

Turing Machine Game Simulator: Um Jogo Educativo para Ensino de Máquina de Turing

Guilherme Henrique Santana³, Maurilio Martins Campano Junior^{1,3},
Alan Salvany Felinto², Linnyer Beatrys Ruiz Aylon¹

¹Grupo de Pesquisa Manna - Jogos
Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PCC)
Departamento de Informática (DIN)
Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Maringá - PR - Brazil

²Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Departamento de Computação
Londrina - PR - Brazil

³Centro Universitário UniCesumar
Curso de Engenharia de Software
Maringá - PR - Brazil

gui.guihenrique@hotmail.com, maurilio.campanojr@gmail.com,
alan@uel.br, lbruiz@uem.br

Abstract. *Educational games are used as motivational elements for learning, as they have the playful side of games in addition to learning objects. In Computer Science several areas use simulators and games, however in the area of Formal Languages and Automata few games have been developed. Thus, this work aims to present the design and development of Turing Machine Game Simulator, an educational game for teaching Turing Machine, in addition to the results of its evaluation with students in the area, indicating that the game had a great acceptance.*

Keywords *educational games, formal language and automata, Turing machine*

Resumo. *Jogos educativos são utilizados como elementos motivacionais para aprendizado, pois tem o lado lúdico dos jogos além dos objetos de aprendizagem. Na Computação diversas áreas se utilizam de simuladores e jogos, no entanto na área de Linguagens Formais e Autômatos poucos jogos foram desenvolvidos. Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto e desenvolvimento do Turing Machine Game Simulator, um jogo educativo para ensino de Máquina de Turing, além dos resultados de sua avaliação com alunos da área, indicando que o jogo teve uma ótima aceitação.*

Palavras-chave: *jogos educativos, linguagens formais e autômatos, maquina de Turing*

1. Introdução

Os jogos educativos são elementos que motivam e favorecem o aprendizado dos alunos, seja por meio de um aprendizado imediato ou após o contato com o jogo [Gris and Bengtson 2021].

Cursos na área da Computação como Ciência da Computação, Engenharia da Computação, Engenharia de Software e outros tem apresentado altos índices de reprovação e evasão entre os cursos superiores [INEP 2022].

A sub-área de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) pode ser considerada com poucos jogos educativos se comparadas a outras sub-áreas da Computação [Battistella and von Wangenheim 2016]. Esta trata de aspectos teóricos da Computação, modelos matemáticos para formalização de problemas, linguagens formais, seus mecanismos reconhedores e geradores [Vieira 2006].

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar o projeto e desenvolvimento do jogo Turing Machine Game Simulator, um jogo educativo para ensino de conceitos de Máquina de Turing (MT). O jogo faz uma analogia entre os elementos da descrição formal de uma MT e uma fábrica que produz brinquedos.

Este trabalho apresenta ainda os resultados prévios de uma avaliação do jogo realizada com alunos, bem como da análise das características do jogo com base em definições de jogos educativos.

O restante deste trabalho apresenta os trabalhos relacionados sobre os simuladores e jogos educativos da área de LFA. Em seguida, os conceitos relacionados ao projeto do jogo e elaboração das fases são relatados, bem como o jogo em si. Por fim, os resultados da avaliação do jogo e as conclusões são expostos.

2. Trabalhos relacionados

Uma das áreas teóricas da Ciência da Computação é a Teoria da Computação, que engloba o estudo dos modelos matemáticos para formalização de algoritmos, bem como das linguagens formais, seus mecanismos reconhedores (Autômatos e Máquina de Turing) e mecanismos geradores (Gramáticas) [Vieira 2006].

Vários simuladores foram propostos para auxiliar na criação de autômatos e gramáticas, entre eles podemos destacar: JFLAP [JFLAP 2022], Automata Tutor [D'antoni et al. 2015], SCTMF [SCTMF 2022] e o LFApp [Pereira and Terra 2018]. Já em relação aos jogos educativos na área de LFA, poucos jogos foram propostos se compararmos com outras áreas da Ciência da Computação [Battistella and von Wangenheim 2016].

O *Automata Defense* é um jogo no estilo *tower defense* na qual para construir uma torre o jogador deve utilizar um editor e construir autômatos finitos determinísticos e não determinísticos e autômatos com pilha [Binsfeld et al. 2009] [Silva et al. 2010].

Já o *Máquina das Senhas* [Vieira and Sarinho 2019a] [Vieira and Sarinho 2019b] é um jogo que apresenta um autômato para o jogador e este deve descobrir quais são as palavras que são reconhecidas e quais não são reconhecidas pela linguagem descrita no autômato. O jogo possui também uma versão unindo *hardware* e *software*, na qual a descoberta das palavras libera um dispositivo semelhante à um cofre para o usuário como recompensa [Silva and Sarinho 2021].

O *Montanha de Chomsky* [Leite et al. 2014] trata dos diversos tipos de linguagens formais, abordando desde as linguagens regulares até as linguagens enumeradas recursivamente, além de trabalhar com os mecanismos reconhedores das linguagens formais.

O jogo apresenta ainda uma interface voltada para o professor realizar o acompanhamento das atividades feitas pelos alunos, analisando resultados e pontuações dos mesmos.

Castaway [Souza et al. 2021] é um jogo que utiliza de uma analogia entre os elementos de um AFD com os elementos do jogo. No jogo vários naufragos estão perdidos em ilhas e precisam utilizar dos recursos disponíveis nas ilhas, colaborar e construir a embarcação para escapar das ilhas. A analogia do jogo é feita de tal forma que um estado do AFD é representado por uma ilha, as transições representam os recursos que são lançados de uma ilha para outra, o estado inicial é uma das ilhas, o estado final a ilha na qual a embarcação é construída e os símbolos do alfabeto são os recursos utilizados para construção da embarcação.

Do mesmo modo que o Castaway, o jogo A Factory Disaster [Carvalho et al. 2021] apresenta uma analogia entre AFD e os elementos do jogo. Neste jogo, o ambiente é uma fábrica a qual ocorreu um desastre e o jogador precisa encontrar recursos para sair de uma plataforma e encontrar o portal de saída.

Visando auxiliar no aprendizado de autômatos com pilha, o Automata Toy Factory [Tomizawa and Campano Junior 2021] apresenta um cenário relacionado à uma fábrica de brinquedos e o jogador deve construir regras de funcionamento para a fábrica. Com o objetivo de atender as promoções de venda dos brinquedos, cada promoção é associada a uma linguagem livre de contexto e cada brinquedo é associado a um símbolo do alfabeto da linguagem.

Com relação a gramática, o jogo Labirinto GRamágico [Garozi et al. 2021] aborda um cenário de um RPG, na qual o jogador deve escapar de um labirinto, no entanto para atravessar cada porta o jogador deve recitar um feitiço que remete à uma gramática regular. O jogo apresenta diversas fases, com nível de dificuldade crescente, além de fases bônus.

Entre os jogos citados, apenas o Montanha de Chomsky aborda conceitos de Máquina de Turing (MT), fator este que motivou o desenvolvimento do Turing Machine Game Simulator apresentado neste trabalho.

3. Turing Machine Simulator

O jogo é ambientado em uma fábrica de brinquedos, similar à ideia do *Automata Toy Factory* [Tomizawa and Campano Junior 2021], e cada fábrica contém diversas salas conectadas por esteiras que levam um brinquedo de uma sala para outra. Cada sala ainda contém uma alavanca que seleciona de onde virá o próximo brinquedo (direita ou esquerda) e os brinquedos são mostrados em um *display* na própria sala.

A ideia é que cada sala representa um estado da Máquina de Turing, cada brinquedo é associado com um símbolo do alfabeto, a alavanca se move para direita ou esquerda de modo análogo ao cabeçote da MT, as esteiras representam as movimentações na fita da MT e o *display* representa a posição atual indicada pelo cabeçote da fita.

O objetivo do jogo é preparar os pedidos de acordo com as promoções dos brinquedos, encaminhando cada brinquedo para a sala correspondente e de acordo com o brinquedo, este deve ser embalado.

O jogo apresenta um tutorial informativo que é análogo à linguagem $L =$

$\{a^n b^m / n > 0, m > 0\}$ e explica além das mecânicas do jogo os conceitos básicos de MT.

Nesta primeira versão do jogo, somente uma fase foi desenvolvida, no entanto esta fase apresenta três níveis de dificuldade e está associada a linguagem $L = \{a^n b^m / n > 0\}$ na qual o símbolo “a” é associado com um avião e o símbolo “b” com um boneco.

Em cada um dos níveis, o jogador deve analisar a sequência dos brinquedos, e verificar se corresponde à promoção associada, fazendo a operação de acordo com a sequência dos brinquedos.

O projeto do jogo é voltado para o reuso dos componentes, sendo que em um primeiro momento somente uma fase foi adicionada, mas cada componente nas fases pode ser reutilizado facilmente, assim para adicionar novas fases o desenvolvimento se torna mais rápido e dinâmico.

O jogo foi desenvolvido em C#, utilizando a plataforma de desenvolvimento Unity (2022) e os recursos gráficos utilizados foram obtidos de forma gratuita na loja da Unity. Além disso o jogo tem finalidade de ensino e aprendizagem, sendo voltado para estudantes e professores na área da Ciência da Computação. A primeira versão do jogo pode ser acessada gratuitamente no site do Grupo Manna Team ¹.

4. O Jogo

A tela inicial do jogo apresenta a seleção de níveis e um botão para sair. O usuário deve então em um primeiro momento selecionar o nível desejado e ao iniciar a fase, um tutorial é mostrado explicando o que o jogador deve fazer, tal como mostra a Figura 1

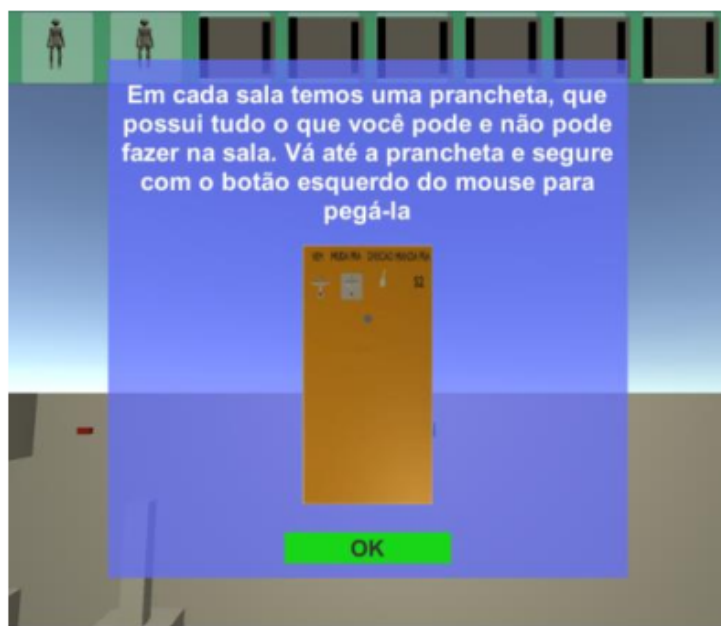


Figura 1. Tutorial do jogo Turing Machine Game Simulator - Visualização da prancheta explicativa

¹Manna Team - Jogos - <https://manna.team/>

Alguns brinquedos devem ser embalados e transportados para outra sala. Isto é feito pegando o objeto, colocando-o em uma caixa e devolvendo-o para esteira, tal como mostra a Figura 2

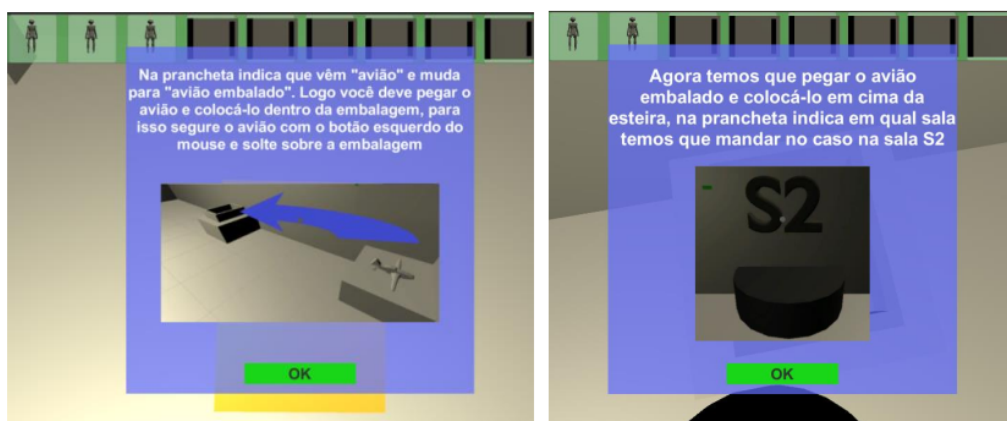


Figura 2. Tutorial do jogo Turing Machine Game Simulator sobre embalar os objetos e enviá-los para a esteira

Na sequência, o jogador deve operar a alavanca, indicando se a esteira vai se mover para direita ou para à esquerda e depois iniciar o movimento da esteira por meio do botão indicativo ao seu lado, conforme Figura 3.

Esta movimentação da esteira é análogo ao cabeçote da fita da MT se movendo para direita ou esquerda, após a leitura e escrita de um símbolo na fita

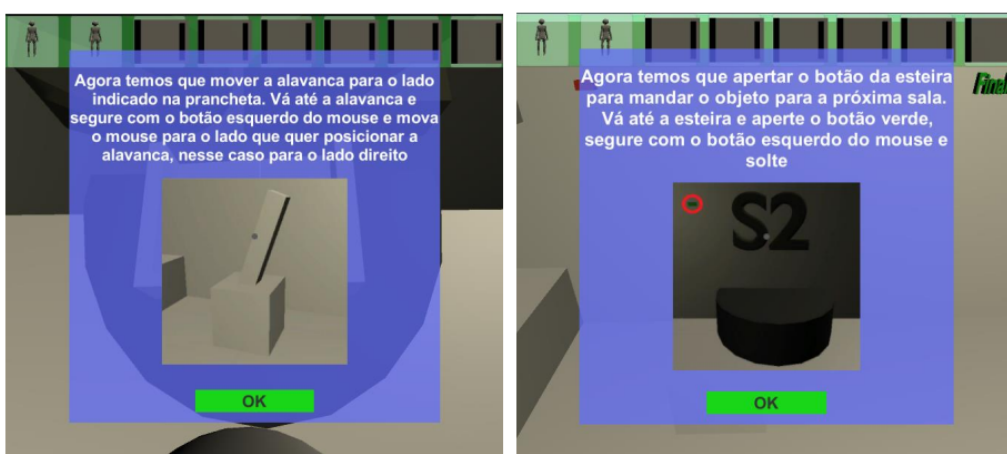


Figura 3. Tutorial do jogo Turing Machine Game Simulator sobre a movimentação do cabeçote para esquerda e direita

Quando um brinquedo é direcionado para outra sala, o jogador também muda de sala e deve realizar a tarefa com o brinquedo recebido.

As indicações do que deve ser feito em cada uma das salas estão indicadas em uma prancheta presente na sala, tal como mostra a Figura 4, como por exemplo na sala 1

(S1), quando é recebido um avião, deve ser alterado para o avião embalado, enviado para a direita e para a sala 2 (S2).



Figura 4. Prancheta explicativa das salas do jogo Turing Machine Game Simulator indicando o destino de cada brinquedo de entrada

Ao fim do tutorial, a primeira fase é iniciada, na qual o jogador deve embalar os aviões e os bonecos, garantindo que eles estejam nas mesmas quantidades, tal como a linguagem $L = \{a^n b^n / n > 0\}$.

As salas desta fase são análogas a quantidade de estados da Máquina de Turing que resolve esta linguagem, do mesmo modo que as instruções indicadas nas pranchetas são análogas as transições entre os estados na máquina, tal como mostram as Figuras 5 e 6.

As transições na MT representam a movimentação de um brinquedo embalado de uma sala para outra, sendo que cada sala no jogo representa um estado na máquina.

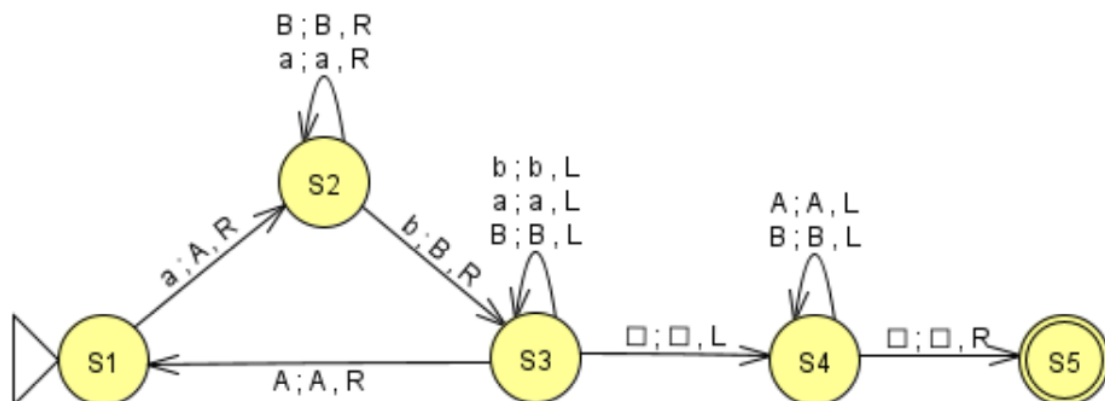


Figura 5. Máquina de Turing da linguagem $L = \{a^n b^n / n > 0\}$ e salas do jogo Turing Machine Game Simulator

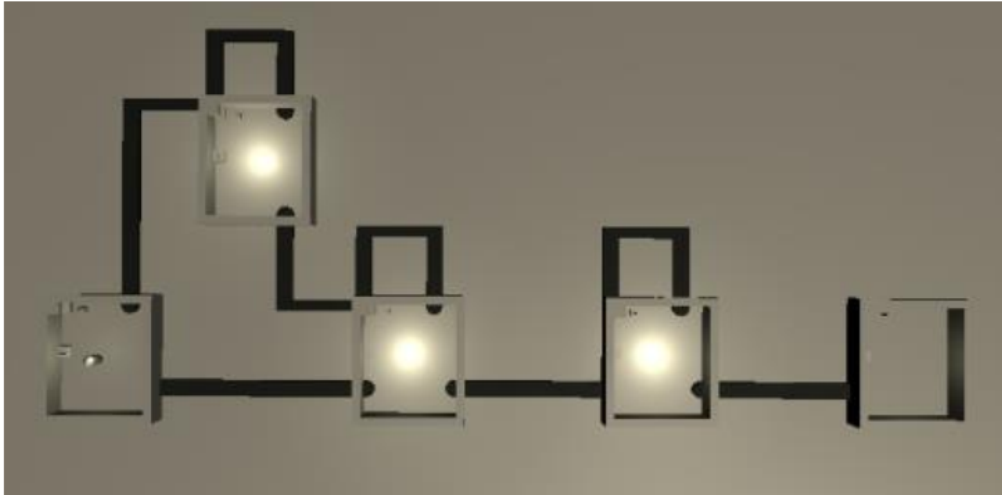


Figura 6. Salas do jogo Turing Machine Game Simulator para a primeira fase

O jogo foi desenvolvido inicialmente com uma única fase associada a linguagem reconhecida por uma Máquina de Turing, no entanto durante o projeto do jogo já foram definidas novas fases a serem desenvolvidas, também associadas a linguagens formais, sendo elas: segunda fase: $L = \{a^n b^n c c / n > 0\}$, terceira fase $L = \{a^n b^n c^n / n > 0\}$, quarta fase: $L = \{a^i b^j c^k / i = j + k, j > 0, k > 0\}$ e quinta fase $L = \{a^i b^j c^k / k = i + j, i > 0, j > 0\}$.

5. Avaliação do Jogo

Visando avaliar o jogo desenvolvido, foi utilizado a proposta por Coutinho (2017) com o Instrumento da Avaliação da Qualidade de Jogos Educativos (IAQJEd).

O modelo de Coutinho propõe a avaliação em três dimensões, sendo elas a usabilidade do jogo, a experiência do usuário e os princípios de aprendizagem. Cada dimensão contém seis questões, que são avaliadas em uma escala de 0 a 5, sendo que a pontuação máxima é 90 pontos. Com o valor da pontuação do jogo ele é classificado de acordo com a finalidade educativa do mesmo.

A avaliação do Turing Machine Game Simulator foi realizada com 36 alunos de Engenharia de Software, os quais já haviam cursado a disciplina de Linguagens Formais e Autômatos, tendo então contato prévio com os conceitos de MT.

A média da avaliação relacionada à usabilidade do jogo foi de 25,36, a experiência do usuário de 23,36 e os princípios de aprendizagem de 24,47, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da avaliação do Turing Machine Game Simulator com o IAQJEd

| Usabilidade | Experiência do usuário | Princípios de aprendizagem | Total |
|-------------|------------------------|----------------------------|-------|
| 25,36 | 23,36 | 24,47 | 73,19 |

Com relação à avaliação da usabilidade, questões relacionadas aos tutoriais, desafios e interações com o menu do jogo tiveram notas altas, enquanto que a avaliação da

jogabilidade obteve notas menores. Isto pode ser observado em relação às cores utilizadas nos elementos do jogo, na qual a cor da parede e do chão ficaram similares, confundindo alguns jogadores.

Para a questão “O jogador pode compreender a jogabilidade a partir do modo como os botões são apresentados na tela (quando apresentados)?” da dimensão da usabilidade, as respostas podem ser vistas na Figura 7.

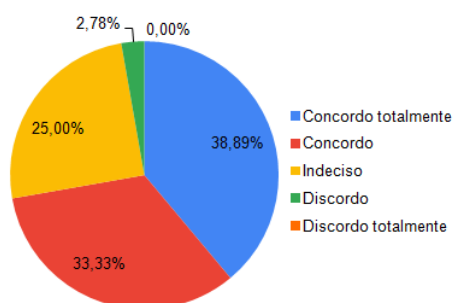


Figura 7. Respostas da questão: “O jogador pode compreender a jogabilidade a partir do modo como os botões são apresentados na tela (quando apresentados)?” da dimensão de usabilidade do IAQJEd

Já a experiência do usuário obteve resultados similares nas questões que relacionam os elementos estéticos do jogo, a narrativa, a diversão que o jogo proporciona e a narrativa envolvente, entre os resultados, podemos destacar a questão “O conjunto de elementos estéticos do jogo (o som, a forma, o cenário, movimento, desenho) permite que o jogador explore sua potencialidade de forma agradável?” na qual os resultados são descritos na Figura 8.

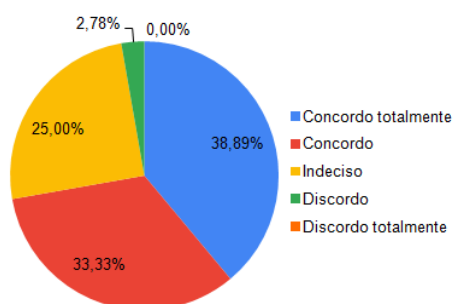


Figura 8. Respostas da questão: “O conjunto de elementos estéticos do jogo (o som, a forma, o cenário, movimento, desenho) permite que o jogador explore sua potencialidade de forma agradável?” da dimensão da experiência do usuário do IAQJEd

Por fim, os princípios de aprendizagem tiveram bons resultados em questões que relacionam as diferentes estratégias de aprendizado que o jogo proporciona, oferecendo uma interface intuitiva, com uso de *feedbacks* ao jogador, que consegue evoluir e ter sucesso no jogo e conseqüentemente no aprendizado. Entre as questões avaliadas nesta dimensão um destaque para a percepção do aluno sobre o conhecimento adquirido pode ser visto na Figura 9.

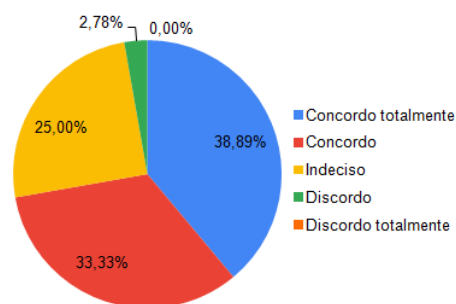


Figura 9. Respostas da questão: “Ao interagir com o jogo, o jogador será capaz de explorar diferentes estratégias de aprendizagem de acordo com suas próprias experiências e, ao mesmo tempo, avaliar seu percurso a partir de um ciclo de aquisição de competências?” da dimensão de princípios de aprendizagem do IAQJEd

Os valores da avaliação das dimensões totalizam 73,19, que de acordo com Coutinho (2017) classifica o jogo como “Excelente para finalidade educativa”.

Uma questão adicional para comentários dos alunos que avaliaram também foi inserida na avaliação e alguns *bugs* foram relatados pelos alunos, bem como sugestões para a interface gráfica e para o uso dos próprios conceitos de MT no jogo.

Além da avaliação com o IAQJEd, o propósito do jogo foi analisado em comparação com a definição de jogo educativo de Becker (2021), tal como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Comparação dos conceitos de jogo educativo de Becker [Becker 2021] com o jogo *Turing Machine Simplification Game*

| | Jogo educativo | Turing Machine Simulation Game |
|--------------------------|--|--|
| Propósito | Mudar conhecimento ou atitude do jogador | Facilitar aprendizado de Máquina de Turing |
| Motivação | Ensinar algo | Ensinar conceitos de MT |
| Principal questão | A mensagem está sendo recebida? | O jogador consegue realizar o processo e passar de fase? |
| Foco | Conteúdo / mensagem | Ensinar conceitos de MT e seu processamento |
| Modelo de negócio | Produtor paga | Gratuito ao jogador |
| Fidelidade | Fiel ao essencial da mensagem | Ensina os conceitos básicos de MT fielmente |

O Turing Machine Game Simulator tem como objetivo facilitar o aprendizado dos conceitos de Máquina de Turing, se enquadrando no propósito de um jogo educativo de Becker (2021). Além disso o jogo reproduz com fidelidade a descrição formal completa de uma MT, mantendo o foco do ensino e aprendizagem de MT.

6. Conclusões e Trabalhos Futuros

O jogo Turing Machine Game Simulator é um jogo educativo que visa ensinar conceitos de Máquina de Turing. No jogo, o usuário deve receber uma lista de brinquedos em uma sequência, embalar e enviar para determinadas salas, atendendo as promoções estabelecidas que são definidas por um linguagem formal.

A avaliação inicial do jogo obteve bons resultados, com sugestões e indicativos de melhorias na interface e nos elementos do jogo.

Como trabalhos futuros, algumas das sugestões inseridas pelos alunos serão implementadas, bem como a correção de *bugs* encontrados no jogo.

Além disso, novas fases devem ser incorporadas ao jogo, fazendo com que a sequência dos desafios tenha um nível crescente de dificuldade, visando fazer com que um progresso no jogo seja um progresso no aprendizado de MT.

Espera-se que o jogo possa contribuir com o aprendizado dos alunos na área da Computação e principalmente na área de Linguagens Formais e Autômatos, área esta tão complexa e abstrata e de difícil assimilação.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio do CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Bolsista do CNPq - Brasil (311685/2017-0) e da Fundação Araucária (17.633.124-0).

Referências

- Battistella, P. E. and von Wangenheim, C. G. (2016). Games for teaching computing in higher education – a systematic review. In *IEEE Technology and Engineering Education*, volume 1, pages 8–30.
- Becker, K. (2021). What’s the difference between gamification, serious games, educational games, and game-based learning. *Academia Letters*, 209.
- Binsfeld, R. L., Watanabe, R., Silva, R. C., and Carelli, I. M. (2009). Alunos como designers: relato de experiência para aprendizagem de linguagens formais e autômatos. In *VIII Brazilian Symposium on Games and Digital Entertainment*, pages 21–24.
- Carvalho, F. E. A., Campano Junior, M. M., and Costa, Y. M. G. (2021). Jogos educativos no ensino de autômato finito determinístico: Um estudo de caso com o jogo *A Factory Disaster*. In *Proceedings of XX SBGames - Simpósio Brasileiro de Jogos de Computador e Entretenimento Digital - Education Track*.
- Coutinho, I. D. J. (2017). Avaliação da qualidade de jogos digitais educativos: trajetórias no desenvolvimento de um instrumento avaliativo. *Tese (Doutorado) - Universidade do Estado da Bahia*.
- D’antoni, L., Kini, D., Alur, R., Gulwani, S., Viswanathan, M., and Hartmann, B. (2015). How can automatic feedback help students construct automata? *ACM Trans. Comput.-Hum. Interact.*, 22(2).
- Garozi, P. H. T. P., Campano Junior, M. M., and Costa, Y. M. G. (2021). Labirinto gramático: Um jogo educativo para o ensino de gramáticas regulares. In *Proceedings of XX SBGames - Simpósio Brasileiro de Jogos de Computador e Entretenimento Digital - Education Track*.
- Gris, G. and Bengtson, C. (2021). Assessment measures in game-based learning research: a systematic review. *International Journal of Serious Games*, 8(1):3–26.
- INEP (2022). Censo da educação superior. INEP - Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Acessado em junho de 2022.
- JFLAP (2022). Jflap home page. Acessado em junho de 2022.
- Leite, L. S., Sibaldo, M. A. A., Carvalho, T. B. A. d., and Souza, R. d. (2014). Montanha de chomsky: jogo tutor para auxílio no ensino de teoria da computação. In *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, pages 1364–1373.

- Pereira, C. H. and Terra, R. (2018). A mobile app for teaching formal languages and automata. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(5):1742–1752.
- SCTMF (2022). Sctmf. software para criação e teste de modelos formais. Acessado em junho de 2022.
- Silva, I. G. C. C. and Sarinho, V. (2021). *AutomataEscape*: Uma proposta de jogo *Hardware/Software* de apoio a aprendizagem de aspectos teóricos da computação. In *Proceedings of XX SBGames - Simpósio Brasileiro de Jogos de Computador e Entretenimento Digital - Education Track*.
- Silva, R. C., Binsfeld, R. L., Carelli, I. M., and Watanabe, R. (2010). Automata de-fense 2.0: reedição de um jogo educacional para apoio em linguagens formais e autômatos. In *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, volume 1.
- Souza, H. C., Campano Junior, M. M., and Felinto, A. S. (2021). Inclusão das avaliações formativa e somativa no processo de desenvolvimento de um jogo educacional: Um estudo de caso no projeto do jogo *Castaways*. In *Proceedings of XX SBGames - Simpósio Brasileiro de Jogos de Computador e Entretenimento Digital - Education Track*.
- Tomizawa, M. and Campano Junior, M. M. (2021). *Automata Toy Factory*: Um jogo educativo para ensino de automato com pilha. In *Proceedings of XX SBGames - Simpósio Brasileiro de Jogos de Computador e Entretenimento Digital - Education Track*.
- Unity (2022). Plataforma de desenvolvimento em tempo real do unity. Acessado em junho de 2022.
- Vieira, M. and Sarinho, V. (2019a). AutomataMind: A serious game proposal for the automata theory learning. In *IFIP International Federation for Information Processing*, pages 452–455.
- Vieira, M. and Sarinho, V. (2019b). 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*, pages 54–59, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Vieira, N. (2006). *Introdução aos fundamentos da computação: linguagens e máquinas*. Pioneira Thomson Learning.