

Fórmula Tree: Um Jogo Sérió para o Ensino e Aprendizagem de Estrutura de Dados

**Arthur Monteiro Pereira¹, Filipe Brinati Furtado¹, Paulo Victor de Magalhães Rozatto¹,
Pedro Henrique Filgueiras dos Santos Oliveira¹**

¹Departamento de Ciência da Computação – Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF)
Caixa Postal 20010 – CEP 36036-900– Juiz de Fora – MG – Brazil

Abstract. *This paper presents a serious game, named Formula Tree, to help computer science students learn key data structure concepts. Formula Tree employs traditional racing game mechanics to teach binary search tree traversals in a ludic manner. A review of current state-of-the-art papers in the field was conducted, and the various approaches were compared to this paper proposal.*

Resumo. *Este artigo apresenta um jogo sério, chamado Formula Tree, para ajudar estudantes de ciência da computação a aprender conceitos chave de estrutura de dados. O Formula Tree emprega mecânicas tradicionais de jogos de corrida para ensinar travessias de árvores de busca binária de maneira lúdica. Foi realizada uma revisão dos atuais trabalhos no estado da arte da área, e as várias abordagens foram comparadas com a proposta deste artigo.*

1. Introdução

Com o desenvolver do curso de Ciência da Computação, docentes de suas disciplinas são cada vez mais desafiados a proporcionar uma qualidade de ensino suficiente para o desenvolver dos alunos [Qian and Lehman 2017]. Além disso, as áreas de conhecimento de Ciência da Computação costumam consistir de fundamentos distantes do senso comum, ou seja, para aprendê-las é necessário um nível de abstração que costuma ser difícil de compreender por alunos iniciantes no conteúdo [Rojas-Salazar 2022].

Partindo desse pressuposto, é evidente que a disciplina de Estrutura de Dados também compartilha de tais características. Assim, tal disciplina que faz a ponte inicial entre os fundamentos de computação, apresentando conceitos como listas, pilhas, filas, árvores e pesquisas nessas, para disciplinas mais complexas futuramente apresentadas nos cursos de computação possui tamanha importância em seu entendimento [Lawrence 2004]. Como consequência, alunos que não conseguirem fazer um bom proveito dessa matéria podem apresentar dificuldades no desenvolver do curso.

No entanto, em muitos dos casos alunos costumam apresentar desinteresse nos métodos clássicos utilizados para o ensino e aprendizagem de Estrutura de Dados, apresentando resultados sub-par na completção das tarefas requisitados a eles [Lawrence 2004]. Isso fica explícito na publicação [da Silva 2021] que apresenta uma porcentagem de repetição na disciplina de Estrutura de Dados acima de 40% na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros - RN (UFERSAPDF), com casos de acima de 70% durante a pandemia do SARS-CoV-2 (COVID-19).

Diante de tais desafios, diferentes métodos têm sido desenvolvidos para auxiliar o ensino e aprendizagem de Estrutura de Dados ao longo dos anos, dentre eles simulações, ferramentas de visualização e jogos sérios [Lawrence 2004]. Com isso, esse artigo faz uma proposta de um jogo sério para auxiliar o ensino e aprendizagem de Estrutura de Dados, buscando reforçar os conceitos de percurso em árvore de forma mais lúdica.

Para tanto, esse artigo está organizado como a seguir. A Seção 2 apresenta como jogos sérios para Estrutura de Dados têm se comportado na literatura. A Seção 3 descreve as características do jogo sério deste artigo, Fórmula Tree. A Seção 4 discute trabalhos que se assimilam com este, sendo esses comparados na Seção 5. Por fim, a Seção 6 apresenta as considerações finais e os trabalhos futuros.

2. Uso de jogos no ensino e aprendizagem de Estrutura de Dados

A introdução de jogos sérios no ensino e aprendizagem de Estrutura de Dados é uma pesquisa recente, tornando difícil quantificar a contribuição desse no ensino. Isso é evidenciado no mapeamento realizado na tese [Rojas-Salazar 2022], a qual apenas encontrou 17 jogos sérios utilizados para auxiliar o ensino da disciplina.

A partir desse mapeamento, é notável que as pesquisas apresentam preferência em ensinar os 3 seguintes tópicos: pilha, listas encadeadas e algoritmos recursivos. Sendo que, apenas um dos jogos sérios encontrados busca ensinar árvores e esse era um tópico secundário ao principal. Com isso, é possível concluir que a aplicação de tal metodologia de ensino tem um foco em conceitos iniciais da disciplina de estrutura de dados.

Isto posto, jogos tem usado desses tópicos para introduzir regras à seus jogos sérios de forma que seja interessante assim como um jogo tradicional conseguiria com

outros cenários. Para isso, o jogo apresentado por [Eagle and Barnes 2008] usa da teoria de filas e *loops* em três levels. Cada level requer que o jogador monte bonecos de neve em uma fila de uma dimensão seguindo instruções para construir uma linha de execução. Enquanto, [Liu et al. 2012] usa da teoria de pilhas ultimo a entrar, primeiro a sair (*last-in first-out*), apresentando um cenário ao jogador que ele precisa montar uma pilha de acordo com uma ordem requisitada em sua primeira fase.

No mais, quanto aos elementos dos jogos, foi ressaltado que a maioria dos jogos prefere utilizar de ambientes e mecânicas de jogos para integrar os conceitos de Estruturas de Dados e complementar com elementos de competição. Poucos foram os casos que optaram em introduzir conceitos idênticos ao apresentados nos livros.

Quanto a avaliação do uso de jogos sérios, pesquisadores buscando por seus métodos compreender os impactos evidenciais e a eficiência de tal aplicação. No entanto, para isso é notável na literatura que para coleta dos resultados ainda é presente o uso de ferramentas informais. Com isso, é difícil avaliar um padrão no desenvolvimento de jogos sérios que garanta resultado, já que a aplicação é realizada em diferentes contextos. Todavia, diversas ferramentas de avaliação tem começado a ganhar cada vez mais espaço na área de avaliação de jogos sérios, como apresentado em [Petri and Gresse von Wangenheim 2017], buscando por meio dessas, criar um padrão de avaliação para futuras pesquisas que fazem o uso de jogos sérios no ensino.

Concluindo, o uso de jogos sérios no ensino e aprendizagem de Estrutura de Dados tem cada vez mais ganhado espaço na área de pesquisa. Optando em desenvolver jogos para auxiliar as etapas iniciais de ensino dessa disciplina, a qual é essencial para o aprendizado do resto de tal. Porém, a falta de um método comum de avaliação dificulta uma conclusão dos resultados de tal aplicação, mesmo que diferentes métodos de avaliação de jogos já estejam presentes no cenário de pesquisa.

3. Descrição do jogo

Com o objetivo de facilitar a compreensão da parte de árvores da disciplina de Estrutura de Dados, foi desenvolvido um jogo de corrida para auxiliar de forma lúdica esse aprendizado. No jogo, é permitido ao jogador controlar um carro e atravessar pontos de controle no mapa para concluir a fase. No controle do veículo, foi introduzido algoritmos de física para melhor simular o movimento do carro pelo percurso, o desenvolvimento dessa foi importante para aperfeiçoar a jogabilidade e tornar o jogo mais prazeroso de ser jogado, elemento importante para manter a atenção e foco do jogador. Para introduzir o jogador as teorias de percurso de árvore, foram desenvolvidos os seguintes 3 mapas: um mapa de pesquisa em pré-ordem, in-ordem e pós-ordem.

O primeiro mapa do jogo busca auxiliar o jogador a compreender como a busca em pré-ordem funciona em uma árvore binária. Para isso, o mapa é desenhado com o objetivo de recriar tal árvore e os pontos de controle são distribuídos em ordem que esses no mapa façam uma pesquisa em pré-ordem nessa simulação da árvore.

Assim como o primeiro, o segundo mapa busca auxiliar o ensino de busca por meio de uma simulação de uma árvore binária, no mais, em vez de pré-ordem, é simulada a pesquisa em in-ordem. Assim apresentando uma nova forma de pesquisa por meio da ordem dos pontos de controle no mapa.

Por fim, ainda mantendo o conceito de que os mapas são simulações de árvores binárias, a distribuição dos pontos de controle no terceiro mapa segue de acordo com a busca em pós-ordem. Para isso, tais pontos possuem marcadores representantes de valores que devem ser escolhidos pelo jogador de acordo com o número em sua tela.

Além disso, 3 características, ou elementos de jogos, são evidentes quando analisado o jogo desenvolvido neste artigo: Controle de jogo, tutorial e *feedback*. Como controle de jogo, o jogador tem total controle de seu funcionamento, ou seja, além de dirigir o veículo e fazer seleções no menu para se movimentar pelas cenas, o usuário pode controlar o tempo do jogo, pausando caso necessário e saindo de fases caso não tenha tempo de concluir a etapa.

Além disso, em questão de tutorial, o jogo apresenta uma seção separada nomeada de "modo prática", que apresenta ao jogador a solução de pesquisa de árvore que ele deve percorrer para conseguir concluir as fases. Nesse modo, não é computado ao jogador nenhum tempo, mas é apresentado à ele por meio de um realce, qual caminho deve ser seguido, além de apresentar antes da fase uma explicação de como funciona a pesquisa do mapa em destaque. A Figura 1 mostra o funcionamento do modo prática.

Figura 1. Modo prática do Formula Tree



Por último, mas não menos significativo, ao acessar o "modo competitivo" é possível compreender o aspecto de *feedback* enunciado anteriormente. Nesse modo, não é apresentado ao jogador como a pesquisa na árvore é realizada em detalhes, ou seja, apenas o nome da pesquisa é dado a esse, requisitando que o próprio usuário raciocine a solução durante o percorrer da fase. Com isso, toda vez que o jogador passa por um ponto de controle correto, o tempo do jogo será realçado com uma cor vermelha e o tempo levado para chegar nesse é apresentado logo abaixo. Ao fim da fase, o tempo de conclusão é mostrado ao jogador e caso esse seja menor, ou seja, mais eficiente que os anteriores que esse executou nessa fase, esse é salvo e mostrado na tela do modo competitivo. A Figura 2 mostra também o funcionamento desse modo.

Figura 2. Modo competitivo do Formula Tree



4. Trabalhos Relacionados

O uso de desenvolvimento de jogos sérios para ensino de Estrutura de Dados tem ampla cobertura na literatura. Entre diferentes trabalhos desenvolvidos, diversas estruturas são abordadas. No entanto, nenhum trabalho relacionado citado nesse trabalho aborda estrutura de árvores, assunto que é o foco central de Formula Tree. Nessa seção, são abordados a seguir os principais trabalhos relacionados encontrados.

4.1. La Petite Fee Cosmo

Uma das primeiras coisas que um estudante de Estrutura de dados deve aprender é a estrutura da lista encadeada. Uma lista encadeada é composta por nós, que têm ponteiros apontando para o próximo nó da lista, ao passo que o último nó aponta para um endereço nulo. Em adição a isso, esses nós têm um ponteiro chamado *head*, que aponta para o primeiro elemento da lista.

Diante disso, a lista se oferece como uma opção promissora para auxílio de novatos em dificuldades no curso. Um trabalho que tem o foco de auxiliar o ensino de listas encadeadas é [Kannappan et al. 2019], que desenvolve um jogo do gênero *puzzle* chamado La Petite Fee Cosmo.

Esse jogo, desenvolvido com o uso da *engine* da Unity, se baseia no uso de falha produtiva [Kapur 2008] para facilitar o aprendizado dos jogadores. Portanto, a intenção é ter um jogo desafiador o suficiente para estimular a evolução, mas que não seja difícil demais a ponto de tornar-se frustrante e desmotivador.

A ideia geral de La Petite Fee Cosmo é fazer com que a personagem Cosmo construa pontes, resolvendo diferentes quebra-cabeças. As pontes são uma abstração para uma lista encadeada. Uma pedra que compõe a ponte representa um nó da lista.

O jogo é dividido em 3 capítulos: o primeiro consiste em desafiar o jogador a colocar o maior ou menor elemento da lista na última ou primeira posição, introduzindo o estudante à noção de troca de posição de elementos.

O segundo capítulo é uma extensão do primeiro, tendo como principal tema de desafio a reordenação completa da lista (*i.e.* elementos em ordem crescente ou ordem decrescente). Neste capítulo, o entendimento acerca do ponteiro *head* também passa a ser mais exigido.

Por fim, o terceiro capítulo busca desafiar de maneira mais geral o jogador. Neste, o quebra-cabeça consiste em posicionar elementos de uma ponte inferior em diferentes posições na ponte superior, exigindo do jogador entendimento mais avançado de manipulação dos nós, interação entre diferentes listas e assim por diante.

Os autores não realizaram dentro desse trabalho nenhum tipo de experimento que possa atestar a qualidade do produto desenvolvido, mas isso consta como uma das intenções de trabalhos futuros. Além disso, outra ideia é expandir o escopo do jogo, implementando desafios para outras estruturas, como pilhas, filas, árvores e etc.

4.2. 2048 em *Project Based Learning*

Já em [Agner et al. 2021], o uso de jogos sérios é o usado para o ensino de estruturas de dados, mas não para que o aprendizado ocorra apenas com o ato de jogar o jogo pronto, mas que o processo de desenvolvimento, seguindo o contexto de Aprendizagem Baseada em Projetos (PBL - *Project Based Learning*), cumpra esse papel. O projeto foi desenvolvido como uma atividade proposta na disciplina de Algoritmos e Estruturas de Dados I (AEDI) do curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Universidade Estadual do Centro-Oeste no ano de 2020.

Este processo de desenvolvimento contém além das fases de modelagem, em que se tem contato com os diagramas da linguagem de modelagem padrão da indústria de Engenharia de Software atualmente, a UML (Unified Modeling Language), a fase de escolha de qual estrutura de dados usar, fase muito importante em que se exercita a capacidade de identificar qual a estrutura adequada para o problema e a fase de implementação, onde se tem o foco de praticar de fato a programação de tais estruturas.

Um dos projetos apresentados utiliza o conceito de FIFO (*First In, First Out*) para implementar uma versão do jogo 2048 que possui um tabuleiro 4x4 com peças vinculadas a um valor numérico múltiplo de 2, em que o objetivo é combinar essas peças para alcançar o valor de 2048. O projeto usou as setas do teclado para controlar esse *input*.

Ao fim, chegou-se a conclusão que esta gamificação do ensino é muito importante para melhorar a taxa de retenção do conhecimento por parte dos alunos possibilitando experimentar os conceitos em problemas reais. Entretanto, essa abordagem também necessita de planejamento, exigindo novas experiências não apenas dos alunos, mas também dos professores.

4.3. Train to Kluang

Voltando ao contexto de um aprendizado mais tradicional baseado em jogos sérios, em [Ramle et al. 2019], é abordado um assunto específico dentro da disciplina de estrutura de dados: a estrutura da pilha.

O trabalho citado busca fazer isso criando um ciclo em que o usuário aprecia o jogo, levando a um novo comportamento (*i.e.*, jogar de novo), enquanto recebe *feedbacks*

do sistema. Com isso, o usuário desenvolve um aprendizado procedural, sendo assim capaz de estruturar um raciocínio mais algorítmico para resolução de problemas de pilhas.

Pilhas são estruturas de dados cujos elementos são ordenados por meio do LIFO (*Last In, First Out*). Nela, há duas operações possíveis: *push*, que insere um elemento no topo da pilha, e *pop*, que exclui o elemento no topo da pilha. O jogo produzido busca auxiliar estudantes na abstração referente ao procedimento citado.

Nesse contexto, o jogador responde a perguntas para construir uma pilha de pedras. A cada acerto, pontos são conquistados. Mas a cada erro, pontos de vida, que iniciam com valor de 5, são perdidos. Ao zerar os pontos de vida ou encerrar o tempo, o jogo se encerra.

O jogo, chamado Train to Kluang, não possui *link* para *download* disponível em [Ramle et al. 2019]. Este foi desenvolvido com o uso do Adobe Photoshop para *assets* gráficos e com o uso do Adobe Flash para a integração de todos os elementos da aplicação.

Para uma avaliação, foram realizados experimentos, em que uma amostra de 29 estudantes de computação que haviam cursado a disciplina de Estrutura de Dados no semestre anterior foram selecionados. Jogadores responderam a uma série de perguntas antes e depois de jogar Train to Kluang. Para um total de 8 tipos de pergunta, em 7 deles o número de alunos acertando aumentou após jogar o jogo.

Por fim, os estudantes responderam a um questionário com escala *Likert* para avaliar a usabilidade do jogo, além de enviar sugestões. Avaliações de estudantes foram em grande parte positivas, mas houve sugestões de melhoria em relação à comunicação visual do projeto.

4.4. The Stack Game

Outra abordagem para o ensino da estrutura de dados de pilha através de um jogo é fornecido por [Dicheva and Hodge 2018]. Os autores se propõem a abordar três objetivos associados ao ensino de pilhas: o entendimento conceitual teórico de tal estrutura, a aprendizagem de como aplicar o entendimento conceitual em problemas reais e a aprendizagem de implementar essas estruturas em código.

Para cumprir suas propostas, [Dicheva and Hodge 2018] criaram o jogo nomeado The Stack Game, no qual o usuário controla um robô que sofreu um acidente, teve sua nave destruída e agora tem que passar por diversos desafios para conseguir chegar em seu lar. O The Stack Game é dividido em três partes, cada uma explorando um objetivo de aprendizagem.

Na primeira parte do jogo, o objetivo é o entendimento conceitual da estrutura de pilha. O mecanismo de ensino utilizado são problemas baseados no quebra-cabeça Torre de Hanoi: o jogador é dado uma pilha de blocos coloridos em uma certa ordem e tem que controlar seu robô para deixá-la em outra configuração determinada. Cumprido o objetivo, a porta da fase se abre e o jogador consegue passar para próxima, sendo que a primeira parte tem quatro fases de dificuldade progressiva.

Na segunda parte do jogo, o objetivo de aprendizagem é aprender a aplicar o conceito de pilhas em problemas reais. Durante as fases dessa parte, o jogador tem que

resolver os seguintes problemas: converter uma expressão aritmética escrita na notação infixa para a notação posfixa, avaliar expressões em notação posfixa e em notação infixa. Antes de cada fase o jogador é instruído sobre a tarefa a ser realizada e os operadores disponíveis para se utilizar.

Por fim, na terceira parte do jogo, o objetivo é a aprendizagem de como se implementar pilhas. Nessa parte há apenas uma fase e o objetivo é acender quatro lâmpadas inicialmente apagadas. Para se acender as lâmpadas, é necessário entrar com o código correto de quatro funções ligadas a operações em pilhas: empilhar(), desempilhar(), buscar(), estaVazia(). Cada método corretamente implementado acende uma lâmpada e ao se acender todas, a fase é concluída e o jogo é finalizado.

A avaliação do The Stack Game foi realizada em dois semestres letivos consecutivos com os alunos matriculados no curso de estrutura de dados da Southern Liberal Arts College. O jogo foi usado como atividade regular durante as aulas e todos os alunos participaram, logo não houve grupo de controle. Os participantes foram submetidos a um teste antes de terem contato com o jogo e outro teste similar após contato com o jogo. Os resultados encontrados apontaram um resultado significativo na melhora de desempenho no segundo teste realizado e na avaliação qualitativa também realizada, a percepção dos participantes foi de que o The Stack Game ajudou na motivação para aprender o conteúdo e a clarificar os conceitos de programação.

4.5. deCode

Diferentemente dos trabalhos citados, [Su et al. 2021] cria um jogo que aborda diversos tipos de estruturas de dados, ao invés de focar em um único tipo. O projeto é nomeado como deCode.

A proposta desse projeto foi desenvolver uma aplicação que unisse conceitos de jogos sérios com uma aprendizagem baseada em visualização. Estudos mostram que a abordagem de visualização sozinha não é suficiente para o aprendizado de algoritmos [Hundhausen et al. 2002]. Por esse motivo, [Su et al. 2021] buscam unir a visualização com a interação gerada pelos jogos.

A principal ideia trazida por deCode é a de usar metáforas para facilitar a compreensão de conceitos de difícil leitura por parte de iniciantes. Dessa forma, o jogo tem diversas fases que contêm quebra-cabeças envolvendo diferentes partes da disciplina de estrutura de dados.

Em todas essas, carros representam dados ou nós a serem inseridos em uma vaga no estacionamento, que por sua vez é análoga a um endereçamento de memória.

A primeira fase tem um quebra-cabeça envolvendo estrutura de vetores (*arrays*). Em sequência, as fases seguintes exploram, em ordem, o conceito de listas, filas e pilhas.

Reorganizando os carros nas vagas de estacionamento, os jogadores podem abstrair conceitos complexos de estrutura de dados.

Nesse caso, a aplicação foi executada em um servidor *web* e esteve disponível para voluntários testarem o jogo. Com isso, eles puderam responder a questionários *Likert* para avaliar a experiência que tiveram. Trinta alunos participaram do experimento preenchendo o formulário e o *feedback* em geral foi positivo. No entanto, como se tratava

de voluntários, isso pode ter causado algum tipo de viés no perfil de estudantes participantes.

5. Análise comparativa

Tabela 1. Análise comparativa dos trabalhos relacionados

		Formula Tree	La Petite Fee Cosmo	2048	Train to Kluang	The Stack Game	deCode
Assunto Abordado	Vetor						X
	Lista Encadeada		X				X
	Pilha			X	X	X	X
	Fila						X
	Árvore	X					
Plataforma utilizada	Unity	X	X			X	
	Aplicação Web						X
	C			X			
	Adobe Flash				X		
Elemento de aprendizagem	Quiz				X		
	Abstração de estrutura em contexto de jogo	X	X	X		X	X
Gênero de jogo	Corrida	X					
	Quebra-cabeça			X		X	X
	Plataforma		X				
	Questionário				X		
feedback					X	X	X
Métrica para rendimento	Compleitude		X		X	X	X
	Pontuação	X		X			

A Tabela 1 mostra diferentes aspectos que diferenciam os trabalhos supracitados em relação ao Formula Tree. Nessa comparação estão definidos os seguintes tópicos: Assunto abordado, plataforma utilizada, elemento de aprendizagem, gênero do jogo e *feedback*.

5.1. Assunto abordado

Nesse tópico define e compara-se qual assunto da área de estrutura de dados o respectivo jogo aborda. É notória uma abordagem recorrente sobre "Pilha" e, buscando atender novos tópicos da matéria, foi optado por neste trabalho abordar o tema de "Árvore". Essa recorrência em pilhas é ainda ressaltada pela publicação [Rojas-Salazar 2022], que, como dito anteriormente, aponta um interesse em abordar a parte inicial da matéria.

5.2. Plataforma Utilizada

Já nesse tópico discute-se qual a plataforma base utilizada pra desenvolvimento dos projetos. Parte dos projetos citados decidiu usar uma linguagem de programação, sem nenhuma plataforma de apoio, enquanto outros fizeram uso da Unity para tal apoio, assim como neste projeto, que a utiliza como base de todo o desenvolvimento. Vale ressaltar que a Unity faz a utilização da linguagem C#.

5.3. Elemento de aprendizado

Neste trabalho, foi determinada uma divisão entre duas formas distintas de se aplicar um aprendizado para um usuário de um jogo sério: por meio de perguntas e respostas; algo mais semelhante a uma prova tradicional realizada em âmbito acadêmico, ou por meio de abstrações que busquem simular a maneira que um raciocínio é desenvolvido para a solução de um determinado problema.

Grande parte dos trabalhos relacionados faz uso de abstrações para facilitar o entendimento na manipulação de uma estrutura de dados complexa, realizando operações como reordenação de listas, por exemplo. Pode-se destacar [Ramle et al. 2019] como um caso contrário a isso, em que perguntas e respostas são utilizadas para tal fim.

É notável que tentar abstrair as informações para buscar um ensino descontraído, como no jogo em questão, que abstrai os conceitos de árvore para os pontos de controle e percurso do mapa, se destaca como elemento de maior uso.

5.4. Gênero do jogo

Aqui discute-se qual foi o gênero escolhido para o jogo nos projetos citados e no do artigo em questão, sendo observável uma recorrência pelo gênero de quebra-cabeça. Enquanto isso, o jogo desenvolvido por este projeto optou pelo gênero de corrida, considerando que tal gênero melhor se adapta a uma proposta original para representação do percurso em árvores. No mais, o tempo de percurso pode abrir portas para implementações de competições entre alunos referentes a tempo de resolução dos desafios e domínio da física construída, gerando melhor engajamento.

5.5. Feedback

Dos cinco trabalhos relacionados, apenas três realizaram alguma forma de análise qualitativa com *feedback* dos usuários. A abordagem das análises foram parecidas, sendo realizados questionários com afirmações e com cinco opções associadas a cada afirmação numa escala de cinco pontos que ia de "discordo totalmente" até "concordo totalmente". No entanto, o foco de cada avaliação divergiu entre cada artigo de modo significativo.

Para avaliação do The Stack Game, [Dicheva and Hodge 2018] prepararam um questionário com dezesseis afirmações. Tais afirmações têm caráter positivo, no sentido em que afirmam existir boas características sobre o jogo, sobre a experiência de usuário ou bons impactos na aprendizagem. Os resultados foram, de forma geral, positivos com destaque dado pelos autores para 96% dos participantes terem concordado que jogos educacionais ajudam a clarificar conceitos das disciplinas.

O objetivo para [Ramle et al. 2019] foi a obtenção da opinião dos usuários sobre a construção técnica do jogo. As afirmações postas para os usuários opinarem sobre o quanto concordam falam sobre bom aproveitamento da área da tela, interface com usuário atrativa, instruções claras, entre outras que seguem uma linha similar. Os resultados foram sobretudo positivos, entretanto com ressalvas discutidas pelos para o tópico de interface com o usuário e *layout* da aplicação, as quais obtiveram menor proporção de avaliações positivas.

A avaliação feita por [Su et al. 2021] foi um pouco menor que as outras duas dos trabalhos discutidos acima. Abordou-se quatro tópicos: se a metáfora do jogo ajudava no

entendimento, se a visualização era melhor para se aprender comparado com a aprendizagem baseada em código, se o jogo era efetivo na tarefa de ensinar conceitos de estrutura de dados e se, de forma geral, o usuário gostou de usar o jogo como ferramenta de aprendizagem. Os autores obtiveram pelo menos 70% de respostas positivas para cada tópico da avaliação.

5.6. Métrica de Rendimento

A maioria dos trabalhos relacionados analisados apresenta apenas o fato de o usuário ter completado o jogo ou não como uma análise do rendimento dele no jogo.

[Agner et al. 2021] foi um caso que, assim como o Formula Tree, fez uso de um sistema de pontuação, que possibilita uma análise comparativa entre diferentes jogadores, desenvolvendo senso de competitividade e maior envolvimento com o jogo.

É importante ressaltar que, embora [Ramle et al. 2019] tenha suporte para um sistema de pontuação, esta não fortalece *rankings* e disputas, visto que a pontuação obtida é apenas uma consequência de acertar as perguntas que são necessárias para completar o jogo, e não um fator a mais para demonstrar o melhor desempenho do jogador.

6. Considerações finais

O jogo descrito neste artigo tem como objetivo aprimorar o ensino de estruturas de dados comparando com trabalhos já realizados e levando em consideração o estado da arte. Esses trabalhos já realizados resultaram em um *feedback* positivo dos alunos envolvidos que consideraram melhoras na clarificação dos conceitos da disciplina, no entendimento e efetividade de ensino.

Como trabalhos futuros, pretende-se colocar um protótipo em uso por uma gama maior de alunos e efetuar testes de eficiência, ajustando o projeto conforme os *feedbacks*. Após essa apuração e fixação da eficiência do jogo no ensino, o objetivo seria aprimorar os elementos lúdicos e divertidos do jogo com intuito de popularizar seu consumo, atingindo um público cada vez maior.

Referências

- Agner, L. T. W., Thomen, M. A. F., Utzig, G. M., and Soares, I. W. (2021). Educação em algoritmos e estruturas de dados no contexto do ensino baseado em jogos digitais. *TE & ET*.
- da Silva, F. L. A. (2021). Um relato de experiência do uso de metodologias ativas para o ensino remoto de estruturas de dados em tempos de pandemia an experience report of the use of active methodologies for the remote teaching of data structures in times of pandemics. *Brazilian Journal of Development*, 7(7):70453–70491.
- Dicheva, D. and Hodge, A. (2018). Active learning through game play in a data structures course. In *Proceedings of the 49th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, pages 834–839.
- Eagle, M. and Barnes, T. (2008). Wu’s castle: teaching arrays and loops in a game. In *Proceedings of the 13th annual conference on Innovation and technology in computer science education*, pages 245–249.

- Hundhausen, C. D., Douglas, S. A., and Stasko, J. T. (2002). A meta-study of algorithm visualization effectiveness. *Journal of Visual Languages & Computing*, 13(3):259–290.
- Kannappan, V. T., Fernando, O. N. N., Chattopadhyay, A., Tan, X., Hong, J. Y. J., Seah, H. S., and Lye, H. E. (2019). La petite fee cosmo: Learning data structures through game-based learning. In *2019 International Conference on Cyberworlds (CW)*, pages 207–210.
- Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and instruction*, 26(3):379–424.
- Lawrence, R. (2004). Teaching data structures using competitive games. *IEEE Transactions on Education*, 47(4):459–466.
- Liu, T.-Y., Chu, Y.-L., and Tan, T.-H. (2012). Using computer games in a computer course to improve learning. In *Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) 2012*, pages W2C–16. IEEE.
- Petri, G. and Gresse von Wangenheim, C. (2017). How games for computing education are evaluated? a systematic literature review. *Computers Education*, 107:68–90.
- Qian, Y. and Lehman, J. (2017). Students’ misconceptions and other difficulties in introductory programming: A literature review. *ACM Transactions on Computing Education (TOCE)*, 18(1):1–24.
- Ramle, R., Nathan, S. S., Berahim, M., et al. (2019). Digital game based learning of stack data structure using question prompts.
- Rojas-Salazar, A. J. (2022). Game-based learning of data structures based on analogies: Learning gains and intrinsic motivation in higher education environments.
- Su, S., Zhang, E., Denny, P., and Giacaman, N. (2021). A game-based approach for teaching algorithms and data structures using visualizations. In *Proceedings of the 52nd ACM Technical Symposium on Computer Science Education, SIGCSE ’21*, page 1128–1134, New York, NY, USA. Association for Computing Machinery.