

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Flip n' Flop: um jogo educacional para
construção interativa de diagramas de tempo

Frederico Dôndici Gama Vieira

JUIZ DE FORA
JANEIRO, 2026

Flip n' Flop: um jogo educacional para construção interativa de diagramas de tempo

FREDERICO DÔNDICI GAMA VIEIRA

Universidade Federal de Juiz de Fora

Instituto de Ciências Exatas

Departamento de Ciência da Computação

Bacharelado em Ciência da Computação

Orientador: Luciano Jerez Chaves

JUIZ DE FORA

JANEIRO, 2026

Flip n' Flop: um jogo educacional para construção interativa de diagramas de tempo

FREDERICO DÔNDICI GAMA VIEIRA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTEGRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO.

Aprovada por:

Luciano Jerez Chaves
Doutor em Ciência da Computação
IC/UNICAMP

Pedro Henrique Dias Valle
Doutor em Ciências de Computação e Matemática Computacional
ICMC/USP

Marcelo Caniato Renhe
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação
COPPE/UFRJ

JUIZ DE FORA
22 DE JANEIRO, 2026

Resumo

Introdução: O ensino de Circuitos Lógicos, embora essencial nos cursos de Computação, enfrenta desafios decorrentes da abstração e da complexidade dos conceitos. No contexto da aprendizagem baseada em jogos, os Jogos Educacionais Digitais (JEDs) têm sido apontados como uma alternativa promissora para promover o engajamento e facilitar a aprendizagem. **Objetivos:** Este trabalho apresenta o projeto, a implementação e a avaliação preliminar do JED *Flip n' Flop*, com foco na prática de construção de diagramas de tempo de circuitos sequenciais. **Métodos:** Inicialmente, foi conduzido um mapeamento sistemático da literatura sobre JEDs aplicados ao ensino de Circuitos Lógicos, a fim de identificar tendências, lacunas e diretrizes de projeto. Com base nesses resultados, foi concebido o *Flip n' Flop*, um jogo de plataformas 2D em que a movimentação da personagem está associada ao traçado das linhas em diagramas de tempo. Um protótipo funcional do jogo foi implementado utilizando a *engine Unity*. A avaliação preliminar do jogo foi realizada com estudantes de graduação por meio do modelo MEEGA+, analisando aspectos de usabilidade, experiência do jogador e aprendizagem percebida. **Resultados:** A avaliação preliminar do protótipo indicou percepções positivas quanto à relevância pedagógica, facilidade de uso, diversão e contribuição para a compreensão do funcionamento dos *flip-flops* e da construção de diagramas de tempo, embora limitações relacionadas à personalização e à acessibilidade tenham sido identificadas. **Conclusão:** Conclui-se que o jogo *Flip n' Flop* apresenta potencial como ferramenta de apoio ao ensino de Circuitos Lógicos, oferecendo uma abordagem interativa e alinhada aos objetivos pedagógicos da disciplina. Trabalhos futuros incluem a evolução do protótipo, a ampliação de funcionalidades e a realização de avaliações mais abrangentes.

Palavras-chave: Jogos educacionais digitais; aprendizagem baseada em jogos; circuitos lógicos; diagramas de tempo; *flip-flops*.

Abstract

Introduction: The teaching of Logic Circuits, although essential in Computer Science programs, faces challenges due to the abstraction and complexity of the concepts involved. In the context of game-based learning, Digital Educational Games (DEGs) have been identified as a promising alternative to promote engagement and facilitate learning.

Objectives: This work presents the design, implementation, and preliminary evaluation of the DEG *Flip n' Flop*, focusing on the practice of constructing timing diagrams of sequential circuits.

Methods: Initially, a systematic mapping of the literature on DEGs applied to the teaching of Logic Circuits was conducted in order to identify trends, gaps, and design guidelines. Based on these results, *Flip n' Flop* was conceived as a 2D platform game in which the character's movement is associated with the drawing of timing diagram waveforms. A functional prototype of the game was implemented using the *Unity engine*. A preliminary evaluation was conducted with undergraduate students using the MEEGA+ model, analyzing usability, player experience, and perceived learning.

Results: The preliminary evaluation of the prototype indicated positive perceptions regarding pedagogical relevance, ease of use, enjoyment, and contribution to understanding the operation of flip-flops and the construction of timing diagrams, although limitations related to customization and accessibility were identified.

Conclusion: It is concluded that *Flip n' Flop* shows potential as a supporting tool for teaching Logic Circuits, offering an interactive approach aligned with the pedagogical objectives of the course. Future work includes further development of the prototype, the expansion of functionalities, and the conduction of more comprehensive evaluations.

Keywords: Digital educational games; game-based learning; logic circuits; timing diagrams; *flip-flops*.

Sumário

Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	6
Lista de Abreviações	7
1 Introdução	8
2 Fundamentação teórica	10
2.1 Circuitos Lógicos	10
2.1.1 Conceitos básicos	10
2.1.2 Latches e flip-flops	12
2.1.3 Diagramas de tempo	15
2.2 Jogos como metodologia ativa de aprendizagem	17
2.2.1 Classificações e abordagens	18
2.2.2 Jogos educacionais digitais em STEM	19
2.2.3 Gêneros e elementos de JEDs	20
2.3 Considerações finais	24
3 Mapeamento sistemático da literatura	26
3.1 Trabalhos relacionados	26
3.2 Método de pesquisa	27
3.2.1 Questões de pesquisa	28
3.2.2 Estratégia de busca	28
3.2.3 Critérios de inclusão e exclusão	30
3.2.4 Procedimentos de busca e análise dos estudos	30
3.3 Resultados e discussões	31
3.3.1 Respostas às questões de pesquisa	32
3.3.2 Discussão sobre os resultados	37
3.4 Ameaças à validade	39
3.5 Considerações finais	39
4 O jogo <i>Flip n' Flop</i>	40
4.1 Proposta do jogo	40
4.1.1 Público alvo e objetivos pedagógicos	40
4.1.2 Concepção do jogo	41
4.1.3 Configuração de fases	47
4.1.4 <i>Scaffolding</i>	49
4.2 Implementação do protótipo	51
4.2.1 Tecnologias e ferramentas	51
4.2.2 Cenas e objetos do jogo	52
4.2.3 Protótipo para avaliação	53
4.3 Considerações finais	58

5	Avaliação preliminar	59
5.1	Planejamento	59
5.2	Execução	60
5.3	Resultados	62
5.3.1	Usabilidade	64
5.3.2	Experiência do jogador	65
5.3.3	Questões abertas	66
5.4	Discussões	67
5.5	Considerações finais	68
6	Conclusão	69
	Referências	71
A	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	78
B	Questionário de avaliação	80

Lista de Figuras

2.1	Símbolos gráfico característicos para as portas lógicas.	11
2.2	Circuito lógico de um <i>latch S-R</i> construído com portas <i>NAND</i>	13
2.3	Circuito lógico de um <i>flip-flop S-R</i> ativo na transição do <i>clock</i>	14
2.4	Diagrama de tempo de um <i>flip-flop J-K</i> ativo na transição positiva do <i>clock</i>	16
3.1	Nuvem de palavras construída a partir dos <i>abstracts</i> dos estudos.	32
3.2	Quantidade de estudos por conteúdo didático identificados neste MSL.	33
3.3	Conteúdos didáticos abordados por cada JEDs.	33
3.4	Características do público-alvo dos JEDs.	34
3.5	Relação de frequência entre gêneros e elementos de jogos nos JEDs.	34
3.6	Tecnologias de desenvolvimento e plataformas suportadas pelos JEDs.	35
3.7	Disponibilidade pública dos JEDs.	37
3.8	Características dos estudos que compõem este MSL.	38
4.1	Imagem do jogo <i>Super Mario Bros.TM Wonder</i> (NINTENDO, 2023).	42
4.2	Estado inicial de uma fase no jogo <i>Flip n' Flop</i>	42
4.3	Estado intermediário de uma fase no jogo <i>Flip n' Flop</i>	43
4.4	Estado final de uma fase no jogo <i>Flip n' Flop</i>	44
4.5	Obstáculos em uma fase no jogo <i>Flip n' Flop</i>	45
4.6	Arquivo JSON de configuração de uma fase do jogo <i>Flip n' Flop</i>	48
4.7	Cenário renderizado a partir do arquivo JSON de configuração.	49
4.8	Implementação de um mecanismo de <i>scaffolding</i> no jogo <i>Flip n' Flop</i>	50
5.1	Estudantes participando da avaliação do jogo <i>Flip n' Flop</i>	60
5.2	Distribuição de participantes pro gênero.	61
5.3	Distribuição de participantes por idade.	61
5.4	Distribuição de participantes por curso de graduação.	61
5.5	Distribuição de participantes por semestres desde o ingresso no curso.	62
5.6	Distribuição de participantes por frequência no uso de jogos digitais.	62
5.7	Distribuição das respostas para todos os itens do questionário MEEGA+.	63

Lista de Tabelas

2.1	Operações síncronas de um <i>flip-flop J-K</i> ativo na transição positiva do <i>clock</i> .	15
2.2	Sequência de operações para o <i>flip-flop J-K</i> do diagrama da Figura 2.4. . .	16
3.1	Lista de estudos primários analisados neste MSL.	31
4.1	Mapeamento de teclas no protótipo do jogo <i>Flip n' Flop</i>	54

Lista de Abreviações

BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CI	Critério de Inclusão
CE	Critério de Exclusão
GBL	<i>Game-Based Learning</i>
JED	Jogo Educacional Digital
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
PC	<i>Personal Computer</i>
QP	Questão de Pesquisa
RPG	<i>Role-Playing Game</i>
SBC	Sociedade Brasileira de Computação
SBGames	Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital
SBIE	Simpósio Brasileiro de Informática na Educação
SOL	SBC OpenLib
STEM	<i>Science, Technology, Engineering and Mathematics</i>
TCLE	Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
UFJF	Universidade Federal de Juiz de Fora

1 Introdução

Os Circuitos Lógicos constituem o alicerce dos sistemas digitais modernos, estando presentes em *tablets*, *smartphones*, computadores e diversos dispositivos eletrônicos que dependem do processamento lógico de sinais digitais baseado nas operações booleanas *NOT*, *AND* e *OR* (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2018). O ensino destes conteúdos oferecem os fundamentos teóricos para a compreensão da Organização e Arquitetura de Computadores, o que é essencial em cursos de Computação e áreas afins (ZORZO et al., 2017). Todavia, sua relevância transcende o Ensino Superior, tendo em vista a multidisciplinaridade da área (CHAKRABORTY, 2018) e a importância de desenvolver o raciocínio lógico desde cedo, algo reconhecido pela recente inclusão da Computação na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2022).

A natureza abstrata dos Circuitos Lógicos e a dificuldade dos estudantes em integrar teoria e prática podem desmotivar o processo de ensino e aprendizagem. Dessa forma, é relevante a busca por estratégias pedagógicas que tornem o aprendizado mais acessível e engajador, como metodologias ativas e ferramentas interativas (TROYER; LINDBERG; SAJJADI, 2019).

O uso eficaz das tecnologias de informação e comunicação pode enriquecer o ensino, tornando-o mais interativo e adaptável às necessidades individuais dos estudantes (PEREIRA; ARAÚJO, 2020). Neste cenário, os Jogos Educacionais Digitais (JEDs) podem ser vistos como metodologias ativas promissoras para aumentar o engajamento e facilitar o aprendizado (BATTISTELLA; WANGENHEIM, 2016; GENESIO et al., 2024). Ao oferecerem representações virtuais de cenários práticos e níveis progressivos de dificuldade, os JEDs permitem que os estudantes visualizem o comportamento dos circuitos em tempo real, testem configurações e compreendam os impactos de suas decisões, tornando-se protagonistas do próprio aprendizado (HONDA et al., 2020).

O objetivo desse trabalho é propor, implementar e realizar uma avaliação preliminar de um JED para contribuir com o ensino de Circuitos Lógicos. Para alcançar este objetivo, foi realizado inicialmente um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) so-

bre o tema (DÔNDICI et al., 2025). Apesar deste MSL identificar 25 estudos primários, os resultados evidenciaram lacunas significativas, dentre elas, a escassez de jogos voltados especificamente para o ensino de lógica sequencial.

Fundamentado nas conclusões do MSL, este trabalho apresenta o *Flip n' Flop*: um jogo educacional para exercitar de forma interativa a construção e interpretação de diagramas de tempo de circuitos lógicos sequenciais, com foco no funcionamento dos *flip-flops*. São discutidos aspectos relacionados à proposta do jogo: identificação de público alvo e objetivos pedagógicos; definição de gênero e elementos de jogo; concepção das mecânicas e jogabilidade desejadas; bem como a configuração de fases. Além disso, este trabalho também discorre sobre os aspectos técnicos relacionados à implementação do protótipo e discute sobre sua avaliação preliminar com o instrumento MEEGA+ (PETRI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2019). Os resultados inicialmente obtidos indicam percepções positivas quanto à relevância pedagógica, facilidade de uso, diversão e aprendizagem percebida com o jogo. Ainda assim, limitações relacionadas à personalização e à acessibilidade foram identificadas e irão direcionar os trabalhos futuros.

O restante deste documento está organizado da seguinte forma: o Capítulo 2 aborda a fundamentação teórica sobre Circuitos Lógicos, enfatizando os conteúdos de *flip-flops* e diagramas de tempo, além de discutir sobre JEDs como metodologia ativa de aprendizagem; o Capítulo 3 transcreve o MSL sobre JEDs para o ensino de Circuitos Lógicos; o Capítulo 4 apresenta detalhadamente a proposta do JED *Flip n' Flop* e descreve os aspectos técnicos relacionados à implementação do protótipo; o Capítulo 5 discute sobre os resultados obtidos a partir de sua avaliação preliminar; por fim, o Capítulo 6 apresenta a conclusão e os trabalhos futuros.

2 Fundamentação teórica

Este capítulo estabelece a fundamentação teórica necessária neste trabalho. Inicialmente, são abordados os conceitos essenciais de Circuitos Lógicos, com ênfase no funcionamento de *flip-flops* e na sua análise temporal através de diagramas (Seção 2.1). Em seguida, discute-se sobre jogos como metodologia ativa de aprendizagem (Seção 2.2). Por fim, as considerações finais encerram o capítulo (Seção 2.3).

2.1 Circuitos Lógicos

Lógica digital refere-se ao conjunto de princípios e operações utilizados para representar e manipular informações por meio de valores discretos, geralmente associados aos estados binários 0 e 1. Embora esses princípios sejam de natureza teórica, sua materialização mais comum ocorre por meio de circuitos eletrônicos digitais, conhecidos como *circuitos lógicos*, que constituem a base do funcionamento dos dispositivos digitais modernos.

Em cursos de Computação e áreas afins, disciplinas de Circuitos Lógicos tradicionalmente abordam temas como sistemas de numeração e códigos, portas e operações lógicas, álgebra booleana, lógica combinacional (circuitos aritméticos, codificadores, multiplexadores, etc.) e lógica sequencial (*latches*, *flip-flops*, contadores, registradores, etc.). Para os propósitos deste trabalho, as subseções a seguir apresentam uma revisão dos conceitos básicos (Subseção 2.1.1), com ênfase no funcionamento dos *flip-flops* (Subseção 2.1.2) e na representação temporal do comportamento desses circuitos por meio de diagramas de tempo (Subseção 2.1.3). As obras de (FLOYD, 2015) e (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2018) constituem referências didáticas clássicas na área de Circuitos Lógicos e fundamentam a construção do arcabouço teórico apresentado no restante desta seção.

2.1.1 Conceitos básicos

Os conceitos básicos da lógica digital envolvem o estudo das **operações lógicas fundamentais**, responsáveis por manipular informações representadas por valores binários. A

conjunção (*AND*) produz saída no valor 1 apenas quando todas as entradas assumem o valor 1; a *disjunção* (*OR*) resulta em saída no valor 1 quando pelo menos uma das entradas está no valor 1; e a *complementação* (*NOT*) inverte o valor lógico de uma única entrada, transformando 0 em 1 e 1 em 0. Essas operações constituem a base para a construção de expressões lógicas e de sistemas digitais mais complexos.

A formalização matemática dessas operações é dada pela **álgebra booleana**, proposta no século XIX por George Boole (BOOLE, 1854), a qual estabelece leis e propriedades que permitem a representação, manipulação e simplificação sistemática de expressões lógicas. Esse arcabouço foi expandido por Augustus De Morgan, cujas leis possibilitam a equivalência entre diferentes representações lógicas e desempenham papel central na simplificação de expressões booleanas.

A partir da álgebra booleana, derivam-se as **operações lógicas complementares**. As operações *NAND* e *NOR* correspondem, respectivamente, à negação da conjunção e da disjunção, destacando-se por sua completude funcional, pois permitem implementar qualquer expressão booleana utilizando exclusivamente um único tipo de operação. Há também as operações *XOR* e *XNOR*, que produzem saída no valor 1 quando as entradas são diferentes ou iguais entre si, respectivamente, e ampliam o conjunto de recursos disponíveis para a construção de sistemas lógicos.

A materialização física dessas operações ocorre por meio das **portas lógicas**, que são circuitos eletrônicos projetados para implementar diretamente as operações definidas pela álgebra booleana. Cada porta lógica possui um símbolo gráfico característico, conforme ilustrado na Figura 2.1, e constituem os blocos elementares a partir dos quais sistemas digitais mais complexos são construídos.

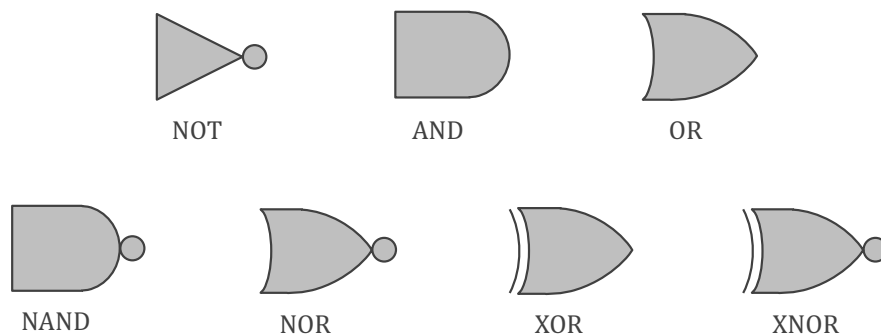


Figura 2.1: Símbolos gráfico característicos para as portas lógicas.

A interconexão dessas portas dá origem aos **circuitos lógicos**, que implementam fisicamente expressões booleanas completas. A correspondência entre a álgebra booleana e circuitos de chaveamento elétrico foi estabelecida por Claude Shannon ao demonstrar que operações lógicas poderiam ser realizadas por meio de circuitos baseados em relés (SHANNON, 1938). Essa contribuição consolidou o vínculo entre lógica abstrata e implementação física, viabilizando o desenvolvimento da eletrônica digital moderna.

Os circuitos lógicos podem ser classificados em combinacionais ou sequenciais. Nos **circuitos combinacionais**, a saída depende exclusivamente dos valores atuais das entradas. Nesses circuitos, o comportamento lógico é frequentemente descrito por meio de tabelas-verdade, que relacionam diretamente os valores das entradas às saídas. Já os **circuitos sequenciais** incorporam elementos de memória, fazendo com que suas saídas dependam das entradas atuais e também do estado previamente armazenado. Nesse caso, a representação por tabelas-verdade torna-se insuficiente, sendo necessária a análise do comportamento ao longo do tempo, usualmente realizada por meio de diagramas de tempo. Os elementos básicos de memória dos circuitos sequenciais são os *latches* e os *flip-flops*, cujo funcionamento é discutido na seção seguinte.

2.1.2 Latches e flip-flops

Os *latches* e os *flip-flops* são elementos de memória capazes de armazenar um único *bit* de informação. Esses dispositivos permitem que os circuitos sequenciais mantenham um estado interno, fazendo com que seu comportamento dependa não apenas dos valores instantâneos das entradas, mas também do valor previamente armazenado.

De modo geral, os circuitos sequenciais podem ser assíncronos ou síncronos. Nos **circuitos assíncronos**, as alterações no estado interno ocorrem diretamente em resposta a variações nos sinais de entrada, comportamento característico dos *latches*, que representam a forma mais simples de elemento de memória em circuitos sequenciais.

A Figura 2.2, retirada de (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2018), ilustra o circuito lógico de um *latch S-R* construído com duas portas *NAND*. Esse dispositivo possui duas entradas, denominadas *set* (S) e *reset* (R), uma saída Q , que representa o estado armazenado, e uma saída \overline{Q} , correspondente à complementação de Q . Quando a entrada S

assuma o valor lógico 0, o circuito executa de forma assíncrona a operação de *set*, definindo $Q = 1$; de forma análoga, quando a entrada R assume o valor lógico 0, ocorre a operação de *reset*, definindo $Q = 0$. Quando ambas as entradas permanecem em valor lógico 1, o circuito mantém o valor previamente armazenado na saída Q , caracterizando seu comportamento como um elemento de memória. Ressalta-se que, nesse *latch*, as entradas S e R não podem assumir simultaneamente o valor lógico 0.

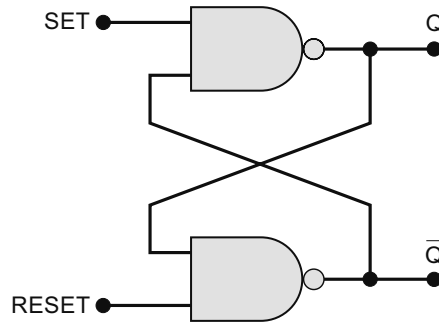


Figura 2.2: Circuito lógico de um *latch S-R* construído com portas *NAND*.

Em contraste com os circuitos assíncronos, os **circuitos síncronos** utilizam um sinal de referência temporal global, denominado *clock*, para coordenar as mudanças de estado. O *clock* é um sinal periódico que alterna entre os níveis lógicos 0 e 1, sendo a atualização do estado armazenado internamente no circuito sincronizada com a transição ativa do *clock*, que pode ser a transição positiva (quando o *clock* passa de 0 para 1) ou negativa (de 1 para 0). Nesse contexto, os ***flip-flops*** surgem como dispositivos de memória projetados para operação síncrona, podendo ser compreendidos como uma evolução dos *latches* que incorpora controle temporal explícito às operações de armazenamento.

A Figura 2.3, também retirada de (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2018), ilustra o circuito lógico de um *flip-flop S-R*. Neste circuito, o detector de borda é responsável por identificar a transição ativa do sinal de *clock* e gerar um pulso de curta duração, enquanto o circuito direcionador garante que esse pulso seja aplicado de forma adequada às entradas do *latch*. Assim, o *latch* passa a atualizar seu estado apenas no instante da transição do *clock*, caracterizando o comportamento síncrono do *flip-flop*.

Em relação ao funcionamento do *flip-flop S-R*, quando a entrada S está em nível lógico 1 no instante da transição ativa do *clock*, é executada a operação síncrona de *set*, definindo $Q = 1$; de forma análoga, quando a entrada R está em nível lógico 1 nesse

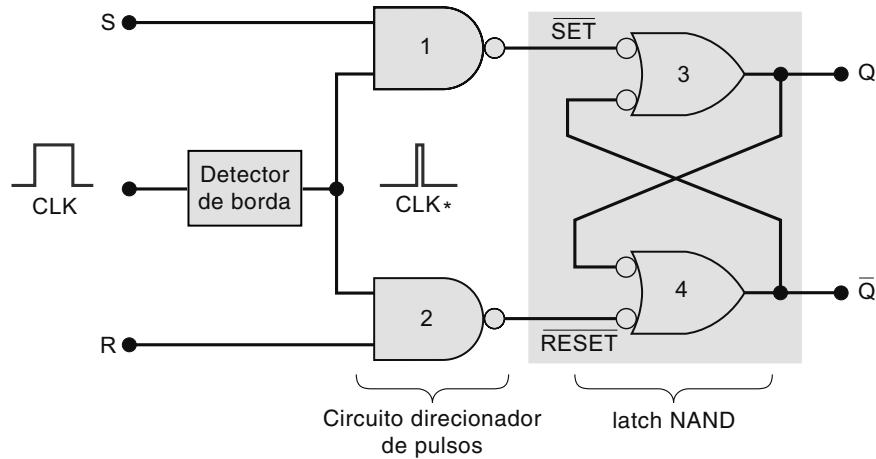


Figura 2.3: Circuito lógico de um *flip-flop S-R* ativo na transição do *clock*.

mesmo instante, ocorre a operação de *reset*, definindo $Q = 0$. Quando ambas as entradas S e R estão em nível lógico 0 no momento da transição ativa do *clock*, o circuito *mantém* o valor previamente armazenado em Q . A combinação $S = 1$ e $R = 1$ não é permitida nesse dispositivo, pois conduz a um estado indefinido. Por se tratar de um circuito síncrono, apenas os valores das entradas S e R no instante da transição ativa do *clock* influenciam o estado do *flip-flop*, sendo variações fora desse instante ignoradas.

Além do *S-R*, existem outros tipos de *flip-flops* amplamente utilizados em circuitos sequenciais síncronos. Eles diferenciam-se principalmente pelo conjunto de operações que permitem realizar e pela forma como suas entradas são interpretadas na transição ativa do sinal de *clock*. Entre os tipos mais comuns estão os *flip-flops J-K*, *T* e *D*.

O *flip-flop J-K* pode ser compreendido como uma extensão do *S-R*, cuja principal diferença está no tratamento da combinação em que ambas as entradas estão ativas em nível lógico 1. Enquanto, no *S-R*, essa condição é considerada inválida, no *J-K* ela é reinterpretada como a operação *comuta*, que inverte o valor armazenado em Q . Dessa forma, o *flip-flop J-K* elimina a restrição presente no *S-R* e amplia o conjunto de operações disponíveis em um único dispositivo. A Tabela 2.1¹ apresenta as quatro operações síncronas de um *flip-flop J-K* ativo na transição positiva do *clock*.

O *flip-flop T* (*toggle*) apresenta um comportamento mais restrito, realizando apenas a operação de comutação sempre que sua entrada T está em nível lógico 1 no momento

¹Nesta tabela, a notação Q_0 representa o valor armazenado no *flip-flop* antes da transição positiva do sinal de *clock* (CLK), aqui indicada pelo símbolo \uparrow .

Tabela 2.1: Operações síncronas de um *flip-flop J-K* ativo na transição positiva do *clock*.

J	K	CLK	Operação
0	0	↑	<i>Mantém</i> ($Q = Q_0$)
1	0	↑	<i>Set</i> ($Q = 1$)
0	1	↑	<i>Reset</i> ($Q = 0$)
1	1	↑	<i>Comuta</i> ($Q = \overline{Q_0}$)

da transição do *clock*. Já o *flip-flop D* (*data*) possui uma única entrada *D* e armazena, na transição ativa do *clock*, o valor presente nessa entrada (i.e., definido $Q = D$). Embora menos flexíveis que o *J-K*, os *flip-flops T* e *D* são amplamente utilizados em aplicações específicas, como registradores, contadores e memórias, por simplificarem o projeto do circuito e evitarem combinações inválidas de entradas.

Além das entradas de controle síncronas, os *flip-flops* podem incluir entradas assíncronas adicionais, usualmente denominados *preset* e *clear*. Esses sinais permitem modificar o estado armazenado independentemente do momento da transição ativa do *clock*. Quando ativado, o sinal *preset* define $Q = 1$, enquanto o sinal *clear* define $Q = 0$. A presença desses sinais não é obrigatória e varia conforme o tipo e a aplicação do *flip-flop*.

2.1.3 Diagramas de tempo

A análise do comportamento de circuitos sequenciais é naturalmente mais complexa do que a de circuitos combinacionais, uma vez que suas saídas dependem não apenas dos sinais de entrada mas também da evolução temporal do estado interno do circuito. Nesse contexto, os **diagramas de tempo** desempenham papel fundamental ao permitir a visualização da relação entre sinais de entrada, *clock* e saída ao longo do tempo, constituindo uma ferramenta gráfica essencial para a compreensão do funcionamento dos *flip-flops*.

A Figura 2.4, retirada de (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2018), apresenta um diagrama de tempo de um *flip-flop J-K*. Nesse tipo de representação, cada sinal do circuito é descrito por uma forma de onda “quadrada”, que alterna entre os níveis lógicos 0 e 1 ao longo do eixo horizontal, indicando sua variação no tempo. As linhas verticais pontilhadas destacadas no diagrama servem como um auxílio visual para identificar os instantes de tempo em que ocorre a transição ativa do sinal de *clock*. É nesses instantes que o *flip-*

flop efetivamente analisa os valores presentes nas entradas J e K e decide qual operação síncrona será executada, resultando, ou não, na atualização do valor da saída Q . A Tabela 2.2 lista a sequência de operações síncronas realizadas pelo *flip-flop J-K* representado no diagrama de tempo da Figura 2.4.

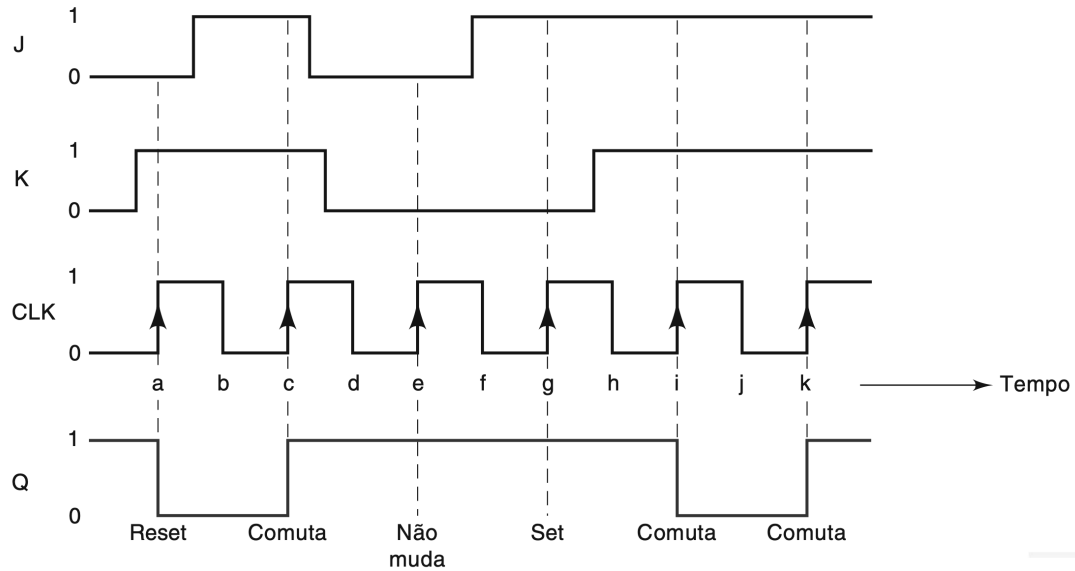


Figura 2.4: Diagrama de tempo de um *flip-flop J-K* ativo na transição positiva do *clock*.

O diagrama de tempo da Figura 2.4 ilustra o comportamento da saída Q de um *flip-flop J-K* ativo na transição positiva do *clock*, considerando apenas as entradas síncronas J e K . De modo geral, diagramas de tempo podem incluir outros sinais relevantes, como entradas assíncronas de *preset* e *clear*, permitindo a análise de cenários mais complexos. O leitor interessado em exemplos adicionais e em diagramas que contemplam essas variações pode consultar o material apresentado por (TOCCI; WIDMER; MOSS, 2018).

Tabela 2.2: Sequência de operações para o *flip-flop J-K* do diagrama da Figura 2.4.

Tempo	Q anterior	J	K	Operação	Q novo
(a)	1	0	1	<i>Reset</i>	0
(c)	0	1	1	<i>Comuta</i>	1
(e)	1	0	0	<i>Mantém</i>	1
(g)	1	1	0	<i>Set</i>	1
(i)	1	1	1	<i>Comuta</i>	0
(k)	0	1	1	<i>Comuta</i>	1

2.2 Jogos como metodologia ativa de aprendizagem

A educação contemporânea exige uma revisão das práticas tradicionais, visando superar o que Paulo Freire critica como “Educação Bancária” — aquela em que o conhecimento é apenas depositado no aluno passivo (FREIRE, 2000). Nesse contexto, diversos estudos apontam a necessidade de adoção de metodologias ativas de aprendizagem, que promovam transformações no processo educativo ao deslocar o estudante de uma posição passiva para um papel protagonista, favorecendo sua motivação, autonomia e participação no processo de ensino-aprendizagem (DIESEL; BALDEZ; MARTINS, 2017; SILVA; PIRES, 2020).

Neste cenário, os jogos constituem um exemplo expressivo de metodologia ativa, uma vez que pressupõem a participação constante e proativa do jogador, que toma decisões, enfrenta desafios e aprende a partir das consequências de suas ações. Quando empregados com intencionalidade educativa, esses jogos aproximam-se do conceito de *jogos sérios*, nos quais a diversão atua como meio para promover o ensino e o treinamento de habilidades (MICHAEL; CHEN, 2005). Estudos de síntese da literatura indicam que estes jogos tendem a apresentar melhores resultados de aprendizagem, retenção de conhecimento e motivação quando comparados a métodos instrucionais convencionais (WOUTERS et al., 2013; CONNOLLY et al., 2012).

Sob a perspectiva construcionista, (PAPERT, 1980) argumenta que a aprendizagem ocorre de forma mais eficaz quando o estudante constrói ativamente artefatos significativos, explorando, experimentando e refletindo — ideias que dialogam diretamente com metodologias ativas e com o uso de jogos e programação como meios para aprender. Nesse contexto, o erro deixa de ser punitivo e, aliado ao *feedback* constante, assume um papel informativo central no processo de aprendizagem, favorecendo a autonomia, a reflexão e o refinamento progressivo de estratégias.

Na sequência, são discutidas classificações e abordagens de jogos no contexto educacional (Subseção 2.2.1), seguidas por uma análise dos principais achados da literatura sobre jogos educacionais digitais no ensino de Computação e áreas afins (Subseção 2.2.2). Por fim, são detalhados os principais gêneros e elementos de jogos relevantes para o projeto de jogos educacionais (Subseção 2.2.3).

2.2.1 Classificações e abordagens

Os jogos aplicados à educação podem ser classificados segundo diferentes critérios, como a abordagem didática, o acoplamento conteúdo-jogabilidade, o paradigma pedagógico e o meio tecnológico.

No que se refere à **abordagem didática**, destaca-se a distinção entre a *gamificação* e a *aprendizagem baseada em jogos* (GBL, do inglês *Game-Based Learning*). Na gamificação, apenas elementos de jogos — como pontuação, recompensas e placares — são incorporados a atividades que não se caracterizam, em si, como jogos (DETERDING et al., 2011). Já na GBL, o próprio jogo constitui o ambiente central de ensino-aprendizagem. Do ponto de vista pedagógico, a GBL alinha-se a abordagens construcionistas e de aprendizagem ativa, nas quais o estudante aprende por meio da experimentação, do erro e do *feedback* contínuo, características particularmente relevantes no ensino de áreas como Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática (STEM, do inglês *Science, Technology, Engineering and Mathematics*) (BATTISTELLA; WANGENHEIM, 2016).

O **acoplamento conteúdo–jogabilidade** diz respeito à integração entre o conteúdo de aprendizagem e a mecânica do jogo, que pode ser classificado como *extrínseca* ou *intrínseca*. Na integração extrínseca, o conteúdo educacional é dissociado da jogabilidade, como acontece em jogos onde há pausas para questões de *quiz*. Já na integração intrínseca, a própria mecânica do jogo exige a aplicação dos conceitos a serem aprendidos, abordagem associada a melhores resultados de aprendizagem (HABGOOD, 2007).

Sob a perspectiva do **paradigma pedagógico**, os jogos podem ser classificados como *instrucionistas* ou *construtivistas*. Na abordagem instrucionista, o jogo assume o papel de instruir o jogador, conduzindo-o por exercícios e sequências previamente definidas, com foco na repetição e na fixação de conceitos. Em contrapartida, nas abordagens construtivistas, o jogo configura-se como um ambiente de exploração e experimentação, no qual o estudante constrói ativamente seu entendimento ao formular hipóteses, testá-las e observar as consequências de suas ações no sistema. O construtivismo é especialmente favorecido em jogos de simulação e quebra-cabeça, nos quais a aprendizagem emerge da interação e do *feedback* do ambiente (CONNOLLY et al., 2012; BATTISTELLA; WANGENHEIM, 2016; HEINTZ, 2016).

Por fim, quanto ao **meio tecnológico**, os jogos podem ser classificados como *digitais* ou *não digitais*. Os Jogos Educacionais Digitais (JEDs) são aqueles mediados por tecnologias computacionais, nos quais as regras, a lógica do jogo e a evolução dos estados são processadas por um sistema digital. Essa mediação permite automação de regras, simulações dinâmicas, controle de estados complexos e *feedback* imediato ao jogador. Por outro lado, os jogos não digitais prescindem de processamento computacional, sendo baseados em materiais físicos, regras e interação social. Na literatura de Computação, estes jogos são comumente chamados de *desplugados*, amplamente usados para trabalhar conceitos de lógica, algoritmos e pensamento computacional (BELL et al., 2009; CLEMENTINO et al., 2022).

2.2.2 Jogos educacionais digitais em STEM

Os JEDs mostram-se adequados para promover a integração intrínseca entre objetivos educacionais e mecânicas de jogo, característica que favorece o ensino de conteúdos formais e abstratos, como aqueles presentes na área de STEM e, especialmente, em Computação. A crescente produção científica na literatura evidencia o interesse da comunidade acadêmica em investigar, de forma sistemática, a efetividade dos JEDs nesse contexto.

A revisão sistemática conduzida por (KHALID; ABDULLAH; FADZIL, 2025) apresenta um panorama amplo do uso de tecnologias digitais no ensino de STEM, indicando evidências consistentes de maior engajamento, participação ativa e compreensão de conceitos complexos, desde que apoiadas por projetos pedagógicos alinhados aos objetivos educacionais. Os autores destacam que tais efeitos dependem de fatores como o *design* instrucional, o letramento digital de docentes e estudantes e o contexto institucional.

Uma meta-análise conduzida por (GUI et al., 2023) aponta ganhos consistentes de aprendizagem com o uso de JEDs em comparação a métodos tradicionais, com variações significativas conforme o tipo de jogo, a disciplina STEM e o tipo de resultado avaliado. Os maiores efeitos foram observados em jogos do tipo estratégia e em áreas como Computação e Ciências, sendo mais expressivos no desenvolvimento de habilidades cognitivas do que na aquisição de conhecimento factual. O estudo também evidencia que elementos de jogo diretamente vinculados ao conteúdo (como mecanismos instrucionais, *feedback* conceitual,

dicas, etc.) produzem efeitos superiores aos de elementos predominantemente lúdicos.

No que se refere à motivação, o mapeamento da literatura apresentado por (ILIĆ; IVANOVIĆ; KLAŠNJA-MILIĆEVIĆ, 2024) indica que a maioria dos estudos reporta aumento da motivação dos estudantes em contextos de GBL, com efeitos mais efetivos no ensino básico do que no ensino superior. Os autores observam ainda maior impacto quando os conteúdos são menos abstratos e quando os estudantes possuem experiência prévia com jogos digitais.

Resultados semelhantes são reportados por (WANG et al., 2022), que identificam um efeito global moderado e estatisticamente significativo dos JEDs no desempenho acadêmico em STEM. Em uma perspectiva distinta das análises realizadas em outros trabalhos, os autores não observaram diferenças relevantes entre jogos em computadores e dispositivos móveis, sugerindo que o meio de acesso não é determinante para os ganhos de aprendizagem.

Por fim, o mapeamento sistemático de (GENESIO et al., 2024), focado na Educação em Computação, revela a predominância de JEDs voltados à Lógica de Programação e à Engenharia de Software, além de ampla diversidade de ferramentas de desenvolvimento, com destaque para *Unity* e *Construct*. O estudo aponta recorrência de requisitos de qualidade como aprendizibilidade, jogabilidade e usabilidade, mas evidencia limitações na adoção de modelos estruturados de avaliação, o que dificulta a comparação sistemática dos resultados e a consolidação de evidências na área.

Em síntese, os estudos analisados convergem ao indicar que os JEDs são eficazes no ensino de STEM, com impactos positivos na aprendizagem e na motivação, desde que concebidos com objetivos pedagógicos explícitos, integração intrínseca entre conteúdo e mecânica e adequação ao contexto educacional.

2.2.3 Gêneros e elementos de JEDs

Diante das evidências apresentadas, torna-se claro que a efetividade dos JEDs não depende apenas de sua adoção, mas das decisões de projeto que orientam sua concepção. Nesse sentido, a escolha adequada do gênero e dos elementos de jogo que o compõem assume papel central, uma vez que esses aspectos influenciam diretamente a forma como

os conteúdos são integrados à jogabilidade, o tipo de interação promovida e as habilidades cognitivas mobilizadas. Assim, compreender os diferentes gêneros e elementos que os caracterizam constitui um passo fundamental no projeto de novos JEDs.

Os **gêneros de jogos** correspondem a categorias utilizadas para classificar os jogos de acordo com suas mecânicas principais e características de jogabilidade. Alguns gêneros comumente adotados são:

- **Aventura:** Caracteriza-se pela exploração de ambientes, resolução de desafios e interação com personagens e objetos, geralmente associada a uma narrativa que guia a progressão do jogador.
- **Estratégia:** Baseia-se no planejamento e na tomada de decisões, exigindo o gerenciamento eficiente de recursos e a definição de estratégias para alcançar objetivos.
- **Quebra-cabeça:** Fundamenta-se na resolução de desafios lógicos, matemáticos ou espaciais, frequentemente organizados em tarefas curtas e independentes que se manifestam na forma de mini-jogos.
- **Ação:** Enfatiza a execução em tempo real, demandando agilidade, coordenação motora e rapidez de reação para lidar com inimigos, obstáculos ou eventos dinâmicos.
- **Simulação:** Busca reproduzir sistemas, processos ou contextos do mundo real, permitindo ao jogador experimentar, de forma controlada, atividades e situações próximas da realidade.
- **Esportes:** Inspira-se em modalidades esportivas reais, priorizando competição, habilidade do jogador e o cumprimento de regras específicas.
- **Role-Playing Game (RPG):** Foca no desenvolvimento de personagens, na evolução de habilidades e na tomada de decisões que influenciam narrativas progressivas e o mundo do jogo.

Não existe uma definição clara e consistente para essa categorização, sendo esse um tema que frequentemente gera debates. De modo geral, dois sistemas são utilizados para classificar os jogos. O primeiro é realizado pelas próprias lojas e plataformas de

distribuição, nas quais equipes de curadoria analisam cada título e atribuem gêneros com base em suas características e elementos principais. O segundo sistema é formado pela opinião popular, em que os jogadores classificam os jogos e compartilham percepções sobre seus gêneros e estilos (MOTTA; ALBUQUERQUE, 2023).

No contexto de JEDs, o trabalho de (HEINTZ, 2016) propõe uma reorganização dos gêneros a partir das mecânicas centrais e de seus atributos relevantes para a aprendizagem, resultando em cinco categorias principais: *ação*, *aventura*, *RPG*, *recursos* e *mini-jogos*. Nessa proposta, gêneros tradicionais como quebra-cabeça e estratégia são reinterpretados, sendo o primeiro associado a mini-jogos e o segundo ao gênero recursos, enquanto esportes e simulação deixam de ser tratados como gêneros independentes, passando a ser compreendidos em função de suas mecânicas predominantes. Essa reorganização busca reduzir ambiguidades presentes nas classificações tradicionais, que frequentemente se baseiam no tema ou no contexto do jogo, e enfatizar aspectos estruturais da jogabilidade que influenciam diretamente a forma como o conteúdo educacional é integrado ao jogo e como a aprendizagem é promovida.

Segundo (RAPEEPISARN et al., 2008), diferentes gêneros de jogos educacionais atraem diferentes tipos de pessoas e têm impactos distintos sobre o conteúdo das atividades de aprendizagem. Alguns conteúdos são melhor aprendidos por meio de jogos de RPG e aventura, enquanto outros se beneficiam mais de jogos competitivos, jogos de ação ou até mesmo jogos esportivos. A escolha do gênero apropriado depende do conteúdo a ser aprendido ou dos processos mentais a serem desenvolvidos (GUI et al., 2023).

Por sua vez, os **elementos de jogo** correspondem aos componentes que estruturam a experiência lúdica e definem as formas de interação entre o jogador e o jogo. Os elementos funcionam como blocos de construção que, articulados entre si, determinam a dinâmica e o engajamento da partida. Em (TODA et al., 2019), os autores propõem a seguinte taxonomia voltada ao contexto educacional, construída e validada a partir da opinião de especialistas da área:

- **Objetivos:** Metas explícitas que orientam as ações do jogador e dão sentido às atividades realizadas, como missões ou tarefas a serem cumpridas.
- **Níveis:** Estrutura hierárquica que organiza a progressão do jogador, indicando

avanço e liberando novas possibilidades ou desafios ao longo do jogo.

- **Progressão:** Mecanismos que permitem ao jogador acompanhar seu avanço no jogo, como barras de progresso, mapas, etapas ou fases concluídas.
- **Pontuação:** Medidas quantitativas que representam o desempenho do jogador, frequentemente utilizadas em placares ou sistemas de classificação.
- **Reconhecimento:** Formas de *feedback* positivo associadas a ações ou conquistas específicas, como medalhas, troféus ou distintivos.
- **Competição:** Disputas entre jogadores em torno de objetivos comuns, estimuladas por comparações de desempenho ou confrontos diretos.
- **Cooperação:** Situações em que dois ou mais jogadores colaboram para alcançar um objetivo comum compartilhado.
- **Economia:** Sistemas internos de troca e gerenciamento de recursos, envolvendo moedas, mercados ou transações entre itens do jogo.
- **Sorte:** Elementos de aleatoriedade que introduzem imprevisibilidade nos resultados ou nas probabilidades de determinadas ações.
- **Escolha imposta:** Decisões obrigatórias que o jogador deve tomar para prosseguir no jogo, influenciando diretamente seu percurso.
- **Narrativa:** Conjunto de eventos e acontecimentos do jogo moldados pelas ações e escolhas do jogador ao longo da experiência.
- **Storytelling:** Forma como a narrativa é apresentada ao jogador, por meio de recursos como texto, áudio, animações ou cenas.
- **Novidade:** Introdução contínua de novos elementos, desafios ou informações, evitando a repetição excessiva e mantendo o interesse do jogador.
- **Desafios cognitivos:** Problemas ou quebra-cabeças que exigem raciocínio, análise e reflexão para serem resolvidos.

- **Escassez:** Limitação intencional de recursos ou itens, incentivando escolhas estratégicas e priorização de ações.
- **Renovação:** Possibilidade de refazer ações, tentar novamente ou recuperar estados anteriores, como reinícios ou vidas extras.
- **Reputação:** Títulos, classificações ou *status* acumulados pelo jogador ao longo do jogo, refletindo seu desempenho ou trajetória.
- **Sensação:** Estímulos sensoriais proporcionados pelo jogo, como efeitos visuais, sonoros ou táteis, que contribuem para a imersão.
- **Pressão social:** Influência exercida por outros jogadores ou grupos sobre o comportamento do jogador, por meio de comparações ou expectativas sociais.
- **Estatísticas:** Informações visíveis sobre o estado ou desempenho do jogador, como indicadores, medidores ou painéis de acompanhamento.
- **Pressão temporal:** Restrições de tempo impostas para a realização de ações, como cronômetros ou contagens regressivas.

Ainda de acordo com (TODA et al., 2019), os elementos sorte, economia, cooperação, desafios cognitivos, escassez, renovação, sensação, estatísticas e *storytelling* afetam predominantemente o engajamento dos jogadores. Os demais elementos estão associados tanto ao engajamento quanto à motivação dos jogadores.

Dentre os elementos mais recorrentes em JEDs, destacam-se níveis e progressão, que organizam o avanço no jogo; objetivos e pontuação, que orientam e mensuram o desempenho; pressão social e temporal, que mantêm a tensão e o ritmo da partida; além de reconhecimento, cooperação e competição, que reforçam a motivação e a interação entre os jogadores.

2.3 Considerações finais

Este capítulo apresentou os fundamentos teóricos que sustentam o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, foram discutidos os princípios básicos dos Circuitos Lógicos, com

ênfase no funcionamento de *flip-flops* e na interpretação de diagramas de tempo, conteúdos essenciais para a compreensão do jogo proposto. Em seguida, foram abordados os jogos como metodologia ativa de aprendizagem, destacando classificações, abordagens e evidências da literatura sobre o uso de JEDs no ensino de STEM. Por fim, foram apresentadas definições e classificações para gêneros e elementos de jogos educacionais.

De forma integrada, a fundamentação apresentada estabelece a base conceitual tanto do conteúdo a ser trabalhado quanto da estratégia pedagógica empregada neste trabalho. No entanto, embora a literatura discutida evidencie o potencial dos JEDs em diferentes áreas da educação em STEM, ainda se faz necessário compreender como esses jogos têm sido especificamente aplicados no contexto do ensino de Circuitos Lógicos. Assim, o Capítulo 3 apresenta um MSL com o objetivo de identificar, caracterizar e analisar os JEDs existentes nessa área, fornecendo subsídios empíricos que contextualizam e fundamentam a proposta do jogo *Flip n' Flop*, apresentada posteriormente no Capítulo 4.

3 Mapeamento sistemático da literatura

Este capítulo apresenta um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL) sobre Jogos Educacionais Digitais (JEDs) para o ensino de Circuitos Lógicos. O objetivo deste MSL é discutir questões técnicas sobre esses JEDs, como o gênero, os elementos de jogo e as tecnologias de desenvolvimento, além de aspectos pedagógicos, como os conteúdos abordados, o perfil do público-alvo, as metodologias de avaliação e os impactos alcançados.

O restante deste capítulo apresenta o texto parcialmente adaptado do artigo (DÔNDICI et al., 2025), que foi publicado no V Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EduComp 2025), realizado na Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). O texto a seguir apresenta uma breve revisão de outros MSLs na área (Seção 3.1), a descrição do método de pesquisa adotado (Seção 3.2), a discussão sobre os resultados encontrados (Seção 3.3), as ameaças à validade (Seção 3.4) e as considerações finais (Seção 3.5).

3.1 Trabalhos relacionados

Nos últimos anos, tem sido comum a adoção de jogos como estratégia instrucional no ensino de Computação. Em particular, o trabalho de (CLEMENTINO et al., 2022) apresenta um MSL para identificar jogos não digitais para o ensino de Computação. Os autores relatam que a maioria dos estudos é focada no ensino de Engenharia de Software e de programação, sempre motivados em aumentar o engajamento e o interesse dos alunos.

O trabalho de (YAMASHITA et al., 2024) apresenta um MSL para identificar e analisar JEDs voltados para o ensino de programação e para o incentivo à participação feminina em cursos de Computação. Os resultados destacam que, embora os JEDs mostrem-se eficazes no ensino-aprendizagem, há escassez de iniciativas voltadas para mulheres. A análise revelou que esses JEDs promovem o aprendizado de conceitos computacionais e contribuem para autoeficácia, autoestima e engajamento de alunas.

O MSL apresentado por (SOUZA et al., 2018) discute jogos na educação em Engenharia de Software. Os resultados indicam que os métodos mais frequentes são o uso

de jogos sérios e o desenvolvimento de jogos, enquanto a gamificação é menos explorada. As áreas de conhecimento mais abordadas pelos métodos identificados incluem Processo de Software, Design de Software e Práticas Profissionais. O estudo também destaca a falta de padronização na definição de objetivos de aprendizagem e na classificação dos métodos relacionados a jogos. Entre as limitações, está a dificuldade de avaliar a eficácia desses métodos devido à diversidade de abordagens e à complexidade de medir impactos em habilidades específicas.

No contexto de Circuitos Lógicos, o MSL de (SANTINI et al., 2023) responde a quatro questões de pesquisa: quais são os jogos encontrados para o ensino de circuitos, quais conceitos esses jogos abordam, quais os gêneros desses jogos e quais jogos foram testados com alunos. Ao todo, os autores identificaram 13 jogos que abordam majoritariamente os conteúdos de números binários, portas lógicas, tabela verdade e expressões lógicas. Quanto ao gênero, 5 jogos foram classificados como plataforma, sendo este o único gênero identificado para mais de um jogo. Quanto aos testes, 7 dos 13 jogos foram submetidos a avaliação com alunos. Os autores concluem ser necessário realizar investigações empíricas para validar a efetividade desses jogos no ambiente educacional.

Para ampliar a amostra de jogos analisados por (SANTINI et al., 2023), o MSL reportado neste capítulo adota uma estratégia de busca mais abrangente no contexto de Circuitos Lógicos, possibilitando a identificação de mais trabalhos e favorecendo uma análise aprofundada por meio de questões de pesquisa mais amplas.

3.2 Método de pesquisa

Este MSL foi conduzido em acordo com as diretrizes propostas por (PETERSEN; VAKKALANKA; KUZNIARZ, 2015), que incluem as seguintes definições: questões de pesquisa (Subseção 3.2.1); estratégia de busca, i.e., *string* de busca e bases de dados (Subseção 3.2.2); critérios de inclusão e exclusão (Subseção 3.2.3); e procedimentos de busca e análise dos estudos (Subseção 3.2.4).

3.2.1 Questões de pesquisa

Estas são as questões de pesquisa (QPs) a serem respondidas:

QP1: *Quais são as motivações dos autores para o desenvolvimento dos JEDs?*

QP2: *Quais são os conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos abordados pelos JEDs?*

QP3: *Quais são as características do público-alvo dos JEDs?*

QP4: *Quais são os gêneros e os elementos de jogos utilizados nos JEDs?*

QP5: *Quais são as tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos JEDs?*

QP6: *Quais são as metodologias utilizadas nas avaliações dos JEDs?*

QP7: *Quais são os impactos observados no ensino de Circuitos Lógicos com os JEDs?*

QP8: *Os JEDs abordam questões voltadas para inclusão de minorias e acessibilidade?*

QP9: *Os JEDs estão disponíveis para acesso público na Internet?*

3.2.2 Estratégia de busca

A *string* de busca agrupa termos sinônimos ou relacionados à jogos educacionais digitais com termos específicos de conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos, que foram extraídos do livro didático de (FLOYD, 2015). A *string* de busca definida foi:

(“serious game” OR “educational game” OR “learning game” OR “game based learning” OR
 “simulation game”) AND (“educat*” OR “course” OR “teach*” OR “learn*”) AND (“NOT
 gate” OR “AND gate” OR “OR gate” OR “NAND gate” OR “NOR gate” OR “XOR gate”
 OR “XNOR gate” OR “inverter gate” OR “exclusive-OR gate” OR “exclusive-NOR gate”
 OR “digital quantit*” OR “analog quantit*” OR “combinational logic” OR “sequential logic”
 OR “fixed-function logic” OR “programmable logic” OR “digital circuit” OR “logic circuit”
 OR “logic gate” OR “logic Level” OR “logic simplification” OR “digital code” OR “digital
 waveform” OR “truth table” OR “binary digit” OR “binary number” OR “octal number”
 OR “decimal number” OR “hexadecimal number” OR “binary conversion” OR “octal conver-
 sion” OR “hexadecimal conversion” OR “signed number” OR “unsigned number” OR “binary
 arithmetic” OR “parallel binary adder” OR “full adder” OR “half adder” OR “look-ahead
 carry adder” OR “ripple carry adder” OR “binary coded decimal” OR “gray code” OR “er-
 ror code” OR “code converter” OR “parity checker” OR “parity generator” OR “boolean
 algebra” OR “boolean expression” OR “boolean operation” OR “boolean simplification” OR
 “boolean theorem” OR “DeMorgan theorem” OR “sum-of-product” OR “products-of-sum”
 OR “Karnaugh map” OR “Quine-McCluskey method” OR “serial bus” OR “parallel bus”

OR “bus interfac*” OR “data transmission media” OR “CMOS circuit” OR “TTL circuit”
 OR “integrated circuit” OR “data selector” OR “data splitter” OR “asynchronous counter”
 OR “synchronous counter” OR “cascaded counter” OR “shift register” OR “state machine”
 OR “field-programmable gate array” OR “memory hierarchy” OR “random-access memory”
 OR “sequential-access memory” OR “read-only memory” OR “read-write memory” OR “se-
 miconductor memory” OR “flash memory” OR “optical storage” OR “magnetic storage” OR
 (“circuit” AND (“demultiplexer” OR “multiplexer” OR “encoder” OR “decoder” OR “com-
 parator” OR “latch” OR “flip-flop” OR “multivibrator”)) OR (“expression” AND (“minterm”
 OR “maxterm”)))

As bases selecionadas foram a Biblioteca Digital da Sociedade Brasileira de Computação (SBC OpenLib – SOL)² e a Scopus³. No Brasil, há eventos científicos consolidados na área de Educação em Computação e Jogos Digitais, como o Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE), o Workshop sobre Educação em Computação (WEI), o Workshop de Informática na Escola (WIE), o Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames) e o Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EduComp). Entretanto, nem todas as edições desses eventos estão indexadas na SOL. Portanto, foram realizadas buscas manuais em edições anteriores disponíveis online.

É importante destacar que a *string* de busca precisou ser adaptada para permitir a consulta por trabalhos na SOL, devido ao limite de caracteres no campo de busca. Portanto, foi necessário segmentar a parte final da *string* original (contendo os termos específicos relacionados a Circuitos Lógicos), originando diversas *substrings*. Isso permitiu realizar as buscas de forma eficaz, mantendo os mesmos termos da *string* original.

Além disso, para expandir a cobertura de buscas e identificar estudos importantes, a estratégia de *snowballing* foi aplicada de duas formas: *backward snowballing*, com a busca na lista de referências dos estudos primários; e *forward snowballing*, com a busca nas citações dos estudos primários previamente selecionados (MACHADO; GIMENEZ; SIQUEIRA, 2020). O uso dessa estratégia híbrida, que combina a busca na Scopus com uma busca paralela utilizando *snowballing*, proporciona um equilíbrio entre a identificação de estudos primários relevantes e o esforço necessário para buscar trabalhos em outras bases de dados (MOURÃO et al., 2020).

²Disponível em <<https://sol.sbc.org.br>>.

³Disponível em <<https://www.scopus.com>>.

3.2.3 Critérios de inclusão e exclusão

Os seguintes critérios de inclusão (CI) e exclusão (CE) foram definidos:

CI1: O estudo apresenta um JED para o ensino-aprendizagem de Circuitos Lógicos;

CI2: O estudo é um trabalho completo revisado por pares;

CE1: O estudo não está disponível para leitura;

CE2: O estudo não está escrito em português ou inglês;

CE3: O estudo não é um estudo primário;

CE4: O estudo é um trabalho duplicado;

CE5: O estudo tem ênfase no ensino de Eletrônica Digital;

CE6: O estudo tem ênfase no ensino de Arquitetura de Computadores.

Estes critérios delimitam o escopo deste MSL a JEDs desenvolvidos especificamente para o ensino de Circuitos Lógicos em cursos da área de Computação. Particularmente, os critérios CE5 e CE6 excluem estudos relacionados ao ensino de Eletrônica Digital, que ultrapassam o escopo típico do currículo dos cursos da área de Computação, ou de Arquitetura de Computadores, uma área relacionada, mas cujo foco está na aplicabilidade dos conceitos de Circuitos Lógicos no projeto de computadores digitais.

3.2.4 Procedimentos de busca e análise dos estudos

O processo de busca foi realizado em 4 etapas. Na primeira foram realizadas as buscas na Scopus e na SOL, que retornaram respectivamente 743 e 7 estudos. Com auxílio da ferramenta Parsifal⁴, foram removidos 8 estudos duplicados, resultando em 742 estudos selecionados para a próxima etapa. Na segunda etapa, realizou-se a leitura dos títulos, resumos e palavras-chave dos 742 estudos. Destes, 701 foram excluídos por não atenderem aos critérios de inclusão. Os 41 estudos resultantes foram movidos para a próxima fase, juntamente com 6 novos estudos encontrados durante a busca manual (que passaram pela análise de título, resumo e palavras-chave durante a busca). Na terceira etapa, realizou-se a leitura completa dos 47 estudos selecionados, aplicando todos os critérios definidos. Deste total, foram excluídos 11 estudos pelos critérios de inclusão e 16 pelos critérios de

⁴Disponível em <<https://parsif.al/>>.

exclusão. Ao final da triagem restaram 20 estudos. Finalmente, na quarta etapa, a técnica de *snowballing* foi aplicada aos 20 estudos selecionados, resultando na inclusão de outros 5 estudos para compor o conjunto final de 25 estudos primários deste mapeamento, que estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Lista de estudos primários analisados neste MSL.

ID	Nome do Jogo	Referência
E1	-	(SIKINIOTIS; KAPROS; KORDAKI, 2008)
E2	<i>Digi-Island</i>	(HARPER; MILLER; SHEN, 2011)
E3	<i>Binary Blaster</i>	(POLYCARPOU; KRAUSE; NORING, 2011)
E4	<i>Computino</i>	(FRANÇA; SILVA; AMARAL, 2013)
E5	-	(CHOI, 2015)
E6	<i>Digital Lockdown</i>	(MORSI; MULL, 2015)
E7	<i>Bool the Miner</i>	(AUFHEIMER et al., 2016)
E8	<i>Planet K</i>	(BUTLER-PURRY et al., 2016)
E9	<i>VerilogTown</i>	(JAMIESON et al., 2017)
E10	<i>BitHero</i>	(NETO; SILVA; SARINHO, 2018)
E11	<i>Liga ou Desliga?</i>	(FRANZOIA; JÚNIOR, 2019)
E12	<i>TrueBiters</i>	(TROYER et al., 2019)
E13	<i>DigiGame</i>	(KOTSIFAKOS et al., 2020)
E14	<i>LogiO</i>	(TORIO et al., 2020)
E15	<i>Logicae</i>	(LIMA; ABDALLA, 2021)
E16	<i>Binary Learning App</i>	(ONG; LEOW; TAN, 2021)
E17	<i>ZeroUm</i>	(SANTOS; NASCIMENTO; RIQUE, 2021)
E18	-	(DUTTA; MANTRI; SINGH, 2022)
E19	<i>Dive In!</i>	(LI; LI, 2022)
E20	-	(MOUMOUTZIS et al., 2021)
E21	<i>Plug'n Pass</i>	(ANDRADE; SARINHO, 2023)
E22	<i>Resgate Binário</i>	(HONDA; MACENA; MOURÃO, 2023)
E23	<i>Super Logic World 1</i>	(KOBESSI, 2023)
E24	<i>Logicalizando feat Flip & Flop</i>	(LIMA; JUNIOR; AYLON, 2023)
E25	<i>LogicHouse</i>	(AJAYI et al., 2024)

3.3 Resultados e discussões

Nesta seção são apresentadas as respostas às questões de pesquisa (Subseção 3.3.1) e as discussões sobre os resultados encontrados (Subseção 3.3.2).

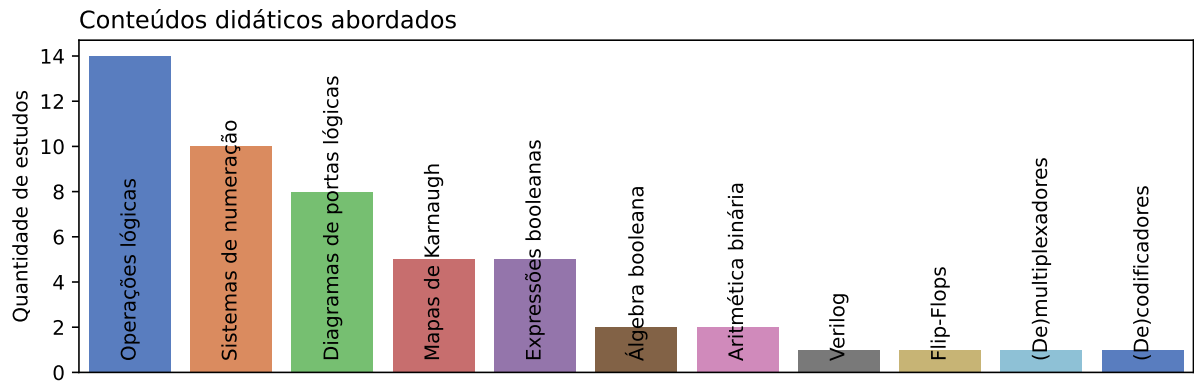


Figura 3.2: Quantidade de estudos por conteúdo didático identificados neste MSL.

Como mostra a Figura 3.3, a maioria dos JEDs abordam um ou dois conteúdos didáticos, com exceção dos JEDs dos estudos E6, E7, E8, E14, E18, E23 e E24, que abordaram 3 ou mais conteúdos. O JED do estudo E23 é o que aborda a maior variedade de temas, sendo 8 no total.

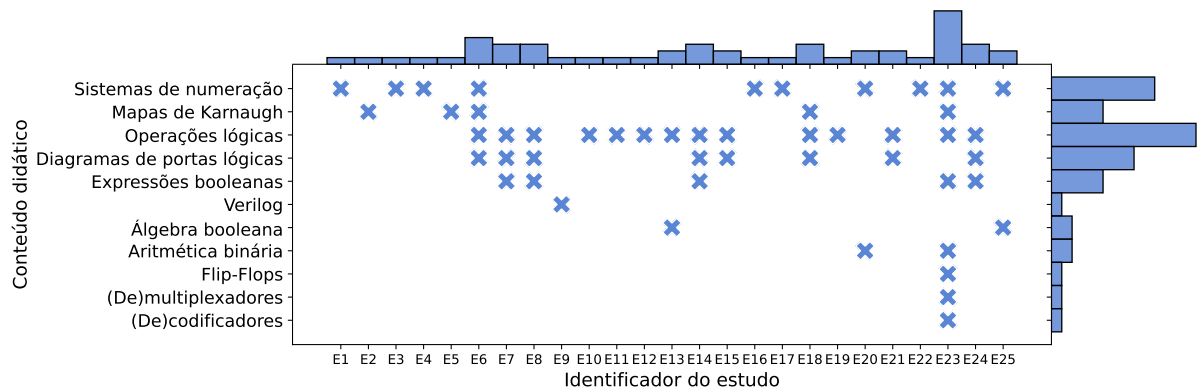


Figura 3.3: Conteúdos didáticos abordados por cada JEDs.

QP3: Quais são as características do público-alvo dos JEDs?

A Figura 3.4 mostra que o público-alvo dos JEDs é composto, em sua maioria (72%), por estudantes de ensino superior que estão cursando disciplinas de Circuitos Lógicos. Apenas 28% dos JEDs deste MSL (E1, E4, E5, E13, E17, E19, E20) foram desenvolvidos com foco em estudantes da educação básica, essencialmente do ensino médio. Outra característica relevante neste contexto é que 52% dos JEDs não demandam conhecimento prévio em Circuitos Lógicos por parte dos estudantes, enquanto 36% deles (E8–E11, E14, E16, E19, E20, E25) entendem que o conhecimento prévio é desejável e 12% deles (E3, E12, E13) entendem que o conhecimento prévio é obrigatório.

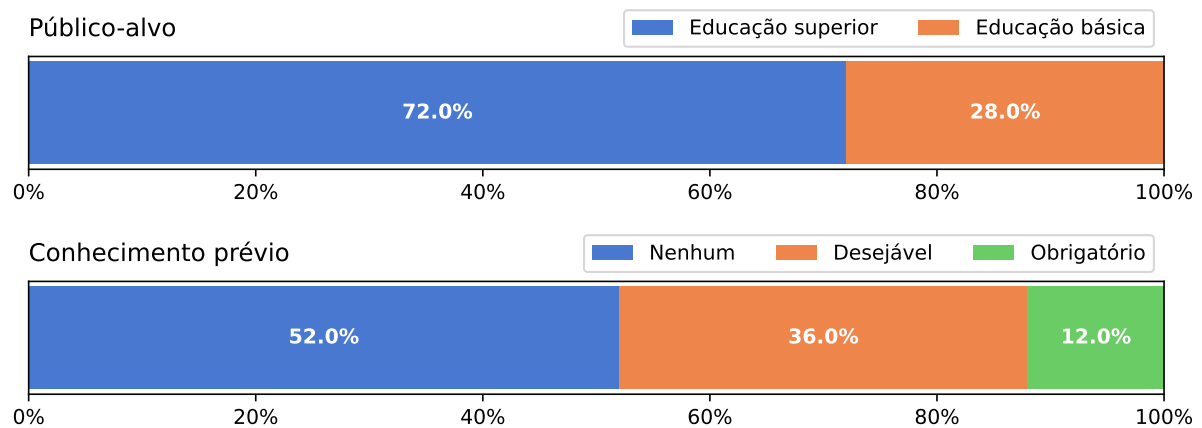


Figura 3.4: Características do público-alvo dos JEDs.

QP4: *Quais são os gêneros e os elementos de jogos utilizados nos JEDs?*

A Figura 3.5 mostra a relação de frequência entre gêneros e elementos de jogos. Os gêneros se referem à classificação de jogos com base em sua mecânica principal e jogabilidade, sendo aqui utilizada uma classificação descrita por (HEINTZ, 2016). Já os elementos de jogos se referem à experiência e à forma como o estudante interage com o jogo, aqui enumerados a partir de (TODA et al., 2019). Observa-se que o gênero quebra-cabeça (mini-jogos) é o mais empregado pelos JEDs, seguido de aventura e estratégia. Dentre os elementos de jogo, os mais utilizados são os níveis, as estatísticas e os pontos, respectivamente, promovendo um senso de progressão, o que ajuda a manter os jogadores engajados e motivados ao longo da experiência de aprendizado.

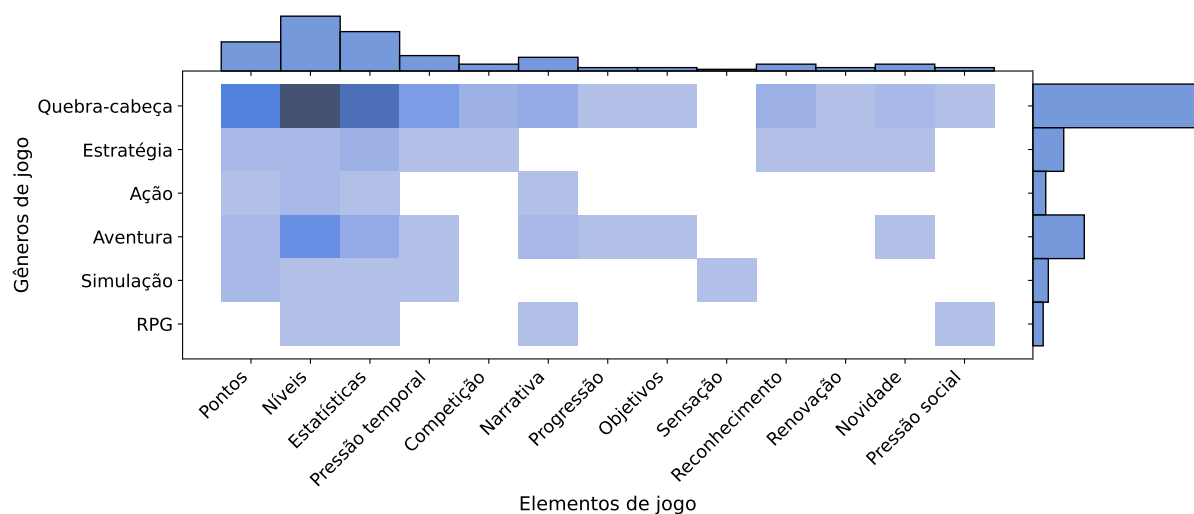


Figura 3.5: Relação de frequência entre gêneros e elementos de jogos nos JEDs.

QP5: *Quais são as tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos JEDs?*

Como mostra a Figura 3.6, diversas são as tecnologias utilizadas no desenvolvimento dos JEDs. A *engine Unity*⁶, utilizada por 8 estudos (E6, E7, E10–E12, E18, E22, E25), tem se destacado dentre as demais graças à sua interface amigável, vasta documentação, comunidade de usuários ativa e suporte multiplataforma. Observa-se também que 6 estudos (E1, E4, E16, E19–E21) não informam as tecnologias utilizadas no desenvolvimento de seus JEDs. Outra análise interessante de ser feita a partir da Figura 3.6 são as plataformas suportadas pelos JEDs. Uma parte significativa dos JEDs (E1–E3, E5–E9, E11, E19, E24) foram desenvolvidos como aplicações tradicionais para computadores pessoais (PCs). Na sequência estão as plataformas móveis (E12, E14–E16, E18, E22), as aplicações para a Web (E13, E17, E25) e as aplicações multiplataforma (E23). Alguns estudos (E4, E10, E20, E21) não especificam a plataforma suportada por seus JEDs.

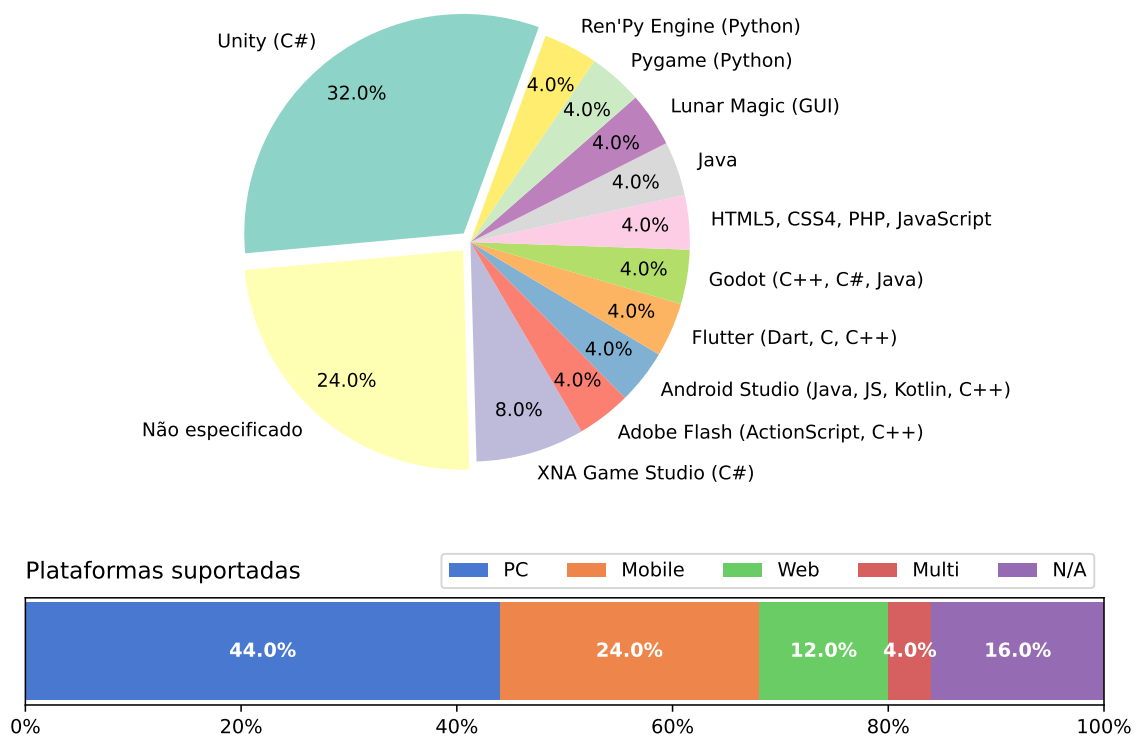


Figura 3.6: Tecnologias de desenvolvimento e plataformas suportadas pelos JEDs.

QP6: *Quais são as metodologias utilizadas nas avaliações dos JEDs?*

As avaliações foram classificadas em duas categorias: aquelas que abordam aspectos técnicos ou qualitativos dos JEDs e aquelas que abordam os impactos pedagógicos

⁶Disponível em <<https://unity.com/pt>>.

observados no ensino de Circuitos Lógicos com apoio dos JEDs. Dentre os 25 estudos, 40% (E3, E13, E14, E16, E18, E19, E21, E22, E24, E25) apresentaram avaliações técnicas ou qualitativas, enquanto 28% (E5, E7–E9, E12, E14, E19) apresentaram avaliações pedagógicas. Entretanto, é importante destacar que 40% dos estudos (E1, E2, E4, E6, E10, E11, E15, E17, E20, E23) não apresentaram avaliações. Também foi possível observar que os autores de alguns estudos (E1, E5, E12) publicaram extensões de seus trabalhos em que apresentam avaliações adicionais de seus JEDs (KORDAKI, 2010; CHOI, 2010; TROYER; LINDBERG; SAJJADI, 2019; SAJJADI; SAYED; TROYER, 2016).

As metodologias usadas nas avaliações dos JEDs são: *Game Experience Questionnaire* – GEQ (E12) (IJSSELSTEIJN et al., 2007); *Multiple Intelligence Questionnaire* – MIPQ (E12) (TIRRI; NOKELAINEN, 2011); *Instructional Materials Motivation Survey* – IMMS (E14); *Usefulness, Satisfaction, and Ease of Use* – USE (E14) (LUND, 2001); *System Usability Scale* – SUS (E18) (BROOKE, 1996); *Handheld Augmented Reality Usability Scale* – HARUS (E18) (SANTOS et al., 2014); *Emotional Self-Assessment Manikin* – emoti-SAM (E22) (HAYASHI et al., 2016); *Model for the Evaluation of Educational Games and Activities* – MEEGA+ (E22) (PETRI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2019); e Instrumento para Avaliação da Qualidade de Jogos Educacionais – IAQJEd (E24) (COUTINHO, 2017). Para realizar as avaliações, os autores utilizaram experimentos controlados (E5, E9, E12), aplicação de pré-testes e pós-testes (E5, E7, E8, E12), e aplicação de questionários após o contato dos estudantes com os JEDs (E3, E13, E14, E16, E18, E19, E21, E22, E24, E25). A escala Likert (LIKERT, 1932) é adotada como instrumento de medição em alguns estudos (E5, E13, E14, E18, E24).

QP7: *Quais são os impactos observados no ensino de Circuitos Lógicos com os JEDs?*

Considerando os sete estudos que apresentaram avaliação que abordam os impactos pedagógicos observados no ensino de Circuitos Lógicos com apoio de seus JEDs, quase a totalidade deles (E5, E7, E8, E9, E12, E14) descrevem resultados quantitativos que atestam a eficácia do jogo no processo de ensino. Especificamente em E12, os autores apresentam uma conclusão neutra, apontando que não houve diferença significativa na aprendizagem sobre o tema abordado no JED entre o grupo de controle e o grupo experimental. O estudo E19 é o único dentre aqueles com avaliação pedagógica que apresentou

resultados qualitativos, apenas indicando que os estudantes responderam corretamente às questões sobre Circuitos Lógicos apresentadas a eles após o período de testes com o jogo. Em relação aos demais estudos, tanto aqueles que apresentaram avaliações técnicas ou qualitativa dos JEDs, bem como aqueles que não realizaram avaliações, há percepções positivas dos autores em favor do uso dos JEDs. Algumas expressões são repetidas comumente, como: “aumenta o interesse dos estudantes”, “auxilia no aprendizado”, “produz uma experiência mais interativa e envolvente” e “aumenta o engajamento”.

QP8: *Os JEDs abordam questões voltadas para inclusão de minorias e acessibilidade?*

Ao analisar os 25 estudos, observou-se que nenhum deles aborda questões voltadas para a inclusão de grupos minoritários nem questões de acessibilidade nos JEDs.

QP9: *Os JEDs estão disponíveis para acesso público na Internet?*

Como mostra a Figura 3.7, apenas 16% dos JEDs (E12, E21, E24 e E25) estão disponíveis publicamente na Internet. Os 84% restantes não estão acessíveis.

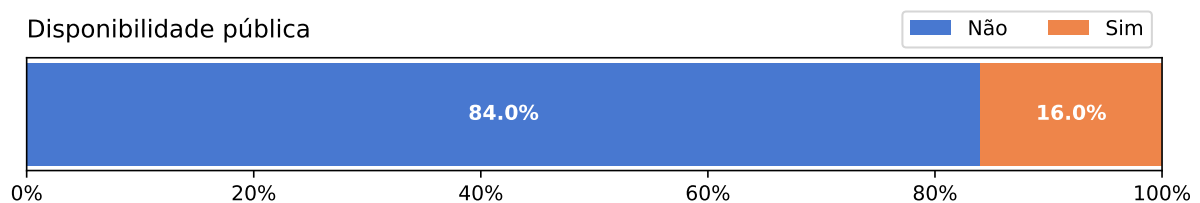


Figura 3.7: Disponibilidade pública dos JEDs.

3.3.2 Discussão sobre os resultados

Conforme ilustrado na Figura 3.8, percebe-se que 84% dos estudos deste MSL foram publicados a partir do ano de 2015, 32% estão escritos na língua portuguesa e 20% são oriundos da biblioteca digital SOL. Estes indicadores confirmam que JEDs para o ensino de Circuitos Lógicos é um tema atual e que desperta o interesse da comunidade científica no Brasil. Com relação aos conteúdos didáticos de Circuitos Lógicos abordados pelos JEDs, percebe-se uma concentração maior dos jogos nos temas iniciais. Com a exceção dos conteúdos de Verilog e *flip-flops* abordados respectivamente pelos estudos E9 e E23, os demais conteúdos são unicamente voltados para lógica combinacional, evidenciando a necessidade de maior atenção no projeto de JEDs para o ensino de circuitos sequenciais.

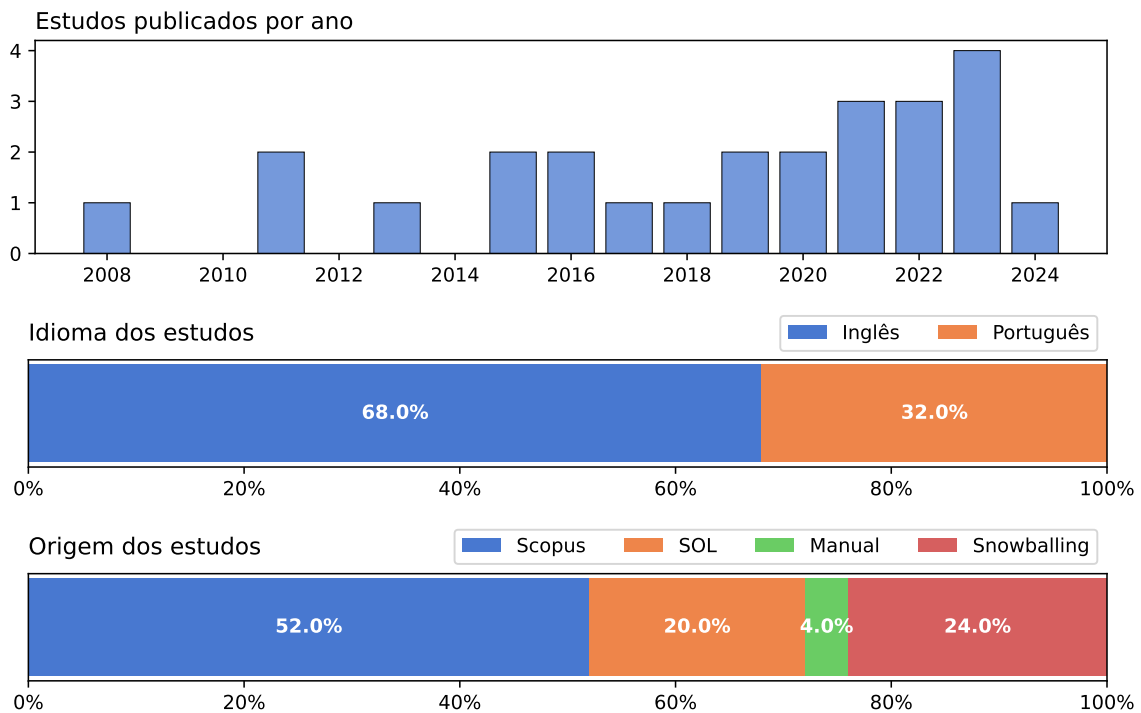


Figura 3.8: Características dos estudos que compõem este MSL.

Em relação ao público-alvo dos JEDs, este é majoritariamente composto por estudantes do ensino superior, refletindo que grande parte dos autores têm como motivação utilizar os JEDs como ferramenta de apoio em disciplinas de graduação. Entretanto, considerando a homologação da Computação como componente da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) (BRASIL, 2022), fica evidente a importância de um olhar mais cuidadoso para os estudantes da educação básica, especialmente em conteúdos que introduzem a compreensão da Computação, como sistemas de numeração, operações lógicas e diagramas de portas lógicas.

Quanto ao processo de avaliação, observa-se que uma boa parte dos estudos não avalia os seus JEDs. Entre os que realizam essa avaliação, há uma evidente ausência de padronização metodológica, com a aplicação de abordagens variadas. Essa falta de uniformidade dificulta a comparação dos resultados e a identificação de tendências ou boas práticas no uso de JEDs. Além disso, poucos jogos estão disponíveis *online*, restringindo o acesso e reduzindo as oportunidades de análises mais amplas. Disponibilizar esses jogos é essencial para viabilizar investigações mais abrangentes sobre sua eficácia na aprendizagem. Por fim, destaca-se que nenhum dos estudos aborda questões de inclusão e acessibilidade, apesar da importância desses aspectos no desenvolvimento de JEDs. Con-

siderar a diversidade do ambiente acadêmico, que inclui, por exemplo, estudantes com deficiência intelectual, motora ou visual, é indispensável para garantir uma experiência de aprendizagem equitativa e acessível para todos (BELARMINO et al., 2021).

3.4 Ameaças à validade

Durante este MSL foram feitos esforços para minimizar as ameaças que pudessem comprometer a validade do estudo, mesmo sem garantias de que estas ou outras tenham afetado os resultados (WOHLIN et al., 2012). Para reduzir a subjetividade, as etapas de seleção e extração de dados foram realizadas de forma independente por dois autores que já cursaram disciplinas de Circuitos Lógicos. As divergências foram resolvidas por consenso, com releitura dos estudos quando necessário. Todos os dados foram validados por um terceiro autor, com experiência docente no tema. Problemas na *string* de busca também podem ter levado à ausência de alguns estudos primários analisados. Para combater esta ameaça, a *string* foi testada e ajustada em várias etapas. Além disso, considerar apenas duas bibliotecas pode significar não indexar todo o conteúdo disponível. Para minimizar tal ameaça, foram utilizadas bases relevantes combinadas com o método *snowballing* para expandir a cobertura de busca e identificar estudos pertinentes (MOURÃO et al., 2020).

3.5 Considerações finais

Este capítulo apresentou um MSL sobre JEDs aplicados ao ensino de Circuitos Lógicos, refletindo o estado da arte nesse campo. Os resultados destacam o potencial dos JEDs para facilitar a aprendizagem, proporcionando um ambiente mais interativo e engajador, muito embora desafios importantes ainda persistam, como a limitação dos conteúdos abordados, a falta de acessibilidade e inclusão, e a ausência de avaliações metodologicamente padronizadas. Os benefícios e as limitações aqui identificadas balizaram a proposta do JED *Flip n' Flop*, que será apresentado no Capítulo 4.

4 O jogo *Flip n' Flop*

A concepção de um JED deve ser fundamentada na literatura especializada em jogos educacionais e aprendizagem ativa (BATTISTELLA; WANGENHEIM, 2016). A partir das conclusões obtidas no mapeamento sistemático da literatura apresentado anteriormente, este capítulo descreve a proposta do JED *Flip n' Flop* (Seção 4.1), os detalhes sobre a implementação de seu protótipo (Seção 4.2) e as considerações finais (Seção 4.3).

4.1 Proposta do jogo

Para projetar o *Flip n' Flop*, primeiramente foram definidos o público alvo e os objetivos pedagógicos (Subseção 4.1.1). A concepção do jogo é apresentada na sequência (Subseção 4.1.2), abordando a definição do gênero, a mecânica proposta e os elementos do jogo. Adicionalmente, são detalhados a configuração de fases (Subseção 4.1.3) e os mecanismos de *scaffolding* (Subseção 4.1.4).

4.1.1 Público alvo e objetivos pedagógicos

A identificação do público alvo e dos objetivos pedagógicos é essencial no projeto de JEDs eficazes, exigindo o alinhamento entre as mecânicas do jogo e os objetivos instrucionais almejados (MORENO-GER et al., 2008). A partir do MLS realizado, evidencia-se a escassez de jogos educacionais que abordem circuitos sequenciais, sendo que nenhum dos jogos encontrados contempla diagramas de tempo. Além disso, a experiência do autor como monitor da disciplina DCC122 – Circuitos Digitais, nos anos de 2023 e 2024, confirmou que os estudantes apresentam dificuldades nesses conteúdos.

No contexto deste trabalho, o **público-alvo** do jogo *Flip n' Flop* são estudantes de graduação em Computação, Engenharia e áreas afins, que já foram introduzidos aos conceitos de circuitos sequenciais, *flip-flops* e diagramas de tempo. Este JED tem como propósito servir como uma ferramenta de apoio, voltada ao exercício e à consolidação desses conceitos, permitindo que os estudantes pratiquem a interpretação e a construção

de diagramas de tempo envolvendo diferentes tipos de *flip-flops*.

O **objetivo pedagógico** do *Flip n' Flop* é proporcionar ao jogador a prática na construção de diagramas de tempo. Para isso, o jogo busca favorecer a compreensão da representação temporal no diagrama, a identificação dos sinais de entrada e de seus efeitos sobre a saída de diferentes tipos de *flip-flops*, considerando tanto sinais síncronos quanto assíncronos e seus respectivos instantes de atuação.

4.1.2 Concepção do jogo

A concepção de um JED compreende a escolha do gênero, das mecânicas e dos elementos de jogo, que juntos contribuem para a experiência do jogador e influenciam as interações e demandas cognitivas envolvidas (HEINTZ, 2016; MURTI; HASTJARJO; FERDIANA, 2019; SANTOS et al., 2018).

Gênero

Os gêneros de jogos correspondem a categorias utilizadas para classificar os jogos de acordo com suas mecânicas principais e características de jogabilidade. O *Flip n' Flop* é concebido como um jogo de plataforma 2D, que é normalmente classificado como um subgênero de ação (Wikipedia Contributors, 2025). Jogos de plataforma caracterizam-se por ter como objetivo principal mover o personagem ao longo do cenário, pulando entre plataformas, desviando de obstáculos e enfrentando inimigos, além de utilizar outras mecânicas de jogabilidade que exigem reações rápidas dos jogadores, característica comum em jogos de ação. Um dos exemplos mais populares do gênero de plataforma são os jogos da franquia *Mario*, ilustrado na Figura 4.1.

Em alguns jogos de plataforma, como é o caso da Figura 4.1, o cenário se estende predominantemente na direção horizontal, permitindo que o jogador avance lateralmente enquanto supera obstáculos, coleta itens e derrota inimigos. Esse tipo de progressão lembra a estrutura dos diagramas de tempo, nos quais a linha horizontal representa a variação temporal dos sinais lógicos. Como o objetivo pedagógico do JED *Flip n' Flop* é permitir que o jogador exercite o desenho das linhas que compõem um diagrama de tempo, a movimentação da personagem no sentido horizontal do cenário será associada



Figura 4.1: Imagem do jogo *Super Mario Bros.TM Wonder* (NINTENDO, 2023).

ao desenho dinâmico dessas linhas. Além disso, as linhas dos diagramas de tempo também apresentam variação vertical para indicar os níveis lógicos 0 e 1, o que pode ser associado à plataformas em diferentes alturas. Assim, a jogabilidade do *Flip n' Flop* incorpora de forma intrínseca o conteúdo pedagógico, uma vez que a movimentação da personagem corresponde diretamente à construção dos diagramas de tempo.

Mecânicas

No jogo proposto, o cenário de cada fase representa um diagrama de tempo. A Figura 4.2 ilustra o estado inicial de uma fase. Nesta tela, o jogador visualiza no alto o nome do *flip-flop* em questão e, logo abaixo, as linhas horizontais que representam os sinais de entradas (na figura, os sinais *J*, *K* e *CLK*) predefinidos para a fase. Diferentemente dos

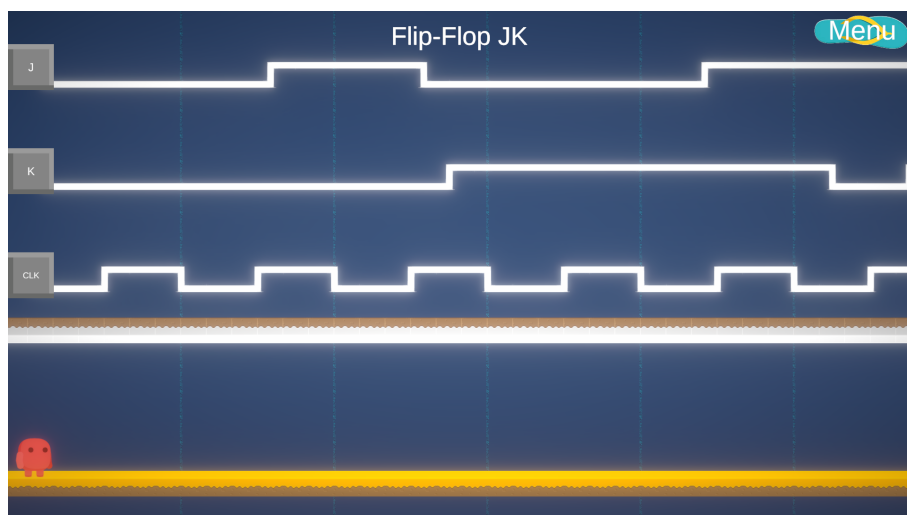


Figura 4.2: Estado inicial de uma fase no jogo *Flip n' Flop*.

sinais de entrada, a linha do sinal de saída (Q) não é exibida inicialmente, pois o objetivo é que o jogador a construa.

Abaixo dos sinais de entradas, o cenário dispõe de duas plataformas horizontais paralelas, posicionando a personagem entre elas. A mecânica central do jogo fundamenta-se na correlação entre a movimentação da personagem entre as plataformas e a construção da linha de saída Q do diagrama de tempo.

Para interagir com esse ambiente e desenhar a saída em função dos sinais de entradas apresentados, o jogador dispõe dos seguintes comandos básicos de movimentação:

- **Andar para a direita:** O deslocamento da personagem nesta direção representa o avanço do tempo no contexto do diagrama, desenhando gradualmente a linha da saída de acordo com o caminho percorrido pelo jogador.
- **Trocar de plataforma:** O jogador pode alternar entre caminhar sobre a plataforma inferior ou sob a superior. Estas plataformas representam, respectivamente, os valores lógicos 0 e 1 do sinal de saída em construção.
- **Andar para a esquerda:** O deslocamento da personagem nesta direção representa o retrocesso no tempo, permitindo que o jogador apague a linha de saída desenhada, podendo assim, corrigir eventuais erros no diagrama.

A Figura 4.3 ilustra o estado intermediário de uma fase no jogo, representando a construção gradual da linha de saída entre as plataformas, indicando o caminho percorrido

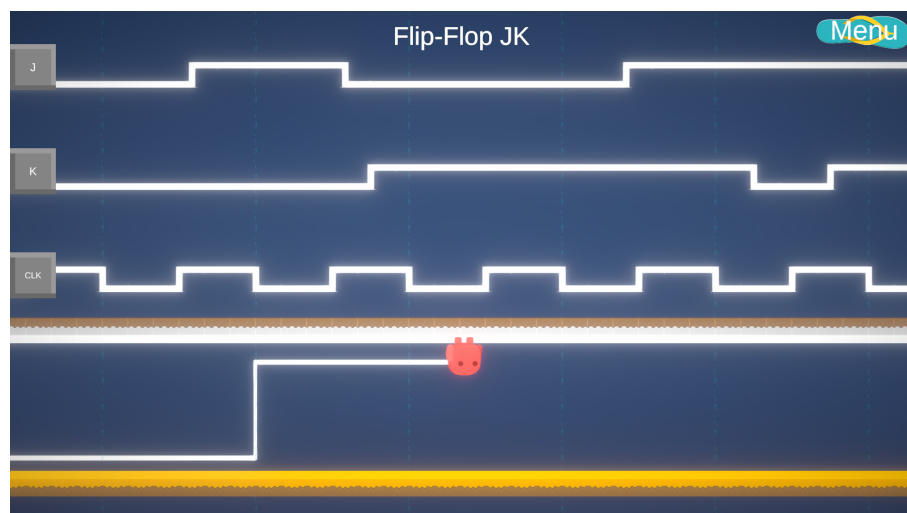


Figura 4.3: Estado intermediário de uma fase no jogo *Flip n' Flop*.

pelo jogador até o local atual. Na imagem, é possível ver a personagem caminhando sob a plataforma superior, o que representa a saída em valor lógico 1 naquele instante.

Sabendo que o comportamento esperado para o sinal de saída é determinístico, ao final da fase o jogador recebe um *feedback* visual de sua resposta: a linha traçada pelo jogador é colorida em verde nos trechos corretos e em vermelho naqueles em que há erros. Nesse momento o jogador pode navegar livremente com a câmera pelo cenário da fase, visualizando toda a extensão do diagrama. A Figura 4.4 ilustra o estado final de uma fase no jogo, com um aviso indicando a presença de erros no diagrama.

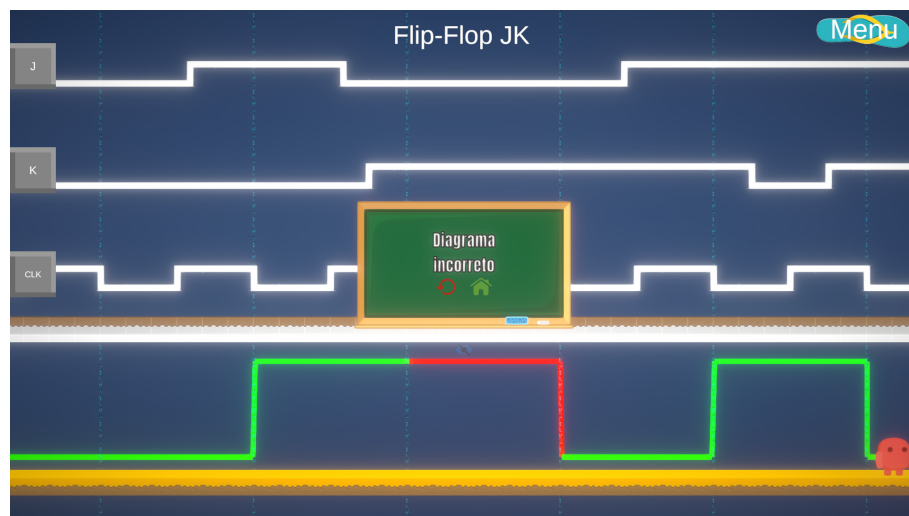


Figura 4.4: Estado final de uma fase no jogo *Flip n' Flop*.

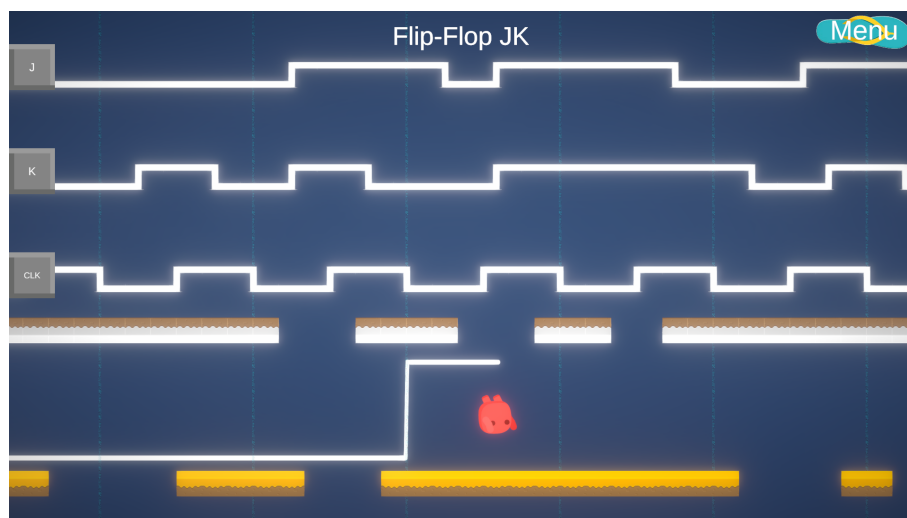
Os cenários podem incluir obstáculos, que contribuem diretamente para a diversão e engajamento do jogador. Esses obstáculos limitam a movimentação da personagem, forçando o jogador a seguir rotas predefinidas em alguns casos ou a tomar decisões sobre o caminho a seguir em outros.

Os obstáculos em jogos de plataformas podem ser diversos, mas inicialmente foram definidos apenas dois: buracos nas plataformas e pedras entre elas. Os buracos possuem posição fixa nas plataformas de cada fase. Já as pedras apresentam comportamentos variados, podendo ser fixas ou flutuantes, com movimentos na vertical ou na horizontal. Esses obstáculos impõem risco, resultando em penalidades ao jogador em caso de colisão nas pedras ou queda nos buracos.

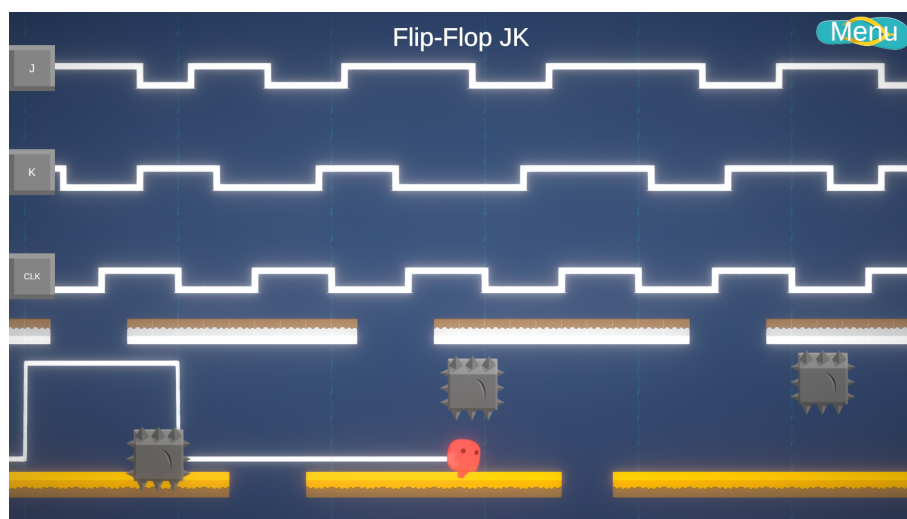
De forma complementar aos comandos básicos de movimentação, o jogo oferece comandos adicionais que podem ser usados para superar esses obstáculos:

- **Arrancar:** Permite ao jogador impulsionar rapidamente o movimento da personagem (*dash*), conferindo agilidade e facilitando a superação dos obstáculos.
- **Pular:** Permite ao jogador tirar temporariamente a personagem da plataforma para transpor os obstáculos presentes no caminho, sem alterar o nível lógico da linha sendo desenhada.

A Figura 4.5 ilustra os obstáculos em uma fase no jogo *Flip n' Flop*. A Figura 4.5a mostra a personagem pulando para não cair em um buraco na plataforma superior. Observe que a gravidade fica invertida quando a personagem caminha sob a plataforma superior. A Figura 4.5b mostra a personagem passando por baixo de uma pedra flutuante que se movimenta na vertical. Neste caso, o jogador está usando a arrancada para desviar



(a) Personagem pulando um buraco.



(b) Personagem desviando de uma pedra.

Figura 4.5: Obstáculos em uma fase no jogo *Flip n' Flop*.

rapidamente da pedra e não ser esmagado.

Além de contribuírem para a diversão e engajamento, os obstáculos assumem um papel pedagógico estratégico: nas fases iniciais, podem bloquear caminhos errados para guiar o aprendizado; já nas fases avançadas, podem exigir do jogador agilidade e reflexo na escolha do trajeto correto, exercitando a construção adequada do diagrama de tempo com base no conhecimento adquirido.

Elementos

Os elementos de jogos correspondem aos componentes que estruturam a experiência lúdica, definindo as formas de interação entre jogadores e o jogo. O *Flip n' Flop* foi estruturado sobre os seguintes elementos da taxonomia proposta por (TODA et al., 2019):

- **Níveis:** O jogo é estruturado em fases que guiam o aprendizado gradual dos diferentes tipos de *flip-flops*. À medida que o jogador avança, os desafios se intensificam não apenas pela exigência de maior agilidade e tomada de decisão, mas também pela introdução de sinais de entrada progressivamente mais complexos, incluindo novas operações e a presença de sinais assíncronos que exigem a articulação simultânea dos conceitos pedagógicos.
- **Novidade:** À medida que o jogador avança pelos níveis do jogo, novos elementos são gradualmente introduzidos, como diferentes tipos de obstáculos e novos tipos de *flip-flops*, ampliando a complexidade dos desafios e contribuindo para a manutenção do engajamento.
- **Reconhecimento:** Este elemento abrange todo tipo de *feedback* destinado a enaltecer ações específicas do jogador, como a conquista de medalhas ou troféus. No *Flip n' Flop*, o reconhecimento manifesta-se por meio de pontuação e mensagens de validação visual exibidas após a construção correta do diagrama, atuando como um reforço positivo para validar o êxito do jogador e aumentar seu engajamento.
- **Pontuação:** Ao finalizar cada fase, é atribuída uma pontuação ao jogador, calculada com base nos acertos e erros cometidos no diagrama, na utilização de dicas

(que serão detalhadas na Subseção 4.1.4) e no tempo empregado para a conclusão. Esse elemento permite a classificação dos estudantes segundo seu desempenho, exercitando indiretamente o aspecto competitivo do jogo.

- **Renovação:** Esse elemento está associado à possibilidade de refazer ações e aprender com os próprios erros. No *Flip n' Flop*, o jogador pode corrigir traçados incorretos ao retroceder no cenário, além de dispor de uma quantidade limitada de vidas, que podem ser perdidas antes que seja necessário reiniciar a fase.
- **Pressão temporal:** A presença de um cronômetro na interface impõe um senso de urgência ao jogador para a conclusão da fase. Como o tempo empregado influencia no cálculo da pontuação, esse mecanismo estimula a agilidade e a eficiência na resolução dos desafios.

4.1.3 Configuração de fases

No *Flip n' Flop*, a criação e a configuração de fases seguem uma abordagem orientada a dados, na qual o comportamento do sistema é definido por informações externas de configuração, e não por alterações diretas no código-fonte. Especificamente, cada fase é definida por completo em um arquivo no formato *JavaScript Object Notation* (JSON). A partir deste arquivo, o jogo interpreta as entradas em tempo de execução, constrói a fase correspondente e avalia a resposta produzida pelo jogador. Assim, criar ou modificar fases envolve ajustar esses dados, sem a necessidade de reprogramar o jogo.

O Figura 4.6 apresenta o conteúdo completo do arquivo JSON de configuração de uma fase do jogo. A estrutura do arquivo contempla, de forma simplificada, apenas os dados essenciais para a renderização do cenário e a simulação do circuito. Os atributos `levelName`, `levelDescription` e `levelIndex` são responsáveis, respectivamente, pela identificação, descrição e ordenação das fases no jogo. O atributo `clockCycles` define o tamanho da fase em termos da quantidade de ciclos de *clock* no diagrama, enquanto o atributo `clockActiveEdge` especifica a transição ativa do sinal de *clock*.

O cenário de cada fase é representado como uma grade, na qual cada ciclo de *clock* é subdividido em seis células (*tiles*). As plataformas sobre as quais a personagem

```

{
  "levelName": "nome da fase",
  "levelDescription": "descricao da fase",
  "levelIndex": 1,
  "clockCicles": 6,
  "clockActiveEdge": "falling",
  "ffType": "JK",
  "jSignal": "000000 000000 011111 100111 111100 000111",
  "kSignal": "000000 011100 011100 000111 111111 100011",
  "ceiling": "111111 111111 111111 111111 100011 111111",
  "floor": "111111 111111 110001 111111 111111 111111",
  "obstacles": [
    {
      "type": "stone",
      "startX": 9,
      "startY": 1,
      "speed": 0,
      "distanceX": 0,
      "distanceY": 0,
      "startCorner": "bottom-left",
      "direction": "clockwise"
    }
  ]
}

```

Figura 4.6: Arquivo JSON de configuração de uma fase do jogo *Flip n' Flop*.

pode caminhar são definidas pelos atributos `floor` e `ceiling`, cujas sequências de 1 e 0 indicam, respectivamente, células com terreno sólido ou com buracos. Já o atributo `obstacles` lista os demais obstáculos da fase, cujos atributos internos variam de acordo com o tipo do objeto (definido por `type`). No caso das pedras, esses atributos incluem o posicionamento inicial (células `startX` e `startY`) e os parâmetros de movimentação (`speed`, `distanceX`, `distanceY`, `starterCorner` e `direction`).

O atributo `ffType` identifica o tipo de *flip-flop* utilizado na fase. Os demais atributos que descrevem os sinais de entrada variam de acordo com o tipo do *flip-flop*. Neste exemplo, os atributos `jSignal` e `kSignal` representam, respectivamente, os níveis lógicos 0 ou 1 dos sinais de entrada *J* e *K* em cada célula do cenário. Adicionalmente, mas não

incluídos neste exemplo, podem estar presentes os atributos `presetSignal`, `clearSignal` e `asyncActive`, usados para configurar os sinais de entrada assíncronos. A Figura 4.7 ilustra o cenário renderizado a partir do JSON de configuração exemplificado.

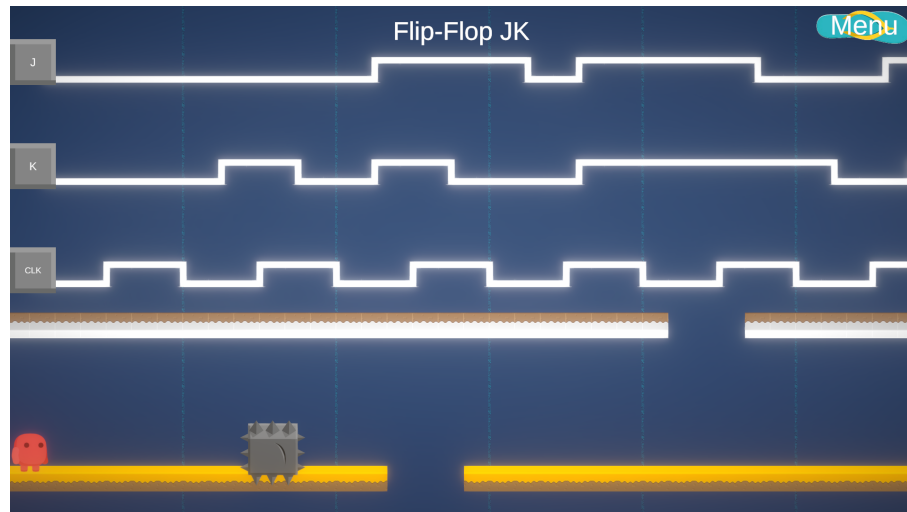


Figura 4.7: Cenário renderizado a partir do arquivo JSON de configuração.

O *Flip n' Flop* disponibiliza um conjunto inicial de fases previamente definidas, concebidas segundo uma proposta de progressão gradual de dificuldade. Além desse conjunto inicial, o professor pode criar e configurar fases adicionais, desde que respeitada a notação estabelecida para os arquivos JSON. Essa possibilidade de personalização também pode ser explorada como uma atividade educacional complementar, permitindo que os próprios estudantes exercitem os conceitos aprendidos por meio da criação ou modificação de fases, reforçando a compreensão do comportamento temporal dos circuitos.

4.1.4 *Scaffolding*

Em jogos educacionais, *scaffolding* refere-se ao conjunto de apoios pedagógicos temporários oferecidos ao jogador para facilitar a aprendizagem e a progressão no jogo. Esses apoios podem incluir dicas, *feedbacks*, tutoriais, exemplos ou redução inicial da complexidade das tarefas (CEZAR; SANTOS; PRATES, 2006; OREN; PEDERSEN; BUTLER-PURRY, 2021). A característica central do *scaffolding* é que esse suporte é gradualmente retirado à medida que o jogador demonstra maior domínio dos conceitos ou habilidades, promovendo autonomia e aprendizagem efetiva.

No contexto do *Flip n' Flop*, o *scaffolding* materializa-se em mecanismos de dicas

e orientações visuais. Entre esses mecanismos, destacam-se linhas verticais pontilhadas sincronizadas com a transição ativa do *clock* (ilustrado na Figura 4.8) e com eventuais sinais assíncronos. Esse recurso funciona como uma referência visual que auxilia o estudante a identificar com precisão os instantes em que os sinais de entrada devem ser analisados, resultando em eventual mudança no sinal de saída. Adicionalmente, o jogo possibilita que o estudante solicite, de forma pontual, a indicação explícita da operação lógica associada a cada uma dessas linhas verticais, a partir da análise das entradas naquele instante, funcionando como um suporte cognitivo complementar para a validação de seu raciocínio lógico.

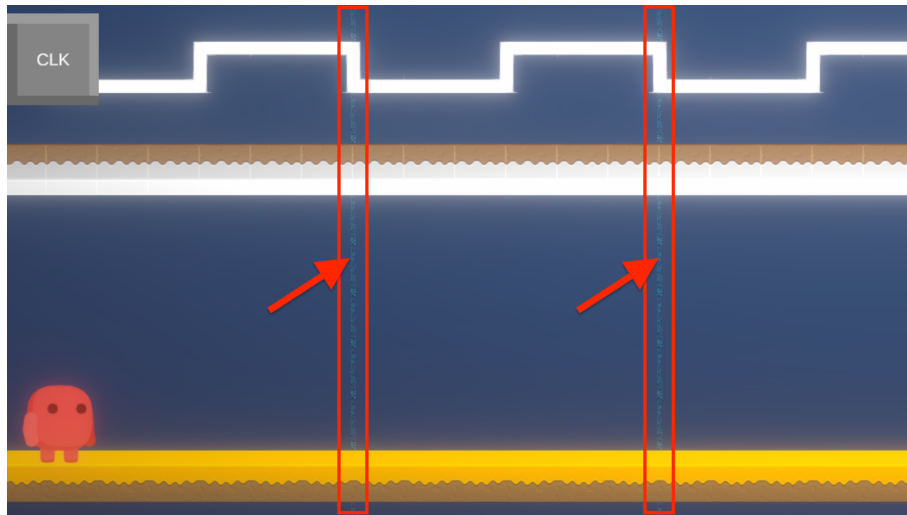


Figura 4.8: Implementação de um mecanismo de *scaffolding* no jogo *Flip n' Flop*.

Como mecanismo adicional de reforço pedagógico, o *Flip n' Flop* apresenta ainda uma funcionalidade opcional de *feedback* em tempo real. Diferente da validação estática exibida apenas ao final da fase (ilustrado na Figura 4.4), este mecanismo em tempo real permite que a linha traçada pelo jogador seja colorida à medida em que a personagem se move, possibilitando a identificação e correção imediata de equívocos.

Os mecanismos de *scaffolding* no *Flip n' Flop* podem ser ativados ou desativados, permitindo ao jogador ajustar o nível de desafio. A utilização desses mecanismos influencia diretamente a pontuação obtida ao final da fase, de modo que maior autonomia implica maior recompensa.

4.2 Implementação do protótipo

Esta seção descreve a implementação técnica do protótipo do JED *Flip n' Flop*, detalhando como a proposta conceitual foi materializada em *software*. Inicialmente, são elencadas as tecnologias e ferramentas adotadas no desenvolvimento (Subseção 4.2.1), seguidas de uma descrição sobre as cenas e os objetos que compõem a arquitetura do jogo e estruturam sua lógica de funcionamento (Subseção 4.2.2). Por fim, as funcionalidades e as limitações presentes no protótipo utilizado na avaliação preliminar são apresentadas (Subseção 4.2.3).

4.2.1 Tecnologias e ferramentas

Não existe uma ferramenta de desenvolvimento de jogos que seja a mais adequada para todos os contextos, uma vez que cada uma apresenta vantagens e limitações específicas. Assim, sua escolha deve considerar fatores como o conhecimento e as habilidades do desenvolvedor, os requisitos de desempenho do jogo, bem como os recursos e o tempo disponíveis (SHARIF; AMEEN, 2021).

Para a prototipagem do JED *Flip n' Flop*, a ferramenta escolhida foi a *Unity*. Essa *engine* é amplamente adotada tanto no mercado quanto em trabalhos acadêmicos (DÔNDICI et al., 2025; GENESIO et al., 2024), oferecendo vasta documentação técnica, ampla disponibilidade de *plugins* e suporte a múltiplas plataformas (*desktop*, Web e móvel). Além disso, sua linguagem de programação (C#) e interface visual proporcionam um equilíbrio entre acessibilidade e robustez, tornando-a adequada tanto para a prototipagem rápida quanto para a construção de um produto final. A familiaridade prévia da equipe de desenvolvimento com a *Unity* também foi um fator decisivo, contribuindo para reduzir a curva de aprendizagem e otimizar o tempo dedicado à implementação.

O desenvolvimento do jogo está sendo realizado com o auxílio do editor de código *Visual Studio Code*, que oferece recursos adequados para a programação em C# e integração com ferramentas de versionamento. Como apoio ao processo de implementação, a equipe tem utilizado o *GitHub Copilot* como ferramenta auxiliar, principalmente para agilizar tarefas repetitivas, sempre sob supervisão e validação dos desenvolvedores.

Para o controle de versão do código-fonte, adotou-se o sistema *Git*, sendo o projeto

hospedado publicamente na plataforma *GitHub*⁷. O jogo *Flip n' Flop* é disponibilizado como *software livre*, sob a licença *GNU General Public License versão 3 (GPLv3)*, a qual garante aos usuários a liberdade de utilizar, estudar, modificar e redistribuir o software, desde que mantidas as mesmas condições de licenciamento.

Como plataforma, o jogo está sendo desenvolvido prioritariamente para a Web, sendo o serviço *Unity Play* utilizado para a hospedagem e disponibilização das versões do protótipo. A adoção de uma abordagem baseada na Web facilita o acesso ao jogo, uma vez que dispensa a instalação de software adicional, permitindo que os estudantes utilizem o protótipo diretamente em um navegador. Essa característica é particularmente vantajosa em contextos educacionais, pois reduz barreiras técnicas, simplifica a aplicação em sala de aula e favorece a adoção do jogo em diferentes ambientes computacionais.

4.2.2 Cenas e objetos do jogo

A *Unity* adota uma arquitetura que incentiva a modularização do código. Nesse modelo, as responsabilidades são distribuídas em pequenos blocos que se anexam aos objetos da cena e podem ser combinados conforme necessário. Essa abordagem facilita o isolamento e a reutilização de funcionalidades, o ajuste de comportamentos sem impacto no restante do sistema e a organização clara de dados e configurações — resultando em um projeto mais robusto e mais simples de evoluir ao longo do desenvolvimento (BARON, 2021).

No *Flip n' Flop*, essa abordagem se materializa na organização do jogo em duas cenas distintas: uma dedicada ao *menu principal* e outra correspondente à *cena do jogo*. A primeira cena concentra os elementos de navegação e interface, englobando o menu principal e seus desdobramentos, como a seleção de fases, as opções de configuração e os créditos aos desenvolvedores. A segunda cena é responsável pela execução do jogo propriamente dito, sendo inicialmente vazia e dinamicamente preenchida a partir dos arquivos de configuração de cada fase, com base nos quais são construídos os cenários que caracterizam os diagramas de tempo.

A cena do jogo concentra a maior parte do esforço de desenvolvimento, em função de sua complexidade. Ela é composta por diferentes objetos e componentes, cada um

⁷Disponível em <<https://github.com/Fredericodgv/FlipNflop>>.

com responsabilidades bem definidas, refletindo a adoção de uma arquitetura modular. O principal objeto da cena é o *jogador*, que agrega múltiplos componentes responsáveis por aspectos específicos de seu comportamento, incluindo renderização e animação, física, detecção de colisões e lógica de movimentação. Além disso, o jogador incorpora um componente de renderização dedicado à linha correspondente ao sinal de saída, que é desenhada de acordo com seu deslocamento pelas plataformas do cenário.

Outros objetos presentes na cena do jogo atuam como receptores dos dados carregados a partir dos arquivos JSON de configuração, como a grade onde será construído o cenário e os contêineres encarregados da instanciação dos obstáculos. Em conjunto, esses elementos viabilizam a criação dinâmica das fases a partir de uma estrutura de dados única e parametrizável.

Por fim, a cena do jogo inclui também um conjunto de objetos gerenciadores responsáveis por funcionalidades globais. Destacam-se o *gerenciador de fases*, incumbido de interpretar os arquivos JSON e construir dinamicamente o cenário; o *gerenciador de scaffolding*, responsável pelo controle dos mecanismos de suporte pedagógico oferecidos ao jogador; e o *gerenciador de validação*, encarregado de verificar a corretude do diagrama temporal construído pelo jogador. Essa separação contribui para a clareza da arquitetura e evita o acoplamento excessivo entre mecânicas distintas.

4.2.3 Protótipo para avaliação

O protótipo do *Flip n' Flop* desenvolvido para a avaliação descrita no Capítulo 5 encontra-se disponível para acesso na plataforma Web *Unity Play*⁸. Apesar deste protótipo possuir uma identidade áudio-visual simplista e apresentar algumas limitações, ele implementa todas as funcionalidades essenciais em um conjunto de seis fases para viabilizar os primeiros testes de uso e de aprendizagem.

Áudio-visual

Os elementos gráficos utilizadas no protótipo do *Flip n' Flop* foram obtidas do pacote *Free Platform Game Assets*, disponibilizado gratuitamente na *Unity Asset Store*. Essa

⁸Disponível em <<https://play.unity.com/games/ea66f98b-8988-4dc8-82f8-335b8011666f/flipnflop>>

coleção reúne um conjunto abrangente de recursos gráficos em estilo *pixel art*, incluindo personagens com animações básicas, elementos de cenário, obstáculos, itens interativos e componentes de interface gráfica, permitindo a construção de jogos de plataforma 2D de forma visualmente consistente. Na versão atual do protótipo, entretanto, os cenários apresentam uma composição visual simplificada, com uso de fundo de cor única e elementos gráficos básicos, uma vez que o foco esteve na validação das mecânicas de jogo e dos aspectos pedagógicos. Para versões futuras, está prevista a substituição desses recursos por uma identidade visual autoral, desenvolvida especificamente para o jogo.

No protótipo atual, não há efeitos sonoros. As músicas de fundo que compõem a trilha sonora totalizam, neste momento, duas composições: uma destinada à cena do menu principal e outra à cena do jogo. A música associada à cena do jogo segue uma temática inspirada no *rock n' roll*, estabelecendo uma relação conceitual com o próprio nome do jogo e contribuindo para a identidade sonora da experiência. Outras composições estão sendo desenvolvidas especialmente para o jogo por colaboradores externos a este trabalho.

Funcionalidades

No protótipo atual, os sistemas de movimentação e física da personagem encontram-se plenamente funcionais, permitindo a exploração fluida e a interação consistente com o cenário do jogo, incluindo plataformas e obstáculos. A interação do jogador ocorre por meio do teclado, responsável por acionar os diferentes comandos de movimentação da personagem. A Tabela 4.1 apresenta o mapeamento das teclas associadas às ações disponíveis. Caso a personagem caia em um buraco da plataforma ou colida com uma pedra, o jogo exibe uma mensagem informativa e possibilita o reinício da fase.

Tabela 4.1: Mapeamento de teclas no protótipo do jogo *Flip n' Flop*.

Ação	Tecla(s)
Andar para a esquerda	<i>A</i> ou ←
Andar para a direita	<i>D</i> ou →
Trocar de plataforma	<i>W</i> ou ↑ / <i>S</i> ou ↓
Pular	Barra de espaço
Arrancar (<i>dash</i>)	<i>Shift</i>

A construção do diagrama de tempo a partir da movimentação da personagem constitui o principal mecanismo pedagógico do *Flip n' Flop* e encontra-se plenamente funcional no protótipo atual. O mecanismo de correção dos diagramas também está implementado, gerando o *feedback* ao final de cada fase através da linha colorida com base em acertos e erros e da exibição de uma mensagem de reconhecimento no centro da tela. Além disso, após a conclusão da fase, o protótipo permite que o jogador navegue livremente com a câmera por toda a extensão do cenário. Quanto aos mecanismos de *scaffolding*, as linhas verticais ilustradas na Figura 4.8 estão implementadas tanto para as operações síncronas como assíncronas.

A configuração de fases a partir de arquivos JSON, conforme apresentado na Subseção 4.1.3, também está funcional. No que se refere aos tipos de *flip-flop* disponíveis, o protótipo atual suporta os modelos *S-R* e *J-K*. Em ambos os casos, tanto as operações síncronas quanto as assíncronas estão implementadas.

Por fim, o protótipo inclui uma interface de navegação no menu principal, composta por um botão *jogar*, que direciona o usuário para a tela de seleção de fases, e um botão *sobre*, no qual são apresentados os créditos da equipe de desenvolvimento. Na tela de seleção de fases, são exibidos seis botões, correspondentes às fases disponíveis no protótipo, atualmente identificadas apenas por numeração sequencial.

Fases

O protótipo está estruturado em seis fases, que apresentam uma progressão de dificuldade alinhada ao elemento de jogo denominado *nível*. Todas as fases foram construídas com *flip-flops J-K* disparados na transição negativa do sinal de *clock*, explorando apenas as operações síncronas *set*, *reset*, *comuta* e *mantém*. As fases são descritas a seguir:

- **Fase 1:** Destina-se à familiarização do jogador com os comandos básicos de movimentação da personagem, como deslocamento lateral, e com o comando de troca de plataforma, utilizado para executar operações síncronas do *flip-flop*. Trata-se de uma fase curta, sem a presença de obstáculos. A Figura 4.4 apresenta essa fase já concluída por um jogador.
- **Fase 2:** Introduz buracos nas plataformas inferiores e superiores, exigindo o uso

do comando de *pulo* para concluir a fase com sucesso. Alguns desses buracos são estrategicamente posicionados para impedir a execução de operações síncronas incorretas, reforçando o conteúdo pedagógico.

- **Fase 3:** Além dos buracos nas plataformas, esta fase introduz as primeiras pedras como obstáculos estáticos, demandando maior atenção do jogador para evitar colisões que resultam no reinício da fase. Ao final, a combinação de buracos e uma pedra flutuante obriga o uso do comando de *arrancada* (*dash*).
- **Fase 4:** Nesta fase, algumas pedras passam a se movimentar verticalmente, aumentando o nível de desafio do ponto de vista da mecânica do jogo e exigindo maior precisão e agilidade nas ações do jogador.
- **Fase 5:** Esta fase amplia a complexidade ao incorporar pedras com movimento horizontal, além das de movimento vertical introduzidas anteriormente. Os obstáculos apresentam movimento em uma única direção, e a maior extensão do percurso torna a fase mais longa e exigente.
- **Fase 6:** Por fim, os obstáculos passam a combinar movimentos verticais e horizontais, incluindo pedras que se deslocam em ambas as direções. Trata-se da fase mais extensa do protótipo, com muitos buracos nas plataformas, exigindo elevado nível de coordenação e domínio das mecânicas apresentadas ao longo do jogo.

De forma geral, as fases do protótipo foram concebidas para introduzir gradualmente novos desafios de jogabilidade, acompanhando o aumento progressivo da complexidade das ações exigidas do jogador. A escolha de um único *flip-flop*, bem como a definição de apenas seis fases, está diretamente relacionada ao contexto de avaliação do jogo, uma vez que o tempo máximo disponível para a atividade não poderia ultrapassar uma hora. Nesse cenário, optou-se pelo uso exclusivo do *flip-flop J-K*, por se tratar do dispositivo que contempla o maior conjunto de operações lógicas. A ausência de sinais assíncronos, por sua vez, decorre do fato de que os estudantes da turma avaliada ainda não haviam tido contato com esse conteúdo na data prevista para a aplicação da atividade.

Limitações

Apesar de plenamente funcional para fins de avaliação preliminar, o protótipo do *Flip n' Flop* apresenta algumas limitações em relação à proposta completa do jogo. Do ponto de vista das mecânicas, a versão atual depende exclusivamente do uso de teclado para a interação do jogador, não oferecendo ainda compatibilidade com dispositivos baseados apenas em entrada por toque, como *smartphones* e *tablets*. O suporte a controles do tipo *gamepad* encontra-se parcialmente implementado, permitindo a jogabilidade, mas não a navegação pela interface. Além disso, a progressão entre fases não ocorre de forma automática, sendo necessária a seleção manual de cada fase no menu.

Quanto aos elementos de jogo, alguns componentes da proposta ainda não foram implementados no protótipo avaliado. Em particular, não há qualquer implementação dos elementos de *pontuação* e de *pressão temporal*. Como consequência direta, o elemento de *reconhecimento* encontra-se implementado apenas de forma parcial, limitado a mensagens visuais exibidas ao final das fases, sem integração com métricas de desempenho ou recompensas baseadas em pontuação. O elemento de *renovação* é explorado parcialmente pela possibilidade de o jogador retroceder no cenário e corrigir trechos do diagrama, entretanto o sistema de vidas associado a colisões com obstáculos ainda não foi implementado.

Em relação à configuração de fases, embora o jogo adote uma abordagem orientada a dados, não há, até o momento, uma interface destinada ao usuário final para o envio de novas fases. Além disso, o protótipo avaliado contempla apenas fases com *flip-flops J-K*, muito embora o *flip-flop S-R* já esteja implementado no sistema. Os *flip-flops D* e *T* ainda não são suportados.

Por fim, no que diz respeito aos mecanismos de *scaffolding*, a versão atual do protótipo implementa apenas parte das funcionalidades previstas. As linhas verticais que indicam os instantes de avaliação do *clock* estão disponíveis, porém não podem ser desativadas pelo jogador. Além disso, outros mecanismos projetados, como a indicação explícita da operação lógica associada a cada instante e o *feedback* em tempo real da linha do diagrama durante sua construção, ainda não foram implementados. Essas limitações refletem o caráter preliminar do protótipo e apontam direções claras para a continuidade do desenvolvimento em trabalhos futuros.

4.3 Considerações finais

Este capítulo apresentou a proposta e a implementação do *Flip n' Flop*. Este JED busca oferecer uma abordagem interativa para a prática dos conteúdos trabalhados em sala de aula, tornando o processo de aprendizagem mais atrativo e acessível. O *design* do jogo integra de forma intencional elementos pedagógicos e desafios lúdicos, utilizando a diversão como meio para promover engajamento, motivação e a consolidação dos conceitos abordados. A integração intrínseca entre conteúdo e mecânica faz do *Flip n' Flop* um ambiente central de ensino-aprendizagem, uma vez que a progressão no jogo exige a aplicação direta dos conceitos de diagrama de tempo em Circuitos Lógicos. Sob a perspectiva pedagógica, o jogo alinha-se a uma abordagem construtivista, na qual a aprendizagem emerge da interação do jogador com os desafios, regras e sistemas que compõem a experiência lúdica. A partir do protótipo funcional descrito neste capítulo, o Capítulo 5 apresentará os detalhes de sua avaliação preliminar.

5 Avaliação preliminar

Este capítulo relata a avaliação preliminar do jogo *Flip n' Flop*, conduzida com estudantes da disciplina DCC122 – Circuitos Digitais, com o objetivo de investigar aspectos de usabilidade, experiência do jogador e aprendizagem percebida. O estudo busca fornecer indícios iniciais sobre o potencial pedagógico da ferramenta e está organizado nas seguintes seções: o planejamento (Seção 5.1), a execução (Seção 5.2), a análise dos resultados (Seção 5.3) e as discussões (Seção 5.4) decorrentes da avaliação. Por fim, são apresentadas as considerações finais (Seção 5.5).

5.1 Planejamento

Para avaliar o protótipo ainda em desenvolvimento, adotou-se o modelo *MEEGA+* (PETRI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2019), visto que este instrumento está pronto para aplicação, conferindo agilidade e rigor ao processo de análise por parte de desenvolvedores e pesquisadores. Trata-se de um método sistemático e confiável, que examina a qualidade de jogos educacionais com base em dois pilares: a experiência do jogador e a usabilidade.

O questionário inicia-se com perguntas demográficas, seguidas por 35 itens pré-definidos, aos quais podem ser adicionados novos itens no contexto do jogo sob avaliação. As respostas a estes itens utilizam uma escala *Likert* de cinco pontos, variando de “discordo fortemente” a “concordo fortemente”. Por fim, o instrumento apresenta três questões abertas, solicitando aos participantes que indiquem os aspectos positivos, sugestões de melhoria e comentários adicionais.

De acordo com o instrumento *MEEGA+*, itens relacionados aos objetivos de aprendizagem do jogo podem ser incluídos no questionário, na dimensão de aprendizagem percebida. No caso da avaliação do *Flip n' Flop*, dois novos itens foram incluídos:

- 36.** O jogo contribuiu para compreender sobre o funcionamento dos flip-flops;
- 37.** O jogo contribuiu para compreender sobre a construção de diagramas de tempo.

A versão digital do questionário de avaliação foi criada usando o Google Forms⁹, sem solicitação obrigatória de identificação. O Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE)¹⁰ foi disponibilizado aos estudantes e também está indicado no formulário. Tanto o TCLE quanto o questionário de avaliação foram transcritos para os Apêndices A e B deste trabalho, respectivamente.

Os participantes selecionados para esse estudo são estudantes de graduação matriculados na disciplina DCC122 - Circuitos Digitais da UFJF. A avaliação foi planejada para acontecer após a conclusão das aulas do capítulo que aborda *flip-flops*, ainda antes da realização da avaliação correspondente a esse assunto. Essa decisão está alinhada com os objetivos pedagógicos do jogo, de praticar a construção de diagramas de tempo para quem já tem conhecimento sobre o funcionamento dos *flip-flops*.

5.2 Execução

A avaliação aconteceu no dia 6 de janeiro de 2026, durante a aula da disciplina realizada no laboratório de computação. Os estudantes foram brevemente apresentados ao jogo e depois puderam jogar livremente por cerca de 30 minutos. Ao final, todos foram convidados a responder ao questionário *MEEGA+*. Dos 23 estudantes presentes na aula, 19 responderam ao formulário. A sessão durou aproximadamente 60 minutos, tendo sido conduzido pelos estudantes envolvidos no projeto (incluindo o autor deste trabalho) e supervisionado pelo professor da disciplina (orientador deste trabalho). A Figura 5.1 registra os estudantes participando da avaliação.

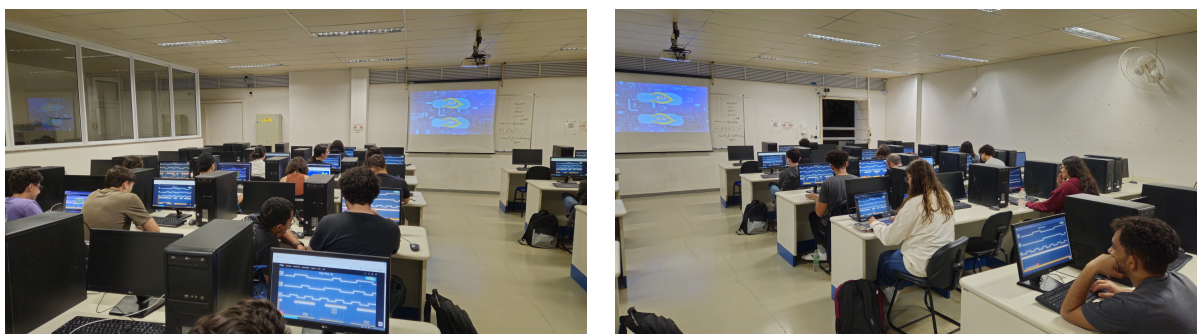


Figura 5.1: Estudantes participando da avaliação do jogo *Flip n' Flop*.

⁹O formulário usado na avaliação está disponível em: <<https://abre.ai/forms-flipnflip>>

¹⁰O TCLE usado na avaliação está disponível em: <<https://abre.ai/tcle-flipnflip>>

A Figura 5.2 mostra a distribuição dos participantes do estudo por gênero. Dos 19 participantes, 12 se identificaram como sendo do gênero masculino, 5 do gênero feminino, 1 não binário e 1 optou por não responder.

Distribuição de participantes por gênero

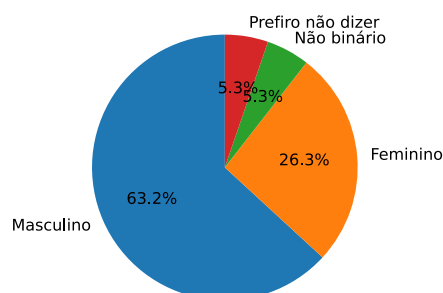


Figura 5.2: Distribuição de participantes pro gênero.

Sobre a idade destes estudantes, a Figura 5.3 ilustra a distribuição, sendo que a maioria deles têm entre 18 e 20 anos de idade.

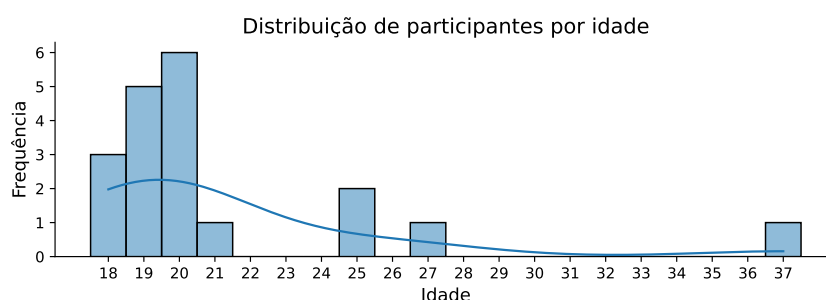


Figura 5.3: Distribuição de participantes por idade.

Com relação aos cursos de graduação, a Figura 5.4 mostra que 8 estão matriculados no curso de Ciência da Computação, 4 em Engenharia Computacional, 4 em Ciências Exatas e 3 em Sistemas de Informação.

Distribuição de participantes por curso de graduação

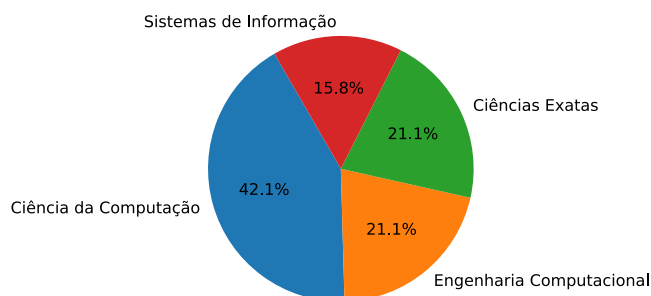


Figura 5.4: Distribuição de participantes por curso de graduação.

A Figura 5.5 mostra a distribuição dos participantes por tempo desde o ingresso no curso, que concentrou-se entre 1 e 6 semestres, perfil condizente com o posicionamento da disciplina nos currículos.

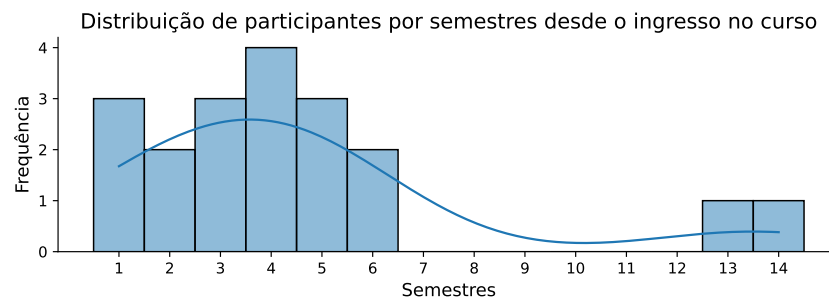


Figura 5.5: Distribuição de participantes por semestres desde o ingresso no curso.

Quando perguntados sobre a frequência no uso de jogos digitais, a Figura 5.6 mostra que 8 estudantes jogam diariamente, 5 semanalmente, 4 mensalmente, 1 raramente e 1 nunca. Além disso, ao serem questionados sobre conhecimento prévio em *flip-flops* e diagramas de tempo, apenas 2 discentes relataram já terem tido contato com o assunto além do que foi lecionado na disciplina. Esse conhecimento adicional é, provavelmente, oriundo de cursos técnicos ou de outras disciplinas da faculdade.

Distribuição de participantes por frequência no uso de jogos digitais

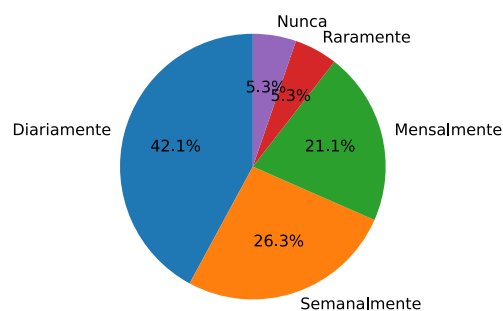


Figura 5.6: Distribuição de participantes por frequência no uso de jogos digitais.

5.3 Resultados

A Figura 5.7 mostra a distribuição das respostas em escala *Likert* para todos os itens do questionário MEEGA+ obtidos a partir dos dados coletados de todos os participantes. Na sequência, os resultados são analisados do ponto de vista dos fatores de qualidade usabilidade e experiência do jogador. Ao final, um resumo das questões abertas é apresentado.

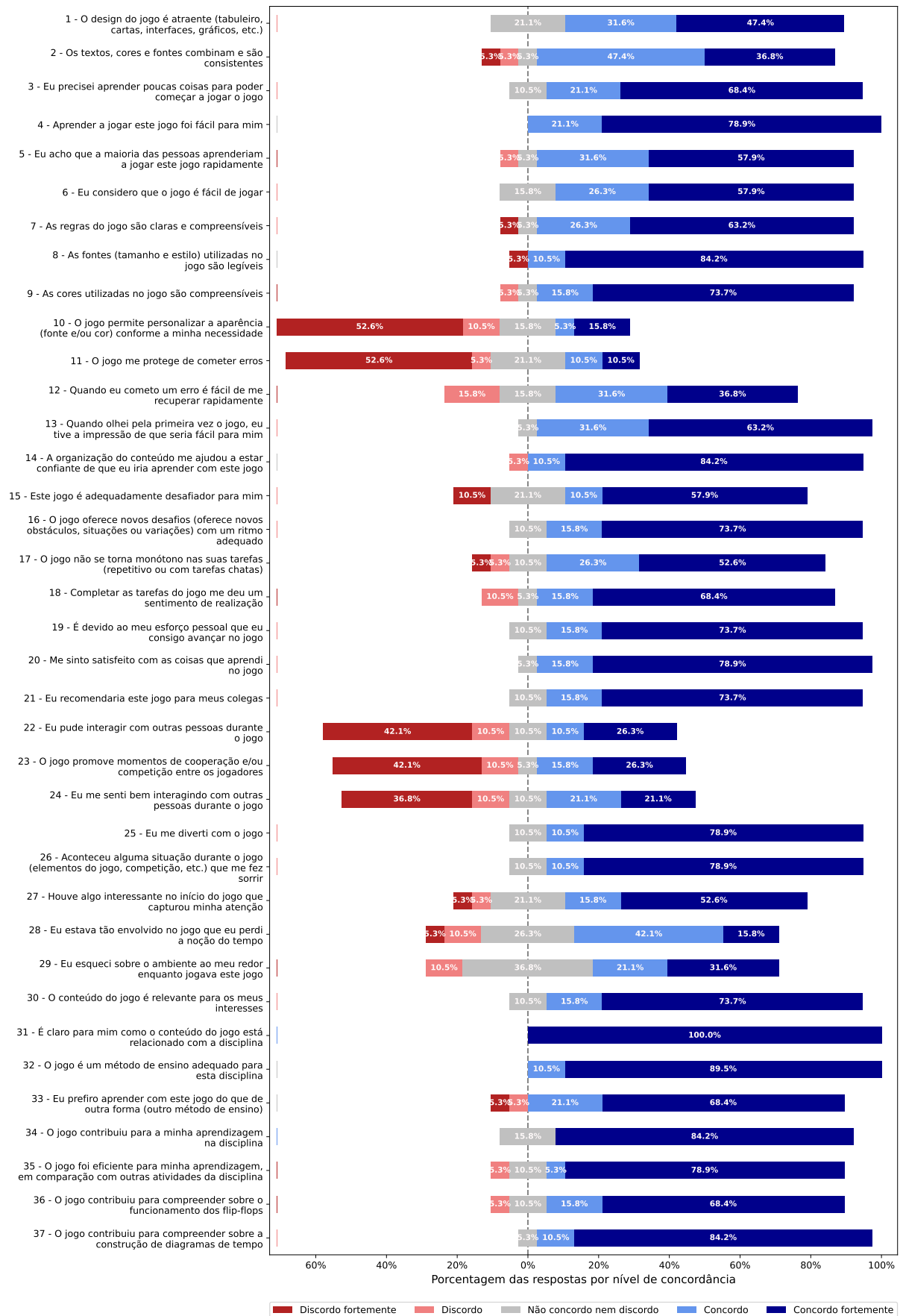


Figura 5.7: Distribuição das respostas para todos os itens do questionário MEEGA+.

5.3.1 Usabilidade

O primeiro fator de qualidade a ser analisado é a usabilidade, organizado nas seguintes subdimensões: estética, aprendizibilidade, operabilidade, acessibilidade e proteção contra erros do usuário.

Estética (itens 1 e 2): O visual do jogo teve avaliações positivas, $\approx 79\%$ dos participantes concordaram em algum nível que o design é atraente. Com relação à combinação e consistência dos textos, cores e fontes, $\approx 84\%$ concordaram em algum nível, enquanto outros $\approx 11\%$ discordaram.

Aprendizibilidade (itens 3 a 5): A facilidade de aprendizado do jogo também obteve avaliações predominantemente positivas. Cerca de 89% dos participantes concordaram que foi necessário aprender poucas regras antes de começar a jogar. Além disso, 100% consideraram que aprender a jogar foi fácil ($\approx 79\%$ concordaram fortemente). Por fim, $\approx 90\%$ acreditam que a maioria das pessoas aprenderia a jogar facilmente este jogo.

Operabilidade (itens 6 e 7): A clareza das regras e a facilidade de uso obtiveram resultados positivos, visto que cerca de 84% dos participantes concordaram em algum nível que o jogo era fácil de jogar, enquanto 89% concordaram em algum nível que as regras eram claras e de fácil compreensão.

Acessibilidade (itens 8 a 10): Este aspecto obteve uma avaliação mais contrastante. Cerca de 95% concordaram em algum nível que as fontes (tamanho e estilo) são de fácil leitura, enquanto $\approx 89\%$ concordaram em algum nível que as cores utilizadas no jogo são compreensíveis. Por outro lado, aproximadamente 63% dos participantes discordaram que o jogo permite personalização de aparência conforme a necessidade. De fato, estes recursos de personalização da aparência não foram implementados na versão que os estudantes testaram.

Proteção contra erros do usuário (itens 11 e 12): A gestão de erros apresentou resultados distintos entre prevenção e recuperação. Em relação à prevenção, $\approx 53\%$ dos participantes discordaram fortemente que o jogo os protege de cometer erros. Quanto à recuperação, aproximadamente 68% concordaram em algum nível que é fácil se recuperar de um erro rapidamente.

5.3.2 Experiência do jogador

O segundo fator de qualidade a ser analisado é a *experiência do jogador*, organizado nas seguintes subdimensões: confiança, desafio, satisfação, interação social, diversão, atenção focada, relevância, aprendizagem percebida.

Confiança (itens 13 e 14): Os participantes demonstraram altos níveis de confiança ao interagir com o jogo. Logo no primeiro contato, $\approx 95\%$ tiveram a impressão de que seria fácil jogar. Além disso, a organização do conteúdo transmitiu segurança, com $\approx 95\%$ dos estudantes concordando em algum nível que estavam confiantes de que aprenderiam com o jogo.

Desafio (itens 15 a 17): O desafio teve pontos de atenção em sua avaliação. Cerca de 90% concordaram em algum nível que o jogo oferece novos desafios em um ritmo adequado. Já quando perguntados sobre o quão adequado são os desafios, $\approx 58\%$ concordaram fortemente enquanto $\approx 11\%$ discordaram fortemente. A maioria, aproximadamente 79% , concordaram que o jogo não se torna monótono em suas tarefas, porém $\approx 11\%$ discordaram neste aspecto.

Satisfação (itens 18 a 21): De maneira geral, os índices de satisfação foram altos. O sentimento de realização ao completar tarefas foi percebido por $\approx 84\%$ dos estudantes, e $\approx 95\%$ atribuíram o avanço no jogo ao seu próprio esforço. Como resultado, $\approx 95\%$ sentem-se satisfeitos em algum nível com o que aprenderam e $\approx 89\%$ recomendariam este jogo para seus colegas.

Interação social (itens 22 a 24): Por se tratar de um jogo com mecânicas predominantemente individuais, a dimensão de interação social apresentou os resultados com maior discordância. Aproximadamente 53% dos participantes discordaram sobre a possibilidade de interagir com outras pessoas durante o jogo e também sobre o jogo promover momentos de cooperação ou competição entre os jogadores. Ainda assim, entre os participantes que relataram alguma forma de interação, cerca de 42% afirmaram ter se sentido bem com essa experiência. As respostas positivas nesse contexto possivelmente decorrem da interpretação dos participantes de interações informais com outros estudantes presentes no laboratório durante a realização do teste do jogo.

Diversão (itens 25 e 26): O aspecto lúdico foi amplamente validado, sem respos-

tas discordantes. Aproximadamente 79% dos participantes concordam fortemente que se divertiram com o jogo e relataram que alguma situação específica ou elemento do jogo os fez sorrir, indicando uma experiência agradável.

Atenção focada (itens 27 a 29): O jogo demonstrou capacidade de imersão, embora não tenha isolado fortemente os estudantes do ambiente. Cerca de 53% concordaram fortemente que algo capturou sua atenção logo no início do jogo. Entretanto, as respostas foram mais variadas em relação ao envolvimento e a perda de “noção do tempo”.

Relevância (itens 30 a 33): A relevância do jogo para a disciplina foi o ponto mais forte da avaliação. Todos os participantes concordaram fortemente que o conteúdo do jogo está claramente relacionado com a disciplina. Além disso, 100% concordaram em algum nível que o jogo é um método de ensino adequado e $\approx 89\%$ concordaram em algum nível que preferem aprender com este jogo do que de outra forma.

Aprendizagem percebida (itens 34 a 37): A percepção de aprendizado foi muito positiva. Aproximadamente 84% concordaram fortemente que o jogo contribuiu para a aprendizagem, enquanto $\approx 79\%$ concordaram fortemente que o jogo foi eficiente para a aprendizagem em comparação com outras atividades. Especificamente sobre as duas últimas questões relacionadas com os objetivos de aprendizagem, $\approx 84\%$ afirmaram que o jogo contribuiu para compreender o funcionamento dos *flip-flops* e $\approx 95\%$ concordaram que ele auxiliou na compreensão da construção de diagramas de tempo.

5.3.3 Questões abertas

As questões abertas ao final do questionário forneceram uma visão geral da satisfação e das sugestões de melhoria para o jogo *Flip n' Flop*.

O que você mais gostou no jogo? Os participantes destacaram a relevância do conteúdo para a disciplina, a aprendizagem percebida, o *design* atraente, a jogabilidade envolvente e a progressão gradual da dificuldade.

O que poderia ser melhorado no jogo? A maioria das respostas aponta para a necessidade de refinamentos técnicos, principalmente quanto à tolerância no alinhamento da mudança do sinal com a transição ativa do *clock*, ao ajuste das zonas de colisão (*hitboxes*) dos obstáculos e à física de movimentação da personagem. Quanto à arte,

foram sugeridos melhorias gerais no *design* do jogo. Por fim, quanto aos elementos do jogo, foi sugerido a inclusão de um sistema de pontuação, que está previsto no projeto do jogo, mas não foi implementado na versão que os estudantes testaram.

Gostaria de fazer mais algum comentário ou deixar alguma sugestão aos desenvolvedores do jogo? As respostas reuniram elogios à criatividade e à trilha sonora, além de sugestões para trabalhos futuros: inclusão de novos tipos de obstáculos, variação de cenários, customização de personagens, novos tipos de *flip-flops*.

5.4 Discussões

A partir dos resultados obtidos, observa-se que o jogo *Flip n' Flop* foi bem recebido pelos estudantes e apresentou uma avaliação global positiva, tanto em termos de usabilidade quanto de experiência do jogador. De modo geral, os dados indicam que o protótipo atende aos seus objetivos pedagógicos iniciais, mesmo tratando-se de uma versão ainda em desenvolvimento.

No que se refere à estética e à acessibilidade, embora o jogo apresente um *design* visual simplificado e ainda não ofereça recursos de personalização, as avaliações positivas indicam que as escolhas adotadas foram adequadas em termos de legibilidade e compreensão visual. Por outro lado, a avaliação negativa quanto à personalização evidencia que a ausência de mecanismos de customização limita a acessibilidade para diferentes perfis de usuários. Logo, a implementação dessas opções pode ser vista como um aprimoramento relevante para versões futuras.

A versão avaliada do jogo ainda não possui instruções ou tutoriais implementados. As regras e objetivos do jogo foram apresentados aos estudantes oralmente pela equipe de desenvolvimento, no início do processo de avaliação. Ainda assim, os resultados indicam que os estudantes consideraram o jogo fácil de aprender e de jogar, o que reforça a simplicidade das mecânicas e a clareza da proposta.

Com relação à proteção contra erros do usuário, a versão avaliada não possui mecanismos explícitos de prevenção, uma vez que o jogador só recebe *feedback* completo ao final da fase. Por outro lado, a possibilidade de mover a personagem livremente, apagar trechos do diagrama e redesenhar o caminho permite que o jogador se recupere de erros

identificados durante a execução da fase. Esses resultados apontam para a importância de investigar, em trabalhos futuros, estratégias de *feedback* em tempo real que auxiliem o jogador sem comprometer o caráter desafiador da atividade.

No que diz respeito à discordância de algumas respostas sobre o nível de desafio, vale destacar que as fases avaliadas neste estudo foram pensadas numa perspectiva de crescimento gradual de dificuldade, o que resultou numa percepção positiva em relação ao ritmo e à adequação dos desafios pela maioria dos estudantes. Entretanto, o jogo permite a criação e a customização de novas fases, possibilitando o ajuste do nível de dificuldade de acordo com o público-alvo.

Em relação à atenção focada, os dados sugerem que o jogo promove um nível moderado de imersão, capturando a atenção dos estudantes, mas sem isolá-los completamente do ambiente. Mesmo assim, os resultados relacionados à diversão indicam que o jogo conseguiu cumprir seu papel lúdico. Esse aspecto é particularmente relevante em jogos educacionais, uma vez que a diversão está diretamente associada ao engajamento e à motivação dos jogadores.

Por fim, a relevância do jogo para a disciplina foi o ponto mais forte da avaliação. A percepção unânime de que o conteúdo do jogo está diretamente relacionado à disciplina reforça sua adequação pedagógica e seu alinhamento com os objetivos de aprendizagem.

5.5 Considerações finais

Este capítulo apresentou a avaliação preliminar do jogo *Flip n' Flop* em contexto real de ensino. Os resultados obtidos indicam boa aceitação por parte dos estudantes, além de indícios positivos quanto à usabilidade, à experiência do jogador e à aprendizagem percebida. Ressalta-se, entretanto, que o jogo encontra-se em desenvolvimento e diversas funcionalidades previstas no projeto ainda não foram implementadas na versão avaliada. Nesse sentido, os resultados e comentários obtidos na avaliação preliminar servirão de subsídio para a continuidade do desenvolvimento, orientando ajustes técnicos, refinamentos de jogabilidade e a incorporação de novos mecanismos pedagógicos em versões futuras do jogo.

6 Conclusão

Este trabalho apresentou o projeto, o desenvolvimento e a avaliação preliminar do jogo educacional digital *Flip n' Flop*, concebido como uma ferramenta de apoio ao ensino de Circuitos Lógicos, com foco específico na prática da construção e interpretação de diagramas de tempo envolvendo *flip-flops*. A proposta do jogo foi fundamentada na literatura sobre jogos educacionais e aprendizagem ativa, buscando integrar de forma intrínseca os conteúdos pedagógicos às mecânicas de jogabilidade.

Como principal contribuição, destaca-se a concepção de um JED no qual a movimentação do jogador está diretamente associada à construção de diagramas de tempo, promovendo uma relação direta entre ação lúdica e raciocínio lógico. A escolha do gênero de plataforma 2D permitiu associar a movimentação horizontal ao avanço temporal e a movimentação vertical aos níveis lógicos dos sinais, resultando em uma mecânica que materializa visual e interativamente conceitos abstratos no ensino de circuitos sequenciais. Adicionalmente, a adoção de uma abordagem orientada a dados para a configuração das fases amplia o potencial de reutilização e extensão do jogo em contextos educacionais.

No que se refere à implementação, foi desenvolvido um protótipo funcional utilizando a *engine Unity*, com suporte à execução em ambiente Web, o que favorece o acesso e a aplicação em sala de aula sem a necessidade de instalação de software adicional. O protótipo implementa as mecânicas centrais do jogo, contempla um conjunto inicial de fases e incorpora mecanismos básicos de *scaffolding*, permitindo a realização de uma avaliação preliminar com estudantes da disciplina DCC122 – Circuitos Digitais.

A avaliação conduzida, baseada no modelo *MEEGA+*, indicou uma boa aceitação do jogo por parte dos estudantes, com resultados positivos nas dimensões de usabilidade, experiência do jogador e aprendizagem percebida. Em especial, os dados apontam forte percepção de relevância do jogo para a disciplina e indícios de que o *Flip n' Flop* contribui para a compreensão do funcionamento dos *flip-flops* e da construção de diagramas de tempo. Esses resultados sugerem que o jogo apresenta potencial pedagógico como ferramenta complementar ao ensino tradicional.

Entretanto, é importante ressaltar que o jogo encontra-se em desenvolvimento e que a versão avaliada apresenta limitações, especialmente no que se refere à ausência de alguns elementos de jogo, como pontuação, pressão temporal e mecanismos mais avançados de *scaffolding*. As observações e sugestões levantadas pelos estudantes durante a avaliação reforçam a necessidade de refinamentos técnicos, ajustes de jogabilidade e ampliação das funcionalidades previstas no projeto.

Como trabalhos futuros, a continuidade do desenvolvimento do *Flip n' Flop* envolve a implementação das funcionalidades previstas na proposta do jogo e ainda não contempladas no protótipo avaliado, bem como o aprimoramento da interface de navegação. Além disso, uma direção central para a evolução do jogo consiste na incorporação de mecanismos de personalização e configuração com foco em acessibilidade. A partir da análise e aplicação de diretrizes de acessibilidade para jogos digitais que considerem barreiras motoras, sensoriais e cognitivas, busca-se ampliar o acesso do jogo e garantir uma experiência de aprendizagem equitativa e acessível para todos.

Referências

- AJAYI, J. et al. LogicHouse-v1: a digital game-based learning tool for enhanced teaching of digital electronics in higher education institutions. *Cogent Engineering*, v. 11, n. 1, p. 2322814, 2024.
- ANDRADE, P. H. M. O.; SARINHO, V. T. Plug'n Pass: Um jogo lúdico sobre circuitos lógicos. In: *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*. Rio Grande, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 1072–1077.
- AUFHEIMER, M. et al. Bool the Miner: Relying on ghost companions to solve Boolean equations. In: *Proceedings of the 3rd Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play Companion (CHI PLAY)*. Austin, TX, USA: ACM, 2016. p. 25–31.
- BARON, D. *Game Development Patterns with Unity 2021: Explore practical game development using software design patterns and best practices in Unity and C*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd, 2021.
- BATTISTELLA, P. E.; WANGENHEIM, C. G. von. Games for teaching computing in higher education — a systematic review. *IEEE Technology and Engineering Education*, IEEE, v. 1, n. 9, p. 8–30, 2016.
- BELARMINO, G. D. et al. Critério de acessibilidade para jogos educacionais digitais que visam o desenho universal. In: *Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2021. p. 667–678.
- BELL, T. et al. Computer Science Unplugged: school students doing real computing without computers. *The New Zealand Journal of Applied Computing and Information Technology*, v. 13, 01 2009.
- BOOLE, G. *An investigation of the laws of thought: on which are founded the mathematical theories of logic and probabilities*. London, UK: Walton and Maberly, 1854. v. 2.
- BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular — Computação: complemento à BNCC*. 2022. Ministério da Educação. Conselho Nacional de Educação. Disponível em: <<https://tinyurl.com/r67nk2zp>>. Acesso em: 14 jan. 2026.
- BROOKE, J. SUS: A quick and dirty usability scale. *Usability Evaluation in Industry*, Taylor & Francis, p. 189–194, 1996.
- BUTLER-PURRY, K. L. et al. Improving learning of digital systems concepts using a video game. In: *Proceedings of the 123rd ASEE Annual Conference and Exposition*. New Orleans, LA, USA: ASEE, 2016. p. 1–15.
- CEZAR, E. S.; SANTOS, N.; PRATES, R. O. O uso de scaffolds no projeto de software educacional. *Cadernos do IME-Série Informática*, v. 22, p. 26–32, 2006.
- CHAKRABORTY, T. Role of interdisciplinarity in computer sciences: quantification, impact and life trajectory. *Scientometrics*, Springer, v. 114, p. 1011–1029, 2018.

- CHOI, Y. S. A game based learning content for tutoring in simplifying Boolean functions. In: *Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. Sousse, Tunisia: IEEE, 2010. p. 43–47.
- CHOI, Y. S. Effectiveness of game based learning to minimize Boolean functions. *Multimedia Tools and Applications*, Springer, v. 74, n. 17, p. 7131–7146, 2015.
- CLEMENTINO, E. G. et al. Jogos não digitais para ensino de computação — um mapeamento sistemático. In: *Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Manaus, AM, Brasil: SBC, 2022. p. 540–550.
- CONNOLLY, T. M. et al. A systematic literature review of empirical evidence on computer games and serious games. *Computers & education*, Elsevier, v. 59, n. 2, p. 661–686, 2012.
- COUTINHO, I. d. J. *Avaliação da Qualidade de Jogos Digitais Educativos: Trajetórias no Desenvolvimento de um Instrumento Avaliativo*. Tese (Doutorado) — Universidade do Estado da Bahia, Salvador, BA, Brasil, 2017.
- DETERDING, S. et al. From game design elements to gamefulness: defining gamification. In: *Proceedings of the 15th international academic MindTrek conference: Envisioning future media environments*. Tampere, Finland: ACM, 2011. p. 9–15.
- DIESEL, A.; BALDEZ, A. L. S.; MARTINS, S. N. Os princípios das metodologias ativas de ensino: uma abordagem teórica. *Revista Thema*, v. 14, n. 1, p. 268–288, 2017.
- DUTTA, R.; MANTRI, A.; SINGH, G. Evaluating system usability of mobile augmented reality application for teaching Karnaugh-maps. *Smart Learning Environments*, Springer, v. 9, n. 1, p. 6, 2022.
- DÔNDICI, F. et al. Um mapeamento sistemático da literatura sobre jogos educacionais digitais para o ensino de circuitos lógicos. In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Educação em Computação (EDUCOMP)*. Juiz de Fora, MG, Brasil: SBC, 2025. p. 240–254.
- FLOYD, T. L. *Digital Fundamentals*. 11^a. ed. Harlow, UK: Pearson, 2015.
- FRANZOIA, F. H.; JÚNIOR, A. d. O. C. Liga ou Desliga? um software educacional para o aprendizado de sistemas digitais. In: *Anais dos Workshops do VIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)*. Brasília, DF, Brasil: SBC, 2019. p. 1210–1216.
- FRANÇA, R.; SILVA, W.; AMARAL, H. Computino: um jogo destinado à aprendizagem de números binários para estudantes da educação básica. In: *Anais do XXI Workshop sobre Educação em Computação (WEI)*. Maceió, AL, Brasil: SBC, 2013. p. 438–443. ISSN 2595-6175.
- FREIRE, P. *Pedagogia do Oprimido*. 29. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: Paz e Terra, 2000.
- GENESIO, N. O. S. et al. Panorama de estudos sobre jogos educacionais digitais em educação em computação. In: *Anais do XXXII Workshop sobre Educação em Computação (WEI)*. Brasília, DF, Brasil: SBC, 2024. p. 737–749.

- GUI, Y. et al. Effectiveness of digital educational game and game design in STEM learning: a meta-analytic review. *International Journal of STEM Education*, Springer, v. 10, n. 1, p. 36, 2023.
- HABGOOD, M. P. J. *The effective integration of digital games and learning content*. Tese (Doutorado) — University of Nottingham, Nottingham, UK, 2007.
- HARPER, M.; MILLER, J.; SHEN, Y. Digi Island: A serious game for teaching and learning digital circuit optimization. In: *Proceedings of the 5th MODSIM World Conference & Expo*. Virginia Beach, VA, USA: [s.n.], 2011. p. 869–889.
- HAYASHI, E. et al. Exploring new formats of the Self-Assessment Manikin in the design with children. In: *Proceedings of the 15th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems (IHC)*. São Paulo, SP, Brasil: SBC, 2016. p. 1–10.
- HEINTZ, S. *Digital Educational Games: Methodologies for Evaluating the Impact of Game Type*. Tese (Doutorado) — University of Leicester, Leicester, UK, 2016.
- HONDA, F.; MACENA, J.; MOURÃO, A. Resgate Binário: Um jogo educacional para praticar conversão de números decimais para base binária e pensamento computacional. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE)*. Passo Fundo, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 181–184.
- HONDA, F. et al. Lições aprendidas em computação através da criação de um jogo educacional: entre autômatos e design de aprendizagem. In: *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Natal, RN, Brasil: SBC, 2020. p. 1753–1762.
- IJSSELSTEIJN, W. A. et al. Characterising and measuring user experiences in digital games. In: *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology (ACE)*. Salzburg, Austria: [s.n.], 2007. p. 1–4.
- ILIĆ, J.; IVANOVIĆ, M.; KLAŠNJA-MILIĆEVIĆ, A. Effects of digital game-based learning in STEM education on students' motivation: a systematic literature review. *Journal of Baltic Science Education*, Scientia Socialis Ltd., v. 23, n. 1, p. 20, 2024.
- JAMIESON, P. et al. verilogTown - Improving students learning hardware description language design - Verilog - with a video game. In: *Proceedings of the 124th ASEE Annual Conference and Exposition*. Columbus, OH, USA: ASEE, 2017. p. 1–12.
- KHALID, I. L.; ABDULLAH, M. N. S.; FADZIL, H. M. A systematic review: Digital learning in STEM education. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, v. 51, n. 1, p. 98–115, 2025.
- KOBEISSI, A. Gamifying digital logic education: A Super Mario World approach. In: *Proceedings of the 4th International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)*. Beirut, Lebanon: IEEE, 2023. p. 248–252.
- KORDAKI, M. A computer card game for the learning of basic aspects of the binary system in primary education: Design and pilot evaluation. *Education and Information Technologies*, v. 16, p. 395–421, 12 2010.

- KOTSIFAKOS, D. et al. An online game for the digital electronics course for vocational education and training (VET) students. In: AUER, M. E.; TSIATSOS, T. (Ed.). *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham, Switzerland: Springer, 2020. v. 916, p. 638–649.
- LI, H.; LI, C. Dive In! Computer World Action: A platform game for secondary school students to learn Boolean operations in computer science. In: *Extended Abstracts of the Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY)*. Bremen, Germany: ACM, 2022. p. 279–285.
- LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. *Archives of Psychology*, v. 22, n. 140, p. 1–55, 1932.
- LIMA, F.; JUNIOR, M. C.; AYLON, L. Logicalizando feat Flip & Flop: um graphic novel para ensino de circuitos digitais. In: *Anais do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*. Rio Grande, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 826–837.
- LIMA, L.; ABDALLA, K. Logicæ: Um jogo educativo sobre portas lógicas. In: *Anais da IX Escola Regional de Computação do Ceará, Maranhão e Piauí (ERCEMAPI)*. Quixadá, CE, Brasil: SBC, 2021. p. 67–73.
- LUND, A. M. Measuring usability with the USE questionnaire. *Usability Interface*, v. 8, n. 2, p. 3–6, 2001.
- MACHADO, M. O. C.; GIMENEZ, P. J. A.; SIQUEIRA, S. W. M. Raising the dimensions and variables for searching as a learning process: a systematic mapping of the literature. In: *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Natal, RN, Brasil: SBC, 2020. p. 1393–1402.
- MICHAEL, D. R.; CHEN, S. L. *Serious games: Games that educate, train, and inform*. Boston, MA, USA: Muska & Lipman/Premier-Trade, 2005.
- MORENO-GER, P. et al. Educational game design for online education. *Computers in Human Behavior*, Elsevier, v. 24, n. 6, p. 2530–2540, 2008.
- MORSI, R.; MULL, S. Digital Lockdown: A 3D adventure game for engineering education. In: *Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education (FIE)*. El Paso, TX, USA: IEEE, 2015. p. 1–4.
- MOTTA, Y.; ALBUQUERQUE, R. Classificação de gênero de jogos: uma análise comparativa entre duas plataformas digitais. In: *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Rio Grande, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 12–20.
- MOUMOUTZIS, N. et al. The design of a serious game to enable the exploration of the binary system. In: AUER, M. E.; TSIATSOS, T. (Ed.). *Lecture Notes in Networks and Systems*. Cham, Switzerland: Springer, 2021. v. 411, p. 897–906.
- MOURÃO, E. et al. On the performance of hybrid search strategies for systematic literature reviews in software engineering. *Information and software technology*, Elsevier, v. 123, p. 106294, 2020.
- MURTI, H. A. S.; HASTJARJO, T. D.; FERDIANA, R. Platform and genre identification for designing serious games. In: *Proceedings of the International Conference on Science and Technology (ICONST)*. Yogyakarta, Indonesia: IEEE, 2019. p. 1–6.

- NETO, A. C. A.; SILVA, J. M. da; SARINHO, V. bitHERO: Um jogo para auxílio no aprendizado de circuitos digitais. In: *Anais do XXIX Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Fortaleza, CE, Brasil: SBC, 2018. p. 1780–1783.
- NINTENDO. *Super Mario Bros. Wonder*. 2023. Jogo eletrônico. Disponível em: <<https://www.nintendo.com/pt-br/store/products/super-mario-bros-wonder-switch/>>. Acesso em: 27 jan. 2026.
- ONG, L.-Y.; LEOW, M.-C.; TAN, C.-K. Game-based learning mobile-app for teaching the binary numeral system. In: *Proceedings of the 15th European Conference on Games Based Learning (ECGBL)*. Brighton, UK: ACI, 2021. p. 579–590.
- OREN, M.; PEDERSEN, S.; BUTLER-PURRY, K. L. Teaching digital circuit design with a 3-D video game: The impact of using in-game tools on students' performance. *IEEE Transactions on Education*, v. 64, n. 1, p. 24–31, 2021.
- PAPERT, S. *Mindstorms: Children, computers, and powerful ideas*. New York, NY, USA: Basic Books, Inc., 1980.
- PEREIRA, N.; ARAÚJO, M. Utilização de recursos tecnológicos na educação: caminhos e perspectivas. *Research, Society and Development*, v. 9, p. e447985421, 07 2020.
- PETERSEN, K.; VAKKALANKA, S.; KUZNIARZ, L. Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and software technology*, Elsevier, v. 64, p. 1–18, 2015.
- PETRI, G.; WANGENHEIM, C. G. von; BORGATTO, A. MEEGA+: Um modelo para a avaliação de jogos educacionais para o ensino de computação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 27, n. 3, p. 52–81, 2019.
- POLYCARPOU, I.; KRAUSE, J.; NORING, M. Binary Blaster: An educational game for practicing binary number conversions. In: *Proceedings of the International Conference on Frontiers in Education (FIE)*. Rapid City, SD, USA: IEEE, 2011. p. 1–6.
- RAPEEPISARN, K. et al. The relationship between game genres, learning techniques and learning styles in educational computer games. In: *Proceedings of the 3rd International Conference on E-Learning and Games (Edutainment)*. Nanjing, China: Springer, 2008. p. 497–508.
- SAJJADI, P.; SAYED, E. E.; TROYER, O. D. On the impact of the dominant intelligences of players on learning outcome and game experience in educational games: The TrueBiters case. In: *Proceedings of the 5th International Conference on Games and Learning Alliance (GALA)*. Utrecht, The Netherlands: Springer, 2016. p. 221–231.
- SANTINI, L. F. et al. Jogos educativos no ensino de circuitos digitais: Um mapeamento sistemático. In: *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital (SBGames)*. Rio Grande, RS, Brasil: SBC, 2023. p. 814–825.
- SANTOS, A. L. d. et al. A systematic mapping study on game elements and serious games for learning programming. In: SPRINGER. *Proceedings of the International Conference on Computer Supported Education (CSEDU)*. Funchal, Portugal, 2018. p. 328–356.

- SANTOS, J. B. M. d.; NASCIMENTO, S. M.; RIQUE, T. P. ZeroUm: um jogo sério para aprender números binários. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, PR, Brasil, v. 7, n. 4, p. 41231–41250, 2021.
- SANTOS, M. E. C. et al. A usability scale for handheld augmented reality. In: *Proceedings of the 20th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (VRST)*. Edinburgh, UK: ACM, 2014. p. 167—176.
- SHANNON, C. E. A symbolic analysis of relay and switching circuits. *Electrical Engineering*, IEEE, v. 57, n. 12, p. 713–723, 1938.
- SHARIF, K. H.; AMEEN, S. Y. Game engines evaluation for serious game development in education. In: *Proceedings of the International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*. Split, Croatia: IEEE, 2021. p. 1–6.
- SIKINIOTIS, S.; KAPROS, H.; KORDAKI, M. A computer game for the learning of binary system by beginners. In: *Proceedings of the International Conference on e-Learning (IADIS)*. Amsterdam, The Netherlands: IADIS, 2008. p. 29–36.
- SILVA, R. B. D.; PIRES, L. L. de A. Metodologias ativas de aprendizagem: construção do conhecimento. In: *Anais do VII congresso nacional de educação (CONEDU)*. Fortaleza, CE, Brasil: [s.n.], 2020.
- SOUZA, M. R. d. A. et al. A systematic mapping study on game-related methods for software engineering education. *Information and software technology*, Elsevier, v. 95, p. 201–218, 2018.
- TIRRI, K.; NOKELAINEN, P. Multiple intelligences profiling questionnaire. In: TIRRI, K.; NOKELAINEN, P. (Ed.). *Moral Development and Citizenship Education*. Rotterdam, The Netherlands: Springer, 2011. v. 5, p. 1–13.
- TOCCI, R. J.; WIDMER, N. S.; MOSS, G. L. *Sistemas digitais: princípios e aplicações*. 12^a. ed. São Paulo, SP, Brasil: Pearson, 2018.
- TODA, A. M. et al. A taxonomy of game elements for gamification in educational contexts: Proposal and evaluation. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. Maceió, AL, Brasil: IEEE, 2019. p. 84–88.
- TORIO, J. O. et al. LogIO: An adaptive gamification learning approach on digital logic gates. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Tokyo, Japan: IOP Publishing, 2020. v. 803, p. 1–7.
- TROYER, O. D. et al. Development and evaluation of an educational game to practice the truth tables of logic. In: *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*. Maceió, AL, Brasil: IEEE, 2019. p. 92–96.
- TROYER, O. D.; LINDBERG, R.; SAJJADI, P. TrueBiters, an educational game to practice the truth tables of propositional logic: Development, evaluation, and lessons learned. *Smart Learning Environments*, Springer, v. 6, p. 1–17, 2019.
- WANG, L.-H. et al. Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, Springer, v. 9, n. 1, p. 26, 2022.

Wikipedia Contributors. *Platformer* — *Wikipedia, The Free Encyclopedia*. 2025. Disponível em: <<https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Platformer&oldid=1320102653>>. Acesso em: 14 jan. 2026.

WOHLIN, C. et al. *Experimentation in software engineering*. 2^a. ed. Berlin, Germany: Springer, 2012.

WOUTERS, P. et al. A meta-analysis of the cognitive and motivational effects of serious games. *Journal of Educational Psychology*, v. 105, p. 249–265, 02 2013.

YAMASHITA, V. et al. Jogos educacionais digitais e a inclusão das mulheres na programação: Um mapeamento sistemático. In: *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE)*. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: SBC, 2024. p. 1028–1042.

ZORZO, A. F. et al. *Referenciais de Formação para os Cursos de Graduação em Computação*. Porto Alegre: SBC, 2017. Sociedade Brasileira de Computação. ISBN 978-85-7669-424-3.

A Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Gostaríamos de convidar você a participar, de forma voluntária, da pesquisa intitulada “*Flip n’ Flop*: um jogo educacional para o ensino de circuitos digitais”. O objetivo desta pesquisa é avaliar a qualidade, usabilidade, acessibilidade e potencial pedagógico do jogo educacional digital *Flip n’ Flop*, desenvolvido para apoiar o ensino e a aprendizagem de circuitos lógicos sequenciais, com foco na construção de diagramas de tempo envolvendo *flip-flops*, no contexto de cursos da área de Computação e áreas afins. Caso você concorde em participar deste estudo, será solicitado que você utilize o jogo *Flip n’ Flop* e, em seguida, responda a um questionário sobre sua percepção em relação ao jogo. O questionário inclui uma seção de dados demográficos, com o objetivo de caracterizar o perfil dos participantes e auxiliar na análise dos resultados da pesquisa. Essas informações não serão utilizadas para identificação individual dos participantes. Esta pesquisa apresenta riscos mínimos, que podem incluir a possibilidade de identificação indireta. Para reduzir esses riscos, nenhuma informação pessoal identificável será solicitada ou armazenada, e todas as respostas serão tratadas de forma anônima e confidencial. Eventuais registros fotográficos poderão ser realizados apenas para fins acadêmicos, sem identificação dos participantes e sem divulgação pública, salvo mediante autorização expressa. A participação nesta pesquisa não envolve custos, tampouco oferece qualquer vantagem financeira. No entanto, caso ocorra algum dano decorrente das atividades realizadas no âmbito desta pesquisa, você tem o direito de buscar indenização conforme a legislação vigente. Você terá total liberdade para aceitar ou recusar participar, bem como para interromper sua participação a qualquer momento, sem qualquer prejuízo acadêmico, institucional ou pessoal. A recusa ou desistência não acarretará qualquer penalidade ou alteração na forma como você é tratado(a). Os resultados desta pesquisa poderão ser divulgados em trabalhos acadêmicos e publicações científicas, sempre de forma agregada e anônima, sem qualquer informação que permita a identificação dos participantes. Os dados coletados ficarão armazenados com o pesquisador responsável por um período de 5 (cinco) anos, sendo posteriormente avaliados para destinação final, conforme a legislação vigente. Os pesquisadores envolvidos

comprometem-se a tratar as informações coletadas com sigilo, responsabilidade e ética, em conformidade com a Resolução nº 466/12 do Conselho Nacional de Saúde, utilizando os dados exclusivamente para fins acadêmicos e científicos. Declaro que fui devidamente esclarecido(a) sobre os objetivos e procedimentos desta pesquisa, tive a oportunidade de esclarecer minhas dúvidas e concordo voluntariamente em participar.

Juiz de Fora, 5 de janeiro de 2026.

B Questionário de avaliação

Gostaríamos que você respondesse às questões a seguir sobre a sua percepção da qualidade do jogo educacional *Flip n' Flop*, com o objetivo de nos auxiliar no seu aprimoramento. O *Flip n' Flop* é um jogo educacional digital desenvolvido para apoiar o ensino e a aprendizagem de circuitos lógicos sequenciais, com foco na construção interativa de diagramas de tempo envolvendo *flip-flops*. Esta avaliação faz parte de uma pesquisa acadêmica vinculada a um projeto de iniciação científica. As pessoas envolvidas nesta pesquisa são: Frederico Dôndici Gama Vieira, João Vitor Fernandes Ribeiro Carneiro Ramos, Pedro Matos Crawford e Prof. Luciano Jerez Chaves (orientador).

Todas as respostas fornecidas são anônimas e serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos, podendo contribuir para a elaboração de artigos científicos relacionados ao tema. Durante a atividade, poderão ser realizadas fotografias apenas para fins de registro acadêmico, sem identificação dos participantes. O tempo estimado para responder este questionário é de 20 minutos. Desde já, agradecemos pela sua participação.

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

Declaro estar esclarecido conforme os pontos elencados no Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), disponível no <link>. Caso tenha mais dúvidas ou precise de esclarecimentos, entre em contato a qualquer momento.

1. **Declaro que li e compreendi o TCLE e concordo em participar deste estudo.**

() Sim

Dados Demográficos

Serão feitas algumas perguntas para coletar informações sobre você, a fim de que o estudo possa categorizar melhor os resultados.

2. **Qual seu nome?** (Sua identificação não é obrigatória. Sinta-se à vontade para responder ou não a essa pergunta.)

3. **Qual seu endereço de e-mail?** (Sua identificação não é obrigatória. Sinta-se à vontade para responder ou não a essa pergunta.)

4. **Qual sua idade?**

5. **Qual seu gênero**

() Masculino

() Feminino

() Prefiro não dizer

() Outro: _____

6. **Com que frequência você costuma jogar jogos digitais?**

() Nunca: nunca jogo

() Raramente: jogo de tempos em tempos

() Mensalmente: jogo pelo menos uma vez por mês

() Semanalmente: jogo pelo menos uma vez por semana

() Diariamente: jogo todos os dias

7. **Qual seu curso?**

() Ciência da Computação

() Engenharia Computacional

() Engenharia Elétrica

() Sistemas de Informação

() Ciências Exatas

8. **Em qual ano você ingressou no seu curso?**

9. **Em qual semestre do ano você ingressou no seu curso?**

() Primeiro

() Segundo

10. **Além do que foi apresentado nesta disciplina DCC122 - Circuitos Digitais sobre diagramas de tempo e flip-flops, você já possuía algum conhecimento prévio sobre estes conteúdos?**

() Não

() Sim

Usabilidade

Por favor, marque uma opção de acordo com o quanto você concorda ou discorda de cada afirmação abaixo:

1. **O design do jogo é atraente (tabuleiro, cartas, interfaces, gráficos, etc.)**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

2. **Os textos, cores e fontes combinam e são consistentes**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

3. **Eu precisei aprender poucas coisas para poder começar a jogar o jogo**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

4. **Aprender a jogar este jogo foi fácil para mim**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

5. **Eu acho que a maioria das pessoas aprenderiam a jogar este jogo rapidamente**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

6. Eu considero que o jogo é fácil de jogar

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

7. As regras do jogo são claras e compreensíveis

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

8. As fontes (tamanho e estilo) utilizadas no jogo são legíveis

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

9. As cores utilizadas no jogo são compreensíveis

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

10. O jogo permite personalizar a aparência (fonte e/ou cor) conforme a minha necessidade

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

11. O jogo me protege de cometer erros

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

12. Quando eu cometo um erro é fácil de me recuperar rapidamente

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

Experiência do Jogador

13. Quando olhei pela primeira vez o jogo, eu tive a impressão de que seria fácil para mim

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

14. A organização do conteúdo me ajudou a estar confiante de que eu iria aprender com este jogo

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

15. Este jogo é adequadamente desafiador para mim

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

16. **O jogo oferece novos desafios (oferece novos obstáculos, situações ou variações) com um ritmo adequado**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

17. **O jogo não se torna monótono nas suas tarefas (repetitivo ou com tarefas chatas)**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

18. **Completar as tarefas do jogo me deu um sentimento de realização**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

19. **É devido ao meu esforço pessoal que eu consigo avançar no jogo**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

20. **Me sinto satisfeito com as coisas que aprendi no jogo**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

21. **Eu recomendaria este jogo para meus colegas**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

22. **Eu pude interagir com outras pessoas durante o jogo**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

23. **O jogo promove momentos de cooperação e/ou competição entre os jogadores**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

24. **Eu me senti bem interagindo com outras pessoas durante o jogo**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

25. **Eu me diverti com o jogo**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

26. **Aconteceu alguma situação durante o jogo (elementos do jogo, competição, etc.) que me fez sorrir**

Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

27. **Houve algo interessante no início do jogo que capturou minha atenção**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
28. **Eu estava tão envolvido no jogo que eu perdi a noção do tempo**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
29. **Eu esqueci sobre o ambiente ao meu redor enquanto jogava este jogo**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
30. **O conteúdo do jogo é relevante para os meus interesses**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
31. **É claro para mim como o conteúdo do jogo está relacionado com a disciplina**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
32. **O jogo é um método de ensino adequado para esta disciplina**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
33. **Eu prefiro aprender com este jogo do que de outra forma (outro método de ensino)**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
34. **O jogo contribuiu para a minha aprendizagem na disciplina**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
35. **O jogo foi eficiente para minha aprendizagem, em comparação com outras atividades da disciplina**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
36. **O jogo contribuiu para compreender sobre o funcionamento dos flip-flops**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente
37. **O jogo contribuiu para compreender sobre a construção de diagramas de tempo**
Discordo totalmente () 1 () 2 () 3 () 4 () 5 Concordo totalmente

Avaliação Complementar

38. O que você mais gostou no jogo?

39. O que poderia ser melhorado no jogo?

40. Gostaria de fazer mais algum comentário ou deixar alguma sugestão aos desenvolvedores do jogo?
