

Logicalizando feat *Flip & Flop*: um *graphic novel* para ensino de circuitos digitais

Felipe Roveroni de Lima¹, Maurilio Martins Campano Junior^{1,2},
Linnyer Beatrys Ruiz Aylon¹

Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Departamento de Informática (DIN)
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PCC)
Maringá - PR - Brazil

Centro Universitário UniCesumar
Curso de Engenharia de Software
Maringá - PR - Brazil

feliperoveroni.lima@gmail.com, maurilio.campanojr@gmail.com,
lbruiz@uem.br

Abstract. *Learning through educational games is enjoyable and fun, appealing to people of all ages. When it comes to games in Computer Science, both digital and non-digital games have been used in academic environments. Subjects like Digital Circuits often utilize simulators in their practices; however, various educational games address the concepts of this discipline. Therefore, the objective of this work is to present the educational game Logicalizando feat Flip & Flop, focused on teaching circuits and logical expressions. The initial results obtained from a preliminary evaluation indicate that the game has been well-received, providing a playful and enjoyable learning experience.*

Resumo. *Aprender com jogos educativos é prazeroso e divertido, agradando pessoas de qualquer idade. Quando falamos de jogos na Ciência da Computação, tanto jogos digitais quanto jogos não digitais têm sido utilizados no ambiente acadêmico. Matérias como Circuitos Digitais costumam fazer uso de simuladores em suas práticas, no entanto, diversos jogos educativos abordam os conceitos dessa disciplina. Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o jogo educativo Logicalizando feat Flip & Flop, voltado para o ensino de circuitos e expressões lógicas. Os resultados iniciais obtidos a partir de uma avaliação prévia indicam que o jogo foi bem recebido, proporcionando uma experiência de aprendizado lúdica e divertida.*

1. Introdução

A Ciência da Computação e os avanços tecnológicos nas últimas décadas associaram cada vez mais a área com outras áreas de conhecimento, facilitando, otimizando e automatizando o trabalho, sendo a Computação uma área inter e multidisciplinar [Chakraborty 2018].

Até mesmo a diversão está ligada à Computação a medida que utilizamos jogos, *videogames* e mundos virtuais como forma de lazer, sendo que o Brasil é o maior consumidor de jogos entre os países da América Latina [ABRAGAMES 2023].

Jogos de entretenimento também têm sido utilizados como ferramentas de ensino, facilitando, divertindo e motivando alunos nas mais diversas idades [Martinez et al. 2022]. Quando falamos de jogos educativos, estes são poderosas ferramentas que aumentam a motivação dos alunos, prendem a atenção e fornecem ambiente lúdico de aprendizado [Betz 1995].

A Ciência da Computação é uma das áreas com grande quantidade de jogos, sejam eles digitais ou não digitais. Diversas matérias e conceitos podem ser trabalhadas em sala de aula utilizando jogos educativos [Battistella and von Wangenheim 2016] [Clementino et al. 2022].

No ensino de Circuitos Digitais, jogos como “*Planet K*” [Oren et al. 2020], “*Circuit Scramble*” [Dewantara et al. 2020] e bitHERO [Neto et al. 2018] auxiliam no aprendizado de portas lógicas, expressões lógicas e circuitos lógicos.

Assim, o objetivo deste trabalho é apresentar o jogo *Logicalizando feat Flip & Flop*, um *graphic novel* para ensino de circuitos digitais. O trabalho apresenta ainda os resultados prévios de uma avaliação com 52 alunos do curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas.

O restante do trabalho apresenta a fundamentação teórica envolvendo o jogo proposto na Seção 2, o projeto do jogo e o desenvolvimento podem ser vistos nas Seções 3 e 4. Já os resultados da avaliação do jogo são apresentados na Seção 5 e por fim a conclusão na Seção 6.

2. Fundamentação teórica

Esta seção apresenta uma contextualização dos conceitos básicos de circuitos digitais, os jogos educativos voltados para o ensino da disciplina e as metodologias de avaliação de jogos educativos.

2.1. Circuitos digitais

A disciplina de circuitos digitais aborda os conceitos básicos de um computador e seus componentes, desde a representação de números binários até a construção de estruturas de memórias utilizando Flip-Flops [Tocci et al. 2010]. Os conceitos de Circuitos Digitais são utilizados em disciplinas sequentes por exemplo quando associamos a construção de uma memória SRAM à um Flip-Flop, as memórias DRAM ao uso de um capacitor, à utilização de portas lógicas NAND à um disco SSD [Stallings 2010].

Entre os conceitos importantes associados com a matéria podemos destacar a representação de números binários, as portas lógicas, construção de circuitos lógicos, expressões lógicas, simplificação de expressões lógicas, circuitos combinacionais e circuitos sequenciais [Capuano 2018].

2.2. Jogos educativos para ensino de circuitos digitais

Jogos voltados para o ensino de circuitos digitais são amplamente encontrados na literatura em comparação com outras áreas da Ciência da Computação [Dewantara et al. 2020]. O trabalho de Harper et al. (2011) apresenta o jogo *Digi Island* que tem como objetivo tornar o aprendizado da simplificação por meio de Mapas de Karnaugh lúdico, facilitando

a visualização da simplificação nos mapas e otimizando a construção de circuitos lógicos simplificados.

Já o jogo “*Planet K*” [Oren et al. 2020] aborda conceitos de lógica booleana e circuitos digitais. A temática do jogo envolve um personagem que precisa fugir de um planeta, consertando e resolvendo problemas associados com o conteúdo de circuito digitais.

O “*Circuit Scramble*” por sua vez é um simulador de circuitos digitais com 135 fases, na qual a medida que o jogador avança os desafios para resolução dos circuitos ficam mais complexos [Dewantara et al. 2020] tal como mostra a Figura 1.



Figura 1. Tela do jogo “*Circuit Scramble*” [Dewantara et al. 2020] e duas telas do jogo Digi Island [Harper et al. 2011]

Em comparação com os exemplos acima, o Logicalizando *feat Flip & Flop* engloba características associadas a diversos conteúdos de Circuitos Digitais, com expressões lógicas, circuitos lógicos, circuitos combinacionais, circuitos sequenciais e outros, além de utilizar-se da linguagem natural na construção da narrativa do jogo, facilitando o entendimento do jogador sobre os conceitos abordados.

2.3. Avaliação de jogos educativos

Como forma de validar um jogo educativo diversas metodologias são propostas na literatura [Coutinho 2017], [Campano Junior et al. 2020], [Santos and Alves 2019], [Sweetser and Wyeth 2005], [Petri et al. 2019].

Campano Junior et al. (2020) propõem uma avaliação dos componentes dos jogos baseando-se nas teorias de aprendizagem. Os componentes são divididos em: *feedback*, jogabilidade, narrativa e imersão, interação social, mecânica do jogo, habilidades do jogador, desafios, pontuações e *status* e para cada componente do jogo questões são indicadas para sua avaliação.

Em Coutinho (2017) é apresentado o IAQJEd (Instrumento para Avaliação da Qualidade de Jogos Educacionais) que contém 18 questões associadas à três dimensões:

usabilidade, experiência do usuário e princípios de aprendizagem. No modelo, para cada questão é atribuído uma nota de 1 a 5 e ao final da avaliação tem-se uma nota que indica se o jogo é bom para finalidade educativa, tal como mostra a Tabela 1.

Pontuação	Qualidade
1 a 18	inadequado
19 a 36	baixa qualidade
37 a 54	qualidade regular
55 a 72	boa qualidade
73 a 90	excelente qualidade

Tabela 1. Classificação de um Jogo Educativo de acordo com o IAQJEd [Coutinho 2017]

Santos e Alves (2019) fazem a avaliação baseando-se em oito características associadas ao jogo e a aprendizagem com o jogo, entre elas: *feedback* imediato, objetivos educacionais, narrativa, desafios em níveis, níveis de interatividade, integração de conceitos, práticas colaborativas e curva de aprendizagem.

3. Logicalizando *feat Flip & Flop*: Projeto do Jogo

Para o desenvolvimento do jogo foi considerada a modalidade de Romance Visual (*Visual Novel*) em conjunto de mini-jogos para realizar a abordagem do tema de portas lógicas, uma vez que essa modalidade é fortemente baseada em texto e imagens, assim podendo explorar diversas formas de aprendizado, como visual, por meio de texto, imagens e vídeos; auditivo por meio de dublagens inseridas no jogo e práticas através de mini-jogos.

A princípio o jogo apresentará explicações sobre o funcionamento das portas lógicas por meio de animações, textos e dublagens. Os conceitos envolvidos no jogo abordam portas lógicas básicas como *AND*, *OR* e *NOT* e também portas lógicas derivadas como *NAND*, *NOR*, *XOR* e *XNOR*, sendo que cada porta é abordada em uma fase distinta. Cada fase contará com um mini-jogo na qual o objetivo do usuário é resolver um quebra-cabeça sobre um circuito lógico, gerando a saída correspondente.

O projeto do jogo envolve então três fases tutoriais para cada uma das portas lógicas básicas e quatro para as portas lógicas derivadas, sendo que ao final do tutorial o jogador contará com três fases com níveis de dificuldade crescente. Para as duas primeiras fases projetadas, cada circuito se comporta conforme a Tabela 2 abaixo, sendo a expressão de S1 para a primeira fase e a expressão de S2 para a segunda fase.

Fases	Expressão
1	$S1 = \overline{(A + \overline{A})} + (B.\overline{B})$
2	$S2 = \overline{(A \oplus \overline{A})} . (A + \overline{A})$

Tabela 2. Expressões lógicas para as fases 1 e 2 do jogo Logicalizando *feat Flip & Flop*

S	R	Q_f
0	0	Q_a
0	1	0
1	0	1
1	1	-

Tabela 3. Tabela de um *Flip-Flop* RS da fase 3 do jogo Logicalizando feat *Flip & Flop*

A terceira expressão representa o comportamento de um circuito sequencial, um *Flip-Flop* RS, tal como mostra a Figura 2 abaixo. O circuito representa as entradas de R e S, além do *clock* representado como E. A saída do circuito funciona de acordo com o pulso de *clock*, gerando a saída correspondente a cada pulso do *clock*.

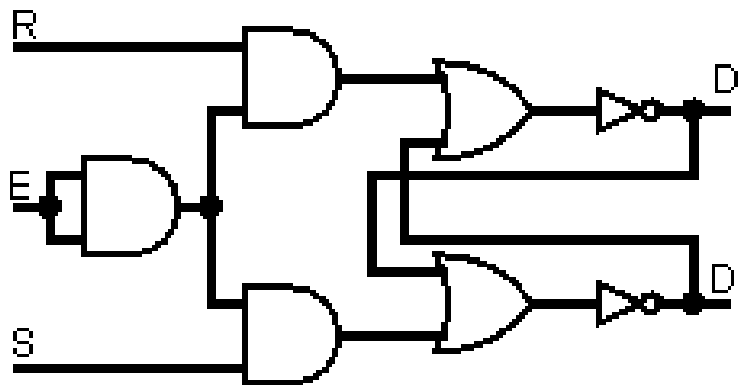


Figura 2. Circuito de um *Flip-Flop* RS com entrada de *clock* E

O comportamento do circuito do *Flip-Flop* RS pode ser visto na Tabela 3 abaixo. Quando utilizamos $R = 0$ e $S = 0$, o circuito não altera sua saída, permanecendo o valor anterior (Q_a). Quando somente a entrada $R = 1$, o circuito é resetado, gerando saída 0 e quando somente a entrada $S = 1$ o circuito é setado para 1. Por fim, as entradas $R = 1$ e $S = 1$ não são permitidas em um *Flip-Flop* RS, assim indicando o “-” na Tabela 3.

4. O Jogo

Para o desenvolvimento do jogo, foram utilizadas as ferramentas *Ren'py Visual Novel Engine* [Ren'py 2023] na versão 7.5.3 como *Engine* base para o jogo, *Live2D Cubism* [Live2D 2023] para a realização das animações explicativas de como funcionam os circuitos, *Photoshop* [Photoshop 2023] para a edição de imagens e desenhos e por fim a ferramenta de áudio *Audacity* [Audacity 2023].

O *Ren'py* é uma *Game Engine* gratuita de código aberto que ajuda os usuários a utilizarem palavras, imagens e sons para contar histórias interativas que funcionam em computadores e dispositivos móveis. Na ferramenta é possível criar tanto romances visuais, quanto jogos de simulação de vida, esse motor de jogo permite também que o jogador salve o seu progresso e retornando quando quiser ao ponto salvo.

No jogo, inicialmente o jogador se depara com duas personagens desconhecidas presentes na Figura 3, depois de uma rápida introdução das personagens *Flip* e *Flop*, elas

apresentam ao jogador ao mundo no qual ele está inserido e também informam sobre a situação em qual os três se encontram.

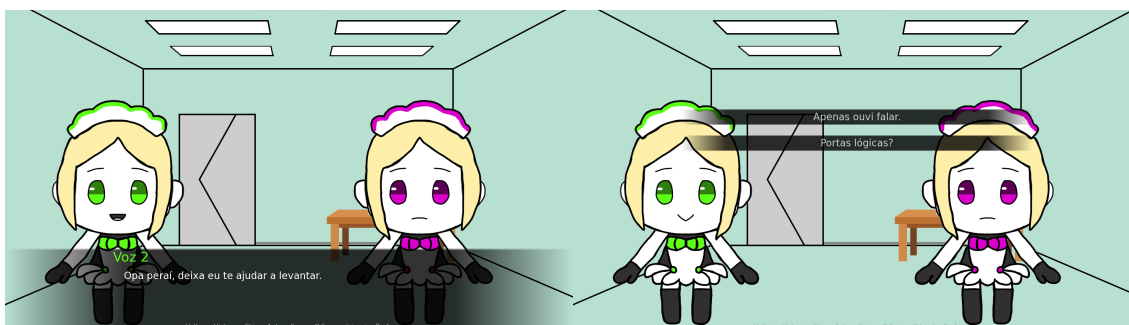


Figura 3. Introdução do jogador das personagens e o mundo do jogo

A narrativa do jogo é apresentada informando o protagonista que o mesmo está preso em uma *Escape Room*, sala na qual só é possível sair após resolver um quebra-cabeça. Para resolver o quebra-cabeça o jogador conta com a ajuda das personagens *Flip* e *Flop* que interagem com o jogador. Neste momento, a personagem “Ula” é apresentada e esta tem como função explicar os conceitos de portas lógicas.

A personagem “Ula” possui uma dublagem e é acompanhada de animações sobre os conceitos de portas lógicas, tal como mostra a Figura 4.

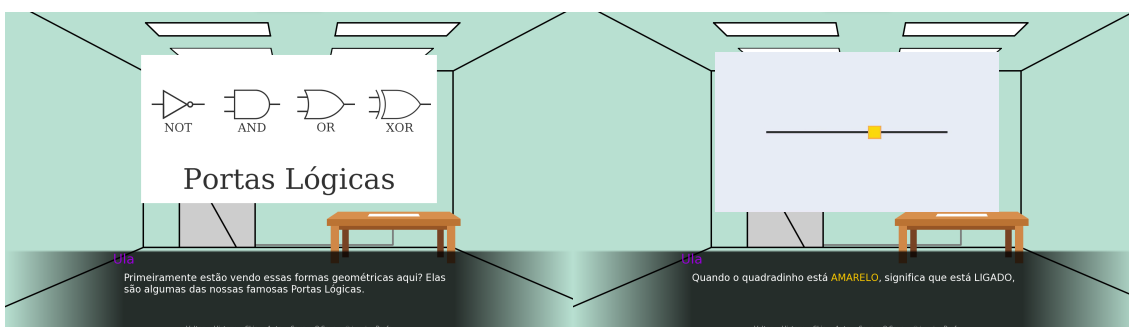


Figura 4. Explicação da Ula sobre Portas Lógicas

Após a explicação da “Ula” o jogador se depara com o quebra-cabeça da fase 1, referente à expressão: $S1 = \overline{(A + \overline{A})} + (B.\overline{B})$.

O quebra-cabeça inicialmente apresenta-se embaralhado, tal como mostra a Figura 5, sendo que o jogador tem como objetivo organizar as entradas e saídas de modo a gerar o circuito correspondente à expressão de S1.

Após a resolução da primeira fase, o circuito deve ser apresentado tal como mostra a Figura 6. As fases 2 e 3 seguem a mesma lógica da fase inicial, sendo apresentado os conceitos necessários pela personagem “Ula” e na sequência um circuito lógico embaralhado no quebra-cabeça, na qual o objetivo do jogador é organizar o circuito conforme a expressão correspondente.

Seguindo a narrativa do jogo, ao finalizar as três fases do jogo, o personagem percebe que acabou sonhando durante uma prova de circuitos digitais e o exercício que antes parecia complicado agora está fácil de resolver.

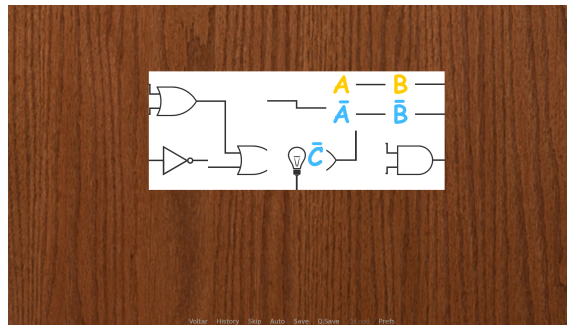


Figura 5. Tela inicial da fase 1 do jogo Logicalizando *feat Flip & Flop*

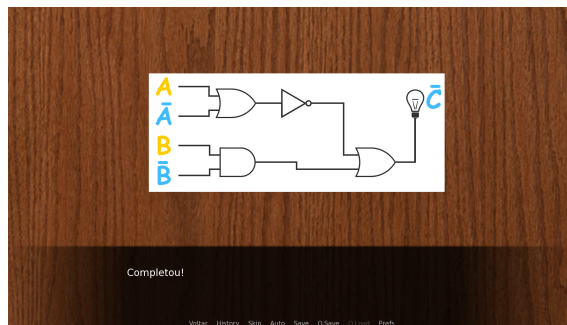


Figura 6. Tela final da fase 1 do jogo Logicalizando *feat Flip & Flop* finalizada

5. Avaliação do jogo: resultados e discussões

O jogo foi testado em sala de aula, com uma turma de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, durante a disciplina de Circuitos Digitais acompanhada do professor da disciplina. Os alunos já haviam visto na disciplina conceitos relacionados à portas lógicas, circuitos lógicos, expressões lógicas e simplificação de expressões lógicas por Álgebra Booleana e por *Mapa de Karnaugh*, além dos conceitos de circuitos sequenciais e *Flip-Flop*.

Após jogarem os alunos responderam a um questionário que englobava questões baseadas em duas metodologias de avaliação: a proposta por Coutinho (2017) e a proposta por Campano Junior et al. (2020). Durante a avaliação 52 alunos participaram da atividade e responderam o questionário.

Em ambas as metodologias os alunos usavam a escala *Likert* para responder as questões, sendo que a metodologia de Coutinho é formada por 18 questões e a metodologia de Campano Junior é formada por 13 questões, além de uma questão sobre a avaliação geral do jogo e de uma questão discursiva optativa sobre a opinião do aluno sobre o jogo.

A metodologia proposta por Coutinho (2017) divide a avaliação em três dimensões: usabilidade, avaliação da experiência do usuário e avaliação dos princípios de aprendizagem, sendo que cada dimensão é composta por seis questões, totalizando 18 questões desta metodologia.

Com relação à dimensão da usabilidade obteve uma pontuação total de 25.88 em um máximo de 30. Vale destacar na avaliação desta dimensão itens como a facilidade de uso da interface do jogo (questão 1) com 84% de respostas 4 ou 5, indicando uma boa facilidade na compreensão dos recursos gráficos e interativos do jogo.

Ainda em relação à usabilidade, a avaliação da questão 5 que avalia o modo como os desafios e informações do jogo permitem uma interação objetiva no jogo obteve 84% de notas 4 e 5, indicando um bom nível de desafio associado com a interatividade do jogo.

Já a dimensão da avaliação da experiência do usuário obteve uma pontuação total de 22.84. Cabe destacar nesta dimensão a avaliação da questão 7 que associa os elementos estéticos do jogo com a experiência do usuário. Nesta questão, 66% das respostas estiveram entre 4 e 5. Esta pontuação pode ser associada com o gênero do jogo, *graphic novel*, ser baseado em contar uma história para envolver o usuário e graficamente ser mais simples.

Outra questão que merece destaque é a questão 10. Esta questão avalia a interação do usuário associado com a diversão obtida e obteve um total de 80% de notas 4 e 5, indicando que o jogador consegue se divertir enquanto joga e interage com o jogo, o que favorece o aprendizado [Grübel and Bez 2006].

A dimensão dos princípios de aprendizagem tiveram uma pontuação total de 23.06, indicando uma boa associação do jogo com o conteúdo de circuitos digitais. A questão 13 por exemplo, que avalia se o aluno consegue associar o conteúdo da disciplina com a temática do jogo obteve uma avaliação de 70% entre 4 e 5, representando que os alunos conseguiram validar o conteúdo da disciplina com a narrativa e temática do jogo.

A questão 18 por sua vez obteve uma avaliação de 76% notas entre 4 e 5. Esta questão avalia a forma como os desafios são apresentados no jogo e a forma como os *feedbacks* são mostrados quando o usuário encontra uma dificuldade. Esta avaliação indica uma facilidade de uso do jogador, uma vez que os *feedbacks* auxiliam na tomada de decisão ao tentar resolver um problema no jogo.

A partir da pontuação das três dimensões da avaliação proposta por Coutinho (2017), o jogo obteve uma nota total de 71.78 que segundo o autor classifica o jogo como “Bom para qualidade educativa”. A média de cada uma das questões pode ser vista na Figura 7.

Já a metodologia proposta por Campano Junior et al. (2020) avalia separadamente os componentes dos jogos como narrativa, interação social, *feedback*, desafios, pontuação e *status*, mecânica do jogo e habilidades do jogador.

A avaliação da interação social obteve um índice mais baixo, 2.72. Isto pode estar motivado ao fato de que poucos alunos solicitaram ajuda do professor durante a realização da atividade. Já a avaliação dos desafios propostos pelo jogo alcançou nota média de 3.98 indicando que os desafios engajam o aluno a resolver problemas, favorecendo o aprendizado. A média das avaliações para cada um dos componentes pode ser visto na Tabela 4

Por fim, as duas últimas questões avaliaram a nota geral do jogo, com média de 4.26 e uma questão discursiva sobre avaliação geral do jogo, sugestões, críticas e elogios.

Entre as respostas para a questão discursiva sobre o jogo, percebe-se diversas respostas elogiando o jogo e sua forma de ensinar os conteúdos de circuitos digitais, bem como também alguns comentários sugerindo melhorias na interação do jogador com o jogo em si.

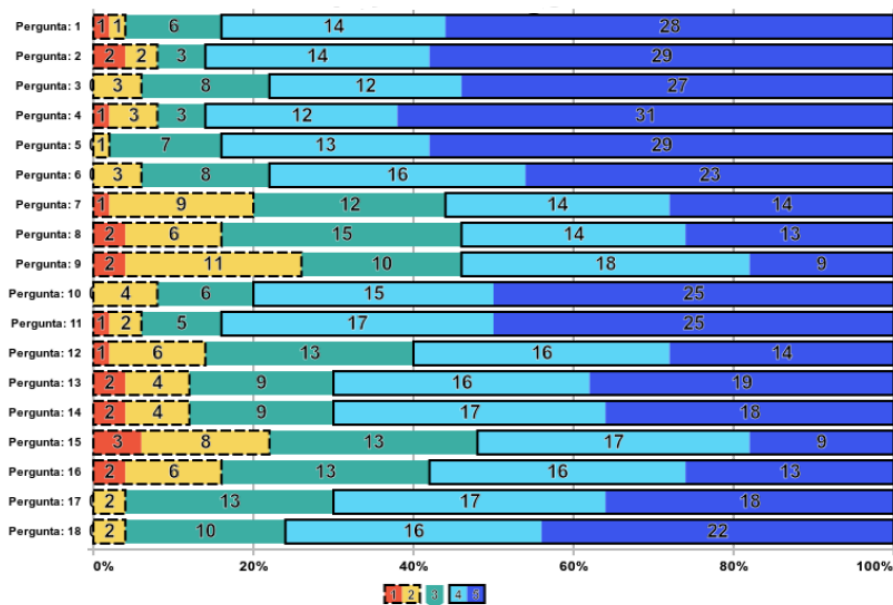


Figura 7. Média das avaliações do jogo Logicalizando feat Flip & Flop de cada questão do IAQJeD [Coutinho 2017]

Componente	Média
Narrativa	3.91
Interação social	2.72
<i>Feedback</i>	3.15
Desafios	3.98
Pontuação e <i>status</i>	4.04
Mecânica do jogo	3.96
Habilidades do jogador	4.12

Tabela 4. Avaliação dos componentes do jogo Logicalizando feat Flip & Flop com base na metodologia de Campano Junior et al. (2020)

Associando os resultados do IAQJEd e da avaliação dos componentes dos jogos, podemos perceber similaridades. A avaliação da usabilidade do jogo no IAQJEd obteve notas altas para questões 1 e 5, do mesmo modo que avaliação da habilidade do jogador no modelo de Campano Junior et al. (2020) também obteve notas altas. A facilidade com que o jogador consegue jogar e resolver os problemas do jogo faz com que suas habilidades dentro do jogo possam ser evoluídas, melhorando e aprimorando suas técnicas de resolver problemas.

A habilidade do jogador avaliada no modelo de Campano Junior et al. (2020) está ainda associada aos princípios de aprendizagem, de forma que o jogador consegue evoluir suas habilidades do jogo uma vez que o conteúdo do jogo é associado com o conteúdo visto na disciplina, melhorando a experiência de aprendizagem.

Os elementos estéticos do jogo e a narrativa também tiverem médias similares em ambas as avaliações. O gênero do jogo, *graphic novel* visa contar uma história sobre o personagem e inserir o jogador no ambiente do jogo, no entanto, no caso do jogo pro-

posto, gráficos simples foram utilizados visando facilitar o entendimento do conteúdo da disciplina.

Outro ponto que merece destaque é a avaliação da interação social, que em ambas as avaliações ficaram abaixo da média geral. Associado a esta avaliação pode-se analisar que jogadores quando deparados com um jogo desafiador preferem utilizar técnicas de tentativa e erro para resolver o problema, do que pedir ajuda para outros. Isso corrobora com o que aconteceu em sala de aula durante aplicação do jogo, na qual poucos alunos solicitaram auxílio do professor da disciplina. De modo geral, ambas as avaliações tiveram resultados bons, refletindo o jogo e a temática de circuito digitais que o jogo envolve.

6. Conclusão

O *Logicalizando feat Flip & Flop* é um jogo no estilo *graphic novel* que introduz conceitos de portas lógicas e circuitos lógicos de forma lúdica e simples. O jogador tem como objetivo resolver os problemas apresentados pelos personagens *Flip & Flop* associados ao conteúdo da matéria.

Os resultados das avaliações indicam uma boa aceitação do jogo pelos alunos, destacando a usabilidade e facilidade de interação no jogo e a relação do jogo com os conteúdos vistos em sala.

Como trabalhos futuros, a ideia é evoluir o jogo para novas fases e novos desafios, incorporando novos conceitos da matéria de circuito digitais ao jogo. Além disso, melhorias no sistema de pontuação do jogo também estão previstas, adicionando um *ranking* de pontuações, visando estimular a competição entre jogadores.

Espera-se que o jogo possa contribuir e auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de alunos, facilitando a assimilação de conteúdo e motivando estes a estudarem cada vez mais.

Matérias da Ciência da Computação como circuitos digitais e arquitetura e organização de computadores são de grande complexidade, assim os jogos educativos voltados para essas áreas podem facilitar o aprendizado.

Além disso, os jogos educativos podem facilitar e aproximar a distância entre professores e alunos, conectando um ambiente no qual os alunos estão totalmente inseridos, os jogos, com a educação e aprendizagem na qual o professor tem um papel fundamental.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Bolsista do CNPq - Brasil (311685/2017-0) e da Fundação Araucária (17.633.124-0).

Referências

- ABRAGAMES (2023). Abragames celebra momento histórico da indústria brasileira de desenvolvimento de games. <https://www.abragames.org/press-releases.html>. Acessado em maio 2023.
- Audacity (2023). Audacity free, open source, cross-platform audio software. <https://www.audacityteam.org/>. Acessado em maio 2023.

- 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.
- Betz, J. A. (1995). Computer games: Increase learning in an interactive multidisciplinary environment. *Journal of Educational Technology Systems*, 24(2):195–205.
- Campano Junior, M. M., de Souza, H. C., and Felinto, A. S. (2020). Avaliação pedagógica com base na uniao dos componentes dos jogos educacionais e das teorias de aprendizagem. In *Proceedings of XIX SBGames - Simpósio Brasileiro de Jogos de Computador e Entretenimento Digital - Education Track*, pages 551–558.
- Capuano, F. G. (2018). *Elementos de eletrônica digital*. Saraiva Educação SA.
- Chakraborty, T. (2018). Role of interdisciplinarity in computer sciences: quantification, impact and life trajectory. In *Scientometrics*, volume 114, pages 1011–1029. Springer.
- 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.
- Coutinho, I. D. J. (2017). Avaliação da qualidade de jogos digitais educativos: trajetórias no desenvolvimento de um instrumento avaliativo. *Tese (Doutorado) - Universidade do Estado da Bahia*.
- Dewantara, D., Wati, M., Misbah, M., Mahtari, S., and Haryandi, S. (2020). The effectiveness of game based learning on the logic gate topics. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 1491, page 012045. IOP Publishing.
- Grübel, J. M. and Bez, M. R. (2006). Jogos educativos. *Renote*, 4(2).
- Harper, M., Miller, J., and Shen, Y. (2011). Digi island: A serious game for teaching and learning digital circuit optimization. In *Selected Papers and Presentations Presented at MODSIM World 2010 Conference Expo*.
- Live2D (2023). Live2d cubism - 2d model maker. <https://www.live2d.com/>. Acessado em maio 2023.
- Martinez, L., Gimenes, M., and Lambert, E. (2022). Entertainment video games for academic learning: A systematic review. *Journal of Educational Computing Research*, 60(5):1083–1109.
- Neto, A. C. A., da Silva, J. M., and Sarinho, V. (2018). bithero: Um jogo para auxílio no aprendizado de circuitos digitais. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 29, page 1780.
- Oren, M., Pedersen, S., and Butler-Purry, K. L. (2020). Teaching digital circuit design with a 3-d video game: The impact of using in-game tools on students' performance. *IEEE Transactions on Education*, 64(1):24–31.
- Petri, G., Gresse von Wangenheim, C., and 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(3).

- Photoshop, A. (2023). Adobe photoshop - use o poder criativo da adobe. <https://www.adobe.com/br/products/photoshop.html>. Acessado em maio 2023.
- Ren'py (2023). Ren'py visual novel engine. <https://www.renpy.org/>. Acessado em maio 2023.
- Santos, W. and Alves, L. R. G. (2019). Pajed: Um programa de avaliação de jogos digitais educacionais. *Anais do Seminário de Jogos Eletrônicos, Educação e Comunicação*.
- Stallings, W. (2010). *Arquitetura e Organização de Computadores 8a Edição*. São Paulo: Prentice Hall do Brasil.
- Sweetser, P. and Wyeth, P. (2005). Gameflow: a model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment (CIE)*, 3(3):3-3.
- Tocci, R. J., Widmer, N. S., and Moss, G. L. (2010). *Sistemas digitais*. Pearson Educación.