

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS
BACHARELADO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

Jogo online para auxílio no ensino de Linguagens Formais e Autômatos

Deiverson Mourão Alves Pedroso

JUIZ DE FORA
JULHO, 2026

Jogo online para auxílio no ensino de Linguagens Formais e Autômatos

DEIVERSON MOURÃO ALVES PEDROSO

Universidade Federal de Juiz de Fora
Instituto de Ciências Exatas
Ciência da Computação
Bacharelado em Sistemas de Informação

Orientador: Igor de Oliveira Knop
Coorientador: Ciro de Barros Barbosa

JUIZ DE FORA

JULHO, 2026

JOGO ONLINE PARA AUXÍLIO NO ENSINO DE LINGUAGENS FORMAIS E AUTÔMATOS

Deiverson Mourão Alves Pedroso

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO DE CIÊNCIAS
EXATAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA, COMO PARTE INTE-
GRANTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO.

Aprovada por:

Igor de Oliveira Knop
D.Sc. Modelagem Computacional

Ciro de Barros Barbosa
Doutor em Ciência da Computação

Rodrigo Luis de Souza da Silva
Doutor em Engenharia

Marcelo Caniato Renhe
Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação

JUIZ DE FORA
01 DE JULHO, 2026

Aos meus amigos e irmãos.

Aos pais, pelo apoio e sustento.

Resumo

Introdução: O ensino de Linguagens Formais e Autômatos apresenta alto grau de abstração e formalismo, o que representa uma barreira significativa para estudantes de cursos de Computação. Jogos sérios têm se mostrado um complemento eficaz às metodologias tradicionais, permitindo que o aluno visualize conceitos abstratos de forma concreta por meio da experiência prática. **Objetivos:** Este trabalho propõe o desenvolvimento e a avaliação de um jogo sério para navegador no qual o jogador controla um personagem em um mapa 3D por meio da construção e execução de Autômatos Finitos Determinísticos. A ferramenta organiza a experiência em uma sequência progressiva de fases pedagógicas e disponibiliza um modo *sandbox* para experimentação livre, no qual o jogador pode criar seus próprios mapas. **Métodos:** O jogo foi implementado para a plataforma *web* com React, React Three Fiber e Three.js, estruturados em um *monorepo* com o ecossistema *bhvr*. A avaliação será conduzida por meio de um estudo de caso com estudantes da área de Computação, utilizando o instrumento MEEGA+ para medir a percepção de qualidade do jogo e da aprendizagem dos participantes. **Resultados:** Observou-se uma tendência positiva na avaliação pelos participantes em todos os indicadores, com relatos de boas decisões de design e aprendizagem dos conceitos de estados, transições e reconhecimento de linguagens, bem como uma percepção positiva da ferramenta como apoio ao ensino da disciplina.

Palavras-chave: linguagens formais e autômatos, jogos sérios, pensamento computacional, autômatos finitos determinísticos, ensino de computação.

Abstract

Introduction: The teaching of Formal Languages and Automata presents a high degree of abstraction and formalism, which represents a significant barrier for students in Computing courses. Serious games have proven to be an effective complement to traditional teaching methodologies, allowing students to visualize abstract concepts in a concrete way through practical experience. **Objectives:** This work proposes the development and evaluation of a serious game for the browser in which the player controls a character in a 3D map through the construction and execution of Deterministic Finite Automata. The tool organizes the experience in a progressive sequence of pedagogical phases and provides a sandbox mode for free experimentation, in which the player can create their own maps. **Methods:** The game was implemented for the web platform with React, React Three Fiber and Three.js, structured in a monorepo with the bhvr ecosystem. The evaluation was conducted through a case study with students from Computing courses, using the MEEGA+ instrument to measure the quality of the game and the participants' learning perception. **Results:** The results indicated positive evaluation in all MEEGA+ dimensions, with emphasis on Aesthetics and Relevance, and a positive perception of the tool as a support for teaching the subject.

Agradecimentos

Ao professor Igor de Oliveira Knop pela orientação, pela disponibilidade e principalmente, pela paciência ao longo de todo o desenvolvimento do deste trabalho

Ao professor Ciro de Barros Barbosa, pela coorientação e pelas contribuições que enriqueceram este projeto

À Universidade Federal de Juiz de Fora e ao Instituto de Ciências Exatas, pela formação e pela estrutura que tornaram este trabalho possível.

Aos colegas que dedicaram se tempo para testar jogo e responder ao questionário de avaliação, contribuindo para os resultados deste trabalho.

A todos os meus parentes, pelo encorajamento e apoio.

Aos amigos, pelo companheirismo e pelo incentivo.

E à minha família, pelo apoio incondicional e pelo suporte ao longo de toda a graduação.

Conteúdo

Lista de Figuras	7
Lista de Tabelas	8
Lista de Abreviações	9
1 Introdução	11
1.1 Organização deste documento	12
2 Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados	13
2.1 Linguagens Formais e Autômatos	13
2.2 Jogos Sérios no Ensino de Computação	14
2.3 Avaliação de Jogos Educacionais	15
2.4 Trabalhos Relacionados	16
3 Material e Métodos	20
3.1 Classificação da Pesquisa	20
3.2 Desenvolvimento da Ferramenta	20
3.3 Avaliação	21
3.4 Uso de Inteligência Artificial no Desenvolvimento	22
4 Desenvolvimento	23
4.1 Visão geral da ferramenta	23
4.2 Editor de Autômato	24
4.3 Mundo 3D	25
4.4 Mecânica de Simulação	27
4.5 Editor de Mapas	28
4.6 Seleção de fases	30
4.7 Planejamento das Fases	33
4.8 Tutoriais	33
5 Avaliação com o MEEGA+	35
5.1 Estética	35
5.2 Aprendizizibilidade	35
5.3 Operabilidade	36
5.4 Acessibilidade	37
5.5 Confiança	37
5.6 Desafio	38
5.7 Satisfação	38
5.8 Diversão	39
5.9 Atenção Focada	39
5.10 Relevância	40
5.11 Percepção de Aprendizagem	40
5.12 Síntese dos Resultados	41

6	Considerações Finais	42
	Bibliografia	44
A	Formulário de Avaliação	46

Lista de Figuras

2.1	AFD que modela o controlador de uma porta automática (SIPSER, 2012).	14
2.2	Tela principal do jogo <i>Máquina de Senhas</i> . Fonte: Vieira e Sarinho (2019).	16
2.3	Resultado da fase um do jogo <i>Automata Toy Factory</i> . Fonte: Tomizawa e Junior (2021).	17
2.4	Prancheta explicativa das salas do jogo <i>Turing Machine Game Simulator</i> indicando o destino de cada brinquedo de entrada . Fonte: Santana et al. (2022).	17
2.5	Tutorial da primeira etapa do jogo <i>Simplification Game</i> . Fonte: Ribeiro et al. (2022).	18
2.6	Tela principal do jogo <i>Factory Disaster</i> . Fonte: Carvalho, Junior e Costa (2021).	18
2.7	Tela do jogo <i>LightBot</i> . Fonte: Yaroslavski (2008).	19
4.1	Interface principal: editor de autômato à esquerda e mundo 3D à direita.	24
4.2	Editor de autômato com grafo montado: estado inicial (seta de entrada), estado final (borda dupla) e transição com símbolo e ação definidos.	25
4.3	Mundo 3D com o personagem sobre um ladrilho, botões distribuídos no mapa e a bússola de orientação no canto inferior direito.	26
4.4	Execução sincronizada: o grafo e o mundo 3D avançam juntos a cada símbolo consumido.	27
4.5	Editor de mapas, aba Mapa: grade de ladrilhos, seletor de tipo e controle de altura.	29
4.6	Editor de mapas, aba Jogador: seleção da direção inicial do personagem.	29
4.7	Editor de mapas, aba Permissões: restrições pedagógicas configuráveis para o autômato.	30
4.8	Editor de mapas, aba Autômato: definição do autômato pré-montado da fase.	31
4.9	Editor de mapas, aba Fita: escolha entre fita livre e fita fixada.	31
4.10	diálogo de seleção de fases com miniaturas das fases oficiais e dos mapas personalizados.	32
4.11	diálogo de tutorial: imagem ilustrativa, balão de texto e controles de navegação entre passos.	34
5.1	Resultado MEEGA+, Seção: Estética.	36
5.2	Resultado MEEGA+, Seção: Aprendizabilidade.	36
5.3	Resultado MEEGA+, Seção: Operabilidade.	36
5.4	Resultado MEEGA+, Seção: Acessibilidade.	37
5.5	Resultado MEEGA+, Seção: Confiança.	37
5.6	Resultado MEEGA+, Seção: Desafio.	38
5.7	Resultado MEEGA+, Seção: Satisfação.	38
5.8	Resultado MEEGA+, Seção: Diversão.	39
5.9	Resultado MEEGA+, Seção: Atenção Focada.	39
5.10	Resultado MEEGA+, Seção: Relevância.	40
5.11	Resultado MEEGA+, Seção: Percepção de Aprendizagem.	41

Lista de Tabelas

4.1	Comandos disponíveis no AutomataWorld	26
-----	---	----

Lista de Abreviações

Siglas

AFD Autômato Finito Determinístico. 11–13, 16, 17, 19, 21, 23, 33, 42

IAQJEd Instrumento de Avaliação da Qualidade de Jogos Educacionais. 15–17

LFA Linguagens Formais e Autômatos. 11–16, 19–21, 35, 38, 40–42

MEEGA+ Model for the Evaluation of Educational Games. 12, 15, 16, 21, 41, 42

WebGL Web Graphics Library. 14

1 Introdução

A resolução de problemas é um dos objetivos centrais da Ciência da Computação. O estudo de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) investiga justamente os limites do que os computadores podem ou não resolver, formando a base teórica para áreas como compiladores, análise de linguagens e desenvolvimento de algoritmos. No entanto, o alto grau de abstração e formalismo inerente a conceitos como Autômatos Finitos Determinísticos (AFDs) e Máquinas de Turing representa uma barreira significativa para o aprendizado, tornando o conteúdo de difícil assimilação por parte dos estudantes (RIBEIRO et al., 2022; TOMIZAWA; JUNIOR, 2021; VIEIRA; SARINHO, 2019).

Nesse cenário, os jogos digitais têm se mostrado um complemento eficaz às metodologias tradicionais de ensino. Ao transformar problemas abstratos em desafios lúdicos e fornecer *feedback* imediato sobre as ações do jogador, eles permitem que o aluno visualize o comportamento de estruturas formais de forma concreta (VIEIRA; SARINHO, 2019). Iniciativas como o *Factory Disaster* (CARVALHO; JUNIOR; COSTA, 2021), o *Automata Toy Factory* (TOMIZAWA; JUNIOR, 2021) e o *Simplification Game* (RIBEIRO et al., 2022) são exemplos recentes que exploram essa abordagem especificamente no ensino de LFA, embora ainda haja espaço para ferramentas que combinem a execução visual de autômatos com uma sequência pedagógica estruturada por fases.

A partir do problema apresentado, define-se a seguinte questão principal de pesquisa: o uso de um jogo sério cujas mecânicas são controladas por AFDs aumenta o engajamento e a percepção de aprendizagem dos alunos na disciplina de LFA? Como questões secundárias, investiga-se de que forma a interação com o autômato em execução contribui para a compreensão prática dos conceitos da disciplina, e qual a percepção dos estudantes em relação à motivação e à facilidade de aprendizado ao utilizarem a ferramenta.

O objetivo geral deste trabalho é investigar e avaliar um jogo sério para a plataforma *web* que associe a execução visual de AFDs a mecânicas lúdicas, como apoio ao ensino de LFA. Como objetivos específicos, elencam-se: desenvolver um ambiente de execução visual de AFD integrado a mecânicas de jogo; implementar uma sequência de

fases que introduza progressivamente os conceitos de estados, transições e reconhecimento de linguagens; disponibilizar um modo *sandbox* para experimentação livre dos autômatos; e avaliar o impacto da ferramenta no engajamento e na percepção de aprendizagem dos alunos por meio de um estudo de caso com o Model for the Evaluation of Educational Games (MEEGA+) (PETRI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2019).

Para a realização deste trabalho, foi desenvolvido o AutomataWorld, um jogo sério para navegador no qual o jogador constrói e executa AFDs para controlar um personagem em um mapa 3D. A ferramenta reúne um editor gráfico de autômatos, uma sequência progressiva de fases pedagógicas e um modo *sandbox* para experimentação livre com a criação de mapas personalizados.

1.1 Organização deste documento

Este documento está organizado em cinco capítulos. Além desta Introdução, o Capítulo 2 apresenta os conceitos teóricos que fundamentam o trabalho, incluindo os elementos centrais de Linguagens Formais e Autômatos, o papel dos jogos sérios no ensino de Computação e os trabalhos relacionados na área. O Capítulo 3 descreve a classificação da pesquisa, os materiais e tecnologias utilizados no desenvolvimento e o método adotado para a avaliação da ferramenta. O Capítulo 4 relata o desenvolvimento do AutomataWorld, apresentando a interface, as mecânicas de simulação, o planejamento das fases e os resultados do estudo de caso com o MEEGA+. Por fim, o Capítulo 6 apresenta as considerações finais, confrontando os objetivos propostos, discutindo as limitações identificadas e apontando direções para trabalhos futuros.

2 Fundamentação Teórica e Trabalhos Relacionados

Este capítulo apresenta os conceitos teóricos que fundamentam o trabalho e os principais trabalhos relacionados na área. São abordados os elementos centrais de Linguagens Formais e Autômatos (LFA), o papel dos jogos sérios no ensino de Computação e as iniciativas já existentes para o ensino de LFA por meio de jogos digitais.

2.1 Linguagens Formais e Autômatos

O estudo de LFA pode ser compreendido por uma analogia com as línguas naturais: assim como o português possui regras gramaticais que definem se uma frase está correta ou não, os computadores precisam de regras precisas para processar informações. LFA é a área da Ciência da Computação que formaliza essas regras por meio de modelos matemáticos denominados autômatos – máquinas abstratas capazes de reconhecer se uma sequência de símbolos pertence ou não a uma linguagem válida (SIPSER, 2012).

Um Autômato Finito Determinístico (AFD) é definido formalmente por uma quintupla $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$, onde Q é um conjunto finito de estados, Σ é o alfabeto de entrada, $\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$ é a função de transição, $q_0 \in Q$ é o estado inicial e $F \subseteq Q$ é o conjunto de estados finais (ou aceitação). O autômato processa uma cadeia de símbolos um a um: a cada símbolo lido, realiza uma transição de estado de acordo com δ . Ao final da cadeia, se o estado atual pertencer a F , a cadeia é aceita; caso contrário, é rejeitada (SIPSER, 2012).

Um exemplo clássico é o controlador de uma porta automática, que alterna entre os estados *aberta* e *fechada* mediante sinais de sensores (SIPSER, 2012). Apesar de simples, esse modelo ilustra os elementos centrais de qualquer AFD: estados que representam situações possíveis do sistema e transições que representam as ações que alteram essas situações. A Figura 2.1 ilustra esse autômato: dois estados representam as situações

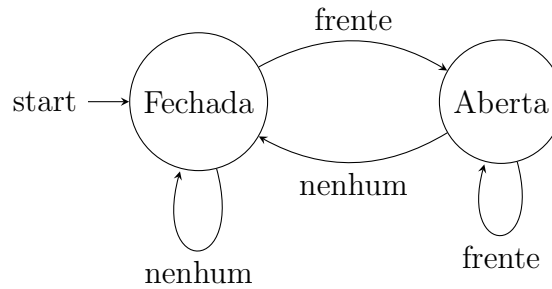


Figura 2.1: AFD que modela o controlador de uma porta automática (SIPSER, 2012).

possíveis do sistema e as transições representam os sinais que alteram essas situações.

A necessidade de compreensão de notações matemáticas complexas e o alto nível de abstração exigido tornam LFA uma barreira para muitos estudantes, resultando frequentemente em desmotivação (TOMIZAWA; JUNIOR, 2021). O uso de jogos e simulações como recurso didático tem sido amplamente investigado como forma de potencializar o pensamento lógico e a resolução de problemas, conforme será visto nas próximas seções.

2.2 Jogos Sérios no Ensino de Computação

Jogos sérios são jogos digitais projetados com um propósito além do entretenimento, como o ensino ou o treinamento (WILKINSON, 2016). No contexto educacional, eles transformam o estudante em um agente ativo do aprendizado: ao receber *feedback* imediato sobre suas ações, o aluno consegue visualizar o comportamento de estruturas abstratas de forma concreta (VIEIRA; SARINHO, 2019).

Pesquisas demonstram que jogos , como os que utilizam autômatos celulares, conseguem aprimorar significativamente as habilidades de pensamento lógico dos alunos universitários (DHATSUWAN; PRECHARATTANA, 2016).

A implementação de jogos baseados na *web* remove barreiras tecnológicas como a necessidade de instalação de *software* ou incompatibilidade de sistemas operacionais, garantindo acesso por meio de qualquer navegador. Isso permite que a ferramenta seja utilizada de forma flexível, tanto nos laboratórios da UFJF¹ quanto nos dispositivos pessoais dos alunos. Adicionalmente, a evolução dos navegadores e a padronização do Web

¹Universidade Federal de Juiz de Fora, <<https://www.ufjf.br>>.

Graphics Library (WebGL) possibilitaram a renderização de gráficos 3D de alto desempenho diretamente nas páginas *web* (PARISI, 2012), viabilizando representações visuais mais ricas e imersivas para os modelos de autômatos.

2.3 Avaliação de Jogos Educacionais

A avaliação de jogos educacionais é uma etapa essencial para verificar se a ferramenta desenvolvida cumpre seus objetivos pedagógicos. Diversos instrumentos foram propostos na literatura para essa finalidade, entre os quais se destaca o Model for the Evaluation of Educational Games (MEEGA+), proposto por Petri, Wangenheim e Borgatto (2019) e voltado especificamente para jogos no ensino de Computação.

Entre os instrumentos propostos na literatura, destaca-se o Instrumento de Avaliação da Qualidade de Jogos Educacionais (IAQJEd), desenvolvido por Coutinho (2017). Ele avalia jogos educativos em três dimensões: usabilidade, experiência do usuário e princípios de aprendizagem. Cada dimensão é composta por seis questões avaliadas em escala de zero a cinco, totalizando 90 pontos. A partir da pontuação obtida, o jogo é classificado em cinco categorias, que variam de inadequado a excelente para finalidade educativa. O instrumento foi utilizado na avaliação de diversos jogos para o ensino de LFA citados na seção seguinte, como o *Automata Toy Factory* (TOMIZAWA; JUNIOR, 2021), o *Turing Machine Game Simulator* (SANTANA et al., 2022) e o *Factory Disaster* (CARVALHO; JUNIOR; COSTA, 2021).

O MEEGA+ avalia duas dimensões principais, a experiência do jogador e a percepção de aprendizagem. A dimensão de experiência do jogador é composta por sete fatores: usabilidade, atenção focada, diversão, desafio, interação social, confiança e relevância. A dimensão de percepção de aprendizagem investiga se o jogador acredita que a experiência contribuiu para a compreensão dos conceitos abordados. As respostas são coletadas por meio de um questionário com afirmações avaliadas em escala Likert de cinco pontos, variando de discordo totalmente a concordo totalmente (PETRI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2019).

O instrumento foi desenvolvido e validado com foco em jogos para o ensino superior de Computação, o que o torna adequado para a avaliação do AutomataWorld,

cujo público alvo são estudantes de cursos da área. Em comparação com o IAQJEd, o MEEGA+ apresenta dimensões mais alinhadas ao contexto de jogos educacionais para Computação, avaliando especificamente fatores como atenção focada, relevância e percepção de aprendizagem em conceitos computacionais, o que justifica sua adoção neste trabalho.

2.4 Trabalhos Relacionados

A literatura de jogos educativos para LFA ainda é escassa em comparação com outras áreas da computação (TOMIZAWA; JUNIOR, 2021), mas iniciativas recentes têm proposto abordagens lúdicas para tornar seus conceitos mais acessíveis.

O *Máquina de Senhas* (VIEIRA; SARINHO, 2019) (Figura 2.2) é baseado no jogo de tabuleiro *Mastermind*. O jogador recebe um AFD pronto e deve descobrir uma sequência de símbolos aceita por ele. A cada tentativa o jogo fornece pistas sobre quais símbolos estão corretos e em quais posições, estimulando o raciocínio lógico sobre o comportamento do autômato. As fases têm dificuldade crescente, variando o número de estados, o tamanho do alfabeto e o comprimento da sequência descoberta.

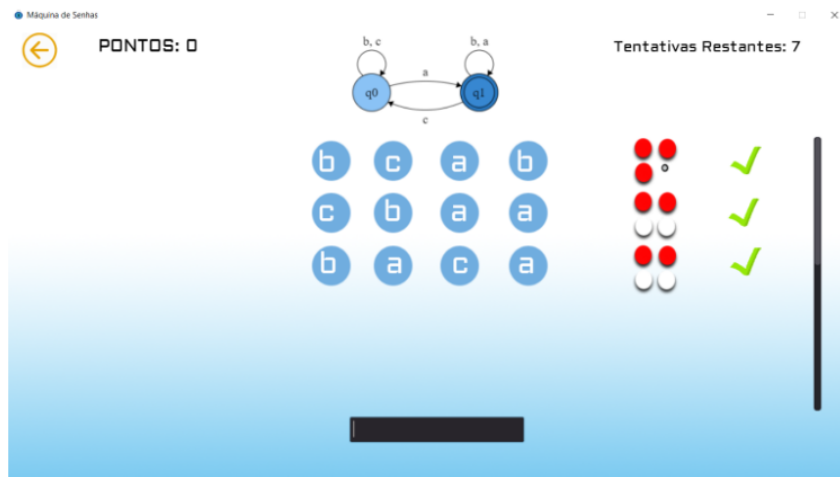


Figura 2.2: Tela principal do jogo *Máquina de Senhas*. Fonte: Vieira e Sarinho (2019).

O *Automata Toy Factory* (TOMIZAWA; JUNIOR, 2021) (Figura 2.3) apresenta uma narrativa de fábrica de brinquedos para ensinar Autômatos com Pilha. O jogador configura instruções de montagem de pedidos de forma análoga às transições de um autômato com pilha, no qual cada sala representa um estado e cada brinquedo representa

um símbolo do alfabeto. A avaliação com 55 alunos pelo IAQJEd resultou em classificação de boa qualidade para finalidade educativa.



Figura 2.3: Resultado da fase um do jogo *Automata Toy Factory*. Fonte: Tomizawa e Junior (2021).

O *Turing Machine Game Simulator* (SANTANA et al., 2022) (Figura 2.4) adota analogia semelhante para o ensino de Máquinas de Turing. Salas representam estados, esteiras representam movimentos da fita e alavancas indicam a direção do cabeçote. A avaliação com 36 alunos pelo IAQJEd classificou o jogo como excelente para finalidade educativa.

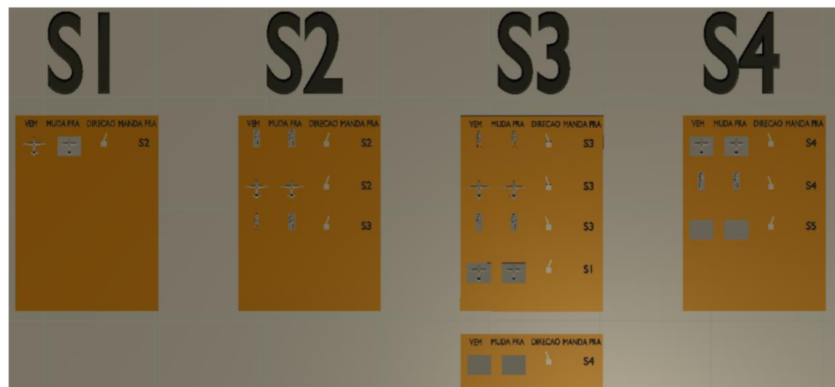


Figura 2.4: Prancheta explicativa das salas do jogo *Turing Machine Game Simulator* indicando o destino de cada brinquedo de entrada. Fonte: Santana et al. (2022).

O *Simplification Game* (RIBEIRO et al., 2022) (Figura 2.5) foca no ensino de simplificação de Gramáticas Livres de Contexto por meio de uma interface de arrastar e soltar, com *feedback* imediato a cada ação incorreta. A avaliação com 54 alunos resultou em classificação de boa qualidade para finalidade educativa.

O *Factory Disaster* (CARVALHO; JUNIOR; COSTA, 2021) (Figura 2.6) é um trabalho bem próximo ao AutomataWorld por abordar especificamente AFD. Cada plata-



Figura 2.5: Tutorial da primeira etapa do jogo *Simplification Game*. Fonte: Ribeiro et al. (2022).

forma do cenário representa um estado e os recursos disponíveis no ambiente representam os símbolos do alfabeto. O jogador explora o cenário, coleta os recursos na sequência correta e os utiliza para atravessar as plataformas até a saída, percorrendo implicitamente o autômato associado à fase. A avaliação com 16 participantes pelo IAQJEd classificou o jogo como de boa qualidade para finalidade educativa.

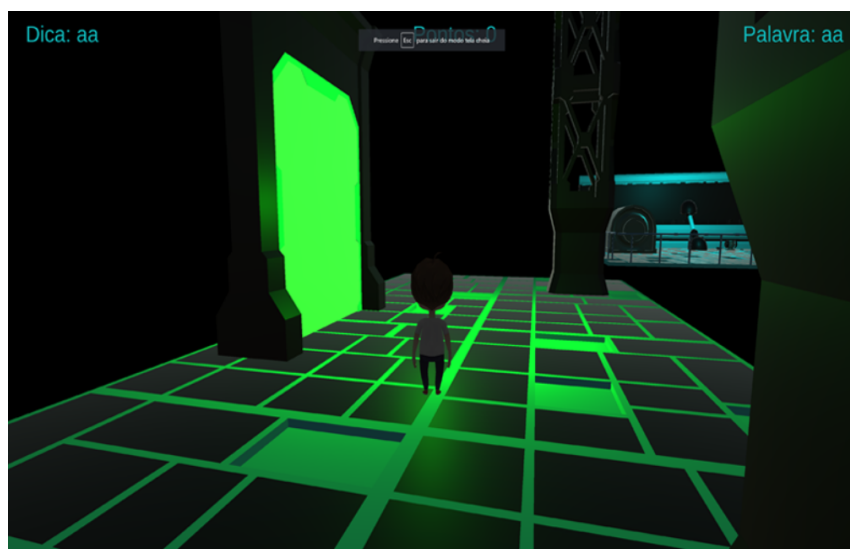


Figura 2.6: Tela principal do jogo *Factory Disaster*. Fonte: Carvalho, Junior e Costa (2021).

O LightBot (YAROSLAVSKI, 2008) é um jogo educativo de quebra-cabeça no qual o jogador programa um robô por meio de sequências de comandos representados por ícones, guiando-o para acender ladrilhos distribuídos pelo mapa. Lançado em 2008 por Danny Yaroslavski e disponível para navegador, Android e IOS, o jogo ensina conceitos

de programação como sequenciamento, procedimentos e laços sem exigir conhecimento prévio de sintaxe. A ideia de associar comandos discretos a movimentos em um mapa em grade, tornando a lógica de programação visível por meio do comportamento de um personagem, serviu de inspiração direta para a concepção do AutomataWorld. No lugar de sequências imperativas, o AutomataWorld utiliza AFDs como modelo de controle, preservando a mesma clareza visual entre instrução e ação.

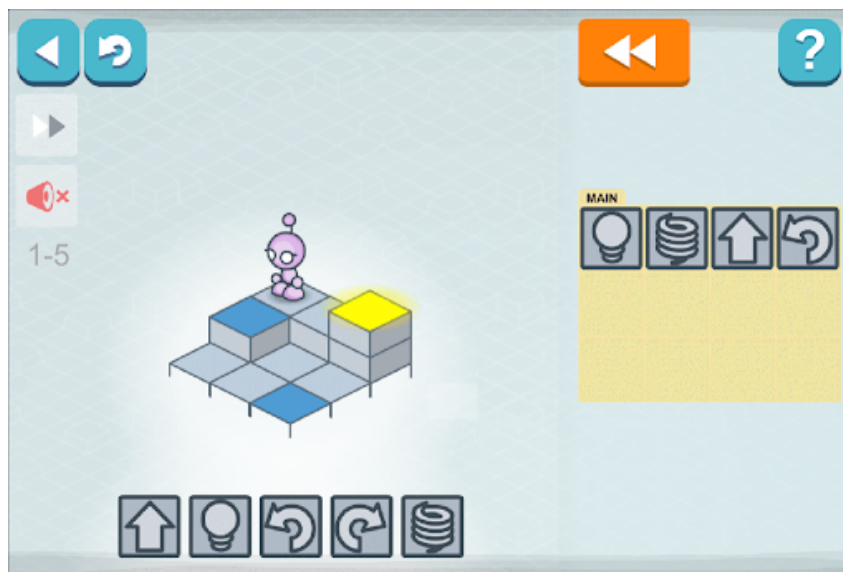


Figura 2.7: Tela do jogo *LightBot*. Fonte: Yaroslavski (2008).

Em relação aos trabalhos apresentados, o AutomataWorld se diferencia em dois aspectos centrais. O primeiro é a forma de interação com o autômato: enquanto o *Máquina de Senhas* e o *Factory Disaster* apresentam o autômato de forma implícita na narrativa, o AutomataWorld disponibiliza um editor gráfico no qual o jogador constrói explicitamente os estados, transições e ações do AFD. O segundo é a progressão pedagógica: as fases introduzem os elementos da quintupla $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$ um a um, favorecendo o engajamento de alunos com diferentes níveis de familiaridade com o conteúdo, diferentemente da maioria dos trabalhos analisados, que pressupõem conhecimento básico dos modelos para que o jogador consiga progredir (CARVALHO; JUNIOR; COSTA, 2021). Essa combinação entre construção explícita de autômatos e progressão pedagógica estruturada representa a contribuição central deste trabalho para o conjunto de ferramentas disponíveis para o ensino de LFA.

3 Material e Métodos

Este capítulo descreve a classificação da pesquisa, os materiais utilizados no desenvolvimento da ferramenta e o método adotado para sua avaliação.

3.1 Classificação da Pesquisa

Esta é uma pesquisa exploratória e aplicada ao ensino de LFA, voltada para a complementação do processo de ensino-aprendizagem. Possui abordagem qualitativa, pois investiga a percepção de aprendizagem dos alunos em relação ao conteúdo da disciplina e ao jogo sério desenvolvido, e também exploratória, pois combina o desenvolvimento de uma ferramenta educacional que nos permitiu testar abordagens para aumentar o engajamento dos estudantes e colher evidências por meio de questionários.

3.2 Desenvolvimento da Ferramenta

O jogo AutomataWorld² foi desenvolvido para a plataforma web, permitindo execução direta em navegadores modernos, sem necessidade de instalação.

A arquitetura do projeto segue o modelo *monorepo*, organizado pelo ecossistema bhvr³, acrônimo de Bun⁴, Hono⁵, Vite⁶ e React⁷. O Bun atua como gerenciador de pacotes e ambiente de execução, substituindo o *node.js* com ganhos de desempenho em tempo de instalação e execução. O Hono encapsula o WebSockets, que viabiliza a comunicação em tempo real entre os clientes (mas não é usado neste trabalho). O Vite gerencia o processo de *build* e o servidor de desenvolvimento do cliente, enquanto o React sustenta toda a interface baseada em componentes.

²Ferramenta disponível em: <https://ufjf-gamelab.github.io/automata-world/> Código-fonte em: <https://github.com/ufjf-gamelab/automata-world>.

³Página do projeto: <https://bhvr.dev/>.

⁴Página do projeto: <https://bun.com/docs>

⁵Página do projeto: <https://hono.dev/>

⁶Página do projeto: <https://vite.dev/>

⁷Página do projeto: <https://react.dev/>

O cliente é estruturado em duas grandes responsabilidades: o editor e simulador de AFD, e o mundo 3D do jogo. O editor permite ao jogador construir graficamente um autômato, criando estados, definindo transições e associando ações a cada estado. A simulação processa a cadeia de entrada símbolo a símbolo: a cada transição consumida, o estado atual é destacado no grafo, e a ação associada ao estado de destino é despachada imediatamente ao mundo do jogo, de modo que o autômato e o personagem se movem em sincronismo. O mundo 3D é renderizado com React Three Fiber⁸, uma camada declarativa sobre o Three.js⁹ que permite compor a cena como componentes React, e complementado pela biblioteca Drei¹⁰, que fornece abstrações de câmera, iluminação e geometrias reutilizáveis. O mapa é composto por uma grade de ladrilhos que define o terreno percorrido pelo personagem conforme o autômato é executado.

O editor de autômato foi implementado com o auxílio das bibliotecas D3.js¹¹ e Dagre¹². OD3.js foi utilizado para a renderização e manipulação do grafo no canvas, enquanto o Dagre é responsável pelo algoritmo de layout automático que organiza os estados e arestas quando o jogador aciona o botão **Reorganizar**.

3.3 Avaliação

A avaliação da ferramenta foi conduzida por meio de um estudo de caso com estudantes dos cursos da área de computação, tanto com os que já cursaram as disciplinas de LFA, quanto os que não cursaram ainda. Para a coleta de dados, foi utilizado o Model for the Evaluation of Educational Games (MEEGA+), instrumento validado que avalia a qualidade de jogos educacionais considerando a usabilidade e a experiência do jogador (PETRI; WANGENHEIM; BORGATTO, 2019).

⁸Documentação disponível em: <https://r3f.docs.pmnd.rs/getting-started/introduction>.

⁹Documentação disponível em: <https://threejs.org/manual/>

¹⁰Documentação disponível em: <https://drei.docs.pmnd.rs/getting-started/introduction>

¹¹Documentação disponível em: <https://d3js.org/>.

¹²Repositório disponível em: <https://github.com/dagrejs/dagre>.

3.4 Uso de Inteligência Artificial no Desenvolvimento

Durante o desenvolvimento do AutomataWorld, o assistente de inteligência artificial Claude (Anthropic, 2024) foi utilizado como ferramenta de apoio à implementação. O uso se deu de forma diretiva. O autor definiu os requisitos, a arquitetura e as decisões do projeto, descrevendo à ferramenta o que deveria ser implementado e em qual contexto. O código gerado foi integralmente revisado, testado e integrado pelo autor, que manteve o controle sobre os rumos do desenvolvimento em todas as etapas. Entre as contribuições da ferramenta, destacam-se o auxílio na escrita de componentes React, na implementação da lógica de simulação do autômato e na resolução de problemas pontuais de implementação. A ferramenta não substituiu o processo de tomada de decisão no desenvolvimento, mas atuou como um recurso de produtividade, reduzindo o tempo dedicado a tarefas repetitivas e acelerando a prototipagem de soluções.

4 Desenvolvimento

Este capítulo descreve o desenvolvimento do AutomataWorld, relatando as decisões de projeto, a estrutura da ferramenta e a progressão pedagógica das fases implementadas. A apresentação segue a organização da interface: primeiro o editor de autômato e o mundo 3D como elementos centrais, depois a mecânica de simulação que os conecta, e por fim o planejamento das fases, o editor de mapas e a navegação entre fases.

4.1 Visão geral da ferramenta

O AutomataWorld é um jogo sério para navegador no qual o jogador controla um personagem em um mapa 3D por meio da construção e execução de um autômato. A interface é dividida em duas áreas principais que operam em conjunto: o editor de autômatos, onde o jogador constrói o grafo; e o mundo 3D, no qual o personagem executa as ações definidas pelas transições e estados do autômato.

A Figura 4.1 apresenta a interface principal da ferramenta. À esquerda, o painel de simulação exibe o campo de entrada da fita, o controle de velocidade e o botão de execução, e abaixo deles o grafo de autômato é construído pelo jogador. No exemplo, quatro estados estão conectados em sequência por transições rotuladas com o símbolo **A** e a ação de avançar. À direita, no mundo 3D temos o personagem posicionado sobre o ladrilho inicial do mapa, com a câmera em perspectiva 3D orbital, que permite rotacionar o ponto de vista ao redor do mapa mantendo a cena centralizada, e uma bússola de orientação no canto inferior direito.

A mecânica central do jogo é inspirada no LightBot (YAROSLAVSKI, 2008). Assim como naquele jogo o jogador monta uma sequência de comandos para guiar um robô por ladrilhos, no AutomataWorld o jogador constrói um AFD cujas transições determinam os movimentos do personagem, substituindo a programação imperativa por um modelo baseado em estados e reconhecimento de linguagem.

A ferramenta foi projetada para uso em computadores e pode ser acessada por

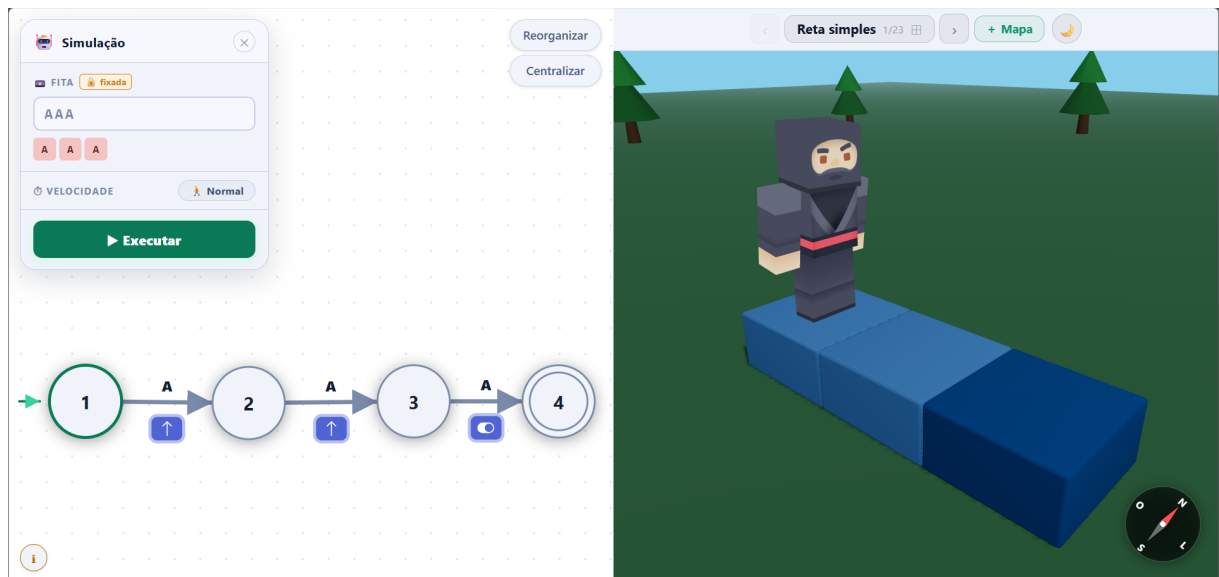


Figura 4.1: Interface principal: editor de autômato à esquerda e mundo 3D à direita.

qualquer navegador moderno sem necessidade de instalação. Em dispositivos móveis o acesso é possível, mas a experiência é limitada, pois a interface reúne simultaneamente o editor de autômatos, o painel de simulação e o mundo 3D, o que reduz significativamente o espaço disponível para cada área em telas menores, comprometendo a usabilidade. O uso em *desktop* é recomendado para uma experiência completa.

4.2 Editor de Autômato

O editor de autômato é a área na qual o jogador constrói o grafo que controla o personagem. Nele, os estados são representados como nós circulares e as transições como arestas direcionadas entre eles.

Quando o grafo está vazio, o primeiro estado é criado ao clicar em qualquer ponto da tela. A partir do segundo estado em diante, novos estados e transições são criados por meio de um menu de contexto exibido ao clicar sobre um estado existente: o jogador pode optar por adicionar um novo estado ao grafo ou por conectar o estado atual a outro já existente, criando uma transição entre eles. Em ambos os casos, um diálogo é exibido para definir o símbolo da fita e a ação do personagem associada àquela aresta. O estado inicial é identificado por uma seta de entrada e os estados finais por uma borda dupla. O jogador pode reorganizar o layout do grafo automaticamente pelo botão **Reorganizar** ou centralizá-lo na área de edição pelo botão **Centralizar**. A Figura 4.2 ilustra o editor

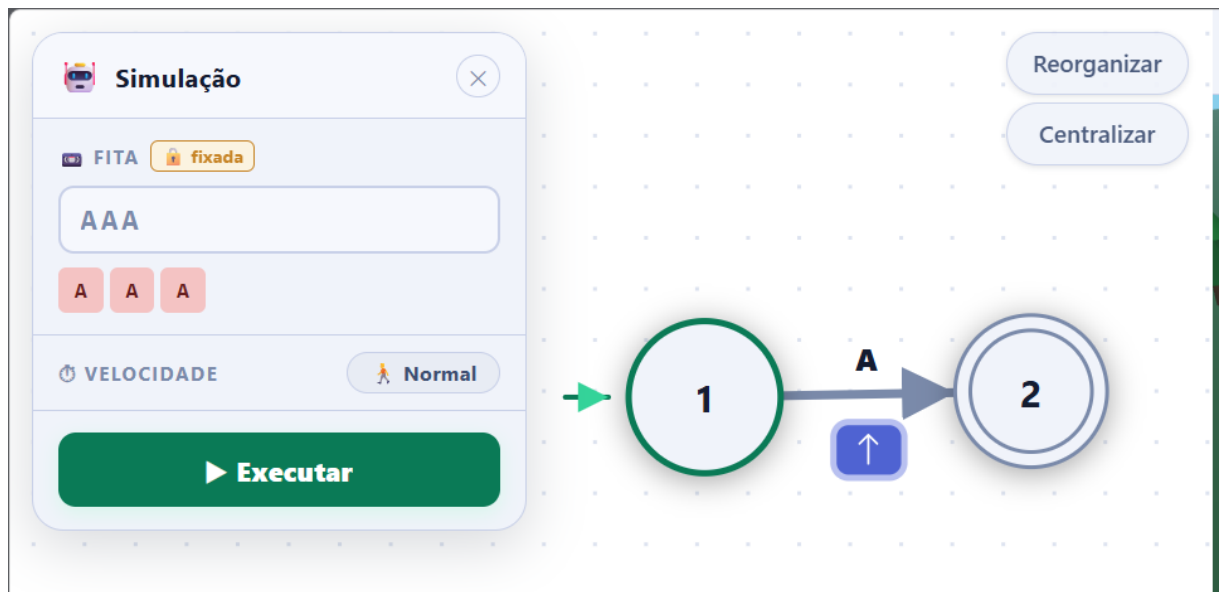


Figura 4.2: Editor de autômato com grafo montado: estado inicial (seta de entrada), estado final (borda dupla) e transição com símbolo e ação definidos.

com um grafo montado.

Cada fase impõe restrições sobre o que o jogador pode editar. Fases introdutórias podem bloquear a criação de novos estados, fixar o alfabeto disponível ou impedir a criação de laços (*self-loops*). Essas restrições vão sendo removidas ou adicionadas em várias combinações ao longo da progressão das fases.

4.3 Mundo 3D

O mundo 3D é composto por uma grade de ladrilhos que forma o mapa navegado pelo personagem. Cada ladrilho ocupa uma posição na grade e pode ter alturas diferentes, permitindo a construção de rampas e escadas. Distribuídos pelo mapa, há botões que o personagem deve acionar ao passar sobre eles. A fase é concluída quando todos os botões do mapa forem pressionados e o autômato tiver aceitado a cadeia de entrada.

Os comandos aceitos pelo personagem são associados às arestas do autômato e definem cada movimento executado durante a simulação. A Tabela 4.1 apresenta os comandos disponíveis e o símbolo exibido nas arestas do grafo. A Figura 4.3 apresenta o mundo 3D com o personagem e os botões distribuídos pelo mapa, identificados pelos elementos em azul escuro sobre os ladrilhos.

Caso o autômato rejeite a cadeia, por o estado final não ser atingido ao término

Tabela 4.1: Comandos disponíveis no AutomataWorld

Símbolo	Descrição
↑	Avançar para o ladrilho à frente
↶	Girar 90° à esquerda
↷	Girar 90° à direita
⇧	Pular para um ladrilho um nível acima
●	Pressionar o botão na posição atual

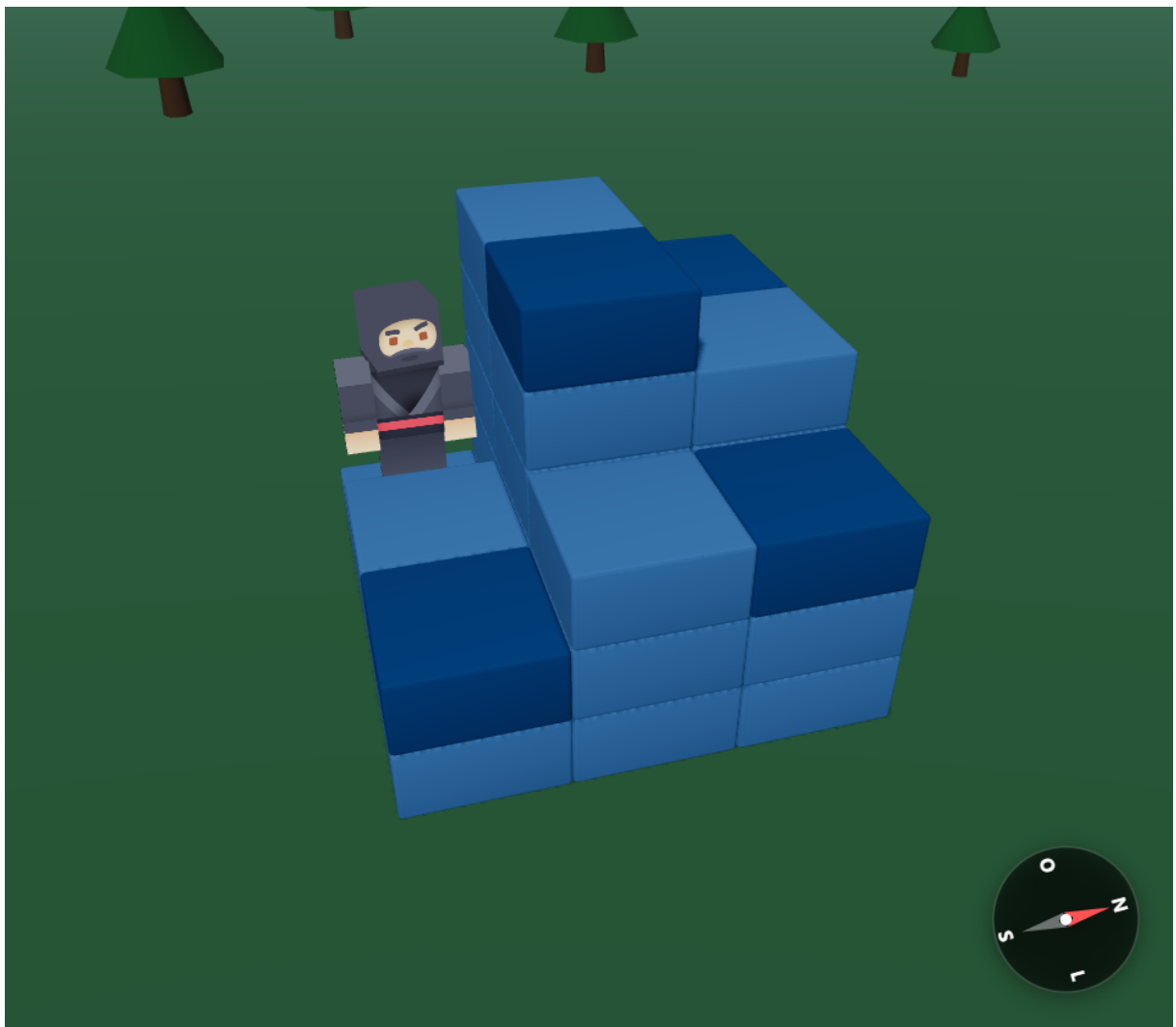
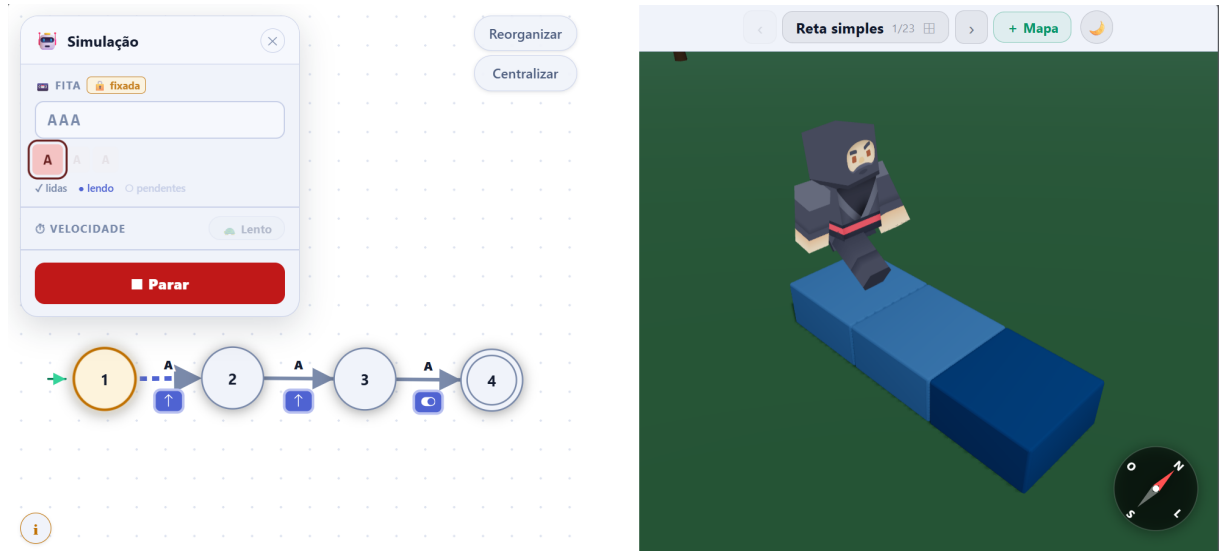


Figura 4.3: Mundo 3D com o personagem sobre um ladrilho, botões distribuídos no mapa e a bússola de orientação no canto inferior direito.



(a) Estado atual destacado no grafo durante a simulação.

(b) Personagem executando a ação correspondente no mapa.

Figura 4.4: Execução sincronizada: o grafo e o mundo 3D avançam juntos a cada símbolo consumido.

da fita, a execução encerra sem sucesso e o jogador pode revisar o autômato e tentar novamente.

4.4 Mecânica de Simulação

Ao acionar o botão **Executar**, a ferramenta processa a fita de entrada, símbolo a símbolo. A cada passo, o estado atual é destacado no grafo e a ação associada à transição consumida é despachada ao mundo 3D, que executa o movimento do personagem em tempo real. O processo se repete até que todos os símbolos da fita sejam consumidos.

A Figura 4.4 ilustra um momento da execução: o estado atual destacado no grafo e o personagem executando a ação correspondente no mapa simultaneamente.

O jogador pode ajustar a velocidade da simulação antes de executá-la, o que permite acompanhar cada transição com mais calma nas fases introdutórias ou acelerar a verificação nas fases mais avançadas, quando já estiver entendendo melhor como as transições estão acontecendo.

4.5 Editor de Mapas

O editor de mapas é acessado pelo botão + **Mapa** na barra superior do mundo 3D e permite criar fases personalizadas para uso no modo *sandbox*. Ele é organizado em 5 abas: Mapa; Jogador; Permissões; Autômato; e Fita.

Na aba **Mapa**, o criador desenha o terreno clicando nas células de uma grade. Antes de clicar, seleciona o tipo de bloco a ser pintado: ladrilho comum, pelo qual o personagem pode caminhar; botão, o que o personagem precisa ativar a fim de buscar a conclusão da fase; ou apagar, que remove o bloco daquela posição. Cada célula também possui uma altura configurável de 1 a 5, sendo que os ladrilhos mais altos exigem o comando de pular para serem acessados a partir de um nível inferior. Esse intervalo foi definido para manter a clareza visual do mapa e evitar que diferenças de nível muito elevadas dificultem a orientação do personagem na perspectiva 3D. O tamanho da grade pode ser ajustado pelo número de linhas e colunas. A posição inicial do personagem é definida clicando no botão **Posição do jogador** e em seguida em qualquer ladrilho da grade, que fica destacado em amarelo.

A Figura 4.5 apresenta a aba Mapa com a grade de ladrilhos e os controles de tipo e altura.

Na aba **Jogador**, é definida a direção inicial do personagem ao entrar na fase: norte, sul, leste ou oeste. A Figura 4.6 apresenta a aba Jogador com as opções de direção inicial.

Na aba **Permissões**, o criador configura restrições que limitam o que o jogador pode fazer ao construir o autômato, entre elas: impedir de criar laços; limitar o número máximo de estados; restringir os símbolos permitidos nas transições; ou ocultar comandos de movimento específicos. Essas restrições são as mesmas aplicadas nas fases fornecidas com o jogo para direcionar o aprendizado de conceitos específicos. A Figura 4.7 apresenta as restrições pedagógicas configuráveis na aba Permissões.

Na aba **Autômato**, é possível definir um autômato pré-montado que aparece quando o jogador entra na fase, com estados, transições, marcação do estado inicial e final e ações associadas. Deixando essa aba vazia, o jogador constrói o autômato do zero. Na aba **Fita**, escolhe-se entre fita livre, na qual o jogador digita qualquer palavra no

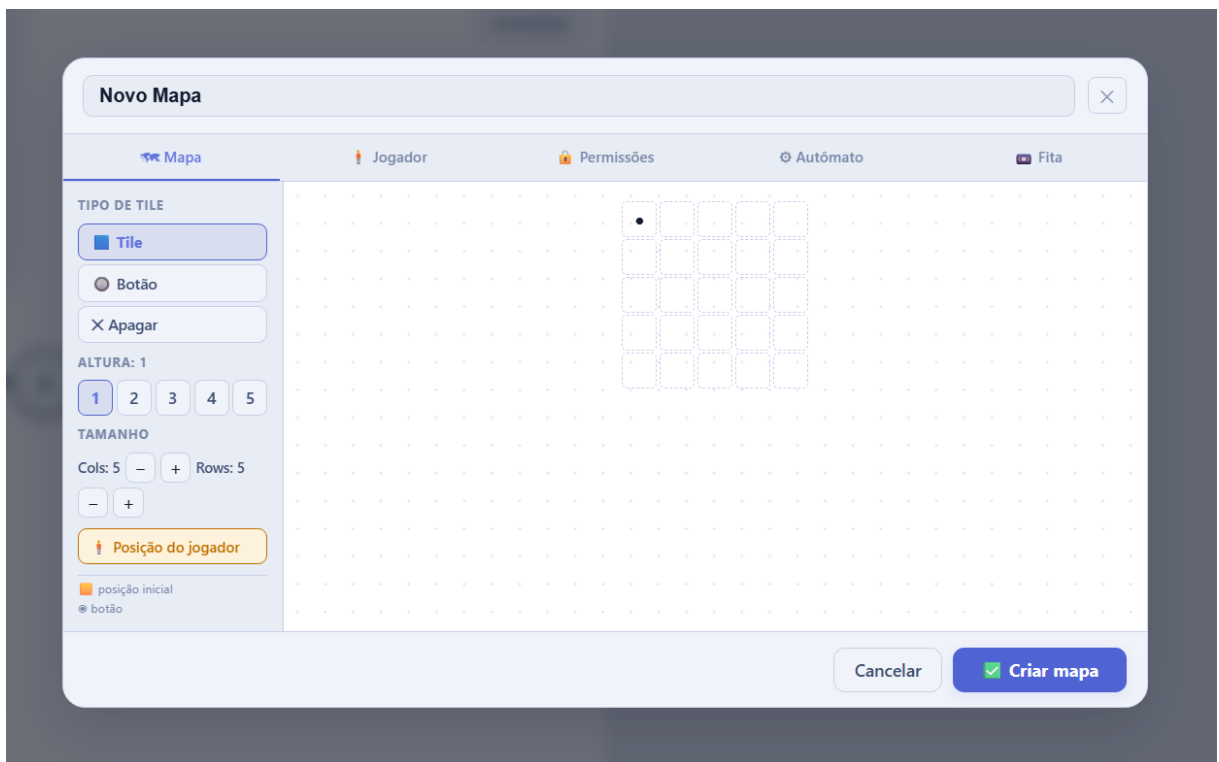


Figura 4.5: Editor de mapas, aba Mapa: grade de ladrilhos, seletor de tipo e controle de altura.

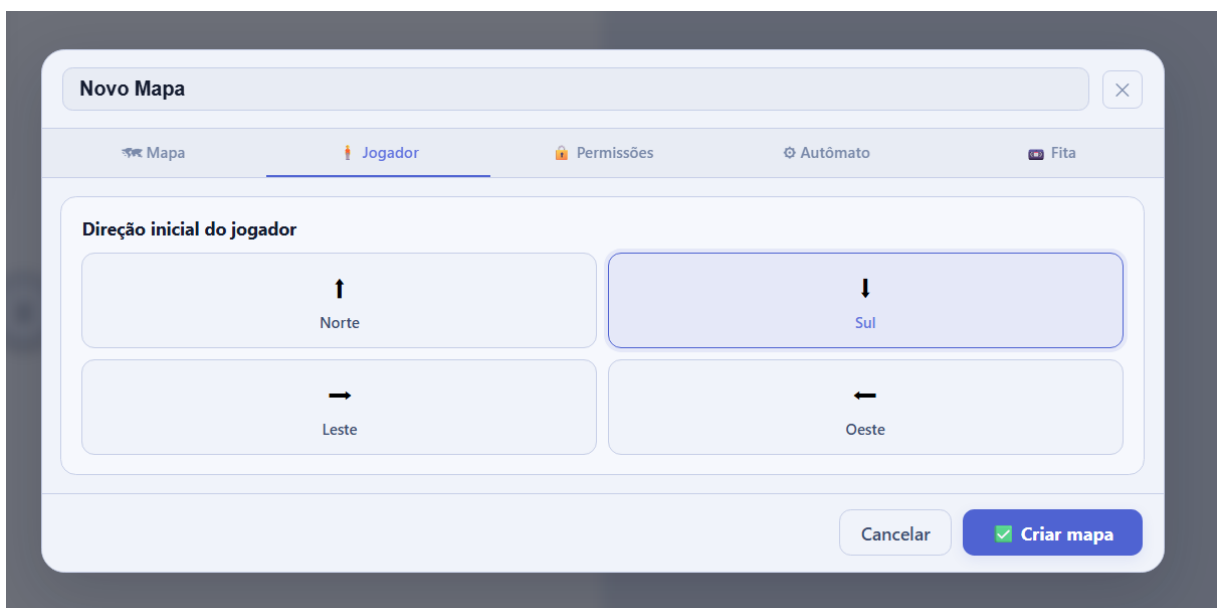


Figura 4.6: Editor de mapas, aba Jogador: seleção da direção inicial do personagem.

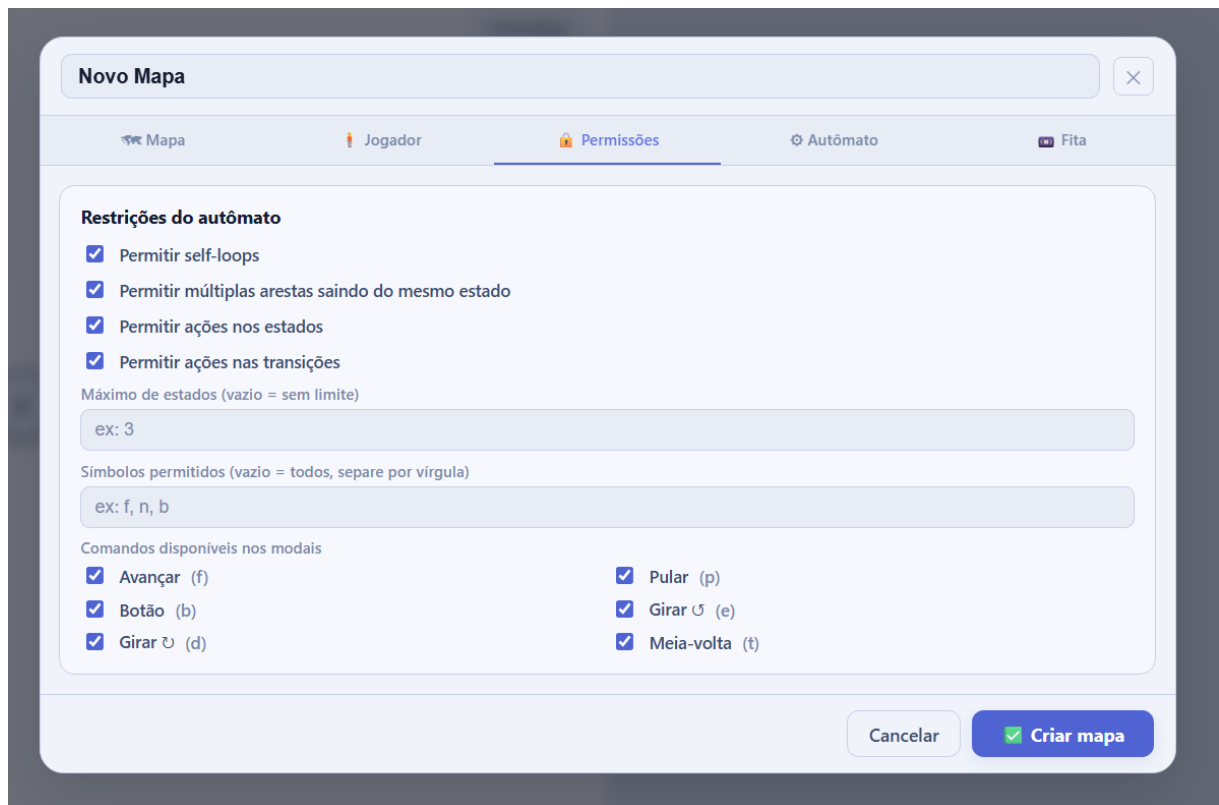


Figura 4.7: Editor de mapas, aba Permissões: restrições pedagógicas configuráveis para o autômato.

painel de simulação, e fita fixada, que define uma palavra que o jogador não pode alterar, forçando um percurso específico pelo mapa.

A Figura 4.8 apresenta a aba Autômato com os campos de definição do autômato pré-montado.

A Figura 4.9 apresenta as opções de fita livre e fita fixada na aba Fita.

4.6 Seleção de fases

A navegação entre fases é feita por uma barra posicionada acima do mundo 3D. O jogador pode avançar ou recuar entre fases pelos botões laterais ou abrir um diálogo de grade que exhibe todas as fases disponíveis, agrupadas entre fases oficiais e mapas criados no modo *sandbox*.

A Figura 4.10 apresenta o diálogo de seleção com as fases oficiais e os mapas personalizados.

Novo Mapa

Mapa Jogador Permissões **Autômato** Fita

Estados e transições que já estarão no canvas ao entrar. Deixe vazio para o aluno construir do zero.

Estados

ID Label Ação — nenhuma —

☐ Inicial ☐ Final + Adicionar estado

Transições

De (id) Para (id) Símbolo Ação — nenhuma —

+ Adicionar transição

Cancelar Criar mapa

Figura 4.8: Editor de mapas, aba Autômato: definição do autômato pré-montado da fase.

Novo Mapa

Mapa Jogador Permissões Autômato **Fita**

Fita de entrada

☐ Fixar a fita (aluno não pode editar)

Sugestão inicial (aluno pode alterar)

ex: FNFB

Cancelar Criar mapa

Figura 4.9: Editor de mapas, aba Fita: escolha entre fita livre e fita fixada.

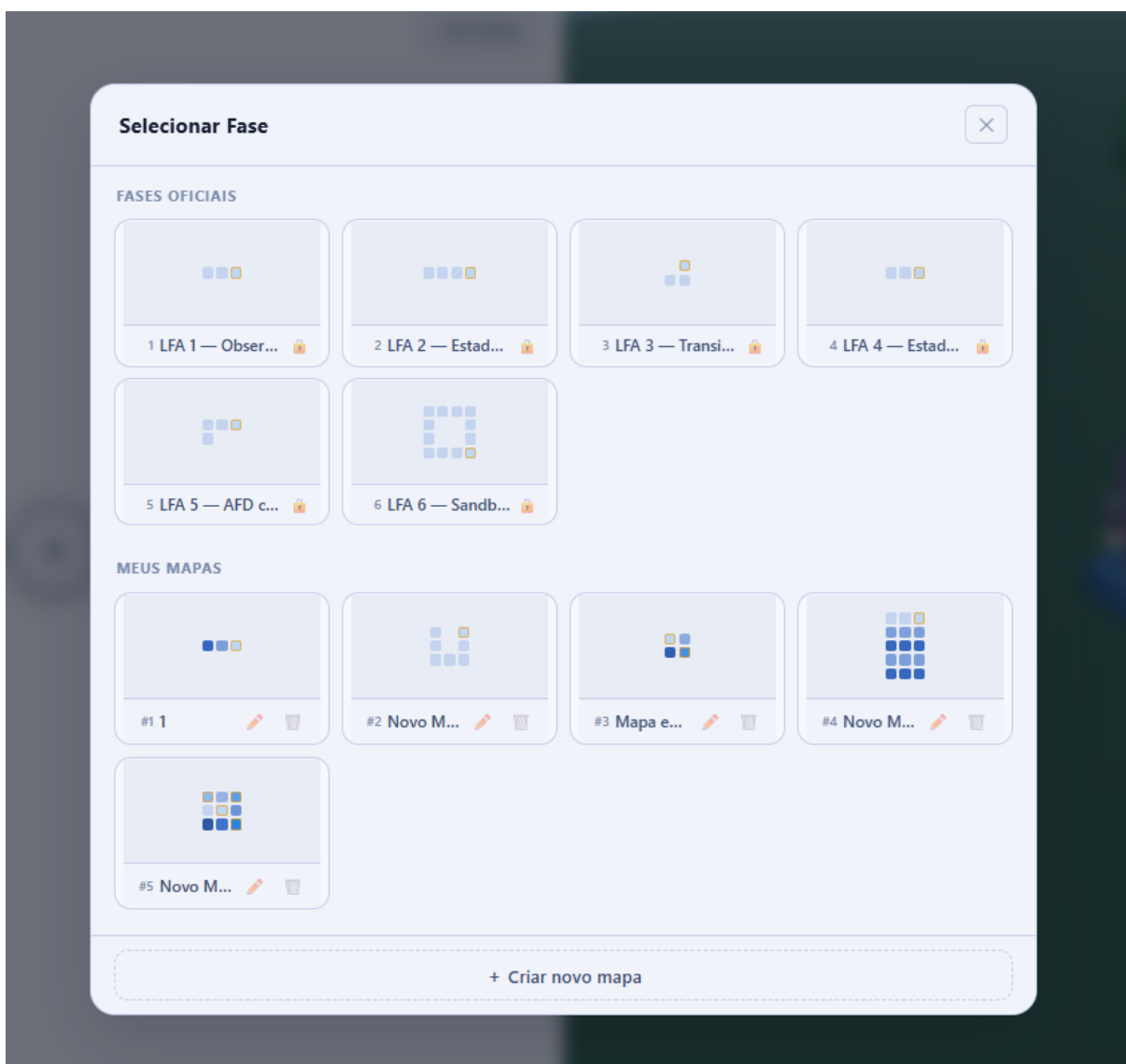


Figura 4.10: diálogo de seleção de fases com miniaturas das fases oficiais e dos mapas personalizados.

4.7 Planejamento das Fases

As fases foram planejadas em progressão pedagógica, de modo que cada uma introduza um novo elemento do AFD sobre os conceitos já apresentados nas anteriores. A primeira fase, de observação, apresenta o autômato pré-montado para que o jogador observe o funcionamento dos estados, transições e estado final sem precisar construir nada. A segunda fase isola o conceito de estado inicial: estados e transições já estão criados e o jogador deve apenas definir q_0 para que a execução seja possível. A terceira fase introduz a função de transição δ , fornecendo os estados prontos e exigindo que o jogador crie as arestas entre eles. A quarta fase acrescenta o conceito de estado de aceitação (o autômato está montado com estados e transições, mas nenhum estado final definido) e o jogador deve marcar F corretamente. A quinta fase é a síntese da progressão, exigindo que o jogador construa o AFD inteiro do zero, aplicando de forma integrada todos os elementos da quintupla $M = (Q, \Sigma, \delta, q_0, F)$. Por fim, o modo *sandbox* remove todas as restrições e permite que o jogador crie seus próprios mapas e experimente livremente.

4.8 Tutoriais

Fases que possuem tutoriais definidos, a princípio apenas as nativas do jogo os possuem, exibem automaticamente um diálogo ao serem carregadas, inclusive ao retornar a uma fase já visitada. Não há uma opção para desativar, pois o sistema verifica a presença do tutorial nas predefinições da fase e, se existir, o diálogo é exibido antes do início da simulação.

O diálogo apresenta um passo por vez. Cada passo é composto por uma imagem em proporção 16:9 na parte superior e um texto explicativo em um balão de fala abaixo, com suporte a negrito por meio da sintaxe ****palavra****. O progresso é indicado por marcadores na base do balão e também é mostrado no canto superior esquerdo do diálogo qual o número do passo atual. O jogador avança com o botão **Próximo**. No último passo, este botão se transforma em “vamos lá!” e, ao ser acionado, fecha o diálogo e inicia a fase. A volta para o passo anterior é realizada usando o botão **Anterior**, que permanece desabilitado no primeiro passo. Um botão de fechar no canto superior direito

dá a possibilidade de encerrar o tutorial a qualquer momento.

A Figura 4.11 apresenta o modal de tutorial com a imagem ilustrativa, o balão de texto e os controles de navegação.

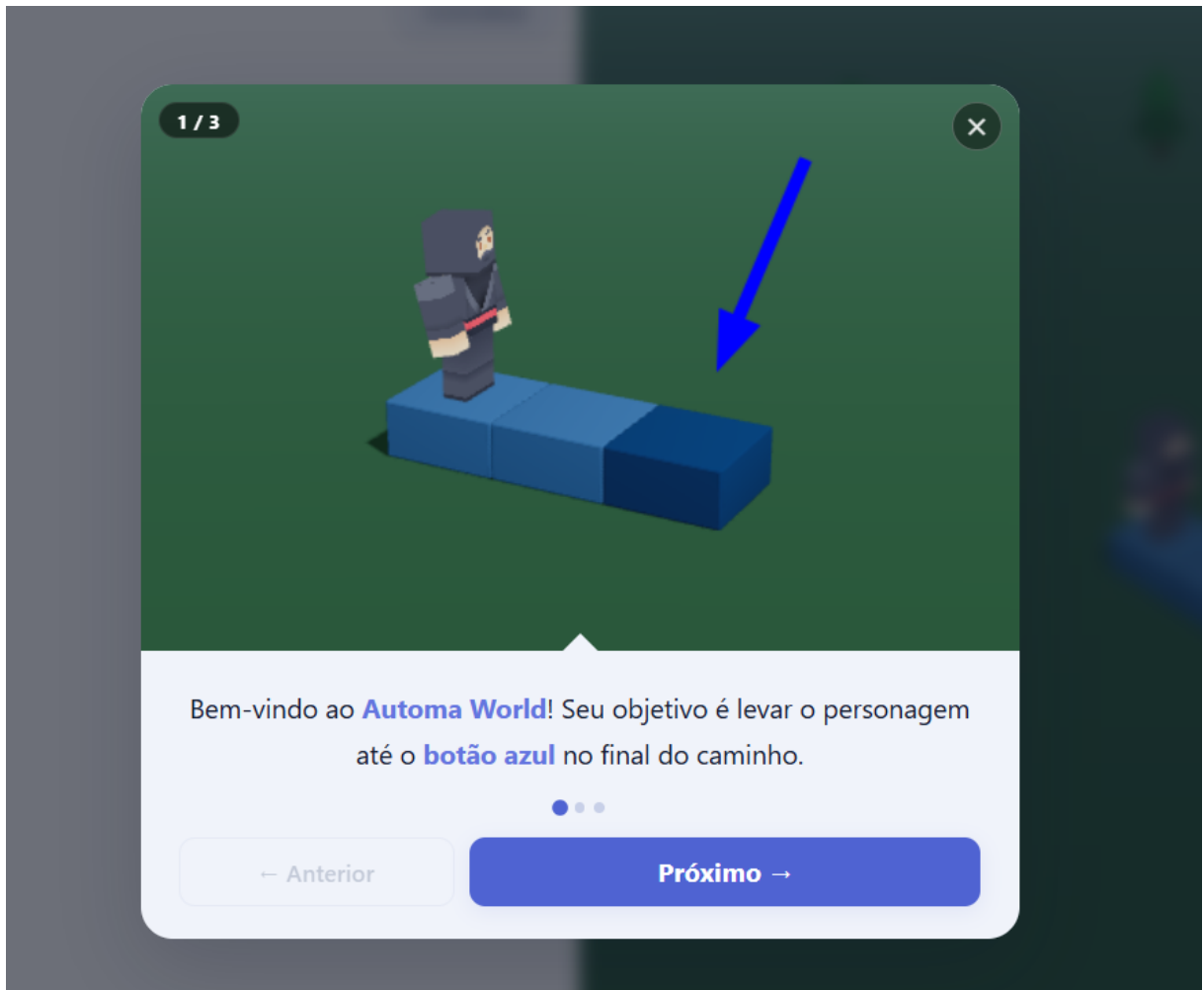


Figura 4.11: diálogo de tutorial: imagem ilustrativa, balão de texto e controles de navegação entre passos.

5 Avaliação com o MEEGA+

O estudo de caso foi conduzido com voluntários, entre estudantes e egressos de cursos da área da Computação, contatados por terem cursado a disciplina de LFA ou por fazerem parte do grupo de mensagens de alunos e ex-alunos do Departamento de Ciência da Computação da UFJF. Entre os dias 23 e 30 de Junho, foram constatados 20 participantes que responderam ao convite e preencheram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e o formulário de avaliação (Apêndice A). Entre os participantes, 14 já haviam concluído a disciplina de LFA e 6 ainda não a haviam cursado. Quanto ao conhecimento prévio sobre Autômatos Finitos, 9 declararam ter conhecimento básico, 7 intermediário, 2 avançado e 2 nenhum conhecimento. A maioria utilizou a ferramenta pelo computador (16 participantes) e 4 acessaram via *smartphones*. Os dados foram coletados por meio do formulário descrito no Capítulo 3, com respostas em escala Likert de 5 pontos.

5.1 Estética

A seção Estética avalia aspectos visuais da interface. A Figura 5.1 apresenta os resultados. Todos os participantes avaliaram positivamente o visual do jogo, com 95% concordando totalmente que o visual é agradável e 100% concordando totalmente que o painel e o mundo 3D estão bem organizados na tela (média 5,00). Os símbolos nas arestas dos autômatos e o tamanho dos elementos também obtiveram avaliações muito positivas, indicando que as escolhas visuais da interface foram bem recebidas.

5.2 Aprendizibilidade

A seção Aprendizibilidade avalia a facilidade de aprender a jogar. A Figura 5.2 apresenta os resultados. Ambas as questões obtiveram média 4,60, com pelo menos 85% dos participantes respondendo positivamente, indicando que o jogo é acessível mesmo para quem não tem familiaridade prévia com a construção de autômatos.

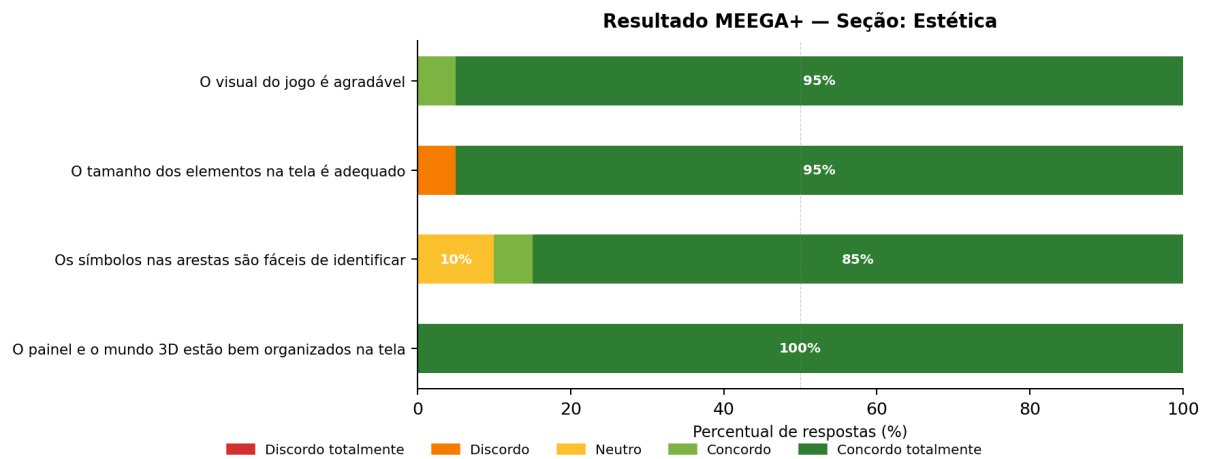


Figura 5.1: Resultado MEEGA+, Seção: Estética.

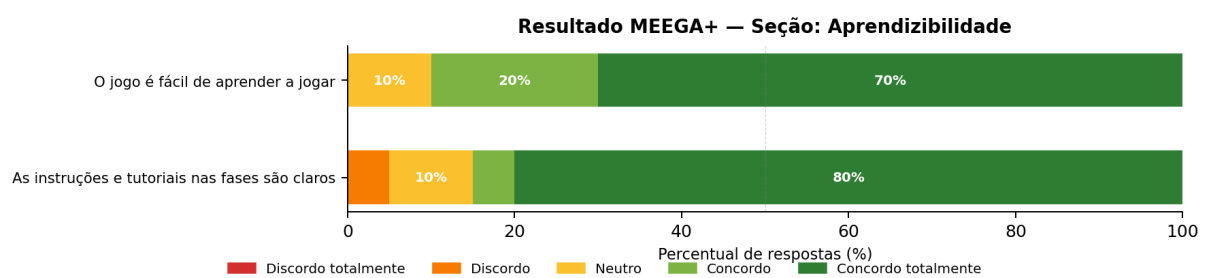


Figura 5.2: Resultado MEEGA+, Seção:Aprendizabilidade.

5.3 Operabilidade

A seção Operabilidade avalia a clareza da interface e a compreensão dos objetivos. A Figura 5.3 apresenta os resultados. A intuitividade da interface (média 4,55) e a clareza sobre o que fazer em cada fase (média 4,65) obtiveram avaliações positivas, sugerindo que a progressão de fases e os tutoriais cumprem seu papel de orientar o jogador.

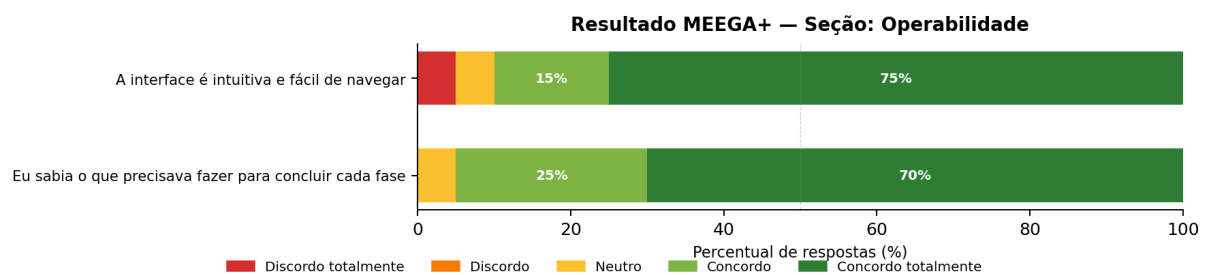


Figura 5.3: Resultado MEEGA+, Seção: Operabilidade.

5.4 Acessibilidade

A seção Acessibilidade avalia o desempenho técnico da ferramenta. A Figura 5.4 apresenta os resultados. O funcionamento sem travamentos (média 4,75) e a fluidez das animações (média 4,70) foram bem avaliados. A velocidade de simulação (média 4,20) obteve a menor avaliação da seção, o que é consistente com comentários dos participantes que sugeriram aumentar a velocidade máxima e manter a velocidade selecionada ao trocar de fase.

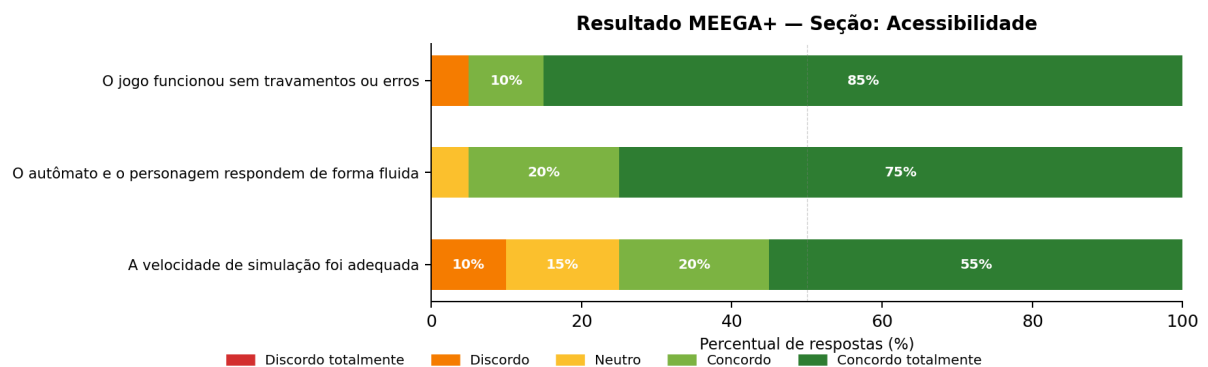


Figura 5.4: Resultado MEEGA+, Seção: Acessibilidade.

5.5 Confiança

A seção Confiança avalia se o jogo transmite segurança ao jogador para aprender e progredir. A Figura 5.5 apresenta os resultados. A confiança na construção dos autômatos (média 4,75) e a suficiência dos tutoriais (média 4,70) obtiveram avaliações positivas, indicando que a progressão pedagógica das fases contribui para que o jogador se sinta seguro ao avançar no jogo.

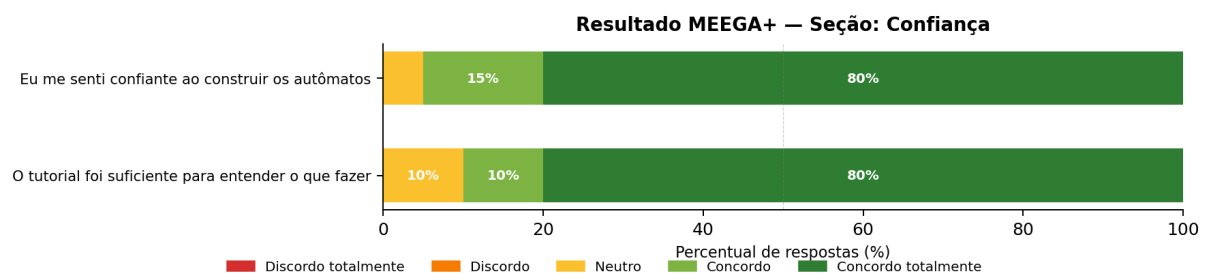


Figura 5.5: Resultado MEEGA+, Seção: Confiança.

5.6 Desafio

A seção Desafio avalia se o jogo é adequadamente desafiador. A Figura 5.6 apresenta os resultados. O nível de dificuldade das fases (média 4,65) foi bem avaliado, com 95% de respostas positivas. A questão sobre frustração (média 4,45) apresentou algumas respostas neutras e negativas, o que é esperado em um jogo com progressão de dificuldade e indica que alguns participantes encontraram desafios que exigiram mais tentativas.

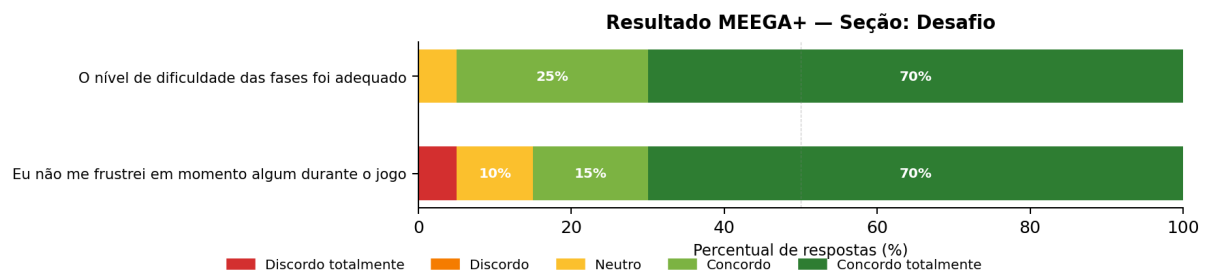


Figura 5.6: Resultado MEEGA+, Seção: Desafio.

5.7 Satisfação

A seção Satisfação avalia o sentimento de realização e a disposição em recomendar o jogo. A Figura 5.7 apresenta os resultados. A recomendação a outros estudantes (média 4,9) foi a questão mais bem avaliada da seção, com 95% de respostas positivas. A disposição em continuar usando o jogo para estudar (média 4,30) apresentou a menor avaliação da seção, o que pode estar relacionado ao fato de parte dos estudantes já ter cursado a disciplina de LFA e, portanto, perceber menor necessidade de retornar à ferramenta para estudo.

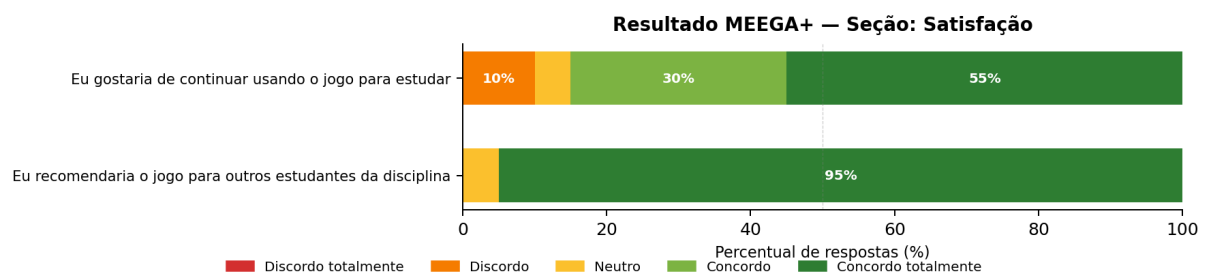


Figura 5.7: Resultado MEEGA+, Seção: Satisfação.

5.8 Diversão

A seção Diversão avalia o engajamento e a experiência lúdica. A Figura 5.8 apresenta os resultados. O envolvimento durante o jogo (média 4,55) e a diversão (média 4,35) obtiveram avaliações positivas, com pelo menos 85% dos participantes concordando. A seção obteve a menor média entre as de Experiência do Jogador (4,45), o que pode refletir o caráter mais educacional do que puramente lúdico da ferramenta ou o estilo Lightbot não ser novidade ou desafiador para alunos em estágio avançado do curso.

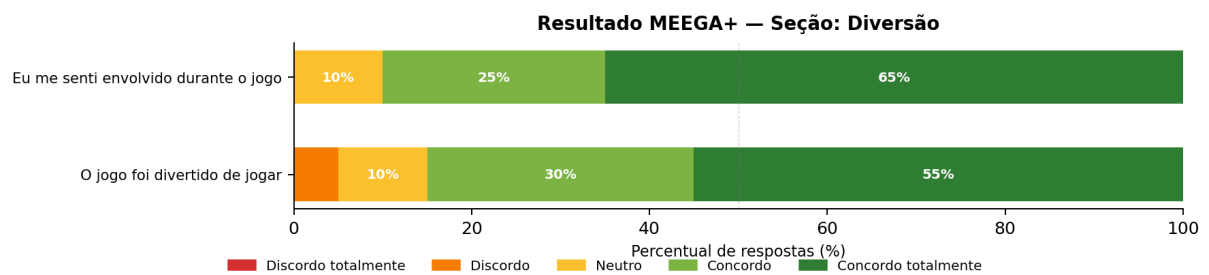


Figura 5.8: Resultado MEEGA+, Seção: Diversão.

5.9 Atenção Focada

A seção Atenção Focada avalia se o jogo mantém a atenção do jogador voltada ao conteúdo. Ambas as questões obtiveram médias superiores a 4,70, com destaque para a clareza da relação entre o autômato e o personagem (média 4,85) com 95% de concordância. Estes resultados dão indícios para a associação visual entre o grafo e o mundo 3D durante a simulação. A Figura 5.9 apresenta os resultados.

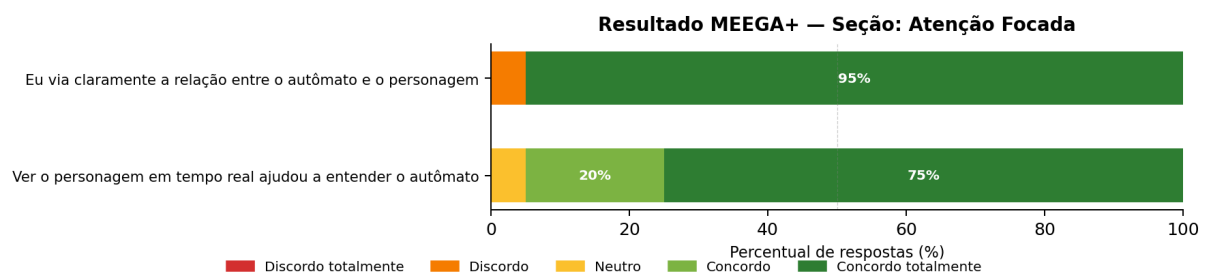


Figura 5.9: Resultado MEEGA+, Seção: Atenção Focada.

5.10 Relevância

A seção Relevância avalia se o conteúdo do jogo é percebido como útil e bem estruturado. A Figura 5.10 apresenta os resultados. A apresentação progressiva dos conceitos (média 4,95) e a sequência de fases como caminho de aprendizagem (média 4,95) obtiveram as maiores avaliações, com 100% de respostas positivas. O modo *sandbox* (média 4,10) obteve a menor avaliação da seção, o que pode refletir o tempo limitado de uso durante o estudo de caso, insuficiente para uma exploração mais aprofundada do modo livre.

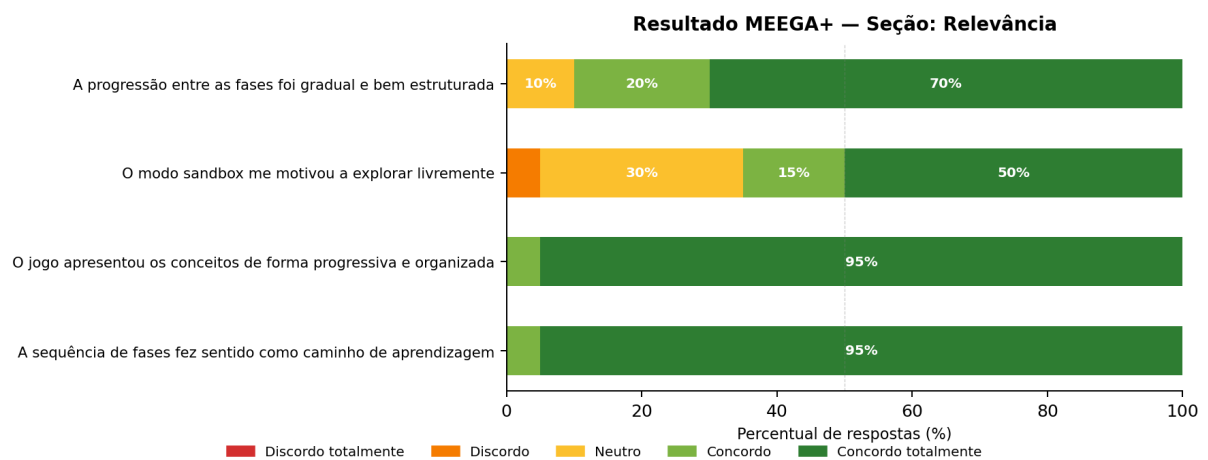


Figura 5.10: Resultado MEEGA+, Seção: Relevância.

5.11 Percepção de Aprendizagem

A seção Percepção de Aprendizagem avalia se os participantes acreditam que o jogo contribuiu para sua compreensão dos conceitos de LFA. A compreensão do estado inicial (média 4,65) e do processamento da cadeia símbolo a símbolo (média 4,65) foram as questões mais bem avaliadas. O conceito de estado de aceitação (média 4,30) e o conceito de estado (média 4,30) obtiveram as menores médias, ainda assim positivas. Esses resultados sugerem que conceitos com efeito direto e imediato na execução do jogo são mais facilmente assimilados do que conceitos mais abstratos. A Figura 5.11 apresenta os resultados desta seção.

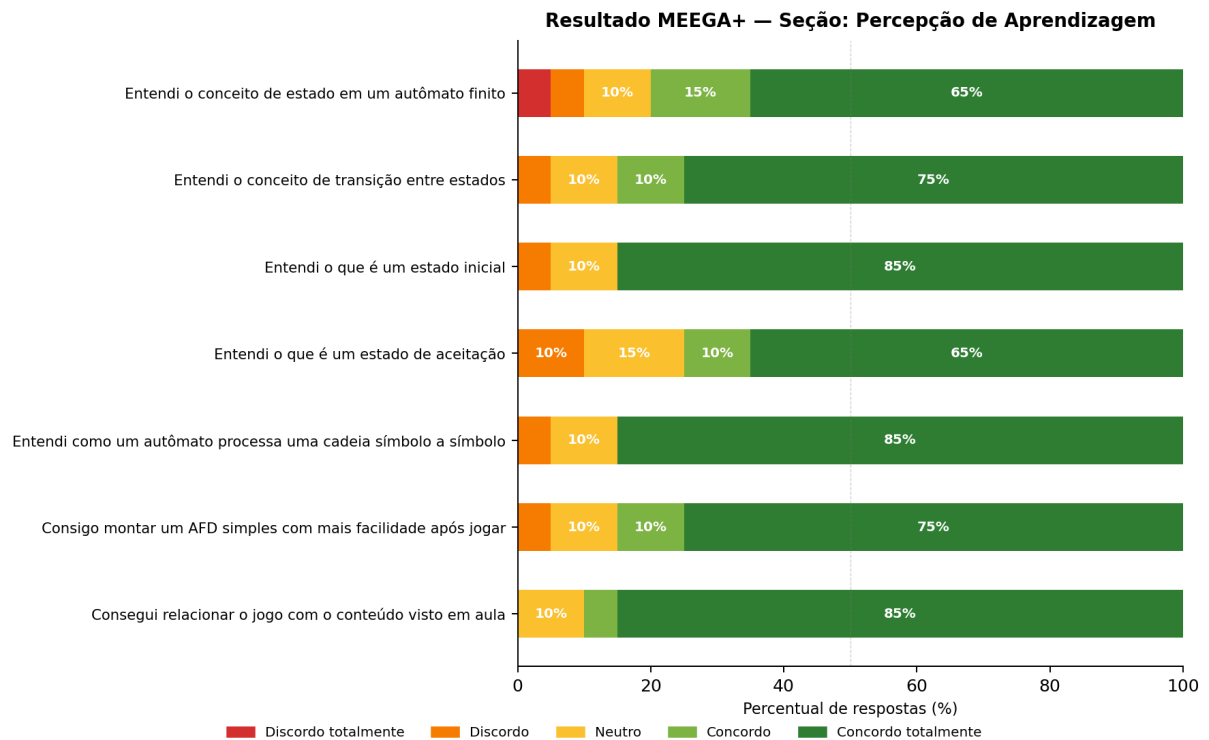


Figura 5.11: Resultado MEEGA+, Seção: Percepção de Aprendizagem.

5.12 Síntese dos Resultados

De forma geral, os resultados do estudo de caso indicam uma avaliação positiva do AutomataWorld em todas as dimensões do MEEGA+. As médias por seção variaram entre 4,45 (Diversão) e 4,89 (Estética), com destaque para a Relevância (4,65) e a Atenção Focada (4,78), validando a sincronização visual entre o autômato e o mundo 3D como elemento central da proposta pedagógica. A seção de Percepção de Aprendizagem (média 4,54) sugere que os participantes perceberam contribuição do jogo para a compreensão dos conceitos de LFA, com maior facilidade de assimilação nos conceitos com efeito direto e imediato na execução, como estado inicial e processamento da cadeia. Os comentários qualitativos reforçaram os achados quantitativos, com elogios à visualização em tempo real e sugestões concentradas no controle de velocidade da simulação e na experiência em dispositivos móveis, pontos que orientam os trabalhos futuros descritos no próximo capítulo.

6 Considerações Finais

Este trabalho apresentou o desenvolvimento do AutomataWorld, um jogo sério para navegador que associa a execução visual de um Autômato Finito Determinístico (AFD) a mecânicas de jogo em um ambiente 3D. O objetivo central foi contribuir para o engajamento e a percepção de aprendizagem de alunos na disciplina de Linguagens Formais e Autômatos.

Em relação aos objetivos específicos, o ambiente de execução visual de AFDs integrado a mecânicas de jogo foi desenvolvido e está disponível para acesso via navegador, sem necessidade de instalação. A sequência de fases foi implementada com progressão pedagógica, introduzindo gradualmente os conceitos de estado inicial, função de transição, estados de aceitação e a construção completa de um AFD. O modo *sandbox* foi disponibilizado com um editor de mapas que permite ao jogador criar e salvar fases personalizadas. O quarto objetivo, referente à avaliação do impacto da ferramenta, foi cumprido parcialmente por meio de um estudo de caso com 20 participantes utilizando o MEEGA+, cujos resultados foram positivos em todas as dimensões avaliadas, com destaque para a estética e a relevância dos conceitos apresentados, e indicaram que a sincronização entre o autômato construído e o movimento do personagem contribuiu efetivamente para a compreensão dos elementos do AFD. Entretanto, estudos subsequentes devem ser realizados para aumentar o número da amostra e testar o uso com alunos durante as turmas em curso.

Entre as limitações identificadas, destaca-se que a interface foi projetada prioritariamente para uso em computadores, com usabilidade reduzida em dispositivos móveis. Os participantes foram analisados de forma conjunta, independentemente de já terem cursado ou não a disciplina de LFA, pois o objetivo do estudo foi avaliar a qualidade do jogo e a percepção de aprendizagem em termos gerais — uma análise comparativa entre os dois grupos constituiria uma investigação mais aprofundada. Além disso, a ferramenta cobre apenas AFDs, não contemplando outros modelos da hierarquia de Chomsky, o que restringe seu uso a uma parte do conteúdo da disciplina. A avaliação também contou

com uma amostra reduzida e de conveniência, o que limita a generalização dos resultados obtidos.

Como trabalhos futuros, propõe-se a ampliação do conjunto de fases com novos mapas e conceitos, o suporte a outros modelos de autômatos, novas formas de interação entre o autômato e o mundo 3D por meio de mecânicas adicionais, e a melhoria da experiência em dispositivos móveis, que foi apontada tanto na avaliação técnica quanto nos comentários dos participantes do estudo de caso. A disponibilização da ferramenta como recurso aberto também abre espaço para que outros docentes criem e suas próprias fases por meio do editor de mapas. Atualmente os mapas são armazenados localmente no navegador do usuário, de modo que o compartilhamento entre docentes se dá por meio da exportação e importação manual dos arquivos de configuração, uma infraestrutura de compartilhamento centralizado constitui uma das direções para trabalhos futuros.

O AutomataWorld insere-se em uma tendência crescente de uso de jogos sérios no ensino de Computação, contribuindo com uma abordagem que combina a visualização de autômatos em execução, progressão pedagógica estruturada e experimentação livre em um único ambiente acessível pela *web*.

Bibliografia

Anthropic. *Claude: AI Assistant*. 2024. Disponível em: [⟨https://www.anthropic.com⟩](https://www.anthropic.com).

CARVALHO, F.; JUNIOR, M. C.; COSTA, Y. Jogos educativos no ensino de autômato finito determinístico: Um estudo de caso com o jogo a factory disaster. In: *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2021. p. 472–478. ISSN 0000-0000. Disponível em: [⟨https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/19680⟩](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/19680).

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, 2017. Disponível em: [⟨http://www.cdi.uneb.br/site/wp-content/uploads/2017/09/TESE-ISA-COUTINHO-2017.pdf⟩](http://www.cdi.uneb.br/site/wp-content/uploads/2017/09/TESE-ISA-COUTINHO-2017.pdf).

DHATSUWAN, A.; PRECHARATTANA, M. Blockyland: A cellular automata-based game to enhance logical thinking. *Simulation and Gaming*, v. 47, n. 4, p. 445 – 464, 2016. Cited by: 9. Disponível em: [⟨https://www.scopus.com/pages/publications/84977507462⟩](https://www.scopus.com/pages/publications/84977507462).

PARISI, T. *WebGL: Up and Running*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2012.

PETRI, G.; WANGENHEIM, C. G. V.; BORGATTO, A. F. Meega+: Um modelo para a avaliação de jogos educacionais para o ensino de computação. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 27, n. 03, p. 52–81, 2019.

RIBEIRO, E. et al. Simplification game: Um jogo educativo para ensino de simplificação de gramática livre de contexto. In: *Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2022. p. 907–917. ISSN 0000-0000. Disponível em: [⟨https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/23728⟩](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/23728).

SANTANA, G. et al. Turing machine game simulator: Um jogo educativo para ensino de máquina de turing. In: *Anais Estendidos do XXI Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2022. p. 896–906. ISSN 0000-0000. Disponível em: [⟨https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/23727⟩](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/23727).

SIPSER, M. *Introduction to the Theory of Computation*. 3rd. ed. Boston, MA: Cengage Learning, 2012.

TOMIZAWA, M.; JUNIOR, M. C. Automata toy factory: Um jogo educativo para ensino de autômato com pilha. In: *Anais Estendidos do XX Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2021. p. 389–397. ISSN 0000-0000. Disponível em: [⟨https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/19671⟩](https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/19671).

VIEIRA, M.; SARINHO, V. Máquina de senhas: um jogo digital para o aprendizado da teoria dos autômatos. In: *Anais da XIX Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe*. Porto Alegre, RS, Brasil: SBC, 2019. p. 54–59. ISSN 0000-0000. Disponível em: [⟨https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/view/8954⟩](https://sol.sbc.org.br/index.php/erbase/article/view/8954).

WILKINSON, P. A brief history of serious games. In: SPRINGER. *Entertainment Computing and Serious Games: International GI-Dagstuhl Seminar 15283, Dagstuhl Castle, Germany, July 5-10, 2015, Revised Selected Papers*. [S.l.], 2016. p. 17–41.

YAROSLAVSKI, D. *Lightbot: Programming Puzzles*. 2008. Disponível em: [⟨https://lightbot.com⟩](https://lightbot.com).

A Formulário de Avaliação

TCC AutomataWorld - Formulário de Opinião

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Você está sendo convidado(a) a participar da pesquisa "Jogo online para auxílio no ensino de Linguagens Formais e Autômatos", desenvolvida por Deiverson Mourão Alves Pedroso, aluno do curso de Bacharelado em Sistemas de Informação da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), sob orientação do Prof. Igor de Oliveira Knop e do Prof. Ciro de Barros Barbosa.

O objetivo desta pesquisa é avaliar a qualidade e o potencial educacional de um jogo sério desenvolvido para o ensino de Linguagens Formais e Autômatos. Sua participação consiste em jogar o AutomataWorld e responder este questionário, o que deve levar entre 15 e 30 minutos.

Não há respostas certas ou erradas. Suas respostas são anônimas e serão utilizadas exclusivamente para fins acadêmicos. A participação é voluntária e você pode desistir a qualquer momento sem qualquer prejuízo.

O jogo pode ser acessado em: [Automata World](#)

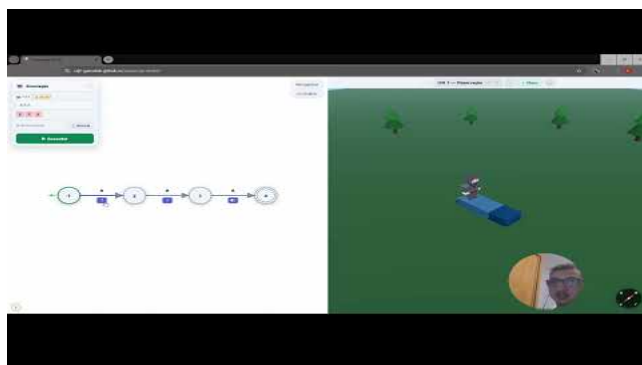
Como jogar: ao abrir o jogo, siga as instruções apresentadas na tela. Cada fase possui um tutorial que explica o que fazer antes de começar. Recomendamos jogar em um computador, com o navegador em tela cheia. Tente completar o máximo de fases possível antes de responder o questionário, não se preocupe se travar em alguma fase, o importante é explorar a ferramenta.

Em caso de dúvidas, entre em contato: deiverson.pedroso@estudante.ufjf.br

Ao prosseguir, você declara que leu este termo, compreendeu seus direitos e concorda em participar voluntariamente da pesquisa.

* Indica uma pergunta obrigatória

Visão geral



[v=sDHHUdhkCao](https://www.youtube.com/watch?v=sDHHUdhkCao)

[http://youtube.com/watch?](http://youtube.com/watch?v=sDHHUdhkCao)

1. Para prosseguir, confirme abaixo *

Marcar apenas uma oval.

☐ Li e concordo com os termos acima *Pular para a pergunta 2*

Perfil do participante

2. Qual a sua idade?

3. Você considera que tinha conhecimento prévio sobre Autômatos Finitos antes de jogar? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Nenhum conhecimento
- ☐ Conhecimento básico
- ☐ Conhecimento intermediário
- ☐ Conhecimento avançado

4. Você já cursou a disciplina de Linguagens Formais e Autômatos? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim, já concluí
- ☐ Não, ainda não cursei
- ☐ Estou cursando atualmente

5. Qual sua instituição de ensino?

6. Qual o seu curso?

7. Qual o seu período atual?

8. Com que frequência você joga jogos digitais? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Nunca
- ☐ Raramente
- ☐ Às vezes
- ☐ Com frequência
- ☐ Todos os dias

9. Você já havia usado algum jogo ou ferramenta interativa para estudar conteúdos de computação antes? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

10. Em qual dispositivo você jogou o AutomataWorld? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Computador

☐ Celular

☐ Tablet

☐ Outro:

11. Quanto tempo aproximadamente você jogou o AutomataWorld? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Menos de 15 minutos

☐ Entre 15 e 30 minutos

☐ Entre 30 e 60 minutos

☐ Mais de 1 hora

12. Até qual fase você chegou? *

 Dropdown

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Fase 1
- ☐ Fase 2
- ☐ Fase 3
- ☐ Fase 4
- ☐ Fase 5
- ☐ Fase 6
- ☐ Fase 7
- ☐ Fase 8
- ☐ Fase 9
- ☐ Fase 10
- ☐ Fase 11
- ☐ Fase 12
- ☐ Fase 13
- ☐ Fase 14
- ☐ Fase 15
- ☐ Fase 16
- ☐ Fase 17

Qualidade do jogo

Instruções para resposta: Para as afirmações abaixo, utilize a escala de **1 a 5** para indicar o quanto você se identifica com cada situação.

Selecione a opção:

- **1** se você **Discorda Totalmente**
- **2** se você **Discorda Parcialmente**
- **3** se você **Não Concorda Nem Discorda (Neutro)**
- **4** se você **Concorda Parcialmente**
- **5** se você **Concorda Totalmente**

13. O jogo é fácil de aprender a jogar *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5		
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

14. As instruções e tutoriais apresentados nas fases são claros *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5		
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

15. A interface do jogo é intuitiva e fácil de navegar *

Marcar apenas uma oval.

1	2	3	4	5		
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

16. O jogo funcionou sem travamentos ou erros durante o uso *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

17. A execução do autômato e a movimentação do personagem respondem de forma fluida *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

18. O visual do jogo é agradável *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

19. O tamanho dos elementos na tela é adequado para leitura e interação *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

20. Os símbolos utilizados nas arestas do autômato são fáceis de identificar *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

21. O painel de simulação e o mundo 3D estão bem organizados na tela *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

Experiência do jogador

Instruções para resposta: Para as afirmações abaixo, utilize a escala de **1 a 5** para indicar o quanto você se identifica com cada situação.

Selecione a opção:

- **1** se você **Discorda Totalmente**
- **2** se você **Discorda Parcialmente**
- **3** se você **Não Concorda Nem Discorda (Neutro)**
- **4** se você **Concorda Parcialmente**
- **5** se você **Concorda Totalmente**

22. Eu me senti envolvido durante o jogo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

23. O jogo foi divertido de jogar *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

24. O nível de dificuldade das fases foi adequado *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

25. A progressão entre as fases me pareceu gradual e bem estruturada *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

26. O modo sandbox me motivou a explorar os autômatos livremente *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

27. Eu me senti confiante ao construir os autômatos ao longo das fases *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

28. Eu conseguia ver claramente a relação entre o autômato que construí e o movimento do personagem no mapa *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

29. Eu gostaria de continuar usando o jogo para estudar *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

30. O tutorial apresentado no início de cada fase foi suficiente para entender o que fazer *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

31. Eu sabia o que precisava fazer para concluir cada fase *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

32. Eu não me frustrei em momento algum durante o jogo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

33. A velocidade de simulação do autômato foi adequada *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

34. O fato de ver o personagem executando as ações do autômato em tempo real me ajudou a entender o que estava acontecendo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

Percepção de aprendizagem

Instruções para resposta: Para as afirmações abaixo, utilize a escala de **1 a 5** para indicar o quanto você se identifica com cada situação.

Selecione a opção:

- **1** se você **Discorda Totalmente**
- **2** se você **Discorda Parcialmente**
- **3** se você **Não Concorda Nem Discorda (Neutro)**
- **4** se você **Concorda Parcialmente**
- **5** se você **Concorda Totalmente**

35. O jogo me ajudou a entender o conceito de estado em um autômato finito *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

36. O jogo me ajudou a entender o conceito de transição entre estados *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

37. O jogo me ajudou a entender o que é um estado inicial *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

38. O jogo me ajudou a entender o que é um estado de aceitação *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

39. O jogo me ajudou a entender como um autômato processa uma cadeia de entrada símbolo a símbolo *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

40. Após jogar, sinto que consigo montar um AFD simples com mais facilidade do que antes *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

41. O jogo seria um bom complemento para as aulas de Linguagens Formais e Autômatos *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

42. O jogo apresentou os conceitos de forma progressiva e organizada *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

43. A sequência de fases fez sentido como caminho de aprendizagem *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

44. Eu consegui relacionar o que aprendi no jogo com o conteúdo visto em aula *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

45. Eu consegui relacionar o que aprendi no jogo com o conteúdo visto em aula *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Disc	☐	☐	☐	☐	☐	Concordo totalmente

46. Eu recomendaria o jogo para outros estudantes da disciplina *

Marcar apenas uma oval.

1 2 3 4 5

Disc ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ Concordo totalmente

Comentários finais

47. O que você mais gostou no jogo?

48. O que você menos gostou ou mudaria no jogo?

49. Algum comentário ou sugestão adicional?
