

Avaliação da interface de um jogo educacional baseado na Aprendizagem Multimídia

Evaluation of the interface of digital educational games based on Multimedia Learning

Jeniffer Macena^{1,2}, Fernanda Pires¹, Marcela Pessoa¹, Elaine H. T. Oliveira²

¹Escola Superior de Tecnologia – Universidade do Estado do Amazonas (EST-UEA)
ThinkTEd Lab - Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação em tecnologias emergentes

²Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI)
Instituto de Computação – Universidade Federal do Amazonas (IComp-UFAM)

{jeniffer.souza, elaine}@icomp.ufam.edu.br

{fpires, mspessoa}@uea.edu.br

Abstract. Introduction: The use of digital educational games requires attention to how people process information and their cognitive capacity, especially regarding the organization of visual and verbal elements in the interface. Ignoring these aspects can compromise both understanding and the overall player experience. **Objective:** This study investigates the correspondence between principles of the Cognitive Theory of Multimedia Learning and the dimensions of the MEEGA+ model, based on the analysis of a game designed for learning Set Theory. **Methodology or Steps:** The research involves document analysis, expert inspection, and Spearman correlation between CTML principles and secondary data collected using the MEEGA+ instrument. **Results:** The results indicate significant relationships between principles such as segmentation, contiguity, and signaling, and dimensions like usability, motivation, and perceived learning, suggesting potential convergence between the models and highlighting relevant aspects for the interface design of educational games.

Keywords educational games, multimedia learning, model, interface evaluation, usability

Resumo. Introdução: O uso de jogos educacionais digitais exige atenção à forma como as pessoas processam informações e sua capacidade cognitiva, especialmente no que se refere à organização de elementos visuais e verbais na interface. Ignorar esses aspectos pode comprometer a compreensão e a experiência do jogador. **Objetivo:** Este trabalho investiga a correspondência entre princípios da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia e as dimensões do modelo MEEGA+, com base na análise de um jogo voltado para aprendizagem da Teoria dos Conjuntos. **Metodologia ou Etapas:** A pesquisa envolve análise documental, inspeção de especialistas e análise de correlação (Spearman) entre os princípios da TCAM e dados secundários obtidos por meio do MEEGA+. **Resultados:** Os resultados apontam relações significativas entre princípios como segmentação, contiguidade e sinalização com dimensões como usabilidade, motivação e aprendizagem percebida, sugerindo potencial

convergência entre os modelos e destacando aspectos relevantes para o design de interfaces de jogos educacionais.

Palavras-Chave jogos educacionais, aprendizagem multimídia, modelo, avaliação, design de interface

1. Introdução

A utilização de jogos no contexto educacional tem sido amplamente investigada por pesquisadores, devido à sua flexibilidade para abordar conteúdos curriculares de forma lúdica, promovendo maior motivação e engajamento entre os estudantes [Yu et al. 2021, Plass et al. 2015]. Para isso, diferentes elementos são incorporados, como design visual e de interação, narrativa, recompensas e mecânicas, que ajudam a tornar a prática mais envolvente e significativa para o aprendiz [Plass et al. 2015]. No entanto, desenvolver um jogo educacional é uma tarefa desafiadora, que exige uma abordagem criativa e sistemática, fundamentada em princípios da cognição humana para garantir uma boa experiência ao usuário e, ao mesmo tempo, favorecer a aprendizagem e a consolidação de memórias de longo prazo [Battistella et al. 2014, Plass et al. 2015]. Quando há excesso de informações ou elementos mal distribuídos, o jogador pode ser sobrecarregado cognitivamente, o que dificulta a compreensão e reduz a eficácia do jogo [Feinberg e Murphy 2000, Mayer 2014b].

Uma forma de mitigar esse problema é adotar diretrizes que orientem o design de jogos a partir dos limites da capacidade cognitiva humana, considerando a quantidade de informações que os jogadores conseguem processar ao interagir com o sistema [Sweller et al. 2011]. A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia (TCAM) parte justamente desse princípio, propondo que a aprendizagem é favorecida quando os materiais são organizados de modo a respeitar os canais limitados da memória de trabalho e facilitar a assimilação entre texto e imagem [Mayer 2005, Mayer 2014b].

Apesar de existirem estudos que orientam a construção de bons projetos de interface e da relevância da TCAM nesse aspecto, ainda há desafios relacionados à sua aplicação no processo avaliativo. Entre eles, destacam-se falhas no design dos jogos, como fluxos de interação pouco intuitivos, que podem comprometer a experiência do jogador e dificultar a construção de conhecimento sob a perspectiva do aprendiz [Valenza et al. 2018]. Para contornar essas limitações, é comum que os próprios desenvolvedores avaliem os princípios da TCAM de forma *ad hoc*, com base em uma análise pontual após a concepção do artefato. Como não há instrumentos consolidados voltados à avaliação com base nos princípios da TCAM, essa verificação tende a ocorrer de maneira não sistemática. Além disso, quando conduzida pelo próprio desenvolvedor, que geralmente atua simultaneamente como designer, programador e roteirista, essa avaliação está sujeita a vieses, dificultando uma análise centrada na perspectiva do usuário em relação à aprendizagem e à usabilidade do jogo.

Por outro lado, existem instrumentos específicos para auxiliar na avaliação de jogos educacionais sob a perspectiva da experiência do usuário e da aprendizagem. Um exemplo é o MEEGA+ (*Model to Evaluate Educational Games*) [Petri et al. 2019], que contempla dimensões como usabilidade, clareza de objetivos, organização da interface e percepção de aprendizagem. Considerando essas dimensões, este trabalho parte da hipótese de que elas podem apresentar correspondências com princípios descritos na

TCAM, como contiguidade, coerência e segmentação [Mayer 2014b]. A partir disso, busca-se investigar em que medida o MEEGA+ pode refletir, ainda que indiretamente, aspectos centrais da TCAM na experiência do usuário com jogos educacionais.

O artigo está organizado da seguinte maneira: na Seção 2 são apresentados os fundamentos teóricos e trabalhos relacionados, na Seção 3 descreve-se a metodologia de desenvolvimento do trabalho bem como o Design experimental, na Seção 4 estão os resultados e discussão, na Seção 5 estão as considerações finais, além de serem destacadas algumas ameaças a validade e perspectivas para trabalhos futuros.

2. Aprendizagem Multimídia em Jogos Educacionais

Nos jogos digitais, a aprendizagem multimídia envolve o processamento de informações por meio de elementos como imagens, textos e sons, os quais compõem a base da interação com o ambiente. Durante o uso de tais ambientes, os jogadores precisam interpretar instruções visuais, responder a estímulos auditivos e tomar decisões em tempo real [Sweller et al. 2011, Lavie 2005]. Quando bem distribuídos, esses elementos contribuem para uma melhor compreensão do conteúdo e ajudam a evitar sobrecarga cognitiva [Plass et al. 2015, Feinberg e Murphy 2000]. Os recursos multimídia, nesse contexto, não desempenham papel meramente estético, mas influenciam diretamente a forma como as informações são organizadas e representadas mentalmente pelo jogador.

A Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia, proposta por Richard Mayer [Mayer 2014a], fundamenta-se em três pressupostos da psicologia cognitiva: a existência de dois canais separados para o processamento de informações (visual/pictórico e auditivo/verbal), a capacidade limitada desses canais e a natureza ativa da aprendizagem, que envolve seleção, organização e integração das informações. Esses pressupostos estão alinhados à Teoria da Codificação Dupla [Paivio 1990] e à Teoria da Carga Cognitiva [Sweller 2011]. Com base nesses princípios, Mayer definiu doze diretrizes para o design de materiais instrucionais multimídia, organizadas em três categorias: redução do processamento extrínseco, gerenciamento do processamento essencial e promoção do processamento germano.

A aplicação da TCAM em jogos digitais tem sido explorada em diferentes estudos empíricos. No trabalho de Arastoopour et al. [2016], foi analisado o jogo *Crystal Island*, uma narrativa interativa na qual os estudantes devem investigar a origem de um surto infeccioso. O estudo examinou o papel de elementos como narração, organização segmentada das tarefas e feedback visual sobre a compreensão conceitual dos participantes. Os autores argumentam que o uso de princípios como pré-treinamento, personalização e coerência contribuiu para melhores resultados de retenção e transferência do conteúdo.

Outro exemplo é o jogo “Cache 17”, analisado por Adams et al. [2012], no qual os estudantes exploram um ambiente tridimensional para resolver desafios envolvendo circuitos elétricos. Os autores compararam esse ambiente a apresentações tradicionais baseadas em slides e observaram que os participantes que interagiram com o jogo apresentaram níveis mais elevados de envolvimento e desempenho. Esses resultados foram atribuídos à presença de elementos como segmentação, contiguidade espacial e uso de pistas visuais, em conformidade com os princípios da TCAM.

No estudo de Mayer, Mautone e Prothero [2002], o jogo “Profile Game”

foi utilizado para investigar o uso de representações pictóricas no aprendizado de conceitos de geologia. Os autores verificaram que o suporte visual favoreceu a construção de modelos mentais e melhorou o desempenho dos participantes em tarefas de identificação de formações subterrâneas, especialmente quando os elementos gráficos estavam organizados de maneira coerente e espacialmente próxima às explicações verbais.

Lester et al. [1998] investigaram o jogo “Design-a-Plant”, em que estudantes são convidados a projetar plantas capazes de sobreviver em diferentes ambientes planetários. O jogo incorpora agentes pedagógicos animados, feedback por etapas e estrutura modular das tarefas. Esses recursos estão alinhados aos princípios de pré-treinamento, personalização e segmentação, e os resultados obtidos indicaram que os participantes desenvolveram maior compreensão dos conceitos de adaptação e ecologia, além de relataram maior engajamento com a atividade.

Diferente dos trabalhos mencionados, que se concentram na aplicação isolada dos princípios da TCAM em jogos específicos e em contextos temáticos diversos, o presente estudo propõe uma abordagem comparativa entre os princípios da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia e as dimensões avaliativas do modelo MEEGA+, utilizado para medir aspectos como usabilidade, motivação, engajamento, aprendizagem e qualidade percebida em jogos educacionais. Além disso, o jogo analisado neste trabalho adota como referência conteúdos presentes na Base Nacional Comum Curricular (BNCC), assegurando alinhamento com diretrizes educacionais brasileiras. A proposta também se distingue por considerar uma estética previamente avaliada por estudantes de computação, o que permite examinar os elementos que influenciam diretamente a experiência do usuário, articulando aspectos de design visual, organização da interface e clareza das interações.

3. Design Experimental

Este estudo segue um delineamento exploratório com abordagem qualitativa, utilizando dados secundários provenientes da avaliação de um jogo educacional digital já publicado. O foco da pesquisa está na investigação da correspondência entre os princípios da TCAM[Mayer 2005] e as dimensões do modelo MEEGA+ [Petri et al. 2019], com o intuito de investigar em que medida aspectos cognitivos do design de interface estão refletidos na percepção dos jogadores.

A Figura 1 apresenta o fluxo metodológico empregado neste estudo, o qual é composto pelas seguintes etapas: seleção do jogo, análise documental, estabelecimento de relações entre os modelos, comparação com dados empíricos e síntese dos resultados (detalhados na Seção 4).

3.1. Estruturação do Estudo

Para a realização da análise conceitual e empírica, foram consultados dois especialistas (identificados como E1 e E2), ambos com atuação consolidada na área de jogos educacionais e familiaridade com os princípios da TCAM. A escolha das participantes considerou critérios técnicos, como o tempo de atuação em projetos voltados ao desenvolvimento de jogos em diferentes áreas do conhecimento. Ambas são graduadas em Licenciadas em Computação e têm experiência no desenvolvimento de jogos educacionais. Uma é doutora, com mais de dez anos de atuação em projetos relacionados

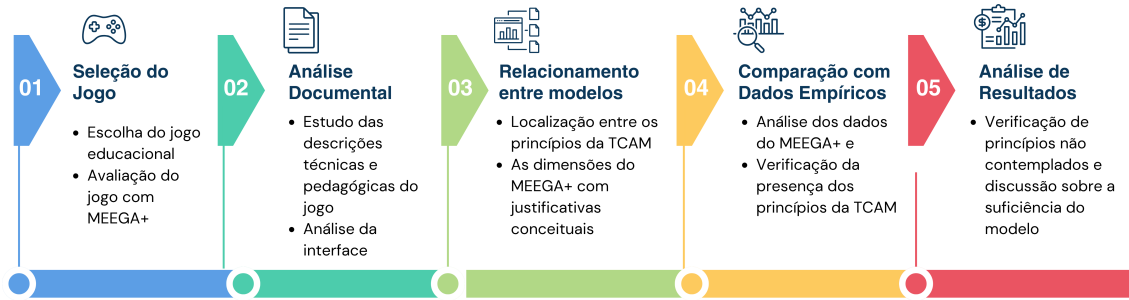


Figura 1. Processo de realização do estudo.

à criação de artefatos educacionais; a outra é mestranda em Informática, com sete anos de experiência, com ênfase em design de interfaces e jogos digitais. Eles auxiliaram com a identificação dos princípios da TCAM presentes no jogo, ajudando a relacionar os conceitos teóricos com os dados previamente coletados. Os dados qualitativos obtidos a partir da análise conjunta com os especialistas serviram de base para a articulação entre os modelos teóricos e os dados empíricos utilizados neste estudo.

3.2. Hipótese

Para orientar a análise, propõe-se a seguinte hipótese:

- **Hipótese nula (H_0):** Não há relação significativa entre os princípios da TCAM e as dimensões do modelo MEEGA+.
- **Hipótese alternativa (H_1):** Existe relação significativa entre os princípios da TCAM e as dimensões do modelo MEEGA+.

3.3. Procedimentos Metodológicos

Seleção do Jogo: foi selecionado o jogo educacional Enigma Pirata [Lais et al. 2024], por apresentar uma estrutura narrativa e mecânicas baseadas em conteúdos educacionais explícitos pelos desenvolvedores, com foco na Teoria dos Conjuntos. O jogo também propõe uma dinâmica de resolução de fases utilizando o Pensamento Computacional, além de já ter sido avaliado com o modelo MEEGA+. Além disso, o jogo possui documentação com a descrição de seus elementos de aprendizagem, permitindo uma análise sistemática de suas mecânicas, narrativa e interface.

Este é um jogo educacional digital de plataforma, desenvolvido para estudantes do final do Ensino Fundamental II e início do Ensino Médio, com idade a partir de 14 anos. Tem como objetivo principal proporcionar a prática de conteúdos relacionados à Teoria dos Conjuntos, ao mesmo tempo em que estimula o desenvolvimento do Pensamento Computacional. Na Figura 2, são apresentadas telas do jogo, incluindo a fase inicial, com plataformas, obstáculos e coleta de itens para resolução dos desafios (Figura 2(a)). Um dos desafios envolve verificar a pertinência de elementos a conjuntos, por meio da mecânica de *drag and drop* (Figura 2(b)). Cada fase também conta com uma dica textual, acessada por meio de uma garrafa encontrada no cenário, que orienta o jogador na resolução do enigma (Figura 2(c)). As imagens evidenciam a integração entre gameplay e conteúdo educacional.

Princípios da TCAM no jogo: para avaliar o jogo Enigma Pirata, foi necessário inspecionar as telas do jogo durante uma partida de *gameplay*. Na Tabela 1, é apresentada



Figura 2. Telas do jogo.

a definição de cada princípio [Mayer 2014b], acompanhada de uma análise sobre como o design pode ter sido conduzido para alcançar esses princípios. Por meio da análise do *Educational Game Design Document* (EGDD), foram analisados os elementos de interface e design do jogo a partir da descrição disponível em publicações e documentação associada bem como os arquivos de telas no *Figma*.

Tabela 1. Princípios da TCAM identificados no design do jogo

Princípio	Evidência de aplicação no jogo	Figura
Sinalização	Uso de dicas visuais e textuais (mensagens em garrafas) que direcionam a atenção do jogador para elementos relevantes.	
Contiguidade espacial	Elementos visuais e texto dispostos próximos nos desafios com conjuntos (exemplo: as dicas nos pop-ups) próximo à área de tentativas.	
Contiguidade temporal	As instruções visuais aparecem ao mesmo tempo que os eventos no jogo.	
Segmentação	Organização do jogo em fases sequenciais com objetivos específicos e estrutura narrativa que divide o conteúdo em partes.	
Redundância	Ausência de instruções simultaneamente narradas e escritas; o jogo utiliza um canal por vez para evitar sobrecarga (exemplo: objetos para capturar de acordo com conteúdo).	

A narrativa acompanha Tina, uma jovem pirata em busca de um tesouro escondido, que só pode ser acessado após a resolução de desafios matemáticos. O jogo é composto por fases representadas como ilhas, onde o jogador deve explorar o ambiente, evitar perigos, coletar itens e solucionar enigmas matemáticos baseados em operações entre conjuntos (como união, interseção, diferença e pertinência). As mecânicas envolvem a ativação de plataformas móveis por meio da resolução de problemas, além de desafios com drag and drop para organizar elementos dentro de conjuntos. Cada fase contém dicas

para auxiliar o jogador, inimigos que diminuem sua vida e recompensas em forma de baús que se abrem ao concluir corretamente os desafios propostos. A estética, trilha sonora e interface foram elaboradas para oferecer uma experiência imersiva e lúdica.

Mapeamento Conceitual: nesta etapa foi realizada uma análise teórica para identificar correspondências entre os princípios da TCAM e as dimensões do MEEGA+, com justificativas conceituais para cada relação. Foram analisadas as seguintes dimensões do MEEGA+: Usabilidade, Aprendizagem percebida, Relevância, Satisfação, e Diversão, como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Relação entre os princípios da TCAM e as dimensões do MEEGA+

Nº	Princípio da TCAM	Dimensão/Subdimensão do MEEGA+	Características observadas
1	Coerência	Estética (Usabilidade)	Clareza visual, ausência de elementos irrelevantes, organização das informações.
2	Sinalização	Aprendizabilidade (Usabilidade)	Indicação visual de elementos relevantes que facilitam o entendimento da tarefa.
3	Redundância	Acessibilidade (Usabilidade)	Uso de apenas um canal por vez (evitando sobrecarga), favorecendo a compreensão.
4	Contiguidade espacial	Estética (Usabilidade)	Proximidade entre elementos visuais e textuais, favorecendo a leitura e interpretação.
5	Contiguidade temporal	Operabilidade (Usabilidade)	Sincronia entre instrução e ação no jogo, resposta imediata a interações.
6	Segmentação	Aprendizabilidade (Usabilidade)	Organização do conteúdo em fases sequenciais e compreensíveis.
7	Pré-treinamento	Aprendizagem percebida	Apresentação prévia de conceitos-chave para facilitar a execução das tarefas.
8	Modalidade	Acessibilidade (Usabilidade)	Utilização de canais visuais e auditivos de forma alternada, melhorando o acesso.
9	Multimídia	Aprendizagem percebida	Integração de imagens e textos, reforçando a memorização.
10	Personalização	Relevância	Linguagem amigável e próxima, favorecendo a conexão com o conteúdo.
11	Voz	Satisfação	Estímulo à aproximação e conforto com o jogo, por meio de narração.
12	Imagem	Diversão	Uso de personagens, elementos visuais e narrativa que aumentam o apelo lúdico.

4. Resultados e Discussão

Para avaliar a hipótese proposta, de que existe uma relação significativa entre os princípios da TCAM e as dimensões do modelo MEEGA+, foi conduzida uma análise estatística utilizando o coeficiente de correlação de Spearman. Este teste é apropriado para dados em escala ordinal, como os coletados por meio do questionário MEEGA+, o qual utiliza escalas tipo Likert para aferir percepções dos usuários.

A matriz de dados foi construída a partir de dois conjuntos: (i) as notas atribuídas por dois avaliadores independentes a cada um dos 12 princípios da TCAM, com base em critérios definidos e aplicados ao jogo analisado; e (ii) os escores médios de cada subdimensão do modelo MEEGA+ obtidos junto aos respondentes do questionário. Com base nesses dados, foram calculados os coeficientes de correlação de Spearman para verificar possíveis associações monotônicas entre os princípios da TCAM e as subdimensões do MEEGA+.

Os resultados evidenciaram correlações fracas a moderadas entre algumas variáveis, como, por exemplo, a associação entre o princípio da Multimídia e a subdimensão Estética, e entre o princípio da Imagem e a subdimensão Satisfação. Embora a maioria dos coeficientes não ultrapasse 0,6, os dados apontam tendências que podem indicar relações significativas, especialmente quando consideradas em conjunto com o mapeamento conceitual. Observa-se que há indícios de associações entre alguns princípios da TCAM e subdimensões do MEEGA+, principalmente nas áreas de usabilidade e aprendizagem percebida. No entanto, essas associações não são uniformes, e a limitação no número de avaliadores impossibilita a generalização estatística. Assim, rejeita-se parcialmente a hipótese nula (H_0), admitindo-se a hipótese alternativa (H_1) apenas para os casos em que foram observadas correlações moderadas.

Por outro lado, muitas correlações apresentaram valores baixos ou negativos, indicando ausência de associação relevante entre alguns princípios da TCAM e determinadas subdimensões avaliadas. Isso sugere que nem todos os princípios estão igualmente presentes no jogo ou igualmente percebidos pelos avaliadores e usuários.

As correlações calculadas podem ser visualizadas na Figura 3, que apresenta um mapa de calor com os coeficientes de Spearman entre os princípios da TCAM e as dimensões do modelo MEEGA+. Além da análise estatística, também foi realizada uma avaliação conceitual das relações entre os modelos, conforme apresentado na Tabela 2.

A partir do mapeamento entre os princípios da TCAM e as dimensões do modelo MEEGA+, foi possível identificar relações conceituais que orientam a análise da qualidade do jogo Enigma Pirata. A Tabela 2 apresentou essas relações, destacando os pontos de convergência entre os modelos.

Os dados empíricos do MEEGA+, coletados em um estudo anterior sobre o jogo Enigma Pirata [Lais et al. 2024], indicaram avaliações positivas em aspectos relacionados à usabilidade, estética, desafio e diversão. Esses resultados auxiliam na verificação de alinhamento com os princípios da TCAM como coerência, sinalização, contiguidade espacial e segmentação, os quais foram identificados no design do jogo e associados às dimensões de usabilidade e motivação. Por exemplo, a presença de elementos visuais organizados e dicas localizadas próximas às ações do jogador permitem uma melhor navegação pelo jogo, evitando interrupções no fluxo de jogo e apoiam os resultados observados nas dimensões de usabilidade e estética.

Entretanto, aspectos como aprendizagem percebida, relevância e confiança apresentaram maior dispersão nas respostas, o que pode estar relacionado à ausência ou baixa presença de princípios como pré-treinamento e personalização. Da mesma forma, a não utilização de narração e personagens orientadores compromete a presença dos princípios de voz e imagem, que poderiam reforçar o engajamento e a dimensão lúdica da

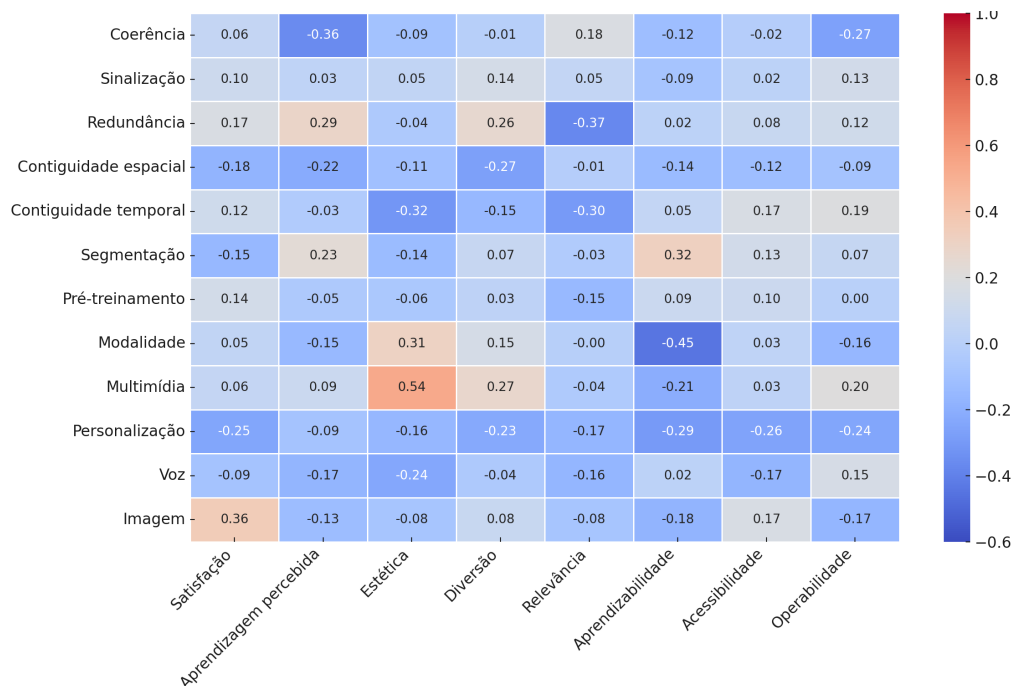


Figura 3. Mapa de calor das correlações de Spearman entre os princípios da TCAM e as subdimensões do MEEGA+.

experiência.

Alguns princípios da TCAM não foram localizados no design atual do jogo, especialmente os ligados ao estímulo da voz, imagem e, em parte, à personalização. Esses princípios poderiam afetar diretamente dimensões do MEEGA+ relacionadas a engajamento, diversão e relevância, que apresentaram resultados medianos ou negativos. Por outro lado, o modelo MEEGA+ avalia aspectos como atenção focada e satisfação, que não são abordados diretamente pelos princípios da TCAM, o que sugere que o referencial teórico de Mayer, embora útil, não contempla a totalidade da experiência do jogador.

Enquanto a TCAM orienta a organização da informação e ao design visual, o modelo MEEGA+ amplia essa análise ao considerar elementos subjetivos e emocionais da experiência. Os dados sugerem que o jogo avaliado aplica bem parte dos princípios da TCAM, mas carece de elementos que favoreçam uma percepção mais clara do conteúdo e da experiência de aprendizagem.

5. Considerações Finais

Este estudo investigou a correspondência entre os princípios da Teoria Cognitiva da Aprendizagem Multimídia e as dimensões do modelo MEEGA+ a partir da análise de um jogo educacional voltado para conteúdos da BNCC. Os resultados obtidos indicam que há convergências conceituais e empíricas entre parte dos princípios da TCAM e as dimensões avaliativas do MEEGA+, especialmente em aspectos relacionados à usabilidade, motivação e aprendizagem percebida. Princípios como segmentação, sinalização e contiguidade espacial foram identificados no design do jogo e apresentaram correlação significativa com dimensões do MEEGA+, sugerindo que esses elementos ajudaram a tornar a interação mais clara e intuitiva para os usuários.

A principal contribuição deste trabalho está em propor uma análise comparativa entre dois modelos consolidados (TCAM e MEEGA+) para investigar em que medida a percepção dos jogadores, captada por um instrumento validado, reflete elementos de design baseados em teorias cognitivas. Identificar similaridades estatísticas entre os modelos permite que o desenvolvedor valide decisões de design com base em evidências empíricas. Mesmo que os princípios da TCAM não tenham sido aplicados de modo intencional durante o desenvolvimento, é possível verificar sua presença a partir dos resultados obtidos com o MEEGA+, o que facilita a avaliação do jogo sem a necessidade de aplicar diretamente os conceitos teóricos. Além disso, essa convergência entre uma teoria voltada ao design instrucional e um modelo de avaliação pode beneficiar pesquisadores e desenvolvedores de jogos educacionais, ao mostrar que o MEEGA+ pode apoiar a identificação prática de princípios da TCAM no design desses jogos.

Entre as limitações do estudo, destaca-se a análise de um único jogo, o que restringe a generalização dos resultados para outros contextos ou estilos de jogo. Além disso, os dados utilizados são secundários, ou seja, foram extraídos de avaliações já realizadas, limitando o controle sobre variáveis relevantes, como perfil dos participantes ou condições da aplicação. A ausência de avaliação direta por parte dos jogadores sobre os princípios da TCAM também representa uma limitação, dado que a inferência sobre a aplicação dos princípios se baseia majoritariamente em análise documental e inspeção especializada.

Algumas ameaças à validade devem ser consideradas. A triangulação dos dados foi realizada com o suporte de especialistas, o que contribui para a consistência das análises, mas não elimina possíveis vieses de interpretação. Além disso, embora o estudo tenha identificado correlações significativas entre certos princípios e dimensões, não se pode inferir causalidade ou efeito direto desses elementos sobre a aprendizagem.

Para pesquisas futuras, verifica-se a necessidade da replicação do estudo com outros jogos educacionais, contemplando diferentes públicos e domínios do conhecimento, a fim de verificar a consistência das relações observadas. Recomenda-se também a construção de um instrumento complementar ao MEEGA+, com base nos princípios da TCAM, que permita avaliar diretamente a presença e a qualidade da aplicação desses princípios no design de jogos digitais. Tal instrumento pode contribuir para avaliações mais sistemáticas, alinhadas a referenciais teóricos da cognição, e apoiar desenvolvedores no aprimoramento de experiências interativas voltadas à aprendizagem.

6. Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES-PROEX) - Código de Financiamento 001. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM – por meio do projeto PDPG/CAPES.

Referências

Adams, D. M., Mayer, R. E., MacNamara, A., Koenig, A., e Wainess, R. (2012). Student motivation and engagement in game-based learning: A case study of a game-based chemistry learning environment. *Computers in Human Behavior*, 28(2):597–601.

- Arastoopour, G., Shaffer, D. W., Swiecki, Z., e Ruis, A. R. (2016). Teaching and learning complex scientific inquiry through immersive simulation: Evidence from middle-school science classrooms. *Instructional Science*, 44(5):423–447.
- Battistella, P., von Wangenheim, C., e Fernandes, J. M. (2014). Como jogos educacionais são desenvolvidos? uma revisão sistemática da literatura. In *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, pages 159–168. SBC.
- Feinberg, S. e Murphy, M. (2000). Applying cognitive load theory to the design of web-based instruction. In *18th Annual Conference on Computer Documentation. ipcc sigdoc 2000. Technology and Teamwork. Proceedings. IEEE Professional Communication Society International Professional Communication Conference an*, pages 353–360. IEEE.
- Lais, R., Honda, F., Pessoa, M., Xavier, C., e Pires, F. (2024). Enigma pirata: praticando teoria dos conjuntos e desenvolvendo o pensamento computacional. In *Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*, pages 902–914. SBC.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: Selective attention under load. *Trends in cognitive sciences*, 9(2):75–82.
- Lester, J. C., Converse, S. A., Kahler, S. E., Barlow, S. T., Stone, B. A., e Bhogal, R. S. (1998). Narrative-centered tutorial planning for inquiry-based learning environments. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, pages 252–262. Springer.
- Mayer, R. E. (2005). *The Cambridge handbook of multimedia learning*. Cambridge university press.
- Mayer, R. E., editor (2014a). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Cambridge University Press, New York, 2 edition.
- Mayer, R. E. (2014b). *Computer games for learning: An evidence-based approach*. MIT press.
- Mayer, R. E., Mautone, P. D., e Prothero, W. (2002). Pictorial aids for learning by doing in a multimedia geology simulation game. *Journal of Educational Psychology*, 94(1):171–185.
- Paivio, A. (1990). *Mental representations: A dual coding approach*. Oxford University Press, Oxford.
- Petri, G., Von Wangenheim, C. G., e Borgatto, A. F. (2019). Meega+: Um modelo para a avaliação de jogos educacionais para o ensino de computação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, 27(03):52–81.
- Plass, J. L., Homer, B. D., e Kinzer, C. K. (2015). Foundations of game-based learning. *Educational psychologist*, 50(4):258–283.
- Sweller, J. (2011). Measuring cognitive load. *Educational psychologist*, 38(1):1–4.
- Sweller, J., Ayres, P., Kalyuga, S., Sweller, J., Ayres, P., e Kalyuga, S. (2011). Measuring cognitive load. *Cognitive load theory*, pages 71–85.

- Valenza, M. V., Hounsell, S., Gasparini, I., et al. (2018). Guidelines para game design de jogos sérios para crianças. In *Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*.
- Yu, Z., Gao, M., e Wang, L. (2021). The effect of educational games on learning outcomes, student motivation, engagement and satisfaction. *Journal of Educational Computing Research*, 59(3):522–546.