

Pontes Conceituais no Ensino de Sistemas Operacionais: *Design e Avaliação do Serious Game Crônicas de Eldoria*

Gabriel Paeslandin Cassarotti¹, Maurilio Martins Campano Junior^{1,2},
Linnyer Beatrys Ruiz Aylon¹

¹Manna.Team

Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PCC)

Maringá - PR - Brazil

²Centro Universitário UniCesumar - Engenharia de Software

Maringá - PR - Brazil

ral17208@uem.br, maurilio.campanojr@gmail.com, lbruiz@uem.br

Abstract. *This article, developed within the context of the Manna.team, presents the puzzle-based RPG serious game entitled “Crônicas de Eldoria”, developed to mitigate abstraction in the teaching of Operating Systems. The methodology employs “conceptual bridges” to translate complex topics, such as concurrency and deadlock, into interactive mechanics. The evaluation with 75 students, utilizing the MEEGA+ and Game Flow instruments, revealed high levels of engagement, flow, and pedagogical effectiveness. The results demonstrate that direct manipulation within the minigames yields higher retention rates (up to 94% accuracy in game activities) compared to purely narrative modules. It is concluded that playful and interactive metaphors facilitate meaningful learning in Computing.*

Resumo. *Este trabalho, desenvolvido no contexto do Manna.team, apresenta o serious game em RPG com puzzles intitulado “Crônicas de Eldoria”, desenvolvido para mitigar a abstração no ensino de Sistemas Operacionais. A metodologia utiliza “pontes conceituais” para traduzir tópicos complexos, como concorrência e deadlock, em mecânicas interativas. A avaliação com 75 estudantes, utilizando os instrumentos MEEGA+ e Game Flow, revelou altos índices de engajamento, fluxo e eficácia pedagógica. Os resultados comprovam que a manipulação direta nos minigames gera taxas de retenção superiores (até 94% de acerto nas atividades do jogo) em comparação a módulos puramente narrativos. Conclui-se que metáforas lúdicas e interativas viabilizam a aprendizagem significativa na Computação.*

1. Introdução

Aprender é uma necessidade constante na prática acadêmica, o que impulsiona os educadores a buscarem continuamente novas metodologias para aprimorar a forma como o conhecimento é transmitido [Quirino et al. 2017]. Nesse contexto, a adoção de jogos educativos digitais tem crescido significativamente nos ambientes formais de ensino. Essas

ferramentas oferecem um aprendizado prático, envolvente e interativo, facilitando a compreensão de conceitos técnicos complexos, além de promover o pensamento crítico e a resolução de problemas [Battistella and von Wangenheim 2016].

Apesar da popularização e dos benefícios da aprendizagem baseada em jogos, a aplicação dessas ferramentas nos cursos de Ciência da Computação apresenta uma distribuição assimétrica na literatura. Áreas de base teórica, tais como Arquitetura e Organização de Computadores, Linguagens Formais e Autômatos, Redes de Computadores e Sistemas Operacionais, ainda são pouco exploradas em relação a outras disciplinas, como Programação e Engenharia de Software [Battistella and von Wangenheim 2016, Clementino et al. 2022].

O ensino de Sistemas Operacionais, em particular, esbarra na dificuldade de transpor fenômenos computacionais intangíveis e dinâmicos para a sala de aula. A alta carga de abstração exigida para a compreensão de algoritmos de sincronização, escalonamento e alocação estrutural frequentemente resulta em desmotivação, impactando negativamente o processo de ensino e aprendizagem dos discentes [Tanenbaum and Bos 2015].

Visando mitigar essa barreira pedagógica e preencher a lacuna identificada na literatura, este trabalho propõe o desenvolvimento e a avaliação de um *serious game* no formato de *Role-Playing Game* (RPG), intitulado “Crônicas de Eldoria”. O diferencial metodológico do artefato reside no *design* de “pontes conceituais”. Essa abordagem traduz teorias fundamentais da disciplina em metáforas narrativas de fantasia e mecânicas lúdicas interativas, permitindo que o estudante manipule e visualize os problemas sistêmicos, como a formação de *deadlocks* e a fragmentação de memória, de maneira concreta e situada.

O objetivo principal deste artigo é apresentar a arquitetura de *software* do protótipo, detalhar o mapeamento pedagógico de suas mecânicas e avaliar empiricamente a eficácia da ferramenta junto a estudantes universitários. Para tanto, o restante deste trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve a fundamentação teórica e os trabalhos correlatos; a Seção 3 detalha o *design* das pontes conceituais e a implementação tecnológica do artefato; a Seção 4 discute a aplicação prática e analisa os dados da experiência de uso e do aprendizado percebido; e, por fim, a Seção 5 apresenta as considerações finais e perspectivas para trabalhos futuros.

2. Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados

Os Sistemas Operacionais (SO) atuam como uma máquina estendida que gerencia os recursos de *hardware* e provê uma abstração operacional para a execução de processos concorrentes [Tanenbaum and Bos 2015]. A compreensão de seus conceitos fundamentais, tais como a gerência de memória, o escalonamento de processos, os sistemas de arquivos, o controle de dispositivos de Entrada e Saída (E/S) e a prevenção de impasses (*deadlocks*), constitui o alicerce para disciplinas avançadas de Redes de Computadores, Sistemas Distribuídos e Compiladores [Coulouris et al. 2013, Sebesta 2018]. Todavia, a transposição didática dessa infraestrutura lógica impõe barreiras pedagógicas significativas decorrentes do alto grau de abstração e do dinamismo intrínseco aos processos computacionais gerenciados em tempo real.

2.1. Simuladores no Ensino de Sistemas Operacionais

Para mitigar o distanciamento entre a teoria acadêmica e a prática operacional, a literatura documenta o uso de simuladores como ferramentas de apoio em ambientes de laboratório [Maia 2001]. Essas plataformas buscam prover representações visuais controladas das rotinas do sistema operacional. Tais ferramentas evidenciam que o gerenciamento de memória, o gerenciamento de processos e o escalonamento do processador concentram o escopo da maioria dos softwares desenvolvidos. Em contrapartida, observa-se uma lacuna no tratamento de tópicos igualmente críticos. Conceitos complexos como a comunicação entre processos, a gerência de *threads*, as restrições de memória virtual, a concorrência assíncrona, a sincronização de regiões críticas e as nuances estruturais dos sistemas de arquivos aparecem com baixa frequência nas plataformas tradicionais, limitando a abrangência da formação prática dos discentes [de Camargo et al. 2024, Camargo et al. 2025].

2.2. Jogos Educativos Digitais e Lacunas na Computação

Como alternativa ou complemento aos simuladores, os jogos educativos digitais surgem como estratégias pedagógicas promissoras capazes de potencializar o engajamento e a formação de habilidades técnicas por meio de desafios, fantasia e curiosidade guiada [Falkembach et al. 2006]. Um jogo educativo eficaz requer uma estrutura em que a aprendizagem do objeto de conhecimento seja indispensável para a progressão e o sucesso lúdico do estudante [Costa 2009]. Essa dinâmica é sustentada por quatro elementos básicos: meta, regras, *feedback* imediato e participação voluntária [Pascotini 2018]. O equilíbrio entre a complexidade do desafio proposto e a habilidade percebida pelo jogador define o estado de fluxo (*flow*), fator determinante para a manutenção da motivação e consolidação do aprendizado significativo [Sanches 2019].

Apesar da crescente adoção de jogos educativos no cenário da Ciência da Computação, a distribuição dessas soluções entre as subáreas do conhecimento apresenta uma assimetria severa [Battistella and von Wangenheim 2016, Clementino et al. 2022]. Mapeamentos sistemáticos da literatura revelam uma concentração massiva de iniciativas voltadas ao ensino de Engenharia de Software, com 43 jogos catalogados [Haddad et al. 2024], e de Programação, com 30 soluções identificadas [de Barros Costa and Rocha 2018]. Áreas teóricas registram volumes visivelmente inferiores, contando com 16 jogos para Estrutura de Dados [Julio et al. 2024], 13 para Circuitos Digitais [Santini et al. 2023] e apenas 9 para Linguagens Formais e Autômatos [Santini et al. 2022].

O cenário torna-se ainda mais crítico no domínio de Sistemas Operacionais. No levantamento conduzido por [Battistella and von Wangenheim 2016], foram identificados somente três exemplos de jogos direcionados a essa ementa, ao passo que o mapeamento de [Clementino et al. 2022] não registrou nenhuma solução correlata aos conceitos de SO. Esta escassez severa de artefatos lúdicos interativos corrobora a relevância do desenvolvimento de novas propostas pedagógicas. Diante das lacunas identificadas tanto nos simuladores quanto nos jogos existentes, o desenvolvimento do *serious game* “Crônicas de Eldoria” justifica-se pela oportunidade de integrar os conceitos preteridos de concorrência, fragmentação e impasses em uma plataforma unificada e interativa.

3. Metodologia

Esta Seção apresenta o processo de implementação técnica e o design de software que resultaram no artefato central desta pesquisa, o *serious game* “Crônicas de Eldoria”. As seções a seguir detalham a arquitetura de software do protótipo, focando nas decisões que garantem a escalabilidade do sistema, e documentam o núcleo pedagógico do projeto, correspondente ao design intencional das cinco “pontes conceituais”, que constituem a tradução da teoria de Sistemas Operacionais em mecânicas de jogo interativas.

3.1. Arquitetura Orientada a Dados e Tecnologias

A arquitetura do “Crônicas de Eldoria” foi concebida sob o padrão Cliente e Servidor para maximizar a acessibilidade universal, requerendo apenas um navegador web padrão. A solução é dividida em três camadas lógicas distintas: Apresentação, Aplicação e Dados.

A Camada de Apresentação opera no navegador do usuário (*client-side*), gerenciando a interface HTML/CSS, processada via motor Jinja2, e a interatividade imediata via JavaScript. A lógica efêmera e de alta frequência, como a resolução de turnos de combate e a manipulação de peças nos *minigames*, ocorre integralmente nesta camada para garantir fluidez. A Camada de Aplicação, implementada em linguagem Python com o *microframework* Flask, atua como o *backend* da aplicação. O servidor orquestra a progressão do jogador de forma assíncrona, validando e persistindo os dados em sessões criptografadas após a resolução das interações no cliente.

O diferencial para a escalabilidade do artefato reside na Camada de Dados. O projeto adotou a abordagem de *data-driven design* (design orientado a dados), dissociando o motor do jogo do conteúdo narrativo. Arquivos estáticos em formato JSON definem a estrutura das páginas, os diálogos, as opções de escolha e os atributos de inimigos. Essa separação permite que educadores adicionem novos capítulos alterando apenas os metadados textuais, sem necessidade de modificar o código-fonte principal.

3.2. Fluxo de Interação e Interfaces

O sistema gerencia a transição fluida entre quatro estados principais: Narrativa, Escolha, Teste e Combate, sendo que esse ciclo de interação foi desenhado para manter a imersão do usuário, utilizando a metáfora estrutural de um “livro interativo”.

A interface principal unifica a experiência do jogador, dividindo a tela em três áreas funcionais distintas: a Área de Narrativa, responsável por exibir os textos processados; a Área de Decisão, composta por opções dinâmicas; e a Área de Status, que reporta a condição em tempo real da equipe. Os elementos que compõem essa identidade visual, bem como os fluxos iniciais do protótipo, estão detalhados na Figura 1.

Em vez de redirecionar o jogador para novas páginas a cada desafio, o sistema invoca subsistemas de *overlay* (sobreposição) para manter a continuidade do contexto narrativo. Dessa forma, quando o jogador enfrenta uma batalha ou ativa uma ponte conceitual, um módulo especialista em JavaScript assume o controle temporário da interface, realizando a comunicação assíncrona com o servidor para persistência de estado apenas ao término da ação lúdica.

3.3. Fundamentação Lúdica: O Motor de Regras

A estrutura que unifica a narrativa e provê o ciclo de desafio e recompensa é baseada em uma adaptação digital direta do sistema de *Role-Playing Game* (RPG) de mesa *Dungeons*

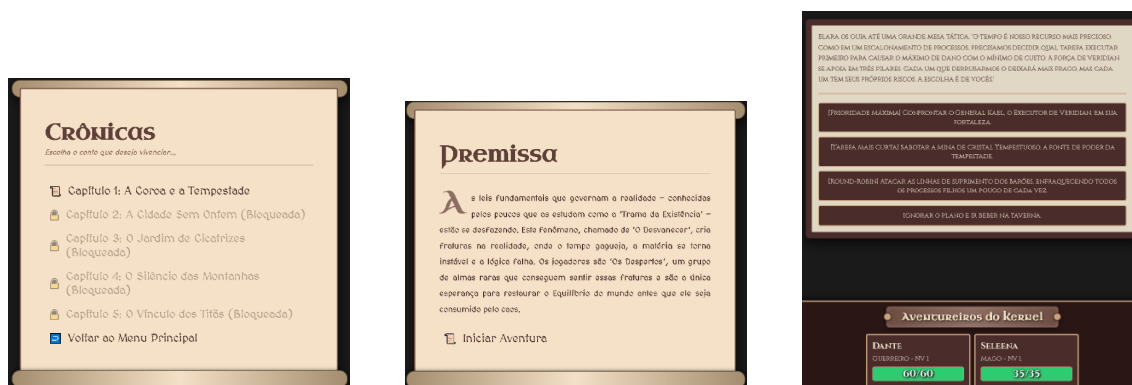


Figura 1. Interfaces do protótipo contemplando seleção de crônica, premissa e tela principal.

and Dragons 5ª Edição (D&D 5e). A escolha deste sistema justifica-se por ser um motor de regras amplamente validado e estatisticamente balanceado.

A mecânica central abstrai as rolagens clássicas, utilizando resoluções baseadas em um dado de 20 faces comparado a uma Classe de Dificuldade (CD) definida pelo servidor. O subsistema de combate tático opera em turnos, gerenciando filas de iniciativa e a economia de ações de forma automatizada no cliente. Esta decisão de design metodológico poupou os esforços de balanceamento de um sistema original, permitindo um foco irrestrito na inovação pedagógica das pontes conceituais.

3.4. O Design das Pontes Conceituais

O desafio central no ensino de infraestrutura de computação reside na abstração dos tópicos. A estratégia pedagógica do jogo é a criação de “Pontes Conceituais”, conceituadas nesta pesquisa como o design intencional de mecânicas lúdicas que espelham a lógica algorítmica do conceito acadêmico. O objetivo é estabelecer um ambiente situado e significativo para a ancoragem cognitiva.

Para assegurar que a interação com os *minigames* resulte na efetiva assimilação dos tópicos de Sistemas Operacionais, o processo de *design* baseou-se no alinhamento estrutural entre a mecânica de jogo e a regra computacional. Em outras palavras, a condição de vitória de cada desafio lúdico exige que o jogador aplique empiricamente a mesma lógica de resolução utilizada pelos algoritmos de gerenciamento do SO. Desse modo, o estudante não apenas consome a informação de forma declarativa, mas sofre diretamente as consequências operacionais das falhas sistêmicas na interface, como ter o progresso bloqueado ao gerar uma espera circular (*deadlock*) ou sofrer penalidades ao alocar espaço de forma não contígua (fragmentação). Ao manipular ativamente as variáveis do *minigame* para resolver esses conflitos e avançar na narrativa, o aprendiz internaliza o comportamento mecânico do conceito, facilitando a transposição cognitiva para a teoria acadêmica formal que é concomitantemente detalhada e consolidada nos textos da área de narrativa. As cinco pontes conceituais desenvolvidas são detalhadas a seguir:

I. Gerenciamento de Processos (Sincronização): A narrativa apresenta o reino em caos, onde nobres rebeldes (processos concorrentes) tentam usurpar o “Trono” (recurso crítico). O *minigame* “Ritual da Sincronia” traduz a exclusão mútua. O jogador deve alinhar dois focos simultaneamente em uma região segura, compreendendo as con-

seqüências da condição de corrida ao falhar no acesso coordenado, conforme ilustrado na Figura 2 (à esquerda).

II. Gerenciamento de Memória: Abordando a fragmentação externa, a narrativa introduz a “Névoa do Esquecimento”. No *minigame* “Tear da Memória”, apresentado na Figura 2 (à direita), o jogador aloca processos de tamanhos variados em um *grid* finito. Um algoritmo calcula dinamicamente os espaços ociosos deixados pela alocação ineficiente, preenchendo uma barra de fragmentação que penaliza o jogador caso não otimize o layout espacial.

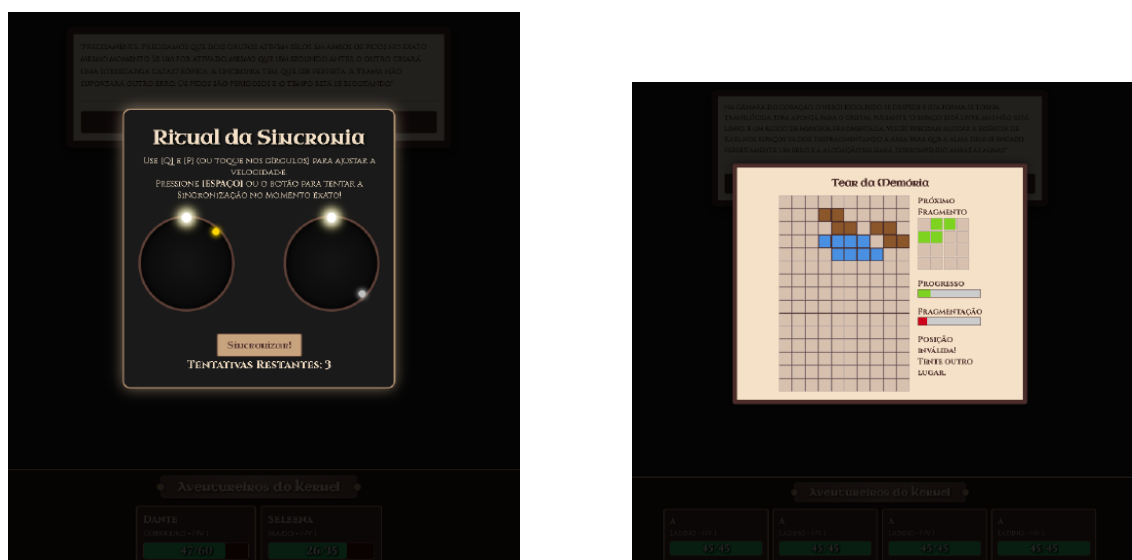


Figura 2. Interfaces dos *minigames* correspondentes ao Ritual da Sincronia (à esquerda) e ao Tear da Memória (à direita).

III. Sistema de Arquivos: Focado na alocação contígua, o capítulo apresenta um vale corrompido por cicatrizes. O desafio de desfragmentação é estruturado por meio do *minigame* exibido na Figura 3 (à esquerda), exigindo que o jogador movimente blocos de dados em um *puzzle* de deslizamento com movimentos limitados para consolidar o espaço livre, ilustrando o custo de processamento real dessa operação.

IV. Gerenciamento de Entrada e Saída (E/S): Com foco na comparação entre *Polling* (*busy-waiting*) e Interrupção, este capítulo optou por uma ponte puramente narrativa. O dilema opõe o desperdício de recursos de uma general esperando ativamente por relatórios em contraste com o envio de sinais assíncronos pelas torres de vigilância.

V. Deadlock: A ponte conceitual culminante traduz o grafo de alocação de recursos. O *minigame* “Vínculo dos Titãs”, visualizado na Figura 3 (à direita), materializa os quatro cofatores do impasse (exclusão mútua, posse e espera, não preempção e espera circular) em um ciclo visual de entidades bloqueadas. O jogador deve interagir com as conexões lógicas para quebrar o ciclo.

4. Aplicação e Análises do Resultado

Esta Seção apresenta a avaliação empírica do *serious game* “Crônicas de Eldoria” obtida a partir de sua aplicação com estudantes universitários da disciplina de Sistemas Operacionais. Inicialmente, detalham-se as características do instrumento de coleta de dados e

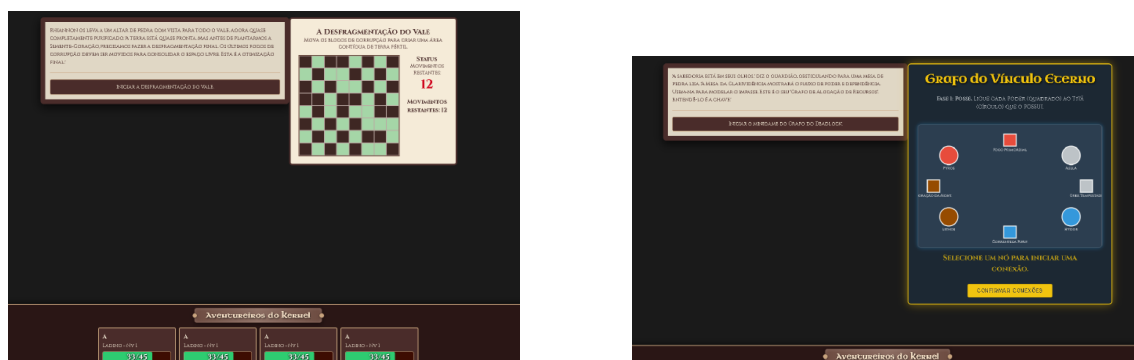


Figura 3. Interfaces dos *minigames* correspondentes à Desfragmentação do Vale (à esquerda) e ao Grafo de *Deadlocks* (à direita).

o perfil demográfico da amostra de participantes. Na sequência, são expostas as análises quantitativas associadas à experiência de jogo, obtidas pelos modelos MEEGA+ e *Game Flow*, seguidas pelo exame do desempenho pedagógico integrado das pontes conceituais. Por fim, apresenta-se a análise qualitativa das respostas abertas e a discussão geral dos resultados, articulando as contribuições evidenciadas, as limitações metodológicas identificadas e as diretrizes para o planejamento de trabalhos futuros.

4.1. Instrumento de Coleta e Caracterização da Amostra

A coleta de dados foi conduzida por meio de um formulário estruturado no Google Forms para mensurar a eficácia pedagógica e a usabilidade do artefato. O instrumento integrou o *framework* MEEGA+ para avaliação da experiência em jogos educacionais e construtos do modelo *Game Flow* para verificar o equilíbrio de engajamento. Adicionalmente, incluiu questões para avaliar a percepção de aprendizagem e espaços para respostas abertas qualitativas. O tratamento metodológico desses dados qualitativos seguiu as diretrizes da Análise de Conteúdo proposta por Bardin [Silva and Fossá 2015], estruturando-se em três etapas fundamentais: a pré-análise (leitura flutuante dos relatos para apropriação inicial), a exploração do material (codificação e identificação das unidades de registro) e o tratamento dos resultados, o que viabilizou a união dos dados empíricos em categorias temáticas baseadas na reincidência dos apontamentos.

A aplicação empírica do artefato ocorreu em ambiente presencial, envolvendo três turmas regulares da disciplina de Sistemas Operacionais, as quais totalizavam 123 alunos matriculados. Durante as sessões, os estudantes interagiram com o jogo durante o horário de aula e sob a supervisão do docente, com um tempo médio de experimentação lúdica de 40 minutos. Imediatamente após a conclusão da atividade, os discentes foram convidados a preencher o instrumento de coleta de dados. A participação na pesquisa ocorreu de forma estritamente voluntária, sem qualquer atrelamento à composição de nota avaliativa da disciplina, resultando na adesão de 75 respondentes.

A amostra foi composta por 74 participantes, formados predominantemente por estudantes da área de Computação. No que concerne ao perfil etário, observou-se uma concentração acentuada de indivíduos na faixa entre 19 e 21 anos, a qual totalizou 65 respondentes, distribuídos em 43 participantes com 19 anos, 15 com 20 anos e 7 com 21 anos. O restante da amostra apresentou uma distribuição dispersa, registrando-se 2 estudantes com 18 anos e apenas 1 representante para cada uma das idades de 23, 24, 25,

26, 27, 29 e 31 anos. Em relação à distribuição de gênero, verificou-se a prevalência de participantes do gênero masculino, com 58 indivíduos, enquanto o gênero feminino foi representado por 16 integrantes, e apenas 1 respondente optou por não declarar seu perfil.

4.2. Avaliação da Experiência de Jogo

Os resultados quantitativos atestam a viabilidade lúdica do protótipo. No modelo MEEGA+ (Tabela 1), a “Satisfação” e a “Diversão” obtiveram os maiores índices em uma escala *Likert* de 5 pontos, indicando forte assimilação da temática narrativa. No modelo *Game Flow* (Tabela 2), destacam-se o “Feedback Imediato” e o “Engajamento”, confirmando que a interface forneceu retorno responsivo essencial para a experimentação.

A principal ressalva na experiência de uso recaiu sobre a “Clareza dos Objetivos”, índice ligeiramente inferior devido a relatos pontuais de dificuldade na compreensão inicial das regras do *minigame* de Gerenciamento de Processos, apontando a necessidade de tutoriais prévios nas próximas iterações.

Tabela 1. Indicadores da Experiência de Jogo baseados no MEEGA+ (Escala 0 a 5).

Dimensão Avaliada	Média	Interpretação Resumida
Satisfação	4,52	Alta satisfação com a experiência geral.
Diversão	4,48	Alto nível de engajamento lúdico.
Feedback	4,37	Respostas do sistema claras e imediatas.
Imersão	4,31	Narrativa e ambiente bem avaliados.
Aprendizagem Percebida	4,26	Boa percepção nos capítulos interativos.
Atenção Focal	4,22	Manutenção do foco durante a execução.
Desafio Percebido	4,18	Nível de desafio considerado adequado.
Competência/Autonomia	4,09	Jogadores sentiram-se capazes de progredir.
Clareza dos Objetivos	4,02	Compreendidos, com queda apenas no Capítulo 4.

Tabela 2. Indicadores do Modelo *Game Flow* (Escala 0 a 5).

Dimensão Avaliada	Média	Interpretação Resumida
Feedback Imediato	4,33	Retorno claro após ações.
Engajamento / <i>Flow</i>	4,27	Estados prolongados de concentração.
Controle Percebido	4,21	Sensação de domínio sobre as ações.
Equilíbrio Habilidade/Desafio	4,11	Jogo evita tédio e frustração.
Previsibilidade	4,08	Mecânicas compreensíveis após adaptação.
Clareza das Metas	4,04	Jogadores entenderam o que fazer.

A análise conjunta dos construtos do MEEGA+ e do modelo *Game Flow* revela que o artefato obteve êxito substancial em sua camada lúdica. As médias elevadas nas dimensões de “Satisfação”, “Diversão” e “Imersão” demonstram que a adoção da narrativa de RPG textual não atuou como mera alegoria estética, mas sim como um vetor robusto

de engajamento intrínseco. Sob a ótica da teoria do fluxo, o alinhamento entre o “Desafio Percebido” (4,18) e o “Equilíbrio Habilidade/Desafio” (4,11) indica que o jogo conseguiu manter os estudantes em uma zona de estimulação cognitiva adequada, evitando os extremos prejudiciais do tédio e da frustração.

Por outro lado, a convergência das menores médias nas dimensões de “Clareza dos Objetivos” (4,02) e “Clareza das Metas” (4,04) expõe um gargalo de usabilidade e transposição didática inerente à introdução de mecânicas originais. A falta de familiaridade inicial com a interface dos desafios, particularmente no *minigame* de processos, exigiu dos discentes uma carga cognitiva extrínseca para a assimilação das regras do jogo, o que pode desviar temporariamente a atenção do conceito estrutural de Sistemas Operacionais. Esse diagnóstico empírico justifica a inclusão futura de mecanismos de suporte gradual, tais como tutoriais interativos curtos e guiados que antecedam os *puzzles* principais, garantindo que a energia cognitiva do aluno seja investida exclusivamente na resolução do problema computacional subjacente.

4.3. Avaliação Integrada das Pontes Conceituais

A eficácia pedagógica do “Crônicas de Eldoria” foi avaliada cruzando a aprendizagem percebida (escala de 1 a 5) com a taxa de acerto na identificação dos conceitos. A Tabela 3 consolida os indicadores de desempenho extraídos das atividades realizadas internamente no jogo “Crônicas de Eldoria”, referente a todos os capítulos.

Tabela 3. Desempenho Pedagógico Integrado por Capítulo e Ponte Conceitual.

Capítulo	Conceito Abordado	Aprendizagem Percebida	Taxa de Acerto
1	Sincronização e Exclusão Mútua	4,41	92%
2	Fragmentação e Memória	4,28	85%
3	Sistema de Arquivos	4,19	88%
4	Entrada e Saída (<i>Polling</i> vs Interrupção)	3,87	72%
5	Deadlock (Condições de Coffman)	4,52	94%

Os critérios algorítmicos para a determinação da “Taxa de Acerto” foram estruturados de forma estrita com base nos gatilhos lógicos de conclusão de cada módulo do sistema. Assim, a análise revela um padrão claro de assimilação conceitual atrelado ao nível de manipulação mecânica oferecido. O Capítulo 5 (Deadlock) e o Capítulo 1 (Processos) apresentaram as maiores pontuações. A conversão do Grafo de Alocação de Recursos em um *puzzle* tátil obteve sucesso expressivo em tangibilizar a “Espera Circular”, fenômeno historicamente abstrato.

Os Capítulos 2 e 3 mantiveram médias sólidas de aprendizagem percebida (4,28 e 4,19, respectivamente) e de taxa de acerto, comprovando que metáforas espaciais auxiliam substancialmente na visualização da fragmentação externa e da alocação de blocos. A exigência de manipulação espacial nos *puzzles* “Tear da Memória” e “Jardim de Cicatrizes” permitiu aos estudantes concretizar os custos computacionais da desfragmentação de discos e da má gestão de memória. Esse fenômeno refletiu-se positivamente nas dimensões de “Competência/Autonomia” (4,09) do MEEGA+ e de “Controle Percebido” (4,21) do *Game Flow*, indicando que a materialização visual dos processos lógicos fornece ao aluno a sensação de domínio sobre a teoria aplicada.

Em contraste agudo, o Capítulo 4, focado no Gerenciamento de Entrada e Saída (*Polling* vs. Interrupção), apresentou a menor eficiência pedagógica de todo o estudo, registrando 3,87 em aprendizagem percebida e apenas 72% na taxa de acerto. A ausência de um *minigame* manipulável neste módulo atuou, na prática, como uma validação interna da necessidade da mecânica lúdica. Esse declínio nas métricas, associado à queda pontual na “Clareza dos Objetivos” (4,02), evidenciou que a carga cognitiva em simulações digitais depende intrinsecamente da interação ativa. O resultado demonstra que a metáfora puramente narrativa, desprovida dos ciclos de falha e de “*Feedback* Imediato” presentes nos outros capítulos, é insuficiente para alcançar os mesmos índices de retenção e engajamento exigidos por conceitos complexos de Sistemas Operacionais.

4.4. Análise Qualitativa e Discussão Geral

A Análise de Conteúdo Temática, inspirada em Bardin, triangulou os achados quantitativos a partir das respostas abertas. A categorização é sintetizada na Tabela 4.

Tabela 4. Categorias Qualitativas Identificadas nas Respostas Abertas.

Eixo	Categoria	Síntese Relatada
Pontos Positivos	Narrativa e Ambientação	Envolvimento, imersão e coerência temática.
Pontos Positivos	Clareza das Analogias	Metáforas bem compreendidas e eficazes.
Pontos Positivos	<i>Minigames</i>	Aprendizagem facilitada pela visualização interativa.
Dificuldades	Ausência de <i>Minigame</i> (Cap. 4)	Prejuízo à compreensão de <i>Polling</i> e Interrupções.
Dificuldades	Curva Inicial dos <i>Puzzles</i>	Necessidade de tutorial explicativo prévio.
Sugestões	Mais Capítulos e Combates	Interesse por continuidade e aprofundamento.
Sugestões	Aprimoramento Visual	Requisição por animações gráficas adicionais.

Articulando os achados aos referenciais de aprendizagem formal, os resultados confirmam o potencial da abordagem orientada a pontes conceituais. Conforme postulado por Ausubel na teoria da Aprendizagem Significativa [Ausubel 2003], o novo conhecimento ancora-se de forma robusta quando encontra representações concretas previamente assimiladas pelo estudante. Neste trabalho, a mecânica lúdica atuou como este organizador prévio.

Ademais, a variação de desempenho entre o sucesso do Grafo de *Deadlock* interativo e a limitação do texto focado em Entrada e Saída reforça as diretrizes propostas por teóricos de jogos educacionais como Gee [Gee 2003]. O engajamento efetivo não emana apenas da roupagem de fantasia, mas do alinhamento preciso entre a exploração ativa no jogo e a lógica algorítmica intrínseca do conteúdo abordado. A consolidação das métricas indica que o artefato atende aos requisitos pedagógicos iniciais, configurando-se como uma ferramenta de apoio viável para a disciplina de Sistemas Operacionais.

Não obstante as contribuições evidenciadas, o presente estudo possui limitações metodológicas que devem ser ponderadas. Primeiramente, as taxas de acerto reportadas

refletem o desempenho dos estudantes obtido estritamente dentro do ambiente virtual de interação. Desse modo, as métricas avaliam de forma direta a usabilidade da interface e a resolução lógica dos desafios lúdicos, sem necessariamente garantir a transferência cognitiva imediata desse conhecimento para contextos de avaliação acadêmica formal. Adicionalmente, a ausência de um grupo de controle composto por discentes expostos apenas às metodologias tradicionais de ensino limita a capacidade de isolar de forma robusta o ganho de aprendizagem decorrente estritamente do uso do jogo.

Como passo natural e essencial para os trabalhos futuros da equipe, planeja-se a condução de um delineamento quase experimental rigoroso. Esta próxima etapa de pesquisa abrangerá a aplicação de testes de conhecimento formais (pré-teste e pós-teste) estruturados com base nos conteúdos programáticos da disciplina, permitindo uma análise comparativa estatística entre turmas experimentais e turmas de controle para validar empiricamente o real ganho acadêmico proporcionado pelo artefato.

5. Conclusão

O ensino de disciplinas como Sistemas Operacionais impõe desafios substanciais devido à alta carga cognitiva exigida para a compreensão de processos algorítmicos. Para atenuar essa barreira, esta pesquisa projetou, desenvolveu e avaliou o *serious game* “Crônicas de Eldoria”. A estratégia de ancorar conceitos acadêmicos complexos em mecânicas interativas, conceituada neste trabalho como “pontes conceituais”, demonstrou ser uma ferramenta de transposição didática robusta e envolvente.

Os dados empíricos coletados junto a 75 estudantes universitários, fundamentados por instrumentos consolidados na literatura (*framework* MEEGA+ e modelo *Game Flow*), evidenciaram níveis excelentes de imersão, diversão e clareza de metas. Do ponto de vista pedagógico, o contraste de desempenho entre o sucesso expressivo de módulos manipuláveis (com destaque para as representações gráficas de *deadlock* e fragmentação de memória) e a retenção inferior do módulo puramente narrativo confirmou empiricamente as premissas teóricas adotadas. Ficou evidente que a aprendizagem significativa de conceitos abstratos em ambientes gamificados depende intrinsecamente da exploração ativa e da interatividade.

Sob a ótica da Engenharia de Software, o artefato entrega uma contribuição que transcende o ciclo de vida de um protótipo isolado. A adoção de uma arquitetura *data-driven*, que dissocia o motor lógico do conteúdo narrativo estruturado em JSON, garante a manutenibilidade e a escalabilidade do sistema. Essa decisão arquitetural permite que a comunidade acadêmica adapte e expanda o material didático sem a necessidade de refatoração do código-fonte.

Visando consolidar a validade científica do projeto e expandir seu alcance, os trabalhos futuros concentram-se em três frentes principais. A primeira envolve o aprimoramento da interface com tutoriais introdutórios para suavizar a curva de aprendizado mecânico. A segunda consiste no *design* de um novo *minigame* dedicado ao capítulo de Entrada e Saída, suprimindo a lacuna de interatividade identificada. Por fim, planeja-se a execução de um delineamento quase-experimental, com adoção de grupos de controle e a aplicação de instrumentos de avaliação formal de conhecimento (pré-teste e pós-teste) permitindo mensurar, com rigor estatístico, a efetiva transferência do aprendizado vivenciado no ambiente lúdico para o desempenho acadêmico dos discentes.

Agradecimentos

“Agradecimentos ao Manna Team, a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) - Brasil (Processo nº 421548/2022-3) pelo apoio”.

Disponibilidade de Artefatos

Alinhado aos princípios da Ciência Aberta (*Open Science*) e visando garantir a transparência futura desta pesquisa, ressalta-se que o jogo desenvolvido encontra-se atualmente em estágio de protótipo. Devido a essa condição técnica de maturação e consolidação do artefato, o sistema ainda não está disponível para acesso externo imediato. Contudo, a ferramenta será disponibilizada publicamente em breve, acompanhada da devida identificação autoral, permitindo que a comunidade acadêmica verifique a implementação de suas mecânicas e replique os experimentos documentados.

Declaração sobre o uso de Inteligência Artificial

Os autores declaram que nenhuma ferramenta baseada em Inteligência Artificial (IA), assistentes computacionais generativos ou modelos de linguagem foi utilizada em qualquer etapa de elaboração deste trabalho, incluindo a redação do texto e a revisão estrutural do manuscrito. Todo o conteúdo apresentado é de autoria inteiramente original e exclusiva dos pesquisadores envolvidos.

Referências

- Ausubel, D. P. (2003). *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*, volume 1. Lisboa.
- Battistella, P. and von Wangenheim, C. G. (2016). Games for teaching computing in higher education—a systematic review. *IEEE Technology and Engineering Education*, 9(1):8–30.
- Camargo, V. H. S. d., Campano Junior, M. M., Silva, F. F. d., and Aylon, L. B. R. (2025). Learning operating systems with educational games: A systematic mapping of the literature. *Journal on Interactive Systems*, 16(1):718–732.
- Clementino, E. G., da Silva, T. R., da Silva Aranha, E. H., and dos Santos, F. G. (2022). Jogos não digitais para ensino de computação—um mapeamento sistemático. In *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 540–550. SBC.
- Costa, L. D. (2009). O que os jogos de entretenimento têm que os jogos educativos não têm. In *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, pages 8–10.
- Coulouris, G., Dollimore, J., Kindberg, T., and Blair, G. (2013). *Sistemas Distribuídos: Conceitos e Projeto*. Bookman Editora.
- de Barros Costa, E. and Rocha, H. J. B. (2018). Programação numa abordagem de aprendizagem baseada em resolução de problemas e jogos: um mapeamento sistemático. *SBC—Proceedings of SBGames*.

- de Camargo, V. H. S., Campano Junior, M. M., Silva, F. F., and Aylon, L. (2024). Mapeamento sistemático de jogos educativos voltados para o ensino de sistemas operacionais. In *Anais Estendidos do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 1200–1211, Manaus, AM, Brasil. SBC.
- Falkembach, G. A. M., Geller, M., and Silveira, S. R. (2006). Desenvolvimento de jogos educativos digitais utilizando a ferramenta de autoria multimídia: um estudo de caso com o toolbook instructor. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 4(1).
- Gee, J. P. (2003). What video games have to teach us about learning and literacy. *Computers in entertainment (CIE)*, 1(1):20–20.
- Haddad, F., Filho, W. R., Ramos, V., Corrêa, C., and Peres, L. (2024). Mapeamento sistemático da literatura de jogos educacionais destinados ao ensino e aprendizagem de engenharia de software: uma análise do estado da arte. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 1256–1269, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Julio, J., Campano Junior, M. M., Aylon, L., Fonseca, K., and Emmendorfer, L. (2024). Jogos educativos para estruturas de dados: Um mapeamento sistemático. In *Anais do XXIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 1186–1199, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Maia, L. P. (2001). Sosim: Simulador para o ensino de sistemas operacionais. *Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Rio de Janeiro*.
- Pascotini, M. T. (2018). Proposta de um modelo para criação de jogos educativos. Master's thesis, Centro de Artes e Letras. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).
- Quirino, T. M. F., Campos, C. C. V., and Oshima, R. M. S. (2017). O uso de jogos no ensino superior como estratégia pedagógica. In *Revista Tecnologias na Educação - Simpósio Nacional de Tecnologias Digitais na Educação (SNTDE)*, number 22.
- Sanches, M. H. B. (2019). Jogos de entretenimento no ciclo educacional básico: critérios de aplicação e desenvolvimento de competências e habilidades. Master's thesis, Dissertação de mestrado (Tecnologias da inteligência e design digital). São Paulo.
- Santini, L., Junior, M. C., Felinto, A., and Aylon, L. (2022). Jogos no ensino de linguagens formais e autômatos: Um mapeamento sistemático. In *Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 886–895, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Santini, L. F., Santini, A. L., Campano Junior, M. M., Track, M., Assumpção, M., and Aylon, L. (2023). Jogos educativos no ensino de circuitos digitais: Um mapeamento sistemático. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 814–825, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Sebesta, R. W. (2018). *Conceitos de Linguagens de Programação-11*. Bookman Editora.
- Silva, A. H. and Fossá, M. I. T. (2015). Análise de conteúdo: exemplo de aplicação da técnica para análise de dados qualitativos. *Qualitas revista eletrônica*, 16(1):1–14.
- Tanenbaum, A. S. and Bos, H. (2015). *Modern operating systems*. Pearson Education.