

Inclusão das Avaliações Formativa e Somativa no Processo de Desenvolvimento de um Jogo Educacional: Um Estudo de Caso no Projeto do Jogo Castaways

Henrique Cristovão de Souza
Departamento de Computação
Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Londrina - Brasil
henrique.souza@uel.br

Maurilio Martins Campano Junior
Departamento de Computação
Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Londrina - Brasil
maurilio.campanojr@gmail.com

Alan Salvany Felinto
Departamento de Computação
Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Londrina - Brasil
alan@uel.br

Resumo—Jogos educacionais são ferramentas de ensino que proporcionam uma alternativa lúdica e interativa de transmitir um conteúdo pedagógico específico. A maioria dos métodos de avaliação são realizados posteriormente ao contato do aluno com a ferramenta. Este artigo visa incluir diretrizes de avaliação formativa e somativa de aprendizagem durante o processo de desenvolvimento de jogos educacionais, a fim de avaliar aspectos pedagógicos, de forma quantitativa e qualitativa, durante a experiência do usuário com o jogo. As diretrizes de avaliação foram aplicadas no projeto do jogo Castaways, que aborda a matéria de Linguagens Formais e Autômatos, mais especificamente, Linguagens Regulares e Autômatos Finitos Determinísticos.

Palavras-chave—Jogos educacionais, avaliação diagnóstica, avaliação formativa, avaliação somativa, linguagens formais e autômatos, avaliação de aprendizagem, desenvolvimento de jogos

I. INTRODUÇÃO

Jogos educacionais são ferramentas responsáveis por fornecer uma alternativa mais lúdica e interativa de transmitir conteúdo pedagógico [1].

Porém, como qualquer outro método de ensino, é necessário realizar uma avaliação de aprendizado. Dito isso, a maioria das avaliações são aplicadas posteriormente ao contato do discente com o jogo educacional. Cada autor realiza essa avaliação de acordo com seus próprios critérios, pois ela é dependente do conteúdo abordado. Além disso, em muitos casos, os trabalhos de avaliação de jogos educacionais têm foco na avaliação da ferramenta em si [2], [3], [4], [5], [6], [7], ao invés da avaliação do conhecimento adquirido por ela.

Essa forma de avaliação é limitada, e não consegue dar ao avaliador e ao aluno, um *feedback* detalhado do processo de aprendizagem do aluno, de como ele absorveu o conteúdo, e do grau de dificuldade de aprendizado do mesmo.

Portanto, esse trabalho visa elaborar diretrizes para inclusão de métodos de avaliação do conteúdo pedagógico durante o processo de desenvolvimento de jogos educacionais, baseado na classificação da avaliação formativa e somativa, a fim de fornecer um relatório do desempenho e da evolução do aprendizado do aluno.

Para isso, foram propostos métodos de avaliação (formativa e somativa), os quais foram construídos e/ou adaptados para o processo de desenvolvimento, a fim de estabelecer diretrizes para auxiliar a inclusão da avaliação da aprendizagem do conteúdo pedagógico no processo de desenvolvimento de jogos educacionais.

Para a aplicação das diretrizes de aprendizagem foi proposto o desenvolvimento de um projeto de jogo relacionado à matéria de Linguagens Formais e Autômatos, com o intuito de ser um estudo de caso sobre o processo de aplicação da avaliação formativa e somativa em um projeto de jogo educacional.

Este artigo está estruturado da seguinte maneira: a Seção II apresenta a Fundamentação teórica, a Seção III define os Materiais e Métodos utilizados, a Seção a Seção IV apresenta os resultados e as análises obtidas durante o desenvolvimento do projeto do jogo educacional *Castaways* e as Conclusões e Trabalhos Futuros podem ser vistas na Seção V.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esta seção está dividida em: a subseção II-A apresenta a divisão adotada para a classificação do processo de avaliação de aprendizagem. A subseção II-B apresenta a documentação para o desenvolvimento de um jogo e, por fim, a subseção II-C apresenta os trabalhos relacionados.

A. Tipos de avaliação

De acordo com Freitas [8], a avaliação educacional voltada para o processo de ensino se propõe a avaliar continuamente a aprendizagem, atribuindo valores em escalas relacionadas aos aspectos quantitativos e qualitativos. Sendo assim, a avaliação tem como finalidade se reportar aos objetivos que foram traçados logo ao início da etapa, no planejamento do ensino. A intenção é que estas, no seu decorrer, não estejam dissociadas do que foi pretendido, interligado assim a sua finalidade inicial. Dito isso, [8] classifica uma avaliação em três tipos, diagnóstica, formativa e somativa. Além disso, em seu livro, Miller, Imrie e Cox também dividem a quantificação do aprendizado dessa mesma maneira [9].

A divisão de Freitas [8] foi adotada, pois é capaz de dividir e categorizar todo o processo avaliativo em três partes, e sua estrutura e categorias são utilizadas em outros trabalhos [9], [10], [11], [12].

1) *Avaliação Diagnóstica*: A avaliação Diagnóstica é realizada antes do contato do aluno com o conteúdo proposto, a fim de verificar a ausência ou presença de habilidades e conhecimentos necessários para o aprendizado do aluno [8], [9].

É responsável por identificar as características de aprendizagem do aluno, bem como suas dificuldades e as possíveis causas das mesmas, com o intuito de escolher o tipo de trabalho mais adequado às suas características.

2) *Avaliação Formativa*: A avaliação Formativa é realizada ao longo do processo, de maneira contínua, fornecendo parâmetros ao professor, que são utilizados para verificar se os objetivos estão sendo alcançados, podendo interferir nos obstáculos que podem estar comprometendo a aprendizagem [8], [9].

É responsável por constatar se os objetivos estão sendo atingidos, assim como levantar dados para que o professor possa realizar um trabalho de aperfeiçoamento de seus procedimentos, bem como possibilitar identificar as dificuldades do aluno, encontradas durante o processo de aprendizagem.

3) *Avaliação Somativa*: A avaliação somativa visa classificar os resultados da aprendizagem alcançados pelos alunos ao final do processo, tendo a função de classificar o aluno e quantificar este processo avaliativo [8], [9].

B. A documentação para o desenvolvimento de um jogo

A documentação de um jogo educacional servirá como base para a edificação do processo de desenvolvimento.

Portanto, dois documentos são importantes para um jogo. Caso queira que seja estabelecido um documento simples, que servirá como um guia de referência para o rumo do seu jogo, sem os elementos técnicos do processo de desenvolvimento, um Game Concept deve ser elaborado. Além disso, um documento descritivo do jogo como um todo, voltado para o desenvolvedor, como um guia, chamado *Game Design Document*, ou GDD, deve ser feito.

1) *Game Concept*: Um Game Concept é um documento mais simples, fácil de construir, que vai definir o rumo em que o seu jogo irá seguir [13]. É um documento sem elementos

técnicos, apresentável para pessoas sem conhecimento sobre a área. A seguir, estão descritas as características de um Game Concept:

- Descrição do jogo: Uma descrição do jogo, qual é o objetivo, como o jogador joga e vence, a divisão da progressão do jogo, etc;
- Premissa: Uma frase de impacto simples que resume a ideia do seu jogo;
- Motivação do jogador: O que move o jogador em frente, o motivo pelo qual ele joga o jogo;
- Diferencial: O que diferencia o seu jogo de outros jogos ou de ferramentas pedagógicas;
- Público alvo: O público ao qual seu jogo é direcionado;
- Gênero: Em qual gênero seu jogo é baseado, onde ele se encaixa nas categorias de jogos.
- Classificação etária: Faixa etária do seu jogo;
- Plataforma e requisitos de hardware: Ferramenta de desenvolvimento, linguagem adotada, características do computador em que o jogo será desenvolvido e plataforma de veiculação de seu jogo;
- Licença: Os elementos presentes no seu jogo, sejam eles gratuitos ou pagos, alguma ferramenta que foi adquirida para o desenvolvimento, onde os elementos gráficos e sonoros foram adquiridos;
- Análise competitiva: A força que seu produto vai ter no mercado ao qual ele é destinado.
- Storyboard: Imagens, protótipos de tela, ilustrações que mostram a estrutura e o funcionamento do seu jogo.

2) *Game Design Document (GDD)*: Um GDD é um documento interno, voltado aos desenvolvedores, normalmente construído quando há mais de um desenvolvedor envolvido. Ele é importante para estabelecer um padrão claro que todos consigam adotar e seguir, com a finalidade de facilitar a comunicação e permitir que o trabalho seja dividido e fundido da forma mais simples e eficaz possível, fazendo com que todos trabalhem em sintonia [13].

Para decidir qual formato de GDD adotar, é necessário considerar três fatores:

- Tempo de desenvolvimento: Quanto menor, mais simples será o documento;
- Tamanho da equipe: Quanto menor, mais simples será o documento;
- Complexidade do projeto: Quanto menos complexo, mais simples será o documento;

A partir desses três fatores, são estabelecidos três tipos de GDDs, que devem ser selecionados considerando cada um desses fatores [13]. São esses:

- GDDs de página única: são documentos simples, cujo objetivo é de fornecer uma visão geral do jogo e suas principais características;
- GDDs de dez páginas: Delineia melhor os principais pontos do projeto com mais profundidade. Acrescenta espaços para a inclusão de elementos visuais que auxiliam na visualização do projeto;

- GDDs do tipo bíblia: Conhecidos como *"to rule them all"*, ou, para governar a todos, é um documento extremamente detalhado sobre cada aspecto, cada item, cada mecânica, cada personagem, cada escolha de design, enfim, é um mandamento, no qual os desenvolvedores devem seguir à risca. Muito comum em jogos das décadas passadas, vem caindo em desuso nos tempos de hoje, mesmo em grandes empresas.

A seguir, estão descritas as características elementares de um GDD [13]:

- Identidade: Um resumo do jogo, identificando sobre o que o jogo se trata;
- Descrição da mecânica principal: Descreve a principal característica estrutural do jogo;
- Características: Descreve elementos presentes no jogo, como ambientação, movimentação, etc;
- Arte: Como será apresentado o jogo, o *design* adotado;
- Trilha sonora: Exemplos de músicas adotadas no jogo.
- Interface/Controles: Listagem dos controles e como será interface de usuário dos jogadores;
- Dificuldade: Os desafios que serão propostos ao jogador;
- Personagem: Uma descrição do personagem do jogo;
- Cronograma: Definição de metas e dias necessários para cumpri-las;
- Definições gerais: Gênero, plataforma, quantidade de níveis, quantidades de inimigos, público-alvo, puzzles, dentre outras.

C. Trabalhos relacionados

Para motivar os alunos na aprendizagem, Savi [4] propõe um modelo de avaliação de jogos educacionais ARCS, que se divide em quatro categorias:

- Atenção: É um pré-requisito para a aprendizagem e precisa se manter em um nível satisfatório para possibilitar o aprendizado;
- Relevância: A importância do conteúdo apresentado tem que ser clara e o aluno deve ser capaz de conectar o conteúdo acadêmico a seu futuro profissional;
- Confiança: Os alunos devem sentir que os resultados positivos foram frutos de seu esforço e dedicação;
- Satisfação: Os alunos devem obter sentimentos positivos em relação à sua experiência de aprendizagem, sentir que seu esforço foi apropriado e seu aprendizado foi consistente.

Savi também propõe em outro trabalho [3], um modelo teórico de avaliação de jogos educacionais baseado nos três primeiros níveis da Taxonomia de Bloom (lembrar, entender e aplicar) [14], bem como outras duas dimensões derivadas do modelo de avaliação de Sinde e Moody [15].

Oliveira [5] define um protocolo de estabilidade para a avaliação de jogos educacionais, que contém:

- Um roteiro do avaliador para duas versões do jogo;
- Um questionário de perfil do aluno;
- Um questionário de pré-teste e pós-teste;
- Um questionário de reação (aprendizagem, interface, jogabilidade, imersão, diversão e facilidade de uso);

- Um questionário de comparação de versões.

Petri [2], apresenta uma evolução do modelo existente para a avaliação de jogos educacionais, o modelo MEEGA, um dos mais abordados de acordo com o autor. Esta evolução recebe o nome de MEEGA+, e se divide em experiência do jogador e percepção da aprendizagem, sendo que cada categoria se divide em subitens para avaliações específicas do conteúdo do jogo.

Araujo [10] propõe o desenvolvimento de um *framework* conceitual para a instrumentação da avaliação formativa da aprendizagem em jogos digitais. Este teria como objetivo unir a instrumentalização da avaliação formativa com os elementos lúdicos de jogos digitais, a fim de tornar a aquisição de conhecimentos mais estimulante para o aprendiz e factível ao professor.

O *framework* foi estruturado com quatro componentes que se inter-relacionam de modo cíclico e contínuo:

- Instrumentar: Consiste na forma de questionamento e registro das respostas. Pode ser *explícita*, de forma a estimular respostas diretas, ou *tácita*, capturando "respostas" sem que o aluno seja questionado em relação ao conteúdo;
- Coletar: Consiste na captura das respostas registradas pelo instrumento. A coleta é realizada mediante o atendimento a critérios que expressam os objetivos almeçados pelo professor (chamados de *critérios formativos*) e as respostas coletadas precisam ser valoradas segundo indicadores quantitativos que expressam os critérios (chamado de *indicadores formativos*);
- Analisar: Verifica os *indicadores formativos*, por meio da aplicação de métricas próprias, a fim de identificar se eles expressam e como expressam a aquisição de conhecimentos dos alunos nas atividades desempenhadas;
- Regular: A regulação da aprendizagem é desenvolvida pelo professor a partir dos resultados emitidos pelas análises de dados realizadas, com a finalidade de sanar possíveis deficiências detectadas em tempo de processo ensino-aprendizagem.

O trabalho realizado por Pereira Junior e Menezes [12] também propõe um modelo para um *framework* para avaliação formativa em jogos educacionais. As funcionalidades deste *framework* são apresentadas a seguir:

- Para o professor: Configuração do jogo de acordo com os objetivos de aprendizagem, entrega de regras e elementos para a avaliação, entrega de padrões de desempenho, simulação do impacto dos elementos de avaliação no fluxo do jogo e emissão de análises de aprendizagem;
- Para o aluno-jogador: Entrada de dados pessoais do aluno-jogador e apresentação de *feedback* em tempo real;
- Interno de preparação do jogo: Obtenção de dados históricos do aluno para configuração do jogo;
- Interno de monitoramento do jogo: Monitoramento e gravação de dados, tratamento dos dados, geração de *feedbacks* para aluno-jogador e reconfiguração do jogo;

- Interno de fechamento do jogo: Geração de dados analíticos sobre as aprendizagens dos jogadores.

Por fim, Victal [16] também apresenta um *framework* para avaliação formativa baseada em jogos, dividindo o processo em três fases:

- Fase de Coleta: os agentes coletores são responsáveis por absorver os rastros deixados pelos jogadores durante uma seção de jogo, observando todos os seus movimentos e abstraindo tudo aquilo que parecer útil. O agente coletor funciona como se fosse um professor que observa seu aluno e anota cada movimento seu;
- Fase de Transformação: os agentes transformadores utilizam os dados coletados pelos agentes coletores, aplicam uma segunda filtragem de dados que pode ser útil para descartar dados desnecessários, juntando e estruturando os dados para que tornem informações possíveis de serem visualizadas.
- Fase de Visualização: este agente, por sua vez, utiliza os dados transformados e elaboram uma representação para o professor. Essa visualização é flexível e adapta-se para o objetivo de quem está analisando os dados. Isso serviria, por exemplo, para quando o professor desejar detectar alunos em dificuldade e realizar a inferência necessária.

Dentre esses trabalhos [4], [5] e [2] trabalham com a avaliação do jogo em si como ferramenta complementar de ensino, enquanto que [10] e [12] apresentam *frameworks* conceituais relacionando-os com o método de avaliação formativa. No entanto nenhum destes trabalhos apresenta a união dos conceitos teóricos de avaliação formativa e somativa, aplicados dentro de um projeto de jogo educacional.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A fim de atingir o objetivo deste trabalho, foi realizada uma pesquisa bibliográfica para coletar métodos de avaliação de desempenho e aprendizado relacionados à utilização de jogos educacionais, antes, durante, e depois de sua aplicação.

As pesquisas foram realizadas durante os meses de outubro de 2020 a fevereiro de 2021, utilizando bases como *IEEE Xplore* [17], Google Acadêmico [18], SciELO [19] e *Science Direct* [20].

As buscas envolveram os termos relacionados com avaliação de jogos, aprendizado com jogos, jogos educacionais, avaliações diagnóstica, formativa e somativa em jogos, além dos termos relacionados na língua inglesa. Durante a busca, foram priorizados artigos publicados a partir de 2015, porém, encontrou-se artigos relevantes anteriores a essa data.

A partir dos trabalhos encontrados, foram realizadas análises e leitura dos mesmos, ressaltando a importância dos diferentes tipos de avaliação e seus resultados são apresentados na seção IV.

Assim, as diretrizes para inclusão de técnicas de avaliação (diagnóstica, formativa e somativa) foram elaboradas a partir da análise da revisão bibliográfica, e são apresentadas na seção IV-A. Essas diretrizes foram incorporadas no projeto de um jogo educacional da matéria de Linguagens Formais e

Autômatos, o *Castaways*, e o projeto do jogo é apresentado na seção IV-B, com a finalidade de mostrar a aplicabilidade das diretrizes em um projeto de Jogo Educacional.

IV. RESULTADOS E ANÁLISE

Nesta seção estão descritos os resultados da pesquisa, a definição e documentação das diretrizes de avaliação somativa e formativa no estudo de caso.

A. União e inclusão dos métodos de avaliação em um jogo educacional

Para a avaliação diagnóstica, tem-se duas situações:

No caso do jogo educacional ser único para a transmissão de todo o conteúdo proposto, a avaliação diagnóstica depende do professor e do que ele julgar necessário ter como pré-conhecimento para o entendimento da matéria, ou para o uso da ferramenta escolhida para a transmissão da mesma.

No caso do jogo educacional ser uma sequência pedagógica de um jogo educacional anterior, com o objetivo de complementar o conteúdo, ou dar sequência ao aprendizado, a avaliação diagnóstica será obtida através do desempenho do aluno nas avaliações formativa e somativa do jogo anterior. Esse desempenho indica se o discente atingiu o grau de conhecimento necessário para o entendimento do jogo atual.

Para a avaliação formativa, é necessária uma coleta contínua de dados, os quais o professor tem acesso, a fim de avaliar se o jogador está prosseguindo de maneira adequada, aprendendo o conteúdo proposto de maneira ideal. Dados como, por exemplo, o tempo decorrido para a solução de um problema, porcentagem de acertos e erros, ou reinícios necessários para a solução, se a solução atingida era a solução ótima, etc [8], [9].

No trabalho de Leite [21], é estabelecida uma coleta de dados durante a experiência necessária para avaliar o desempenho individual de cada aluno e promover um *feedback* ao professor sobre a efetividade da ferramenta no aprendizado. Além disso, Fernandez [22] também estabelece um conjunto de dados que devem ser capturados durante o contato com o jogo.

Por fim, para a avaliação somativa, uma avaliação de aprendizado pode ser feita ao final da experiência, a fim de avaliar se o jogo foi efetivo em transmitir o conhecimento proposto. Isso pode ser feito de maneira interna ou externa à ferramenta, sendo isso um critério do criador do jogo educacional.

Para a realização da avaliação somativa de maneira interna, podem ser elaborados níveis bônus, desafios com recompensas, que tenham um conteúdo pedagógico mais evidenciado, eliminando alguns elementos lúdicos para evidenciar o conteúdo de uma forma mais clara e objetiva. Os dados coletados nesses níveis extras servem como quantificadores do aprendizado do aluno, sendo determinantes para medir o conhecimento adquirido pelo mesmo [8], [9].

Para o caso da avaliação ser externa, um questionário deve ser elaborado pelo professor, responsável por definir quais elementos ele quer avaliar, e como os quantificadores desses elementos devem ser apresentados.

TABELA I

RESUMO DO GUIA PARA INCLUSÃO DE SISTEMAS DE AVALIAÇÃO DE APRENDIZAGEM NO PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE JOGOS EDUCACIONAIS

	Avaliação Diagnóstica	Avaliação Formativa	Avaliação Somativa
Definição	Realizada antes do contato com a ferramenta para verificar a ausência ou presença de habilidades e conhecimentos necessários para o aprendizado.	Realizada ao longo do processo, continuamente, para verificar se os objetivos estão sendo alcançados, e os obstáculos que estão sendo encontrados.	Realizada após o contato com a ferramenta, classifica os resultados alcançados pelos alunos e quantifica o processo avaliativo.
Condição de aplicação	Seqüência de um jogo educacional anterior, abordando o mesmo conteúdo ou um conteúdo subsequente do abordado no antecessor.	O aplicador deseja coletar dados durante a experiência e interferir de maneira individual nas dificuldades de aprendizado.	O aplicador deseja quantificar o aprendizado adquirido através da ferramenta.
Implementação em jogos educacionais	Depende do conteúdo apresentado e é realizada fora da ferramenta, exceto em casos de jogos educacionais sequenciais.	Diretamente relacionada com o processo de desenvolvimento de jogos educacionais, depende da coleta de dados durante a experiência para ser realizada, e captura dados como pontuações, melhores tempos, quantidades de erros, reinícios, porcentagem de erros, menor tempo, maior precisão, média de tempo, tempo total, dentre outras, para determinar as dificuldades durante a experiência.	Pode ser aplicada através da ferramenta, como em fases extras/bônus mais simples, que são mais diretamente relacionáveis com o conteúdo, por questões de clareza, ou de maneira externa a ela, através de avaliações, questionários, pesquisas, sendo uma escolha do professor que está aplicando a ferramenta.
Importância pedagógica	Importante para determinar se o estudante tem a base necessária para aprender o novo conteúdo e também, detectar a falta de algum conhecimento necessário para o aprendizado.	Importância diretamente relacionada com o intuito do professor, a necessidade da coleta dos dados é diretamente proporcional com a intenção do professor em abordar as dificuldades de maneira mais pessoal e efetiva.	Determinante para quantificar o aprendizado dos alunos, e a efetividade da ferramenta na transmissão do conteúdo .
Aplicação em projetos de jogos educacionais	Normalmente realizada fora da ferramenta. Em caso de jogos educacionais, que abordam conteúdos sequenciais, utilizar os dados coletados das avaliações formativa e somativas dos jogos anteriores.	Sistema de classificação, coleta e quantificação de dados, classificados como importantes, com base nos dados mais importantes para analisar o aprendizado do conteúdo.	Aplicada de maneira interna à ferramenta, avalia de maneira mais direta o aprendizado do aluno com relação ao conteúdo.

A Tabela I resume os três tipos de avaliação, suas definições, suas condições de aplicação, como elas se aplicam no contexto de jogos educacionais, sua importância, e como aplicar em projetos de jogos educacionais.

B. Castaways: Um estudo de caso em Linguagens Formais e autômatos

Castaways é um projeto de um jogo educacional que está sendo desenvolvido pelos autores deste artigo, com foco em alunos de graduação em cursos voltados à área de Informática, englobando a matéria de Linguagens Regulares e Autômatos Finitos Determinísticos, fazendo assim com que o jogador aprenda essa teoria, ao mesmo tempo em que se diverte e explora o conteúdo do jogo.

1) *Autômatos Finitos Determinísticos:* Um Autômato Finito Determinístico (AFD) é um mecanismo reconhecedor para as linguagens formais do Tipo 3, as Linguagens Regulares [23]. Estes mecanismos reconhecedores tem como função indicar se uma palavra pertence ou não à uma determinada linguagem formal.

A representação matemática de um AFD é tal que: $AFD = \{E, \sum, \delta, i, F\}$ [24], na qual:

E é o conjunto finito de estados;

\sum é o alfabeto da linguagem;

δ é a função de transição $\delta: E \times \sum \rightarrow E$;

i é o estado inicial;

F é um subconjunto de E de estados finais.

A construção de um AFD é realizada a partir da representação de uma linguagem formal, tomando como exemplo a linguagem $L = \{a^n b^{2m} / n > 0, m > 0\}$, na qual a quantidade de símbolos “a” é maior que zero, e a quantidade de símbolos “b”, também é maior que 0. Assim, é necessário uma transição de q0 com “a” para q1, representando que deve haver pelo menos um “a”, e um loop em q1 com “a”, representando a possibilidade de infinitos “a”.

Além disso, o AFD também apresenta uma transição de q1 com “b” para q2, representando o primeiro “b” necessário, seguido de uma transição de q2 com “b” para q3, que é o estado final. Neste estado já pode-se finalizar e aceitar uma palavra, no entanto, caso a palavra seja formada por mais “b”, a quantidade deve ser par, assim, realiza-se uma transição para q2 com “b” e usa-se a mesma transição de q2 para q3 com “b” para finalizar novamente com uma quantidade par de “b”, como mostra a Fig. 1:

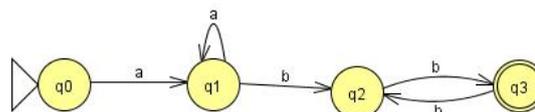


Fig. 1. Representação do AFD para a Linguagem $L = \{a^n b^{2m} / n > 0, m > 0\}$

2) *A ideia do jogo:* O objetivo do jogador é fazer com que todos os naufragos escapem das ilhas com vida. Haverão

várias ilhas, cada uma dessas com um naufrago, que possuem recursos específicos necessários para a construção de uma jangada, a qual será utilizada para que todos escapem com vida, sejam eles cordas, madeira, ferramentas, etc.

O jogador pode controlar qualquer naufrago, um de cada vez. No entanto, um naufrago não pode se mover para outra ilha, devido à presença de tubarões nas águas. Então, ele coleta os recursos presentes em sua ilha, os coloca em um caixote, e o arremessa para alguma ilha vizinha.

3) *A aplicação do conteúdo proposto no conceito do jogo:* Seguindo esse conceito, os estados dos autômatos finitos são representados pelas ilhas espalhadas pelo mar. As transições entre estados são representados pelos caixotes sendo jogados de uma ilha para outra, assim fazendo com que um autômato seja formado ao final de cada fase. Se o autômato formar uma linguagem correspondente à pretendida no design do nível, ele será marcado como concluído e o jogador poderá prosseguir. Caso o jogador realize um movimento que impossibilita a formação do autômato correto, o nível será marcado como fracassado e será reiniciado.

4) *A estrutura do jogo:* No jogo haverão 5 fases, cada uma com 3 níveis. Na primeira fase, os níveis serão responsáveis por ensinar o jogador as mecânicas do jogo e seus níveis representarão linguagens finitas. As fases 2 e 3 representam linguagens com repetição e linguagens de qualquer ordem e qualquer tamanho, respectivamente.

As fases 4 e 5 representam um desafio mais complexo ao jogador, com um aprendizado mais focado na matéria teórica, sendo, respectivamente, construções de autômatos baseados em uma linguagem e a identificação da linguagem reconhecida pelo autômato.

5) *A implementação do jogo:* Com o documento construído, inicia-se a etapa de desenvolvimento. Aqui, serão implementadas as mecânicas, as dinâmicas, a estética, enfim, todas as características que foram decididas para o seu jogo.

Primeiramente, é necessário realizar a coleta de *assets* para o seu jogo, ou seja, os elementos que serão utilizados para a construção de cenários, personagens, itens, ferramentas, etc. Levando em consideração o estilo adotado para a construção do seu jogo, a maioria desses recursos podem ser encontrados gratuitamente em diversos sites voltados ao desenvolvimento de jogos. Quanto maior for o número de recursos à sua disposição, mais fácil será o seu processo de desenvolvimento.

Após isso, é recomendado que todos os recursos sejam manipulados a fim de facilitar o seu uso. Manipular os recursos que estão disponíveis, deixando-os de uma forma que seja a mais próxima do que pretende-se utilizar, para que a utilização seja mais simplificada. Construa modelos pré-fabricados de cenários, modelos, itens, personagens, para que eles estejam prontos para uso sem a necessidade de grandes ajustes.

Por exemplo, para o jogo educacional *Castaways*, foram criadas ilhas que servem como terreno base para a construção de um cenário. Ou seja, ao invés de todos os terrenos terem que ser fabricados conforme o uso, esses modelos servem para acelerar o processo. Além disso, todos os itens já possuem todos os seus componentes implementados e configurados, po-

dendo assim distribuí-los ao redor do nível sem a necessidade de construir cada objeto, cada vez que ele for utilizado.

A seguir, é importante que todas as mecânicas sejam implementadas e testadas, para que a construção dos níveis, cenários, fases, etc, sejam mais simples. Crie um cenário de teste, no qual todas as mecânicas que estarão presentes no jogo possam ser testadas de uma só vez, procurando corrigir problemas, e facilitando a criação de níveis mais à frente. Além disso, todas as mecânicas devem ser implementadas, antes que se possa implementar os métodos de avaliação em seu jogo educacional, afinal, é necessário saber exatamente como o seu jogo funciona, como o jogador deve progredir, para poder avaliar seus conhecimentos e suas capacidades com maior precisão.

A partir disso, inicia-se a etapa de construção dos níveis. É aqui que será definida a curva de aprendizado, a progressão da dificuldade, a esquematização do progresso, os passos necessários para que o jogador conclua o nível, enfim, a transformação de suas mecânicas e seus elementos em um jogo em si. Procure definir um sistema de progressão em que a dificuldade aumente, respectivamente ao conteúdo proposto, mas que essa dificuldade não chegue em um ponto em que se torne frustrante demais, ao ponto de dissuadir o jogador da experiência que será apresentada.

Por exemplo, para o jogo *Castaways*, cada nível foi pensado e construído de uma forma em que a dificuldade de sua resolução seja condizente com o conteúdo apresentado, ou seja, os níveis ficam mais difíceis conforme o conteúdo fica mais complexo.

Na primeira fase, responsável por introduzir o jogador à proposta, e ensinar a ele como as mecânicas funcionam, isto é, o tutorial, os níveis abordam linguagens finitas, que têm autômatos muito simples, fáceis de entender. No primeiro nível, a linguagem é composta pela palavra $\{aa\}$, no segundo, composta pela palavra $\{aba\}$, e no terceiro, $\{abc\}$.

Na segunda fase, não há auxílio na conclusão dos níveis. O jogo assume que o jogador é capaz de resolver os níveis por conta própria, então, os níveis começam a ter indução ao erro, vários caminhos que não levam ao final desejado, mais ilhas para se explorar recursos, etc. Nessa fase, começam a ser exploradas linguagens com repetição, com o primeiro nível sendo a linguagem $\{ab^n/n > 0\}$, o segundo sendo $\{abcd^n/n > 0\}$ e o terceiro, $\{a^nbc^m d/n, m > 0\}$.

Na terceira fase, são abordadas linguagens de qualquer ordem e/ou qualquer tamanho. No primeiro nível, a linguagem $\{w \in \{0, 1\}^*\}$, no segundo, $\{w \in \{a, b, c, d, \}^*\}$ e, na terceira, $\{w \in \{0, 1\}^* / \text{com } 0 \text{ e } 1 \text{ ímpares}\}$.

As quarta e quinta fases serão discutidas durante a seção de implementação das técnicas de avaliação pedagógica, mais à frente.

Por fim, após a estrutura base do seu jogo educacional estiver implementada, os níveis montados, e a progressão definida, tem-se um jogo funcional. Então, a seguir, serão implementados os métodos de avaliação.

O objetivo é coletar todos os recursos necessários para a construção da jangada, para que assim, todos possam ser

salvos e fugir dessas ilhas com vida.

C. Documentação do jogo educacional Castaways

1) *Aplicando as propriedades do Game Concept no jogo educacional Castaways*: A seguir, estão descritas em detalhes, as etapas de construção de um Game Concept:

- **Descrição do jogo:**

Por exemplo, para transmitir o conteúdo de Linguagens Regulares e Autômatos Finitos determinísticos, foi decidido que uma história sobre naufragos que devem transportar recursos entre ilhas seria um elemento lúdico adequado à proposta. Assim, a constante sensação de perigo e fracasso iminente seria um dos maiores elementos motivadores durante a experiência do jogador. Essa premissa mantém o jogador focado o tempo todo, pois um erro pode ter consequências catastróficas para os personagens do jogo.

Além disso, toda a divisão de níveis, sistema de progressão, condição de vitória, devem estar definidos nessa descrição também.

Por exemplo, o jogo Castaways foi dividido em 5 fases, com três níveis cada. A primeira fase abordaria linguagens finitas, com seus três respectivos níveis tendo uma dificuldade crescente. Além disso, é nesse nível que o tutorial do jogo estaria situado, ensinando o jogador sobre como vencer, como perder, e como utilizar as mecânicas implementadas ao seu favor. A segunda fase abordaria Linguagens com repetição, e a terceira, linguagens de qualquer ordem e/ou qualquer tamanho. As quartas e quintas fases seriam um extra, no qual o jogador receberia uma linguagem, e construiria um autômato, e receberia um autômato, e identificaria qual linguagem ele constrói, respectivamente.

- **Premissa:**

Para o jogo Castaways, foi definida a seguinte premissa: "Ajude um grupo de naufragos a construir uma jangada e escapar da ilha antes que seja tarde demais!"

- **Motivação do jogador:**

Foi decidido para o jogo Castaways que a principal motivação do jogador seria conseguir salvar todos os naufragos das ilhas, sem que nenhum fique para trás. Isso gera um desafio que promove a exploração dos níveis, o raciocínio lógico, e a resolução de quebra-cabeças.

- **Diferencial:**

O jogo Castaways se diferencia das outras ferramentas pelo seu elemento lúdico, já que existe na área um foco muito grande em simuladores de autômatos, ferramentas de auxílio visual, enquanto o jogo explora a diversão e a imersão como característica diferenciadora.

- **Público-alvo:**

O jogo Castaways tem como público alvo alunos de graduação, mais especificamente, do curso de Ciência da Computação.

- **Gênero:**

Devido às suas mecânicas de logística, gerenciamento de recursos, *problem solving*, foi decidido que o jogo

Castaways se encaixa, principalmente, no gênero de estratégia.

- **Classificação etária:**

Para o jogo Castaways, foi decidido a utilização da ferramenta de desenvolvimento Unity, por ser gratuita e pela familiaridade do desenvolvedor com a mesma.

- **Licença:**

Para o desenvolvimento do jogo, foram explorados apenas conteúdos de uso gratuito e livre, que se adequavam a necessidade do projeto.

- **Análise competitiva:**

Para o caso do jogo Castaways, a ausência de jogos educacionais que explorem o mesmo conteúdo é um dos maiores diferenciais para que a análise competitiva do jogo seja realizada. A existência desse jogo no âmbito acadêmico é uma vantagem em relação à outras ferramentas.

- **Storyboard:**

Por fim, serão colocadas ilustrações, protótipos de tela, imagens, enfim, artefatos para auxiliar na visualização do seu projeto. Nessa etapa, devido à ausência de uma visualização concreta, foram utilizadas ilustrações para visualizar o projeto, como mostra a Fig. 2:

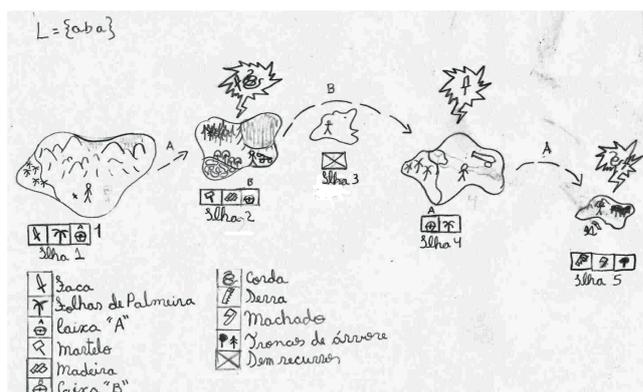


Fig. 2. Storyboard do jogo Castaways

2) *Aplicando as propriedades do GDD no jogo educacional Castaways*: A seguir, estão descritas em detalhes, as etapas de construção de um GDD referentes ao jogo educacional Castaways:

- **Identidade:**

Similar à descrição do jogo no Game Concept, é um breve resumo do que se trata o seu jogo, qual é a sua história.

- **Descrição da mecânica principal:**

Sua mecânica principal é o transporte de recursos entre ilhas. Ou seja, haverão várias ilhas, com naufragos presos nelas, os quais devem coletar recursos e jogá-los para outras ilhas, a fim de levar todos os recursos para uma ilha final, construir uma jangada, e escapar.

- **Características:**

O jogo Castaways será ambientado em um arquipélago com várias ilhas, cada naufrago é controlado separada-

mente, um por vez, cada ilha possui um determinado recurso, exige um raciocínio lógico do jogador, etc.

- **Arte:**
Para o jogo Castaways, foi adotado um estilo 3D Low Poly, o qual tem uma enorme disponibilidade de recursos gratuitos, facilitando muito o processo de desenvolvimento.
- **Trilha sonora:**
Foram utilizadas músicas e sons livres de direitos autorais e de uso gratuito.
- **Interface/Controles:**
Foi decidido que o jogador controlaria tudo com o mouse, exceto pelo pause, que se situa no botão "esc" do teclado. Além disso, as transições de um estado para outro ficariam marcadas em uma UI no canto da tela.
- **Dificuldades:**
No jogo Castaways, a maior dificuldade do jogador é resolver os níveis de maneira correta, os quais possuem um aumento gradual de complexidade.
- **Pesonalidade:**
Como o jogo Castaways não possui foco em um personagem em si, mas sim no conjunto como um todo, essa descrição se resume em naufragos presos em ilhas.
- **Cronograma:**
Para o jogo educacional Castaways, foi estabelecido um cronograma baseado na metodologia Scrum.
- **Definições gerais:**
Nessa propriedade são definidas as características que não foram abordadas anteriormente, a maioria delas estando presentes na seção de descrição do jogo do *Game Concept*.

D. Aplicação da Avaliação Somativa e Formativa no projeto do jogo Castaways

1) *Avaliação Formativa:* A avaliação formativa é a parte mais relacionável com jogos educacionais. É intrínseco ao processo de desenvolvimento de jogos a inclusão de ferramentas que quantificam e avaliam o desempenho, sejam pontuações, tempo decorrido, classificações, etc. Devido a isso, a avaliação formativa é a mais aplicável ao desenvolvimento de jogos educacionais, e seus dados são importantes no processo de avaliação de aprendizado através de um jogo educacional.

É na avaliação formativa que pode-se ter um *feedback* detalhado do desempenho do jogador conforme o decorrer de sua experiência, ou seja, quanto mais bem relacionado for a coleta de dados do jogador durante a experiência com as medidas de progresso e aprendizado adotadas para algum respectivo conteúdo, mais efetivo será o aprendizado, ou a capacidade de um educador de avaliar os problemas que os alunos enfrentam com relação à tal conteúdo. O professor ganha a capacidade de analisar os dados obtidos conforme eles são apresentados, podendo visualizar onde os alunos estão tendo dificuldades ou facilidades, e permitindo-o ser mais efetivo na abordagem da solução dessas dificuldades.

Portanto, é importante que se saiba como quantificar o aprendizado do conteúdo que está sendo abordado, e como

esses dados podem ser coletados através de um jogo educacional. Esse é um processo que requer estudo e um conhecimento aprofundado do conteúdo que está sendo implementado. Aqui, recomenda-se o acompanhamento de um professor da área, para que sejam dadas instruções de que dados são mais importantes de serem coletados para quantificar o aprendizado de tal conteúdo. Além disso, também é necessário saber como implementar essa coleta de dados no jogo educacional através de mecânicas. Para isso, podem ser analisados exemplos em jogos já existentes, com fins educacionais ou não, e como eles quantificam o desempenho em seus níveis. Mecânicas como [25], [26]: pontuações, quadro de líderes (pessoas que tiveram a melhor pontuação em um determinado nível), melhores tempos, soluções mais criativas, quantidades de erros, quantidades de acertos, reinícios, porcentagem de erros, porcentagem de acertos, média de erros em todos os níveis, média de acertos em todos os níveis, menor tempo, maior precisão, média de tempo, tempo total para a conclusão, vezes jogadas, quantidade de repetições de um mesmo nível, médias globais (de todos os que jogaram) de níveis concluídos, níveis com maior porcentagem de erros, etc. Esses tipos de dados variam de acordo com a necessidade de cada jogo, a competitividade, o fato de um jogo ser *online* ou não, e podem ser pontuações pessoais ou globais.

Para o jogo Castaways, foi elaborado um sistema de coleta de dados, a fim de determinar o nível de entendimento dos alunos com o conteúdo, onde estão os maiores problemas, e permitir ao avaliador abordar cada ponto de maneira mais atenciosa.

Como a primeira fase tem como objetivo introduzir o jogador em sua experiência, e ensiná-lo sobre o funcionamento do jogo, bem como a relação de suas mecânicas com o conteúdo de Linguagens Regulares e Autômatos Finitos determinísticos, nenhum dado será coletado durante os níveis dessa respectiva fase.

A partir da segunda fase, o jogador não é mais guiado por um caminho específico, e a indução ao erro é introduzida à experiência. Nessa fase, o jogador é livre para abordar os problemas apresentados da maneira que quiser, e deve encontrar as soluções para os mesmos seguindo a sua própria lógica, explorando as possibilidades por conta própria. O mesmo vale para a terceira fase, e seus respectivos níveis.

Portanto, a partir da segunda fase, os dados estabelecidos como importantes para o conteúdo começam a ser coletados. Conforme o jogador progride em um nível, informações são adquiridas em relação à sua abordagem com o respectivo nível.

Os dados coletados foram definidos baseados em exercícios comuns do conteúdo abordado [23], [27], [24], [28], [29], e foram escolhidos de acordo com a sua justificativa pedagógica, sua relação com a resolução de exercícios, e com os medidores de desempenho comuns na resolução dos mesmos. Por fim, o tempo, quantidade de reinícios, solução ótima e quantidade de estados inúteis foram os dados determinados como importantes para realizar a avaliação formativa do aluno ao longo de sua experiência para o jogo Castaways, como mostra a Tabela II.

TABELA II
DADOS COLETADOS PARA A AVALIAÇÃO FORMATIVA NOS NÍVEIS DAS
SEGUNDA E TERCEIRA FASES DO JOGO CASTAWAYS

Dado coletado	Presença no jogo	Justificativa da coleta	Utilidade pedagógica
Tempo	O tempo decorrido desde que o jogador iniciou um nível, até a sua resolução.	Quantificar a velocidade em que o jogador encontrou a solução correta para o problema.	A medição da quantidade de tempo decorrida para a solução serve para mensurar o entendimento da estrutura do nível, isto é, do autômato montado para ser a solução do mesmo.
Quantidade de reinícios	Cada vez que o jogador atinge um estado em que o problema não pode ser resolvido, o nível reinicia.	Determinar em que níveis há mais dificuldade na resolução do problema apresentado.	O reinício acontece quando há algum erro que impossibilita a construção do autômato. Então, a quantidade de reinícios serve como parâmetro para medir a dificuldade de um nível e do entendimento do aluno sobre o mesmo.
Solução ótima	Se a solução encontrada pelo jogador era a melhor possível para o problema, ou seja, o autômato possui o menor número de estados possíveis para a construção da linguagem.	Determinar a eficácia do jogador em analisar o problema e entender a lógica por trás de um determinado nível de maneira eficiente.	O aluno resolver o nível da melhor maneira possível indica um entendimento mais aprimorado da matéria e do aprendizado do mesmo.
Quantidade de estados inúteis	Estados do autômato formado que não contribuem para a construção da linguagem.	Complementar os dados de solução ótima, a fim de quantificar ainda mais o entendimento (ou a falta de) sobre o conteúdo.	Estados inúteis indicam que o aluno conseguiu atingir o objetivo, porém ainda não entende completamente o conteúdo e não é capaz de montar o autômato de uma maneira mais eficiente.

2) *Avaliação Somativa*: A Avaliação Somativa é responsável por medir os conhecimentos adquiridos durante o processo de aprendizado, quantificar a absorção de conteúdo e o entendimento do mesmo. Pode ser realizada através da ferramenta, ou de maneira externa a ela. Esse tipo de avaliação é extremamente importante para determinar a efetividade de um jogo educacional na transmissão de seu conteúdo.

Dito isso, duas opções podem ser adotadas para aplicar esse tipo de avaliação pedagógica: dentro do jogo educacional, através de níveis extras, ou desafios; ou através de uma avaliação externa ao jogo. Como o propósito deste trabalho é a implementação de processos de avaliação pedagógica em jogos educacionais, a primeira opção será abordada.

A partir das mecânicas que foram estabelecidas para promover a transmissão de conteúdo, é necessário estabelecer uma

dinâmica voltada ao uso mais funcional, que tem a função de relacionar a mecânica com o seu valor pedagógico. Ou seja, desafios, fases, níveis, que se relacionam mais diretamente com o conteúdo, e se desviam da imersão e da ludicidade de um jogo. Isso é importante, pois é uma seção do jogo educacional com um fim mais acadêmico, que fornece dados para avaliação pedagógica de alunos, necessária para a progressão do aluno em seu ano letivo. Assim sendo, é importante que esses dados sejam obtidos da maneira mais direta possível, sem interferências de desafios ou distrações que desviem o foco do usuário do propósito daquele nível ou fase.

Para o jogo Castaways, foram projetadas duas fases, que serão responsáveis por avaliar os conhecimentos adquiridos durante as fases anteriores. Fases com níveis mais simples, que pretendem avaliar se o jogador entendeu a relação entre a jogabilidade e o conteúdo apresentado.

Na fase quatro, as linguagens que devem ser montadas estão explícitas, e o jogador tem a responsabilidade de construir o autômato que as representam. Aqui, os desafios de lógica sobre como solucionar um problema são deixados de lado, e o jogador é livre para escolher como a fase irá progredir, a fim de atingir o objetivo (montar a linguagem proposta). Nesses níveis, o jogador funcionaria como um *game designer* de uma certa forma, sendo responsável por montar um sistema de forma que atinja um objetivo proposto. Porém, nesse caso, toda parte de desafio, coleta de recursos, indução ao erro, o sentimento de alto risco que os níveis anteriores proporcionaram, ficam de fora, e dão espaço para a mecânica mais básica do jogo, que se relacionam diretamente ao processo de construção de uma linguagem.

Já na quinta fase, a princípio, cinco autômatos são apresentados, e o jogador tem como objetivo identificar qual linguagem aquele autômato as representa. Seus níveis possuem nenhuma ou pouca interatividade, o jogador não é capaz de alterar a progressão dos acontecimentos, mas sim, é um espectador em um sistema fechado, e tem como único objetivo analisar os acontecimentos e fornecer uma resposta correta sobre o que foi visto.

Vale lembrar que, apesar das fases com o intuito avaliativo, avaliações alternativas podem ser efetuadas, sem a relação direta com o jogo educacional. Isso permite uma avaliação mais precisa e particular ao que o professor julga ser mais importante ter sido aprendido, contanto que seja condizente com o conteúdo que o jogo pretende ensinar.

V. CONCLUSÃO

Após realizar a análise dos dados obtidos, conclui-se que os procedimentos adotados durante o processo de desenvolvimento do jogo, e a inclusão de métodos de avaliação durante o mesmo, contribuíram para o desenvolvimento do projeto de uma ferramenta pedagógica, lúdica, que permitirá fornecer dados para os professores sobre as dificuldades e os problemas de aprendizagem dos conteúdos pedagógicos que os alunos eventualmente enfrentaram, contribuindo para o aperfeiçoamento do ensino em cursos de ensino superior.

Para a inclusão da avaliação formativa e somativa em projetos de jogos educacionais, faz-se necessário a presença do professor para a qual o jogo está inserido. O professor auxilia e acompanha o desenvolvimento do jogo, indicando quais dados o mesmo deve coletar, visando quantificar o desempenho do processo de aprendizagem do conteúdo pedagógico.

O professor é responsável por construir a métrica que representa o *feedback* de desempenho do aluno durante o jogo, a qual será adotada pelo *designer* do jogo.

Espera-se que esse modelo seja utilizado em trabalhos futuros como um direcionamento, no qual os desenvolvedores possam se apoiar, a fim de melhorar a eficácia e a aplicabilidade desse tipo de ferramenta, principalmente em cursos de graduação.

No futuro, espera-se realizar o desenvolvimento, a conclusão e a validação pedagógica do jogo utilizado como estudo de caso, com todas as suas funcionalidades implementadas, e a liberação do mesmo para uso gratuito, para que qualquer professor da área de Linguagens Formais e Autômatos tenham acesso a essa alternativa de ensino.

REFERÊNCIAS

- [1] L. M. R. Tarouco, L. C. Roland, M.-C. J. M. Fabre, and M. L. P. Konrath, “Jogos educacionais,” *RENTE: revista novas tecnologias na educação [recurso eletrônico]*. Porto Alegre, RS, 2004.
- [2] G. Petri, C. G. von Wangenheim, and A. F. Borgatto, “Evolução de um modelo de avaliação de jogos para o ensino de computação,” in *Anais do XXV Workshop sobre Educação em Computação*, SBC, 2017.
- [3] R. Savi, C. Wangenheim, and A. Borgatto, “Um modelo de avaliação de jogos educacionais na engenharia de software,” *Anais do XXV Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software (SBES 2011)*, São Paulo, 2011.
- [4] R. Savi, C. G. Von Wangenheim, V. Ulbricht, and T. Vanzin, “Proposta de um modelo de avaliação de jogos educacionais,” *RENTE-Revista Novas Tecnologias na Educação*, vol. 8, no. 3, 2010.
- [5] R. Oliveira, G. Belarmino, C. Rodriguez, D. Goya, M. F. Venero, A. O. Júnior, and R. V. da Rocha, “Avaliações em jogos educacionais: instrumentos de avaliação da reação, aprendizagem e comparação de jogos,” in *Brazilian Symposium on Computers in Education (Simpósio Brasileiro de Informática na Educação-SBIE)*, vol. 30, p. 972, 2019.
- [6] I. de Jesus Coutinho and L. Alves, “Avaliação de jogos digitais com finalidade educativa: contribuição aos professores,” *HIPERTEXTUS*, vol. Volume 15, 10 2016.
- [7] I. O. for Standardization (ISO), “Iso/iec 25000: 2014 systems and software engineering — systems and software quality requirements and evaluation (square) — guide to square,” 2014.
- [8] S. L. Freitas, M. G. N. da Costa, and F. A. de Miranda, “Avaliação educacional: formas de uso na prática pedagógica,” *Revista Meta: Avaliação*, vol. 6, no. 16, pp. 85–98, 2014.
- [9] K. Cox, B. W. Imrie, and A. Miller, “*Student assessment in higher education: a handbook for assessing performance*,” Routledge, 2014.
- [10] G. G. de Araujo and E. H. d. S. Aranha, “Avaliação formativa da aprendizagem com instrumentação em jogos digitais: Proposta de um framework conceitual,” in *Anais dos Workshops do Congresso Brasileiro de Informática na Educação*, vol. 2, 2013.
- [11] M. A. d. U. CINTRA, “Aprendizagem de matemática utilizando jogos digitais e avaliação formativa,” *Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistema)*. Instituto Federal de São Paulo - Caraguatatuba, SP, 2013.
- [12] H. P. Junior and C. Menezes, “Modelo para um framework computacional para avaliação formativa da aprendizagem em jogos digitais,” *XIV Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital SBGames, Trilha da Cultura, Teresina*, pp. 819–828, 2015.
- [13] J. Novak, “Desenvolvimento de games,” *São Paulo: Cengage Learning*, pp. 354–355, 2010.
- [14] A. C. Galhardi and M. M. d. Azevedo, “Avaliações de aprendizagem: o uso da taxonomia de bloom,” in *Anais do VII Workshop Pós-graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza, São Paulo*, vol. 1, pp. 237–247, 2013.
- [15] D. L. Moody and G. Sindre, “Evaluating the effectiveness of learning interventions: an information systems case study,” *ECIS Proceedings*, 2003.
- [16] E. Victal and C. Menezes, “Avaliação para aprendizagem baseada em jogos: Proposta de um framework,” *XIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pp. 970–977, 2015.
- [17] IEEEExplore, “Ieee xplora,” 2020. Acessado em novembro de 2020.
- [18] “Google acadêmico,” 2020. Acessado em novembro de 2020.
- [19] “Scielo - scientific electronic library online,” 2020. Acessado em novembro de 2020.
- [20] “Science direct,” 2020. Acessado em novembro de 2020.
- [21] L. Leite, M. A. Sibaldo, T. de Carvalho, and R. de Souza, “Montanha de chomsky: jogo tutor para auxílio no ensino de teoria da computação,” in *Anais do XXII Workshop sobre Educação em Computação*, pp. 110–119, SBC, 2014.
- [22] C. Alonso-Fernández, A. R. Cano, A. Calvo-Morata, M. Freire, I. Martínez-Ortiz, and B. Fernández-Manjón, “Lessons learned applying learning analytics to assess serious games,” *Computers in Human Behavior*, vol. 99, pp. 301–309, 2019.
- [23] N. J. Vieira, “Introdução aos fundamentos da computação,” 2006.
- [24] P. B. Menezes, “Linguagens formais e autômatos,” 2011.
- [25] M. Kavakli, J. R. Thorne, et al., “A usability study of input devices on measuring user performance in computer games,” in *Proceedings of First International Conference on Information Technology and Applications*, pp. 291–295, 2002.
- [26] C. S. Loh and Y. Sheng, “Measuring expert performance for serious games analytics: From data to insights,” in *Serious Games Analytics*, pp. 101–134, Springer, 2015.
- [27] T. A. Menezes, P. B. and Divertio, “Teoria da computação: Máquinas universais e computabilidade,” 2011.
- [28] M. Sipser, “Introdução à teoria da computação,” 2007.
- [29] J. E. Hopcroft, J. D. Ullman, and R. Motwani, “Introdução à teoria de autômatos, linguagens e computação,” 2002.