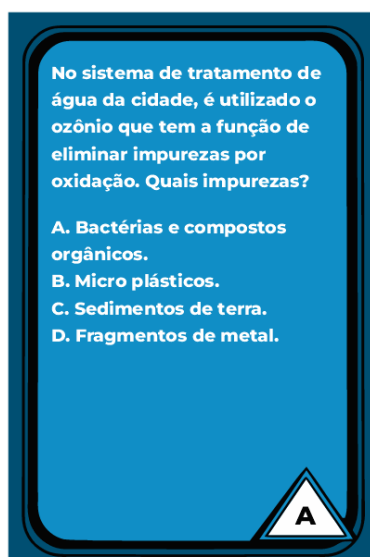
Figura 17 – Nove personagens, cada um com uma ficha de habilidades



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

As cartas de perguntas (Figura 18) foram desenvolvidas para se ajustar às demandas dos professores do ensino básico. O layout posiciona a resposta no canto inferior direito, permitindo que seja ocultada com o dedo enquanto a carta for virada discretamente para outro grupo quando houver dificuldade de leitura. Essa configuração torna o uso mais confortável para alunos tímidos e garante que a resposta só seja revelada após a tentativa de resposta.

Figura 18 – Carta de pergunta



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

A ampulheta (Figura 19), item comercial, foi implementada no jogo como ferramenta para acelerar a tomada de decisão dos jogadores, deixando o jogo mais dinâmico e desafiador. Para consolidar esse mecanismo foi desenvolvido um sistema de bonificação onde, ao acertar a questão antes do período de 1 de minuto marcado pela ampulheta, o jogador pode executar uma ação a mais na rodada.

Figura 19 – Ampulheta



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3.2.4 Artefato D – EDU

O Artefato D foi desenvolvido entre 2022 e 2023 com o objetivo de articular conteúdos de geometria espacial e práticas de manufatura aditiva em ambientes maker de escolas públicas, contando com o acompanhamento contínuo de uma professora parceira para garantir a adequação didática dessa experiência lúdica.

O jogo conta com três tipos de peças, elementos produzidos em impressora 3D, componentes em papel e dois elementos adquiridos comercialmente. As partes tridimensionais foram desenvolvidas por meio de modelagem paramétrica e fabricação FDM. No caso do jogo EDU, o uso do software Onshape possibilitou a criação de sólidos geométricos que favorecem a visualização e a compreensão dos conteúdos abordados.

Todas as peças foram projetadas para atuar simultaneamente como componentes do jogo e como modelos didáticos. O tabuleiro explora ângulos e relações espaciais; os pinos representam pirâmides regulares; e as bases incorporam polígonos regulares inscritos, formando um conjunto alinhado aos objetivos

pedagógicos. Além disso, o projeto considerou as limitações estruturais e tecnológicas das Salas Maker de escolas públicas, priorizando baixo custo, facilidade de reprodução e democratização do acesso à tecnologia.

O conjunto final do EDU reúne peças modeladas parametricamente e produzidas por impressão 3D, cada uma com função pedagógica específica, permitindo que os alunos compreendam conceitos geométricos por meio da manipulação física dos objetos (Figura 20).

Figura 20– Jogo EDU



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

As bases foram concebidas como discos com polígonos regulares inscritos (triângulo, quadrado, pentágono e hexágono) para introduzir conceitos de geometria plana e sua relação com sólidos tridimensionais (Figura 21). Cada base possui furos dimensionados segundo parâmetros de tolerância adequados à impressão 3D FDM, permitindo discussões sobre ajustes, encaixes, folgas e precisão dimensional.

Figura 21 – Base dos jogadores



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Os pinos possuem uma base cilíndrica e um topo em forma de pirâmide regular, permitindo relacionar representação plana das bases, com a representação tridimensional das pirâmides dos pinos (Figura 22).

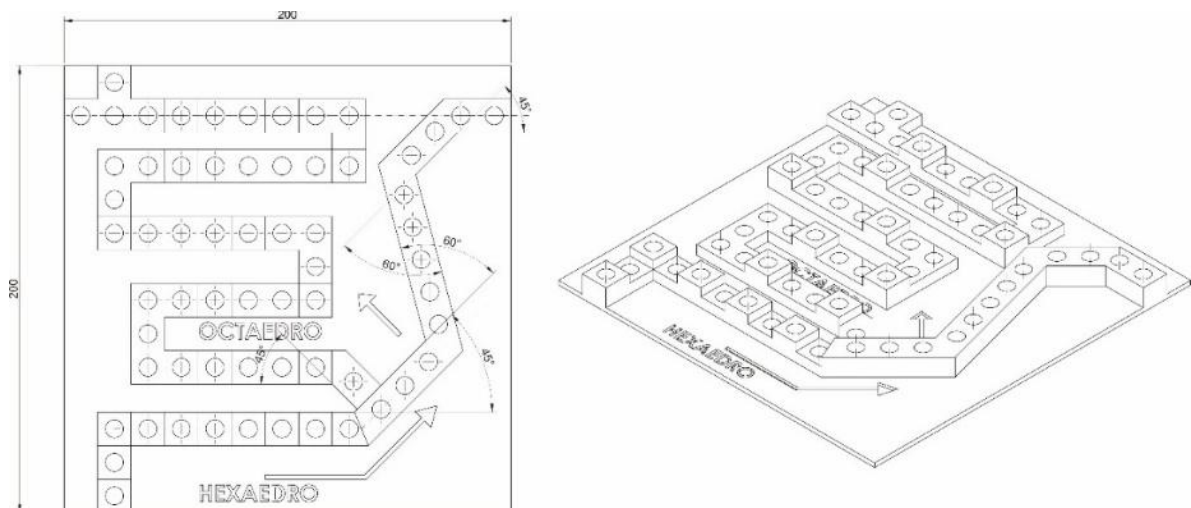
Figura 22 – Pinos



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

O tabuleiro (200 × 200 × 25 mm) foi projetado com dois caminhos diferentes, cada um relacionado a um tipo de dado (hexaedro e octaedro), introduzindo conceitos de sólidos platônicos e ângulos geométricos (45°, 90°, 120° e 135°) (Figura 23). Ele possui furos extrudados com espaçamentos padrão que permitem encaixe modular com outros tabuleiros, exemplificando conceitos de alinhamento, paralelismo e precisão geométrica.

Figura 23 – Tabuleiro



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

As cartas do jogo reúnem perguntas de Física, Química e Biologia em situações-problema que tornam a dinâmica mais ativa e favorecem a revisão dos conteúdos de forma acessível e lúdica (Figura 24).

Figura 24 – Carta questão



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

O jogo utiliza dois tipos de dados, que foram adquiridos comercialmente, sendo um D6 (hexaedro) e um D8 (octaedro), permitindo relacionar conceitos de geometria espacial a objetos tangíveis, favorecendo o ensino visual dos sólidos de Platão (Figura 25).

Figura 25 – Dados



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Além de seu uso durante as partidas, as peças funcionam como suporte para aulas específicas de modelagem paramétrica: as bases permitem trabalhar comandos como *sketch*, *extrude*; o tabuleiro possibilita explorar ângulos, *offset* e corte extrudado; os pinos introduzem recursos como *loft*, *revolve*, inclinação, filetes e tolerâncias; e, por fim, a montagem do conjunto facilita o ensino de *assembly* e as peças como um

todo podem ser utilizadas em aula de desenho técnico. Dessa forma, o artefato constitui um sistema pedagógico completo, articulando modelagem 2D, modelagem 3D e fabricação digital em um único conjunto integrado de aprendizagem.

3.3. Demonstração e testes

3.3.1 Demonstração e testes *Fatal Sigma*

Foram realizadas cinco sessões de jogo com estudantes de graduação em engenharia entre os meses de setembro de 2024 a setembro de 2025 (Figura 26). Durante essas aplicações, notou-se um grande foco dos jogadores sobre suas ações no jogo com o envolvimento direto dos participantes, que demonstraram fácil compreensão das regras e dinâmicas durante as rodadas.

Figura 26 – Teste com alunos de graduação



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

As opiniões registradas pelos usuários, durante e após as rodadas, orientaram refinamentos dos conceitos que foram ajustados e testados novamente nas sessões subsequentes. Esse processo contínuo de interação permitiu manter o artefato alinhado aos objetivos pedagógicos e garantir sua eficácia no desenvolvimento de competências relacionadas à sustentabilidade.

3.3.2 Demonstração e testes *Desenrolo*

Os primeiros testes do jogo foram realizados em laboratório, possibilitando ajustes iniciais nas mecânicas, nas regras e nos componentes. Em outubro de 2024,

Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 26, n. 1 (edição especial), e-5782, 2026.

após essa etapa preliminar, o jogo foi aplicado a uma turma do 3º ano do ensino básico do CEPMM, com trinta alunos, o que permitiu avaliar sua adequação pedagógica e o nível de engajamento dos estudantes.

Em uma etapa posterior, entre janeiro e setembro de 2025, o jogo voltou a ser testado em oito sessões de laboratório com estudantes de Engenharia, aprovados e reprovados em CDI1, organizados em grupos de quatro a oito participantes (Figura 27). Os feedbacks coletados ao longo dessas aplicações subsidiaram ajustes nas mecânicas e nos componentes, resultando em melhorias progressivas no jogo.

Figuras 27 – Teste do jogo Desenrolo



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3.3.3 Demonstração e testes *Faz a Limpa*

O jogo foi testado, em outubro de 2024, em uma turma do primeiro ano do CEPMM, composta por trinta e cinco alunos, visando avaliar sua adequação ao contexto educacional e o engajamento dos estudantes. Além disso, foram realizadas dez sessões entre janeiro e setembro de 2025 de teste com estudantes de Engenharia, Design e Licenciatura, permitindo analisar sua aplicação em diferentes áreas de formação. As sessões foram acompanhadas pelos desenvolvedores do jogo, e os feedbacks coletados orientaram ajustes iterativos nas mecânicas, nos componentes e nas instruções, resultando em melhorias progressivas ao longo dos testes (Figura 28).

Figuras 28 – Testes do jogo Faz a Limpa.



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

3.3.4 Demonstração e testes EDU

Foram realizadas sessões de aplicação do jogo EDU em diferentes contextos educacionais, envolvendo tanto estudantes do ensino básico quanto grupos em ambiente de laboratório. As atividades desenvolvidas ao longo de 2023 foram realizadas no CEPMM (Ilha do Governador- RJ), na Escola Municipal Professor Walter Carlos de Magalhães Fraenkel (Caju- RJ), no Centro Educacional Antonio Dias Lima (Angra dos Reis- RJ) e na Escola Municipal Leônidas Sobrino Porto (Bangu- RJ) (Figura 29). Nessas aplicações, observou-se o forte engajamento dos alunos durante o manuseio das peças, bem como a clareza das regras e o potencial pedagógico do jogo para apoiar a compreensão de conceitos geométricos, modelagem paramétrica e fabricação digital.

Figuras 29 – Teste jogo EDU



Fonte: Desenvolvido pelos autores (2025).

Os feedbacks coletados ao longo das sessões subsidiaram uma série de aprimoramentos no protótipo, envolvendo ajustes nos encaixes, revisões nas

proporções das peças, melhorias no tabuleiro e refinamento das instruções de uso. Com base nas contribuições de alunos e professores, o EDU passou por sucessivos ciclos de aperfeiçoamento, garantindo maior alinhamento com os objetivos formativos e com as demandas reais das salas de aula. A interação contínua permitiu consolidar o jogo como um recurso eficaz para o desenvolvimento de habilidades espaciais, pensamento crítico e compreensão dos processos envolvidos na impressão 3D, demonstrando sua relevância como ferramenta pedagógica capaz de integrar teoria, prática e tecnologia no ambiente escolar.

3.4. Avaliação

Conforme descrito na Seção 3, o Quadro 1 apresenta os resultados do questionário realizado em um evento de jogos em parceria com a COPPE, em dezembro de 2024, a partir do modelo de avaliação MEEGA+.

Quadro 1 – Questões MEEGA+

Dimensão/ Subdimensão		INº	Perguntas	Média			
				A	B	C	D
Usabilidade	Estética	1	O design do jogo é atraente (interface, gráficos, tabuleiro, cartas etc.).	5,0	3,8	4,0	4,9
		2	Os textos, cores e fontes combinam e são consistentes.	4,8	4,8	4,3	4,6
	Aprendizibilidade	3	Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a jogar o jogo.	4,8	3,4	4,8	3,9
		4	Aprender a jogar este jogo foi fácil para mim.	4,6	3,6	4,3	4,6
		5	Eu acho que a maioria das pessoas aprenderiam a jogar este jogo rapidamente.	4,8	4,0	4,8	4,9
	Operabilidade	6	Eu considero que o jogo é fácil de jogar.	4,8	4,2	4,5	4,6
		7	As regras do jogo são claras e compreensíveis.	4,9	4,6	4,5	4,7
	Acessibilidade	8	As fontes (tamanho e estilo) utilizadas no jogo são legíveis.	4,8	3,8	3,5	4,9
		9	As cores utilizadas no jogo são compreensíveis.	4,9	3,8	4,3	4,3
		10	O jogo permite personalizar a aparência (fonte e/ou cor) conforme minha necessidade	4,7	4,2	4,5	3,4
	Proteção contra erros do usuário	11	O jogo me protege de cometer erros	5,0	3,6	3,8	4,1
		12	Quando cometo um erro é fácil de me recuperar facilmente	4,9	4,2	4,0	4,7

Confiança	13	Quando olhei pela primeira vez o jogo, eu tive a impressão de que seria fácil para mim.	4,7	4,2	4,0	4,3
	14	A organização do conteúdo me ajudou a estar confiante de que eu iria aprender com este jogo	4,8	4,6	4,3	4,4
Desafio	15	Este jogo é adequadamente desafiador para mim.	4,9	4,6	4,3	4,6
	16	O jogo oferece novos desafios (oferece novos obstáculos, situações ou variações) com um ritmo adequado.	5,0	4,0	4,3	4,1
	17	O jogo não se torna monótono nas suas tarefas (repetitivo ou com tarefas chatas).	4,7	4,2	4,3	4,6
Satisfação	18	Completar as tarefas do jogo me deu um sentimento de realização.	5,0	4,4	4,6	4,3
	19	É devido ao meu esforço pessoal que eu consigo avançar no jogo.	4,8	4,2	4,4	4,6
	20	Me sinto satisfeito com as coisas que aprendi no jogo.	5,0	4,6	4,3	4,4
	21	Eu recomendaria este jogo para meus colegas.	4,9	4,8	4,6	4,6
Interação social	22	Eu pude interagir com outras pessoas durante o jogo.	4,9	4,8	4,7	4,7
	23	O jogo promove momentos de cooperação e/ou competição entre os jogadores.	4,9	4,4	4,4	4,6
	24	Eu me senti bem interagindo com outras pessoas durante o jogo.	4,9	4,4	4,4	4,4
Diversão	25	Eu me diverti com o jogo.	5,0	4,2	4,6	4,7
	26	Aconteceu alguma situação durante o jogo (elementos do jogo, competição, etc.) que me fez sorrir.	5,0	4,4	4,4	4,7
Atenção focada	27	Houve algo interessante no início do jogo que capturou minha atenção.	5,0	3,6	4,4	4,7
	28	Eu estava tão envolvido no jogo que eu perdi a noção do tempo.	4,9	4,0	4,4	4,6
	29	Eu esqueci sobre o ambiente ao meu redor enquanto jogava este jogo.	4,9	4,4	4,2	5,0
Relevância	30	O conteúdo do jogo é relevante para os meus interesses.	4,9	5,0	4,4	4,4
	31	É claro para mim como o conteúdo do jogo está relacionado com a disciplina.	4,9	4,2	4,4	4,4
	32	O jogo é um método de ensino adequado para esta disciplina.	4,9	4,4	4,6	4,4
	33	Eu prefiro aprender com este jogo do que de outra forma (outro método de ensino).	4,9	4,4	4,4	4,7
Aprendizagem percebida	34	O jogo contribuiu para a minha aprendizagem na disciplina.	4,9	4,4	4,5	4,6
	35	O jogo foi eficiente para minha aprendizagem, em comparação com outras atividades da disciplina.	5,0	4,8	4,8	4,9

Fonte: Petri *et al.*, 2019.

Com base na análise dos resultados obtidos a partir das respostas dos voluntários que jogaram os quatro jogos durante o evento, observa-se que os artefatos A, B, C e D cumprem de forma satisfatória todos os requisitos. Embora o jogo Desenrolo, artefato B, tenha recebido uma avaliação ligeiramente mais baixa que os demais no quesito Aprendibilidade, essa nota ainda está dentro do esperado. Considerando que, mesmo se tratando de uma abordagem lúdica para conteúdos de cálculo e pré-cálculo, ainda existe uma dificuldade considerável em lidar com essa temática ligada a um índice grande de reprovação dentro dos cursos de graduação. Ainda assim, todas as avaliações ficaram acima da média 4,0 e próximo a médias máximas de 5,0, mostrando que, apesar das dificuldades dos conteúdos envolvidos, os jogos conseguem cumprir seu papel e aproximar esses conceitos através de uma abordagem divertida.

3.5. Comunicação dos Resultados

Os resultados da pesquisa são comunicados por meio deste artigo científico, que sistematiza o processo de desenvolvimento, aplicação e avaliação dos JS físicos em diferentes contextos educacionais. A disseminação também tem sido realizada em eventos científicos e de extensão, ampliando o diálogo com docentes, estudantes e pesquisadores interessados em metodologias ativas, JS e sustentabilidade.

Além disso, os jogos desenvolvidos são estruturados para registro de propriedade intelectual junto ao INPI, sendo depositados como desenhos industriais. Atualmente os quatro jogos desenvolvidos foram depositados e estão em análise. Além disso, todos os jogos estão sendo organizados em formatos que facilitam sua adoção por professores e escolas públicas, que serão disponibilizados através do site do Casulo. Essas ações contribuem para a disseminação dos resultados e para a ampliação do impacto acadêmico, educacional e social da pesquisa.

4 CONCLUSÃO

Os desafios contemporâneos da sustentabilidade exigem transformações profundas na formação profissional, sendo os ODS e a EDS elementos centrais para orientar práticas educativas voltadas à construção de sociedades mais justas,

resilientes e ambientalmente responsáveis. Assim, este artigo teve como objetivo apresentar o desenvolvimento um conjunto de JS físicos voltados ao ensino em diferentes níveis educacionais, destacando sua contribuição para o desenvolvimento de competências críticas, colaborativas, socioemocionais e sustentáveis. Esse objetivo foi alcançado por meio de uma abordagem metodológica baseada na DSR, que orientou as etapas de concepção, desenvolvimento, prototipagem e avaliação preliminar de quatro jogos físicos aplicados em diferentes contextos de ensino básico e superior.

A aplicação do método de DSR permitiu a construção de um conjunto de artefatos educacionais, Fatal Sigma, Desenrolo, Faz a Limpa e EDU, cujas dinâmicas narrativas, colaborativas e conteudistas demonstraram elevado potencial de engajamento e de desenvolvimento de competências relacionadas à sustentabilidade e à aprendizagem ativa. Os testes iniciais evidenciaram a relevância pedagógica desses jogos, confirmando sua adequação como ferramentas de ensino inovadoras em diferentes níveis educacionais.

Dessa forma, conclui-se que os JS físicos representam uma alternativa viável e promissora para promover a formação de estudantes com perfil crítico, ético e orientado para os desafios do desenvolvimento sustentável, em diferentes níveis e contextos de ensino. Estudos futuros devem ampliar a amostra de aplicação e realizar análises longitudinais e comparativos com grupos de controle para mensurar impactos duradouros no processo formativo, bem como incentivar sua utilização ampla por professores e estudantes em contextos diversos, do ensino básico ao ensino superior.

REFERÊNCIAS

ABREU, T. C. da C. **EDU: jogo educativo**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação)-Curso de Desenho Industrial, Escola de Belas Artes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023.

ALAMINO, R. C.; NUNES, B. Collapse and the interplay between essentiality and impact in socioecological systems. **Physical Review E**, v. 107, n. 5, p. 054201, 2023.

ARAÚJO, F. C. de; PAIVA, C. D. C.; AGUIAR, J. H. A.; GONÇALVES, L. F.; PINHEIRO, A. A.; SILVA, T. M. R. da; JUNIOR, A. S. G. Explorando o ensino de

frações por meio da aprendizagem significativa. **Caderno Pedagógico**, v. 21, n. 8, p. e6409, 2024.

BAGNI, G.; GODINHO FILHO, M.; FINNE, M.; THÜRER, M. Design science research in operations management: is there a single type?. **Production Planning & Control**, v. 36, n. 6, p. 789–807, 2025.

BERTOZZI, G.; PACIAROTTI, C.; SCHIRALDI, M. M. Implementing serious games through a pedagogical lens in engineering education: an experimental study. **European Journal of Engineering Education**, v. 49, n. 6, p. 1131-1157, 2024.

CARDIFF, P.; POLCZYNSKA, M. BROWN, T. Higher education curriculum design for sustainable development: towards a transformative approach. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 25, n. 5, p. 1009-1023, 2024.

COLE, C.; PARADA, R. H.; MACKENZIE, E. Why and How to Define Educational Video Games?. **Games and Culture**, v. 19, n. 8, p. 981-999, 2024.

COSTA, L. M. G.; REIS, M. J. C. S. Motivational Teaching Techniques in Secondary and Higher Education: A Systematic Review of Active Learning Methodologies. **Digital**, v. 5, n. 3, p. 40, 2025.

GAUSS, L.; LACERDA, D. P.; SILUK, J. C.; ROMME, A. G. L. Design science in operations management: a review and synthesis of the literature. **International Journal of Management Reviews**, v. 27, n. 2, p. 221–237, 2025.

GEORGES, M. R. R.; ARAÚJO, K. S. Jogos sérios em sustentabilidade: uma análise exploratória nas plataformas GAMES4SUSTAINABILITY e LUDOPÉDIA. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 18, n. 2, p. 184-197, 2023.

HASS, G. M.; SILVA, J. E. Análise multinível aplicada aos fatores de desempenho na Educação Pública do Brasil : Multilevel analysis of performance factors in Brazil's Public Education. **Quaestum**, v. 6, p. 1–21, 2025.

MCGONIGAL, J. **Reality is broken: why games make us better and how they can change the world**. New York: Penguin Press, 2011.

NOVAES, A. L.; CARDOSO, G. C.; SABONARO, D. Z. Proposta de utilização de serious game de sustentabilidade na Educação Ambiental: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)**, v. 18, n. 7, p. 312-328, 2023.

Organização das Nações Unidas (ONU). Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York, 2015.

PEFFERS, K.; TUUNANEN, T.; ROTHENBERGER, M. A.; CHATTERJEE, S. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PEREIRA, J. C. **O desafio da crise ecológica planetária para a política mundial**. Relações Internacionais, Lisboa, n. 79, p. 5-110, set. 2023.

PETRI, G.; VON WANGENHEIM, C. G.; BORGATTO, A. F. MEEGA+: Um Modelo para a Avaliação de Jogos Educacionais para o ensino de Computação. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, v. 27, n. 03, p. 52-81, 2019.

SALEN, K.; ZIMMERMAN, E. **Regras do Jogo**. São Paulo: Blucher, 2004.

SCHELL, J. **The art of game design: a book of lenses**. Burlington: Morgan Kaufmann, 2008.

SENGERJ. **Escola Politécnica da UFRJ vai mexer no curso de cálculo para reduzir taxas de reprovação**. 2024. Disponível em: <https://sengerj.org.br/escola-politecnica-da-ufrj-vai-mexer-no-curso-de-calculo-para-reduzir-taxas-de-reprovacao/>. Acesso em: 22 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). **Divulgados os resultados do PISA 2022**. Brasília, 05 dez. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/centrais-de-conteudo/noticias/acoes-internacionais/divulgados-os-resultados-do-pisa-2022>. Acesso em: 22 nov. 2025.

UNESCO. **Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Objetivos de Aprendizagem**. Paris: UNESCO, 2017.

UNESCO. **Transformando a Educação rumo ao ODS 4: Relatório de uma Pesquisa Global sobre Ações dos Países para Transformar a Educação**. Paris: UNESCO, 2023.

UZEDA, L. E. F. de; ABREU, T.; XAVIER, A. F.; SANTOS, L. Game Based Learning e o uso de jogos na Engenharia de Produção: análise das publicações dos Anais do ENEGEP. In: **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP)**, 44., 2024, Porto Alegre. Anais [...]. Porto Alegre: ABEPRO, 2024.

Biografia do(s) autor(es)

Thamyres Crystine da Costa Abreu

Formada em Design Industrial pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ). Atualmente é mestranda da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ) pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE). Desenvolve pesquisas voltadas ao design e à engenharia aplicada à sustentabilidade, com foco em reciclagem de polímeros e uso de fabricação digital em contextos educacionais.

Igor dos Santos Gomes

Formando como técnico em Telecomunicações pelo Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ). Atualmente é graduando em Design Industrial pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ). Desenvolve pesquisas voltadas ao design e à engenharia aplicada à sustentabilidade, com foco em reciclagem de polímeros e uso de fabricação digital em contextos educacionais.

Tharcisio Cotta Fontainha

Professor no Programa de Engenharia de Produção, no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ). Desenvolve pesquisas na área de gestão, inovação e sustentabilidade, com foco no desenvolvimento de produtos tecnológicos para o contexto de desastres e ajuda humanitária.

Amanda Fernandes Xavier

Professora no Programa de Engenharia de Produção, no Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UFRJ). Desenvolve pesquisas nas áreas de sustentabilidade, governança e inovação, com foco em sistemas de avaliação de eco-inovação, estratégias territoriais e desenvolvimento de cadeias produtivas sustentáveis.



Artigo recebido em: 11/12/2025 e aceito para publicação em: 09/02/2026

DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v26i2.5782>