

SIMULANDO A RESILIÊNCIA URBANA: O JOGO EDUCATIVO CAOS URBANO PARA O ENSINO DOS ODS

Felipe Dantas dos Santos¹, Wolly Eloise Gomes Leal¹, Nathalia Oliveira Menezes¹,
Jonathan Matheus Gomes de Lima¹, Israel Soares de Castro Filho¹, Adla Kellen
Dionisio²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil
(felipe.santos.119@ufrn.edu.br)

²Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil (adla.sousa@ufrn.br)

Resumo: Este estudo avalia o jogo educativo Caos Urbano, focado no ensino dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 9, 11 e 13). Baseado em Design-Based Research, o playtest indicou 100% de engajamento decisório e de compreensão dos ODS. Os resultados validam o jogo como ponte cognitiva capaz de traduzir a complexidade socioambiental em aprendizagem experiencial prática, promovendo competências sistêmicas de forma superior aos métodos tradicionais.

Palavras-chave: Jogos Sérios; Aprendizagem Experiencial; Resiliência Urbana; Objetivos de Desenvolvimento Sustentável; Design-Based Research.

INTRODUÇÃO

A crescente frequência e intensidade de eventos climáticos extremos têm ampliado a vulnerabilidade dos sistemas urbanos, resultando em impactos diretos na infraestrutura, na saúde e nos meios de subsistência da população (Pörtner *et al.*, 2022). A urbanização acelerada, aliada a desigualdades socioespaciais estruturais, agrava a exposição das cidades a desastres como enchentes, ondas de calor e poluição, afetando desproporcionalmente residentes de áreas marginalizadas (Pörtner *et al.*, 2022). Tais ocorrências evidenciam a complexidade dos sistemas socioecológicos urbanos, que demandam estratégias integradas de resiliência e adaptação frente aos riscos climáticos emergentes (Pörtner *et al.*, 2022).

Para o enfrentamento dessas vulnerabilidades, a Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas estabelece diretrizes globais, com destaque para a infraestrutura (ODS 9), a sustentabilidade urbana (ODS 11) e a ação climática (ODS 13). Contudo, a articulação e efetivação dessas metas esbarra em limitações no processo de ensino-aprendizagem da educação. O ensino de sustentabilidade e mudanças climáticas frequentemente adota um modelo de transmissão passiva de informações (Kaiser *et al.*, 2026). Essa abordagem abstrata e descontextualizada falha em engajar os estudantes e em promover mudanças atitudinais duradouras, dificultando a compreensão sistêmica dos problemas ambientais (Marouli, 2021; Kaiser *et al.*, 2026).

O ensino pautado estritamente na transmissão passiva de conteúdos tem se mostrado insuficiente para o

desenvolvimento das competências sociocognitivas demandadas pelos atuais desafios climáticos e de resiliência urbana (Gee, 2003; Wals, 2011). Compreender a governança socioambiental exige ir além do mero repasse de informações abstratas, dada a presença de dinâmicas não lineares e interesses conflitantes (Kalamas Hedden *et al.*, 2017). A interiorização desses temas requer estratégias estruturadas na aprendizagem ativa e experiencial, inserindo o aluno como o autor de suas próprias descobertas (Kolb, 1984).

Uma estratégia para isso é o uso de intervenções baseadas em simulação (*Simulation-Based Learning*) e os chamados jogos sérios (*serious games*) oferecem rotas promissoras para superar esses limites pedagógicos. Longe de serem artefatos criados apenas para o entretenimento, essas plataformas são projetadas com o propósito de decodificar as múltiplas variáveis dos ecossistemas urbanos, fundindo a interatividade com metas de ensino claras (Xu *et al.*, 2014). O ambiente do jogo funciona como um laboratório protegido; ali, o erro perde o seu caráter punitivo real e passa a integrar o processo de construção do pensamento tático e aplicado (Mendler de Suarez *et al.*, 2012; Solinska-Nowak *et al.*, 2018).

Mergulhados nesses "micromundos", os jogadores enfrentam a necessidade de avaliar riscos constantemente, ponderar diferentes caminhos e tomar decisões restritas pela escassez de recursos. A principal força dessas metodologias reside no retorno imediato de informações (*feedback*) e na alteração das escalas de percepção: as rodadas do jogo comprimem décadas em minutos, contornando a



lentidão característica das mudanças climáticas da vida real e tornando visíveis os impactos futuros das escolhas do presente (Sterman, 2006).

O design lúdico atua como um suporte instrucional contínuo (*scaffolding*), orientando o indivíduo em processamentos mentais mais densos que são essenciais para mapear a rede de relações de causa e efeito de um sistema (De Jong; Van Joolingen, 1998). Investigações empíricas recentes atestam que o enfrentamento prático de dilemas nessas plataformas não só fortalece o engajamento espontâneo dos estudantes, como também induz à compreensão real das escolhas compensatórias (*trade-offs*) exigidas na gestão ambiental e urbana (Pörtner *et al.*, 2022; Flood *et al.*, 2018; Tan; NuruL-Asna, 2023). Dessa maneira, o contato com jogos sérios rompe com a simples memorização de dados, operando como um impulsionador para a maturação do pensamento sistêmico, a reformulação de posturas pró-ambientais e a retenção duradoura do aprendizado (Kaiser *et al.*, 2026).

Na intersecção entre a educação ambiental e a gestão de riscos de desastres (*Disaster Risk Management*), os jogos sérios demonstram alta eficácia em evidenciar as complexas relações de interdependência entre infraestrutura, vulnerabilidade social e impactos climáticos (Solinska-Nowak *et al.*, 2018). Ao emular crises estruturais e ambientais, essas plataformas permitem aos estudantes testar estratégias de mitigação e recuperação, evidenciando, na prática, que a severidade de um desastre não decorre exclusivamente da magnitude do evento natural, mas sobretudo do déficit de planejamento estratégico e da falta de resiliência prévia do sistema urbano (Pörtner *et al.*, 2022).

A eficácia dessas intervenções lúdicas transcende a mera aquisição de informações (Gee, 2003; Wals, 2011). Revisões sistemáticas atestam que, ao incorporar a autonomia decisória e o envolvimento ativo com problemas socioambientais reais, os jogos promovem mudanças de atitudes e o desenvolvimento de comportamentos pró-sustentabilidade (Fernández Galeote *et al.*, 2021). Quando integrados aos currículos formais e fundamentados em aprendizagem experiencial (Kolb, 1984), esses artefatos pedagógicos superam as abordagens instrucionais convencionais. Essa superação reflete-se na elevação da motivação intrínseca, na maior retenção de conhecimento a longo prazo e na mobilização de habilidades cognitivas de ordem superior, como o pensamento sistêmico e a avaliação crítica de escolhas e consequências (Ahmadov *et al.*, 2025; Kaiser *et al.*, 2026).

A despeito dessa fundamentação teórica, a literatura aponta carências metodológicas estruturais em

aplicações práticas. Identifica-se uma evidente escassez de pesquisas voltadas à educação básica que articulem simultaneamente os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) a contextos reais de gestão urbana, em particular diante de restrições de recursos (Neset *et al.*, 2020). Para preencher essa lacuna, o presente estudo formula a seguinte hipótese de pesquisa: a aplicação de um jogo educativo baseado em simulação de riscos urbanos melhora a compreensão sistêmica dos ODS e promove o desenvolvimento de competências cognitivas, socioambientais e decisórias em estudantes de forma mais efetiva do que os métodos tradicionais de ensino.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar um jogo educativo como um artefato pedagógico estruturado em dinâmicas de assunção de papéis (*role-playing*). Nessas dinâmicas, os participantes atuam como gestores de cidades fictícias e são desafiados a alocar recursos limitados para infraestrutura, prevenção e recuperação frente a eventos climáticos extremos (Hügel; Davies, 2022). Essa arquitetura de simulação exige a avaliação contínua de escolhas compensatórias (*trade-offs*), promovendo a articulação imediata entre planejamento urbano, gestão de vulnerabilidades e adaptação climática sob condições de incerteza (Mendler de Suarez *et al.*, 2012). A intervenção metodológica busca, assim, mobilizar as competências socioambientais e decisórias essenciais para a educação contemporânea de forma integrada, ancorando-se estruturalmente nos postulados da Teoria da Aprendizagem Experiencial e na lógica imersiva das simulações educativas (Kolb, 1984; Kaiser *et al.*, 2026).

MATERIAL E MÉTODOS

Esta pesquisa adotou uma abordagem qualitativa e aplicada, configurando-se como um estudo descritivo-exploratório focado no desenvolvimento e na avaliação de uma intervenção educativa. O estudo insere-se no campo da aprendizagem baseada em jogos (*game-based learning*) e de simulações educacionais, metodologias ativas que se destacam pela capacidade de traduzir a complexidade de sistemas dinâmicos em ambientes de experimentação estruturada (De Jong; Van Joolingen, 1998).

Adicionalmente, foi utilizada as ferramentas ChatGPT (OpenAI) para organizar ideias e NotebookLM (Google) para organizar as referências e buscar novas referências. Ambas as ferramentas foram utilizadas para gerar as imagens do jogo.

Para realização da pesquisa, seguiu-se o fluxograma apresentado na Figura 1. O delineamento metodológico segue os princípios da Pesquisa Baseada em Design (*Design-Based Research – DBR*). Essa abordagem foi selecionada por integrar o

design iterativo de artefatos pedagógicos à investigação teórica, permitindo analisar como a intervenção funciona em contextos reais de ensino.

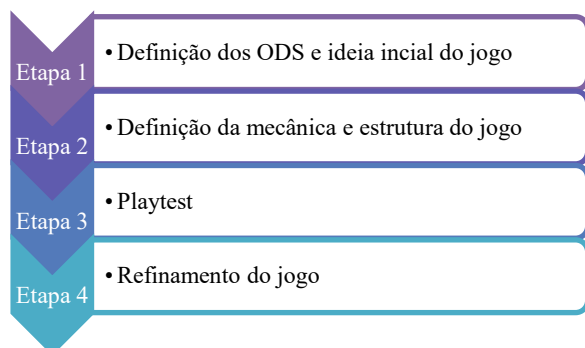


Figura 1. Delineamento da pesquisa.

Na etapa 1 foram escolhidos os ODS e definida a ideia inicial do jogo e seu objetivo. Os ODS escolhidos foram os 9, 11 e 13, respectivamente:

- ODS 9: Indústria, inovação e infraestrutura;
- ODS 11: Cidades e comunidades sustentáveis; e,
- ODS 13: Ação contra a mudança global do clima.

A ideia foi desenvolver um jogo de cartas educativo, que pudesse ser empregado no Ensino Fundamental/Médio, mas que também fosse possível ser jogado em casa. Assim, o jogo precisava ser reproduzido. O jogo foi desenvolvido dentro do componente curricular Introdução às Ciências e Tecnologia no curso de Bacharelado em Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. A disciplina tem caráter extensionista e o objetivo foi desenvolver o jogo para divulgar os ODSs.

Na etapa 2 foram definidas a mecânica do jogo e sua estrutura. Ficou estabelecido que o jogo seria com a mecânica gestão de mão, somente de cartas e que se chamaria “Caos Urbano”. Assim, o jogo simula a gestão de ecossistemas urbanos submetidos a eventos de risco socioambiental extremos (enchentes, deslizamentos, ondas de calor e poluição).

Na arquitetura e mecânica do jogo foram considerados a interação dinâmica entre três categorias de variáveis, que segundo Solinska-Nowak *et al.* (2018) são desenhadas para modelar as fases de mitigação, preparação e resposta características da Gestão de Riscos de Desastres (*Disaster Risk Management*). Assim, adotou-se os seguintes tipos de cartas:

- a) Cartas de Risco: eventos adversos urbanos e climáticos que testam a resiliência da cidade.

- b) Cartas de Infraestrutura e Proteção: simbolizam a capacidade adaptativa e as medidas de mitigação/prevenção disponíveis aos gestores (construção de hospitais, barragens, abrigos, sistemas de drenagem e controle ambiental);
- c) Cartas de Recuperação: correspondem às ações emergenciais de resposta e reconstrução utilizadas para reestabilizar o sistema urbano após o impacto dos desastres.

Na etapa 3, foi conduzido o *playtest* envolvendo 10 alunos de graduação. Os participantes apresentavam diversidade em idade, sexo, cor e etnia, o que contribuiu para a representatividade da amostra no contexto universitário. Todos os participantes tinham familiaridade básica com jogos de tabuleiro, mas nenhuma experiência prévia com o jogo.

Embora o *playtest* tenha sido conduzido com graduandos, o artefato foi projetado para aplicação em alunos do Ensino Fundamental a partir de 6 anos, organizados em grupos colaborativos. Estudos futuros devem implementar *playtests* e delineamentos quase-experimentais com esta faixa etária, a fim de validar a eficácia do jogo em seu público-alvo real.

O *playtest* permitiu coletar dados sobre engajamento, compreensão dos ODS e tomada de decisão. A avaliação do impacto do jogo educativo estrutura-se a partir de uma matriz interpretativa qualitativa focada em três dimensões complementares de aprendizagem:

- a dimensão cognitiva, voltada ao raciocínio estratégico e à compreensão de relações de causa e efeito;
- a dimensão socioambiental, centrada no entendimento da vulnerabilidade, resiliência e planejamento urbano sustentável;
- a dimensão decisória, que avalia a priorização de recursos e a adaptação sob condições de incerteza (Kahneman; Tversky, 1979).

Essa estrutura avaliativa ancora-se na integração da aprendizagem experiencial (Kolb, 1984), do desenvolvimento sociocognitivo mediado (Vygotsky, 1991), e da simulação de sistemas complexos (Sternan, 2002) como eixos para a compreensão integrada das diretrizes dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 9, 11 e 13).

Para analisar as respostas abertas e observações do *playtest*, foi adotado o método de codificação temática:

1. Leitura completa: todas as respostas abertas e observações foram lidas.



2. Identificação de unidades de significado: cada frase ou expressão representando uma percepção ou sugestão foi destacada.
3. Codificação inicial: cada unidade recebeu um código descritivo (ex.: Dinâmica do jogo - Engajamento lúdico; Algumas regras-Dificuldade instruções).
4. Agrupamento em categorias: códigos semelhantes foram agrupados em categorias maiores:
 - Aspectos positivos: engajamento lúdico, mecânica do jogo, facilidade cognitiva, competitividade.
 - Dificuldades percebidas: regras complexas, instruções, nenhuma dificuldade.
 - Sugestões de melhoria: variedade de cartas, clareza das regras, melhorias visuais.
5. Quantificação opcional: frequência de cada categoria foi transformada em percentual, permitindo integração com dados quantitativos do *playtest*.

A avaliação do impacto do jogo considerou três dimensões interdependentes:

- Cognitiva: raciocínio estratégico, compreensão de relações de causa e efeito.
- Socioambiental: entendimento da vulnerabilidade urbana, resiliência e planejamento sustentável.
- Decisória: priorização de recursos e adaptação sob incerteza (Kahneman; Tversky, 1979).

Essas dimensões foram analisadas considerando aprendizagem experiencial, desenvolvimento sociocognitivo mediado e simulação de sistemas complexos (Kolb, 1984; Vygotsky, 1991; Stermann, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado do processo de desenvolvimento, foi elaborado um jogo de cartas analógico voltado à compreensão das inter-relações entre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima). A dinâmica do jogo foi estruturada para simular situações de risco enfrentadas por centros urbanos, exigindo dos participantes a tomada de decisões relacionadas ao planejamento urbano, à implantação de infraestrutura

e à recuperação das cidades diante de eventos adversos. Para isso, o jogo foi organizado em quatro categorias principais de cartas, cada uma desempenhando uma função específica na mecânica da partida:

1. Cartas de Cidade (10 cartas): Cada carta representa uma cidade com características próprias. No início da partida, cada jogador recebe uma carta, tornando-se responsável pela gestão e proteção dessa cidade durante todo o jogo.
2. Cartas de Risco (25 cartas): São compostas por 20 cartas de desastres direcionados (enchentes, incêndios, deslizamentos, tempestades, ondas de calor e poluição) e cinco cartas de dano geral, que afetam simultaneamente múltiplas cidades. Essas cartas representam ameaças e exigem decisões estratégicas dos jogadores.
3. Cartas de Infraestrutura e Proteção (13 cartas, distribuídas em seis tipos de infraestrutura): Representam soluções preventivas e recursos capazes de reduzir os impactos dos desastres ou fortalecer a capacidade de resposta das cidades. Entre elas estão hospitais, barragens, corpos de bombeiros, abrigos, muros de contenção e filtros industriais.
4. Cartas de Recuperação (3 cartas): Correspondem a ações emergenciais voltadas à recuperação das cidades após a ocorrência de desastres, permitindo a restauração parcial das condições urbanas e da qualidade de vida.

Cada jogador assume o controle de uma cidade, analisando suas condições e tomando decisões estratégicas com base nas cartas disponíveis. Durante cada turno, os participantes podem aplicar cartas de risco para testar a resiliência da cidade, implementar cartas de infraestrutura e proteção para reduzir danos ou utilizar cartas de recuperação para restaurar pontos perdidos. Cada decisão produz consequências imediatas e cumulativas, permitindo que os jogadores observem os efeitos de suas escolhas e ajustem suas estratégias nas rodadas subsequentes, consolidando o aprendizado experiencial e a internalização de conceitos de planejamento urbano e resiliência climática.

A Figura 2 ilustra a aplicação do *playtest*. A observação mostrou que os participantes estavam interagindo com o jogo, discutindo estratégias,

alocando recursos e deliberando sobre consequências.



Figura 2. Aplicação do playtest.

A avaliação derivada do *playtest* mostrou o jogo Caos Urbano como um ambiente de aprendizagem baseada em simulação (*Simulation-Based Learning*) para aprendizagem dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A triangulação de dados quantitativos e qualitativos viabilizou o mapeamento da relação entre o engajamento afetivo, a usabilidade do sistema e a participação ativa dos estudantes. Para o tratamento dos dados qualitativos, extraído de respostas abertas (e.g., "O que você mais gostou no jogo?"), adotou-se o método de codificação temática, indicado por Braun e Clarke (2006). Esse procedimento metodológico permitiu a mudança das percepções lúdicas espontâneas dos participantes em construtos analíticos rigorosos.

A quantificação dessas unidades de significado, sintetizada na Figura 3, evidencia a predominância de três fatores de atratividade dos jogadores: a dinâmica do jogo (40%), a facilidade cognitiva (30%) e o sistema de cartas (20%), seguidos por elementos residuais de competitividade (10%).

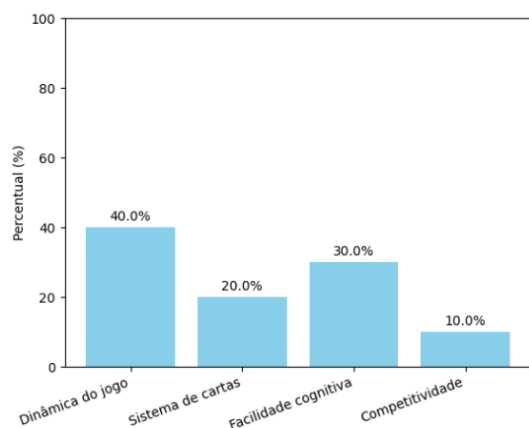


Figura 3. Principais elementos positivos percebidos pelos participantes. Distribuição percentual das categorias extraídas da codificação temática.

A dinâmica do jogo (40%) foi muito associada pelos jogadores à fluidez e ao ritmo da simulação. Para Kolb (1984) o engajamento lúdico é o motor primário da aprendizagem experiencial. O balanceamento adequado da interatividade favorece a imersão no estado de *flow* (Hamari et al., 2016), garantindo que os estudantes permaneçam intrinsecamente motivados a solucionar os dilemas climáticos sem que a atividade seja percebida como uma mera obrigação escolar (Fernández Galeote et al., 2021).

Em paralelo, a menção à facilidade cognitiva (30%) percebida pela rápida compreensão das regras mostra a importância da construção das regras elaboradas para o jogo. Sob o prisma da Teoria da Carga Cognitiva, a intuitividade operacional minimiza a sobrecarga extrínseca. Ao remover o atrito na decodificação do funcionamento do jogo, os recursos mentais do aluno são integralmente liberados para o processamento de alta ordem: o raciocínio tático e a tomada de decisão sistêmica (Sweller, 1988; Haji et al., 2016). Em simuladores de gerenciamento, essa baixa barreira de entrada previne o abandono precoce e acelera a imersão e o engajamento de aprendizagem do jogador (Czauderna; Budke, 2020; Abdul Jabbar; Felicia, 2015).

Adicionalmente, a valorização do sistema de cartas (20%) pelos estudantes atesta a eficácia da mecânica empregada para simular uma cidade. As cartas funcionam como o mecanismo de curadoria de decisões (Czauderna; Budke, 2020), materializando a alta variabilidade e a imprevisibilidade dos estressores climáticos em escolhas finitas e gerenciáveis. Essa arquitetura obriga a avaliação constante de compensações (*trade-offs*), simulando o rigor da gestão de desastres sem paralisar o usuário com um excesso de variáveis (Reckien; Eisenack, 2013).

As métricas do *playtest* mostram que a imersão individual se converteu também em um esforço estratégico colaborativo. O enfrentamento das crises urbanas simuladas provocou o debate entre os participantes sobre qual tipo de carta jogar ou sobre qual tipo de ação era mais importante jogar. Isso permite o desenvolvimento de competências de discussão em equipe, pensamento sistêmico. Essa confluência entre a percepção quantificada e a conduta durante o Caos Urbano, mostra que o jogo pode ser uma ferramenta lúdica e um estimulante da cognição socioambiental.

Simulação e tomada de decisão como núcleo cognitivo da aprendizagem

Os resultados indicam que 90% dos participantes relataram alto engajamento, enquanto 10% apresentaram engajamento intermediário (Figura 4). Pode ser que ao assegurar uma interface intuitiva, o jogo minimizou a sobrecarga cognitiva extrínseca (Sweller, 1988), permitindo que a capacidade de processamento mental dos participantes fosse integralmente direcionada à resolução dos dilemas urbanos. Essa fluidez operacional consolida as diretrizes do *Simulation-Based Learning* (De Jong; Van Joolingen, 1998), confirmando que o *Caos Urbano* atua de fato como um andaime cognitivo (*scaffolding*), a imersão lúdica facilita a compreensão de sistemas dinâmicos complexos.

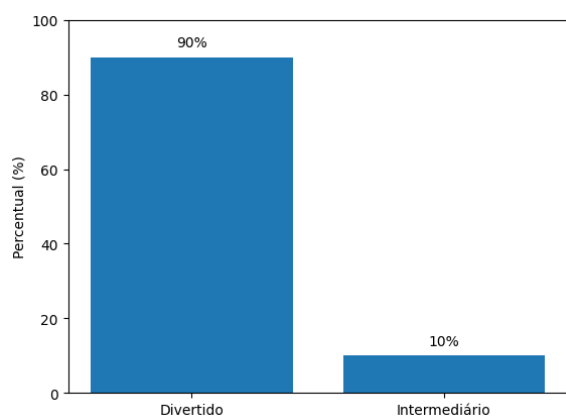


Figura 4. Engajamento dos Participantes.

O padrão de jogo observado não foram apenas a execução de ações isoladas, exigiu a ativação contínua de processos cognitivos, nos quais os participantes articularam estratégias de mitigação, preparação e resposta. Esse nível de participação ativa corrobora com Qaiser et al. (2026), que demonstraram o potencial do engajamento em intervenções de aprendizagem baseadas em jogos de tabuleiro sobre o clima. Essa dinâmica materializa a capacidade dos jogos sérios de traduzir a complexa rede de interdependências entre infraestrutura, vulnerabilidade social e recursos para uma escala pedagógica assimilável (Solinska-Nowak et al., 2018).

Ao replicar a estrutura de pressões e escolhas compensatórias (*trade-offs*) da Gestão de Riscos de Desastres, a dinâmica do jogo forçou a manifestação prática da racionalidade limitada formulada por Simon (1955). Pressionados por restrições temporais e informações incompletas, os participantes operaram em um regime de decisão satisfatória (*satisficing*), abdicando de uma otimização global inatingível em favor de soluções adequadas para a sobrevivência do ecossistema urbano (Simon, 1955). O uso de estratégias para tomada de decisão reflete o que

Czauderna e Budke (2020) descrevem como a facilitação da prática de tomadas de decisão dinâmicas: o design do jogo estrutura as escolhas de forma a evidenciar dilemas sistêmicos complexos. Essa percepção encontra forte paralelo no estudo de Neset et al. (2020), no qual a aplicação de um jogo digital de adaptação climática atuou para evidenciar a complexidade e a necessidade de compromissos em cenários de planejamento urbano (Neset et al., 2020).

A reorganização progressiva das estratégias dos jogadores ao longo das rodadas documenta um processo iterativo de aprendizagem adaptativa, fundamental na Teoria da Aprendizagem Experiencial (Kolb, 1984). A simulação permitiu que os participantes percorressem de forma autônoma o ciclo de experiência concreta, observação reflexiva, conceitualização e experimentação ativa. Os ajustes realizados em resposta às consequências dos desastres evidenciam o refinamento contínuo de modelos mentais. Como argumenta Sterman (2006), os mundos virtuais e as simulações superam a lentidão do *feedback* do mundo real, permitindo que os aprendizes testem os efeitos de longo prazo de suas decisões em ambientes dinâmicos.

Essa aceleração da compreensão sistêmica foi diretamente ancorada no engajamento dos usuários. Os altos índices registrados na avaliação geral do jogo que alcançou a nota média de 4,9 em 5 (com 90% dos entrevistados atribuindo nota máxima) somados à percepção de diversão de 90% (Figura 5). Esse elevado índice aponta que pode ter havido diferentes tipos de engajamento. Conforme aponta Fernández Galeote et al. (2021), o elevado índice de avaliação mostra que pode ter ocorrido engajamento afetivo e cognitivo simultâneo. A ausência de frustração e os altos índices de diversão no *Caos Urbano* sugerem, portanto, que as partidas tiveram equilíbrio entre desafio e habilidade.

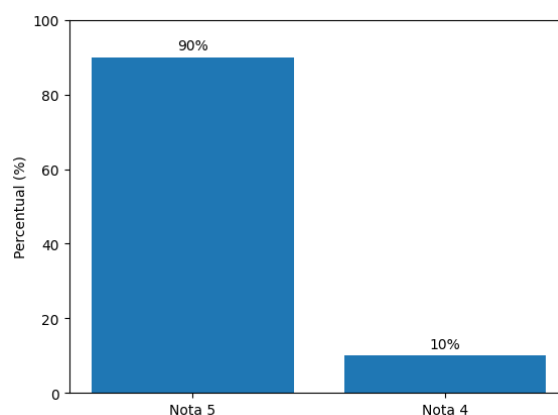


Figura 5. Satisfação Geral dos Participantes

Nesse sentido, o *Caos Urbano* atua como um andaime cognitivo (*scaffolding*) (De Jong; Van Joolingen, 1998). Ao ancorar conceitos sobre

resiliência e adaptação climática em consequências visíveis e experimentáveis dentro de um ambiente seguro de falhas, o artefato fornece o suporte empírico necessário para que estudantes do Ensino Fundamental assimilem competências para a gestão do desenvolvimento sustentável.

Aprendizagem dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

Verificou-se que 100% dos participantes relataram compreender as diretrizes dos ODS 9, 11 e. Isso mostra que o jogo atuou como um produto pedagógico, convertendo metas globais originalmente abstratas e normativas em experiências tangíveis mediadas por um sistema de simulação urbana. Esse fenômeno confirma a premissa de que jogos focados em mudanças climáticas são instrumentos para materializar e educar o público sobre sistemas atmosféricos e urbanos globais que, de outra forma, seriam difíceis de trazer para uma escala prática (Wu; Lee, 2015).

A análise das variáveis revela uma convergência entre a participação ativa na tomada de decisão (100%), a compreensão conceitual dos ODS (100%) e o engajamento afetivo/lúdico (90). Essa alta coerência funcional indica que, no ambiente simulado, as dimensões cognitivas, afetivas e comportamentais não operam de forma isolada, mas como construtos interdependentes fortemente engajados pela gamificação (Fernández Galeote et al., 2021). A aprendizagem emergiu iterativamente de ciclos contínuos de decisão, feedback sistêmico e adaptação estratégica, validando integralmente os postulados da Teoria da Aprendizagem Experiencial (Kolb, 1984).

Os participantes associaram espontaneamente os ODS a elementos operacionais do jogo, incluindo construção da cidade, cartas de eventos, estratégia e melhoria urbana, demonstrando que os ODSs, como afirma Solinska-Nowak et al. (2018) foram internalizados como ferramentas de ação e não como conceitos teóricos isolados.

Os resultados do *playtest*, mostram achados similares aos observados por Kaiser et al. (2026), que demonstraram que intervenções experienciais baseadas em jogos de tabuleiro superam os métodos tradicionais na retenção de conhecimento de jovens sobre o clima.

Eficiência da simulação e mitigação da carga cognitiva

A assimilação imediata das regras por 80% dos participantes com apenas 20% demandando mediação tutorial secundária (Figura 6), atesta a usabilidade do Caos Urbano. Mais do que um indicativo de acessibilidade lúdica, essa rápida apropriação das mecânicas demonstra o uso do

cognitivo, um dos obstáculos mais críticos em ambientes de *Simulation-Based Learning*.

Sob a ótica da Teoria da Carga Cognitiva (Sweller, 1988), a eficiência do aprendizado em ambientes complexos depende fundamentalmente da redução da carga extrínseca, que se refere ao esforço mental despendido para entender como a ferramenta funciona. Ao minimizar essa fricção operacional inicial, o jogo preserva a capacidade da memória de trabalho dos participantes, liberando recursos estruturais para a carga germânica, isto é, para o processamento profundo da informação, a análise de risco e a efetiva construção de esquemas mentais (Josephsen, 2015; Fraser et al., 2018).

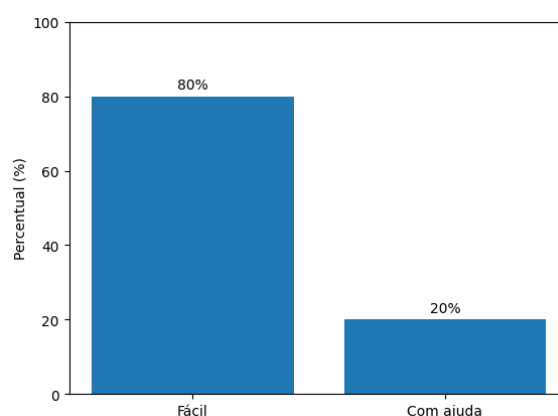


Figura 6. Usabilidade do Jogo

Essa arquitetura funcional apoia a premissa de Gee (2003) de que jogos educacionais de excelência integram regras palatáveis a exigências táticas que se complexificam gradualmente, esse princípio é conceituado como *model progression* ou ancoragem cognitiva (*scaffolding*) (De Jong; Van Joolingen, 1998; Swaak; De Jong, 1998). Os estudantes não são cognitivamente soterrados pelas intrincadas relações sistêmicas da cidade logo no primeiro turno; pelo contrário, são expostos à dinâmica urbana de forma cumulativa, aprendendo a lidar com a sobreposição de vulnerabilidades socioambientais à medida que interagem ativamente com as variáveis de infraestrutura e clima.

O equilíbrio validado pelos dados entre a simplicidade operacional inicial e a profundidade estratégica emergente responde diretamente a um dos maiores desafios do design de jogos sérios climáticos: a tensão entre a alta fidelidade científica do modelo e a sua jogabilidade prática (Reckien; Eisenack, 2013). O design cuidadoso das escolhas e a clareza das opções (*curation of decisions*) evitam que o excesso de realismo paralise o jogador, mantendo a carga cognitiva gerenciável (Czauderna; Budke, 2020). Essa calibração previne a frustração precoce e favorece a rápida imersão no estado de fluxo (*flow*),



condição psicológica que otimiza a aprendizagem e o engajamento afetivo em simuladores (Hamari et al., 2016).

Simulação de sistemas urbanos complexos e o desenvolvimento do pensamento sistêmico

O design estrutural do Caos Urbano permitiu que os participantes interagissem com um ecossistema urbano simplificado, no qual eventos de risco, vulnerabilidades ambientais e infraestrutura operam de forma estritamente interdependente. Essa estrutura afasta-se do ensino compartimentado e simula a uma dinâmica de um sistema socioecológico real, no qual o ambiente natural e construído interagem continuamente (Folke, 2006; Moffat; Kohler, 2008). A imersão em um ambiente pautado por relações de causa e efeito não lineares exigiu dos participantes uma leitura integrada do jogo, mostrando que cada atitude gerava consequências durante a fase do jogo.

Assim, os participantes associaram espontaneamente termos operacionais durante as partidas, tais como:

- “Dinâmica do jogo”
- “Cartas de eventos”
- “Construção da cidade”
- “Estratégia”
- “Melhoria urbana”

Essas categorias mostram que os participantes internalizaram o funcionamento interdependente do sistema urbano, percebendo a cidade como uma rede de conflitos, negociações e equilíbrios táticos, em vez de elementos isolados.

A superação da lentidão do feedback do mundo real desponta como o principal trunfo cognitivo dessa abordagem. Conforme postulado por Sterman (2002), a aprendizagem baseada em evidências frequentemente falha em sistemas complexos reais devido ao distanciamento temporal e espacial entre a formulação de uma política e os seus impactos climáticos. Ao atuar como um laboratório (Sterman, 2002), a simulação proporcionou interações, tornando as latências e retroalimentações do planejamento urbano observáveis em curtos intervalos de tempo. Esse mecanismo de aceleração temporal corrobora com os achados de Irabor et al. (2023) e Waddington e Fennewald (2018), que afirmam a importância dos jogos sérios para desenvolver o pensamento sistêmico (systems thinking) em estudantes, permitindo-lhes visualizar a inércia que governa a resposta climática.

A análise triangulada dos dados atesta a eficácia dessa modelagem. O engajamento unânime (100%) em processos decisórios contínuos, aliado à total compreensão (100%) dos ODS, indica que a

alfabetização climática não decorreu da mera assimilação de diretrizes abstratas, mas da descoberta científica guiada pela simulação (De Jong; Van Joolingen, 1998). As evidências qualitativas atestam o abandono do pensamento linear, pois os participantes associaram o jogo a léxicos operacionais como dinâmica, cartas, construção da cidade e estratégia. Ao fazer isso, os participantes demonstraram a cidade não como um cenário estático, mas como uma rede de conflitos, negociações e equilíbrios táticos (Meadows, 2008; Neset et al., 2020).

Além disso, ao experienciar que intervenções pontuais podem gerar efeitos compensatórios (*trade-offs*) ou impactos não intencionais ao longo do tempo (Chelleri et al., 2015), o estudante/participante passa a interpretar a realidade urbana sob o prisma da complexidade. Diante disso, conforme Rieckmann (2017), o jogo ultrapassa, o caráter lúdico para operar como um micromundo de governança climática, proporcionando aos participantes o desenvolvimento de competências cognitivas e sistêmicas necessárias para a resolução dos desafios socioambientais.

Limitações e ciclos de refinamento do artefato

Apesar do potencial pedagógico a fase empírica de elaboração do jogo expôs limitações operacionais intrínsecas ao atual estágio de desenvolvimento do Caos Urbano. O mapeamento dessas restrições não compromete a validade do constructo; pelo contrário, fornece os subsídios necessários para a sua evolução como modelo de simulação. A análise do *feedback* dos usuários revelou três eixos prioritários de aprimoramento: a expansão do espaço de possibilidades, a redução da carga cognitiva e a melhoria da interface visual (Figura 8).

A principal demanda reportada pelos participantes centrou-se na necessidade de ampliação da variedade de cartas (40%). Em simuladores de gestão de riscos urbanos, a limitação do acervo de eventos climáticos e de opções infraestruturais restringe o "espaço de possibilidades" (*possibility space*) do jogador. Embora a restrição do escopo de escolhas (*curation of decisions*) seja uma estratégia instrucional válida nas primeiras rodadas para evitar a paralisia decisória em novatos (Czauderna; Budke, 2020), a expansão do repertório de variáveis é essencial para sustentar a rejogabilidade. Uma maior diversidade de cartas permitirá emular de forma mais real a alta variabilidade, a incerteza e as consequências em cascata típicas dos sistemas socioecológicos urbanos reais (Reckien; Eisenack, 2013).

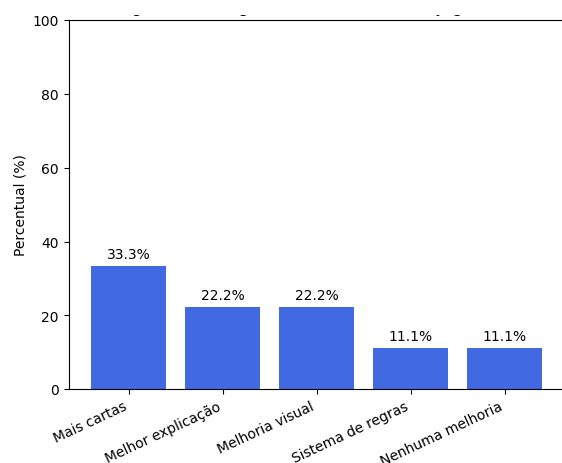


Figura 8. Sugestões de Melhoria do Jogo.

Observou-se, adicionalmente, que 30% dos participantes enfrentaram dificuldades na compreensão inicial das regras. Sob a ótica da Teoria da Carga Cognitiva, ambiguidades instrucionais ampliam a "carga extrínseca", desviando o esforço mental, que deveria ser alocado na resolução dos dilemas sistêmicos, para a mera decodificação operacional do jogo (Sweller, 1988; Josephsen, 2015). Esse indicativo impõe uma reestruturação da interface tutorial, visando melhorar a transição rápida e fluida do participante para o ciclo ativo de experimentação estratégica.

A dimensão estética também despontou como área de intervenção, com 20% dos usuários sugerindo melhorias visuais. A literatura adverte que deficiências na qualidade gráfica podem comprometer a credibilidade do artefato, reduzir a imersão e prejudicar a motivação (Ouariachi et al., 2018). Representações visuais inadequadas ou confusas de conceitos científicos intrincados abrem margem para a má interpretação dos fenômenos climáticos (Ahmadov et al., 2024). O refinamento estético é, portanto, um pré-requisito para garantir que a iconografia do Caos Urbano traduza o modelo teórico de maneira intuitiva.

O reconhecimento e a melhoria dessas fragilidades constituem a própria essência da Pesquisa Baseada em Design (*Design-Based Research – DBR*). O método fundamenta-se na ideia de que a prototipagem de tecnologias educacionais é um processo não-linear e iterativo. O feedback detém um papel essencial para melhoria do jogo. Os ajustes incrementais no jogo permitirão além do jogo em si, o uso como material pedagógico.

CONCLUSÃO

Os resultados do *playtest* do Caos Urbano evidenciam o jogo como um ambiente de aprendizagem estruturado, esta pesquisa se trata da

validação inicial do protótipo, atestando a usabilidade e a mecânica geral, antes de levá-lo ao público infantil. Assim, as principais conclusões foram:

- O jogo não apenas proporciona aquisição de conteúdo, mas também promove o desenvolvimento de competências cognitivas, socioambientais e estratégicas, o que é fundamental para estudantes do Ensino Fundamental.
- O estudo demonstra que a aplicação de conceitos teóricos e de dinâmica de sistemas urbanos pode ser operacionalizada por meio de simulações lúdicas. O Caos Urbano funciona como um laboratório seguro de aprendizagem experiencial, no qual os participantes vivenciam ciclos de decisão, avaliação de *feedback* e adaptação estratégica, internalizando conceitos de desenvolvimento sustentável e governança urbana.
- O engajamento afetivo e a motivação no jogo desempenham um papel importante na aprendizagem, permitindo que o conhecimento se transforme em compreensão aplicada. O artefato atua como andaime cognitivo, integrando conteúdos abstratos de clima e infraestrutura à prática decisória, provando que o componente lúdico é estruturante para a sofisticação cognitiva.

Embora a fase empírica tenha revelado limitações operacionais, como necessidade de ampliar a variedade de cartas (40%), ajustar o tutorial e aprimorar o design visual (20-30%), essas restrições não comprometem a validade pedagógica do jogo. Pelo contrário, fornecem subsídios para ciclos iterativos de refinamento dentro do modelo de Pesquisa Baseada em Design (DBR), fortalecendo o desenvolvimento contínuo do artefato. Assim, o Caos Urbano demonstra ser uma ferramenta pedagógica capaz de preencher lacunas entre métodos tradicionais de ensino e experiências práticas, de forma a promover a compreensão de sistemas urbanos complexos ao aplicar conceitos dos ODS 9, 11 e 13 e desenvolver competências decisórias essenciais à resiliência urbana e ao desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABDUL JABBAR, A. I.; FELICIA, P. Gameplay engagement and learning in game-based learning: a systematic review. *Review of Educational Research*, v. 85, n. 4, p. 740-779, 2015.
- AHMADOV, T. et al. A two-phase systematic literature review on the use of serious games for sustainable environmental education. *Interactive Learning Environments*, v. 33, n. 3, p. 1945-1966, 2025.



- BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, n. 2, p. 77-101, 2006.
- CHELLERI, L. et al. Resilience trade-offs: addressing multiple scales and temporal aspects of urban resilience. *Environment and Urbanization*, v. 27, n. 1, p. 181-198, 2015.
- CZAUDEANA, A.; BUDKE, A. How digital strategy and management games can facilitate the practice of dynamic decision-making. *Education Sciences*, v. 10, n. 4, p. 99, 2020.
- DE JONG, T.; VAN JOOLINGEN, W. R. Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains. *Review of Educational Research*, v. 68, n. 2, p. 179-202, 1998.
- FERNÁNDEZ GALEOTE, D. et al. Gamification for climate change engagement: review of corpus and future agenda. *Environmental Research Letters*, v. 16, n. 6, 2021.
- FLOOD, S. et al. Adaptive and interactive climate futures: systematic review of 'serious games' for engagement and decision-making. *Environmental Research Letters*, v. 13, n. 6, 2018.
- FOLKE, C. Resilience: The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, v. 16, n. 3, p. 253-267, 2006.
- FRASER, K. L. et al. Cognitive load theory for debriefing simulations: implications for faculty development. *Advances in Simulation*, v. 3, n. 28, p. 1-8, 2018.
- GEE, J. P. What video games have to teach us about learning and literacy. New York: Palgrave Macmillan, 2003.
- Haji, F. A. et al. Thrive or overload? The effect of task complexity on novices' simulation-based learning. *Medical Education*, v. 50, p. 955-968, 2016.
- HAMARI, J. et al. Challenging games help students learn: An empirical study on engagement, flow and immersion in game-based learning. *Computers in Human Behavior*, v. 54, p. 170-179, 2016.
- HÜGEL, S.; DAVIES, A. R. Playing for Keeps: Designing Serious Games for Climate Adaptation Planning Education With Young People. *Urban Planning*, v. 7, n. 2, p. 306-320, 2022.
- KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. Prospect theory: an analysis of decision under risk. *Econometrica*, v. 47, n. 2, p. 263-291, 1979.
- KALAMAS HEDDEN, M. et al. Teaching sustainability using an active learning constructivist approach: discipline-specific case studies in higher education. *Sustainability*, v. 9, n. 8, p. 1320, 2017.
- PÖRTNER ET AL PÖRTNER ET AL. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2022.
- IRABOR, T.-J. et al. Exploring the potential of a serious game framework in developing systems-thinking skills. *Journal of Veterinary Medical Education*, v. 51, n. 4, e20230048, 2023.
- JOSEPHSEN, J. Cognitive Load Theory and nursing simulation: an integrative review. *Clinical Simulation in Nursing*, v. 11, n. 5, p. 259-267, 2015.
- KALAMAS HEDDEN, M. et al. Teaching sustainability using an active learning constructivist approach: discipline-specific case studies in higher education. *Sustainability*, v. 9, n. 8, p. 1320, 2017.
- KOLB, D. A. Experiential learning: experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984.
- MAROULI, C. Sustainability education for the future? Challenges and implications for education and pedagogy in the twenty-first century. *Sustainability*, v. 13, n. 5, p. 2901, 2021.
- MEADOWS, D. H. Thinking in systems: A primer. White River Junction, VT: Chelsea Green Publishing, 2008.
- MENDLER DE SUAREZ, J.; SUAREZ, P.; BACHOFEN, C. Games for a New Climate: Experiencing the Complexity of Future Risks. Boston: Boston University Frederick S. Pardee Center for the Study of the Longer-Range Future, 2012.
- MOFFAT, S.; KOHLER, N. Conceptualising the built environment as a social-ecological system. *Building Research & Information*, v. 36, n. 3, p. 248-268, 2008.
- NESET, T.-S. et al. Serious Gaming for Climate Adaptation—Assessing the Potential and Challenges of a Digital Serious Game for Urban Climate Adaptation. *Sustainability*, v. 12, n. 5, p. 1789, 2020.
- OUARIACHI, T. et al. Gamification approaches for education and engagement on pro-environmental behaviors: searching for best practices. *Sustainability*, v. 12, n. 11, p. 4565, 2020.



- PLASS, J. L.; HOMER, B. D.; KINZER, C. K. Foundations of game-based learning. *Educational Psychologist*, v. 50, n. 4, p. 258-283, 2015.
- QAISER, A. et al. The Design of a Board Game-Based Experiential Learning Intervention to Enhance Climate Change Knowledge Retention Among High School Students. *Journal of Experiential Education*, 2026.
- RECKIEN, D.; EISENACK, K. Climate change gaming on board and screen: A review. *Simulation & Gaming*, v. 44, n. 2-3, p. 253-271, 2013.
- RIECKMANN, M. Education for Sustainable Development Goals: Learning Objectives. Paris: UNESCO, 2017.
- SIMON, H. A. A behavioral model of rational choice. *The Quarterly Journal of Economics*, v. 69, n. 1, p. 99-118, 1955.
- SOLINSKA-NOWAK, A. et al. An overview of serious games for disaster risk management – Prospects and limitations for informing actions to arrest increasing risk. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, v. 31, p. 1013-1029, 2018.
- STERMAN, J. D. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston, MA: Irwin/McGraw-Hill, 2002.
- STERMAN, J. D. Learning from evidence in a complex world. *American Journal of Public Health*, v. 96, n. 3, p. 505-514, 2006.
- SWAAK, J.; DE JONG, T.; VAN JOOLINGEN, W. R. The effects of discovery learning and expository instruction on the acquisition of definitional and intuitive knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, v. 20, n. 4, p. 225-234, 2004.
- SWELLER, J. Cognitive load during problem solving: effects on learning. *Cognitive Science*, v. 12, p. 257-285, 1988.
- TAN, C. C.; NURUL-ASNA, H. Serious Games for Environmental Education: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 2023.
- VYGOTSKY, L. S. *Pensamento e Linguagem*. São Paulo: Martins Fontes, 1991.
- WADDINGTON, D. I.; FENNEWALD, T. Grim FATE: learning about systems thinking in an in-depth climate change simulation. *Simulation & Gaming*, v. 49, n. 2, p. 168-194, 2018.
- WALS, A. E. J. Learning Our Way to sustainability. *Journal of Education for Sustainable Development*, v. 5, n. 2, p. 177-186, 2011.
- WU, J. S.; LEE, J. J. Climate change games as tools for education and engagement. *Nature Climate Change*, v. 5, p. 413-418, 2015.
- XU, Y. et al. Makahiki: An open source serious game framework for sustainability education and conservation. In: *International Conference on Sustainability, Technology, and Education*. International Association for Development, IADIS, p. 131-138, 2014.