JESSICA LEITE PITUBA

**Jogos educativos adaptativos utilizando estilos
de aprendizagem Felder-Silverman**

São Paulo
2018

JESSICA LEITE PITUBA

**Jogos educativos adaptativos utilizando estilos
de aprendizagem Felder-Silverman**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

São Paulo
2018

JESSICA LEITE PITUBA

**Jogos educativos adaptativos utilizando estilos
de aprendizagem Felder-Silverman**

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:

Engenharia de Computação

Orientador:

Prof. Dr. Ricardo Nakamura

São Paulo
2018

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 20 de maio de 2018.

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Pituba, Jessica Leite

Jogos educativos adaptativos utilizando estilos de aprendizagem Felder-Silverman / J. L. C. Pituba. - - versão corr. - - São Paulo, 2018.

71 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais.

1. Jogos 2. Educação 3. Adaptatividade I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais II. t.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Ricardo Nakamura, por me acompanhar durante a trajetória de todo esse trabalho, com toda a paciência e sempre me incentivando a terminá-lo.

Agradeço a Mariza Ushijima, por sempre me ajudar com todos os problemas burocráticos na USP e me trazer doces para me animar.

Agradeço a todo o pessoal que passou pelo Interlab e se envolveu nesse projeto, direta ou indiretamente,

Agradeço ao meu namorado, Rodrigo Penteado Paneghine, que não só me acompanhou durante todo o stress deste trabalho, mas me manteve motivada e ajudou como pode para que os trabalhos fossem terminados a tempo.

Agradeço a minha mãe, Cileide Maria Leite, por ter paciência durante meus dias em que me trancada no quarto para programar ou escrever, e sempre me apoiar para que eu continuasse buscando o caminho da pesquisa.

Agradeço a Marcia Ito, por ter me incentivado a fazer o mestrado. Sem ela, nada disso teria começado e este trabalho jamais seria escrito.

E, por fim, agradeço aos meus gatos, por pisarem no meu teclado, amassarem meus papéis, me assustarem no meio da noite e me oferecerem companhia todas as horas, principalmente nas noites viradas para conseguir manter os prazos.

RESUMO

Os jogos podem ser utilizados como uma forma mais interativa e lúdica de aprender. Porém, os alunos possuem preferências diferentes no aprendizado, denominados estilos de aprendizagem. Esses estilos indicam diferenças ao absorver, processar e transformar as informações transmitidas ao aluno em conhecimento. Um modelo de estilos de aprendizagem dedicado ao ensino de engenharia é o modelo Felder-Silverman, que possui 4 dimensões descrevendo as preferências dos alunos ao aprender. A proposta deste projeto é desenvolver um jogo educativo de física para alunos do curso de Engenharia, que consiga identificar estes estilos e alterar suas características para atender as necessidades dos diferentes jogadores, implementando um comportamento adaptativo, sem utilizar a ferramenta para a medição dos estilos criada por Felder. Inicialmente, foi feito um experimento de design centrado no usuário para descobrir as características de jogos existentes de física agradavam ou incomodavam os alunos do curso de engenharia. Depois disso, o jogo foi desenvolvido em Unity, abordando o tema de Atrito, cuja simulação física foi alterada para não incluir conceitos mais avançados. O jogo inicial falhou em atrair a atenção de jogadores na faixa etária do público alvo, então sua interface foi redesenhada para a temática de um laboratório de testes. Esta segunda versão foi testada com quatro alunos do curso de engenharia da computação do Insper e a adaptatividade não ocorreu em nenhuma das sessões de jogo. Além disso, utilizando uma ferramenta de avaliação de jogos adaptativos denominada MEEGA+, foi apontado que o jogo possuía uma interface de fácil aprendizado, mas que seus desafios eram muito fáceis e não criavam uma boa experiência para o jogador. Mais refinamento é necessário para o modelo da adaptatividade e para o design do jogo.

Palavras-chaves: jogos educativos, jogos educativos adaptativos, estilos de aprendizagem.

ABSTRACT

Games can be used as a more interactive and playful way of learning. However, students have different preferences in learning, called learning styles. These styles indicate differences in absorbing, processing, and transforming information passed on to the student in knowledge. A model of learning styles dedicated to engineering education is the Felder-Silverman model, which has 4 dimensions describing students' preferences in learning. The proposal of this project is to develop an educational game of physics for students of the Engineering course, who can identify these styles and change their characteristics to meet the needs of different players, implementing an adaptive behavior, without using the tool for measuring the styles created by Felder. Initially, a user-centered design experiment was done to discover the characteristics of existing physics games that pleased or bothered students in the engineering course. After that, the game was developed in Unity, addressing the theme of Friction, whose physical simulation was changed to not include more advanced concepts. The initial game failed to attract the attention of players in the age range of the target audience, so its interface was redesigned to the subject of a test lab. This second version was tested with four students from Insper's computer engineering course and adaptivity did not occur in any of the game sessions. In addition, using an adaptive game evaluation tool called MEEGA +, it was pointed out that the game had an easy-to-learn interface, but that its challenges were very easy and did not create a good experience for the player. More refinement is needed for the adaptive model and the game design.

Keywords: educative games, educative adaptative games, learning styles.

SUMÁRIO

Lista de Ilustrações

Lista de Tabelas

Lista de Abreviaturas e Siglas

1	Introdução	11
1.1	Motivação	12
1.2	Hipótese e Objetivos	13
1.3	Organização do Texto	14
2	Aspectos Conceituais	15
2.1	Design e Desenvolvimento de Jogos	15
2.1.1	<i>Design de Jogos</i>	16
2.1.2	<i>Design de Jogos Educacionais</i>	20
2.1.3	<i>Desenvolvimento de Jogos Digitais</i>	21
2.2	Adaptatividade	25
2.2.1	<i>Adaptatividade em Jogos</i>	25
2.3	Estilos de Aprendizagem	30
2.3.1	<i>Estilos de Aprendizagem Felder Silverman</i>	32
3	Experimento de Design Centrado no Usuário	35

3.1	Design Centrado no Usuário	35
3.2	Experimento	38
3.2.1	<i>Jogos Utilizados</i>	39
3.3	Resultados	42
4	Laboratório de Atrito	48
4.1	Design	48
4.2	Desenvolvimento	53
4.2.1	<i>Simulação Física</i>	54
4.2.2	<i>Jogabilidade e Adaptatividade</i>	57
5	Experimento com o Jogo Adaptativo	60
5.1	Protocolo do Experimento	60
5.2	resultados	62
6	Discussões e Conclusões	66
	Referências	68

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1	Arquitetura de um jogo computacional de um único jogador, baseada na arquitetura apresentada na figura 3 do artigo de Blow, com poucas simplificações.	24
2	Esquema de adaptação do jogador, adaptado do esquema originalmente apresentado por Parnandi, Son e Gutierrez-Osuna.	29
3	Mecanika, jogo de física educativo da CREO inc.	40
4	Drawtopia, jogo de puzzle para celular.	41
5	<i>Newton's Law</i> , jogo independente de ação.	42
6	a) Explicação do tutorial na primeira fase. b) Erro comum dos jogadores ao tentar seguir as instruções do tutorial.	44
7	a) Primeiro nível apenas com robôs andarilhos passivos. b) Primeiro nível com robôs andarilhos agressivos e um robô fixo.	46
8	Esboço da ideia inicial do jogo, com o circuito incompleto.	49
9	Exemplo de nível do Rampa Inclinada	51
10	Tela de sucesso e detalhe das faixas coloridas na plataforma.	51
11	Jogo Rampa Inclinada, após mudanças.	52
12	Diagrama de Classes do Jogo	53
13	Caixa utilizada no jogo e seu colisor de cubo.	56
14	Controle de rotação utilizado na rampa.	57
15	Exemplos de cada um dos recursos usados na adaptatividade do jogo	58

16	Gráfico de avaliação da experiência do jogo.	64
17	Gráfico de avaliação da percepção de aprendizagem	65

LISTA DE TABELAS

1	Tipos de Modelagem do jogador, segundo Yannakis e Togelius (YANNAKIS; TOGELIUS, 2011)	28
2	Variáveis e valores usados para a avaliação de cada perfil	59

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RPG	<i>Role Playing Game</i>
NPC	<i>Non-Player Character</i>
FPS	<i>Frames per Second</i>
3D	Tridimensional
PEM	<i>Player Experience Modeling</i>
PhET	Simulações Interativas da Universidade do Colorado, campus Boulder.
MEEGA+	<i>Model for Evaluation of Educative Games</i> , versão melhorada pelo Grupo de Qualidade de Software da Universidade da Universidade Federal de Santa Catarina

1 INTRODUÇÃO

Os jogos digitais já ocupam uma boa parte da fatia do mercado do entretenimento, sendo populares entre várias idades. Na educação, os jogos são usados para motivar os alunos a aprenderem de uma forma mais descontraída e lúdica ([PRENSKY, 2012](#)) e pode ser feito tanto com jogos que possuem o foco educativo ou mesmo jogos centrados no entretenimento, apesar da primeira opção possuir uma aplicação mais fácil. Nos jogos focados no entretenimento, existe estudos para se implementar o comportamento adaptativo em seus componentes, a fim de tornar o jogo desafiador no nível do jogador e, conseqüentemente, mais divertido ([LOPES; BIDARRA, 2011](#)). Os jogos voltados para a educação também podem se beneficiar muito desta tecnologia, pois possibilita que o jogo possa regular a sua dificuldade, seguir o ritmo do aluno de forma dinâmica e também personalizar o jogo para focar nos conhecimentos que ele mais necessita aprender.

A adaptação de jogos educativos, assim como a de jogos para o entretenimento, necessita de um modelo de jogador, que terá como base o comportamento ou o conhecimento do jogador, para que a máquina de adaptação saiba quando e como realizar alterações. Esses modelos podem ser criados com técnicas de modelagem dos jogos para entretenimento (Subjetiva, Objetiva e Baseado em Gameplay)([YANNAKAKIS; TOGELIUS, 2011](#)) ou podem utilizar uma teoria de aprendizagem como base para construir o conhecimento do modelo. Das abordagens que utilizam a teoria, uma das que podem ser encon-

tradas na pesquisa é a que utiliza estilos de aprendizagem Felder-Silverman, que não foi explorada a fundo para gerar um jogo completamente adaptativo, mas já indicou que jogos adaptados conforme o estilo de aprendizagem melhoram o aprendizado do aluno durante o jogo ([HWANG et al., 2013](#)). Este documento descreve o projeto de criar um jogo educativo adaptativo utilizando esta abordagem.

1.1 Motivação

Os jogos educativos são uma ferramenta muito utilizada na aprendizagem como uma forma de motivação para a compreensão de diversos temas ([PRENSKY, 2012](#)). Segundo Prensky, métodos que sempre foram presentes em jogos já eram utilizadas nas técnicas de aprendizagem interativas e, um de seus maiores avanços, foram incluir adaptabilidade para aprimorar o sistema de Prática e Retorno. Lopes e Bidarra ([LOPES; BIDARRA, 2011](#)) também afirmam que os jogos com propósitos além do entretenimento podem se beneficiar com a adaptatividade atendendo as diferentes necessidades dos jogadores ao aprender e também aumenta as chances do jogador jogar mais vezes (rejogabilidade), porém, para a adaptatividade é necessário um modelo de jogador.

Os estilos de aprendizagem Felder-Silverman ([FELDER; SILVERMAN, 1988](#)) modelam a preferência do aluno ao aprender ao invés do seu conhecimento ou habilidades e possui um foco em alunos de engenharia, sendo uma boa base para alterar o design dinamicamente em um jogo educativo. HWANG et al ([HWANG et al., 2013](#)) testou uma adaptação manual de um mesmo jogo utilizando os estilos de aprendizagem Felder-Silverman e seus resultados indicaram que os alunos se beneficiaram do jogo adaptado corretamente ao seu estilo, em relação aos alunos que utilizaram o jogo para o estilo oposto.

1.2 Hipótese e Objetivos

A hipótese testada neste projeto é que seria possível desenvolver um jogo educativo adaptativo cujo modelo de jogador é baseado nos estilos de aprendizagem Felder-Silverman, porém, independente da ferramenta formal utilizada para avaliá-los atualmente ([FELDER; SOLOMAN, 2001](#)).

Para testar essa hipótese, estabeleceu-se como objetivo principal da pesquisa desenvolver um jogo educativo, para alunos de engenharia, capaz de se adaptar automaticamente ao estilo de aprendizagem de seu jogador, utilizando como base da modelagem os estilos de aprendizagem Felder-Silverman ([FELDER; SILVERMAN, 1988](#)). Para alcançar esse objetivo, foi necessário adicionar um comportamento adaptativo ao design do jogo educativo e também definir um modelo de jogador que permita diferenciar os comportamentos correspondentes a cada estilo de aprendizagem.

Os estilos de aprendizagem Felder-Silverman possuem várias combinações entre suas dimensões e descrevem a preferência dos alunos em diferentes domínios. Implementar o modelo como um todo seria uma tarefa complexa demais no tempo em que esse trabalho foi realizado. Com exceção de Sensitivo/Intuitivo, as dimensões são independentes entre si, então foi feito um recorte do modelo para apenas uma delas, que foi implementada nesse trabalho. A dimensão utilizada para este trabalho foi a Ativo/Reflexivo, por ser a única, dentre as independentes, a não ser completamente adaptada em pesquisas anteriores, mesmo que no caso de adaptação manual.

O jogo desenvolvido é do gênero puzzle, abordando o tema de Atrito, dentro do tema de física abordado pelos cursos superiores de engenharia, e possui 5 fases desenvolvidas. O trabalho foi avaliado através de testes com o

usuário no quesito de sua adaptação adequada ao estilo latente identificado no jogador com a ferramenta dos estilos de Aprendizagem Felder-Silverman (FELDER; SOLOMAN, 2001) e de sua experiência para o jogador.

1.3 Organização do Texto

Após esta introdução, o segundo capítulo introduz aspectos conceituais necessários para a compreensão do conteúdo desenvolvido no texto. Em seguida, é descrito o experimento de design centrado no usuário que criou a base para o design do projeto. O desenvolvimento e o design é descrito no quarto capítulo e o experimento que valia o modelo é descrito no quinto capítulo. No sexto capítulo, são discutidos os resultados obtidos, as conclusões seguindo a hipótese do trabalho, além de uma indicação para trabalhos futuros, seguindo a mesma linha do presente projeto.

2 ASPECTOS CONCEITUAIS

Neste capítulo são apresentados os conceitos principais utilizados no presente trabalho. O objetivo deste capítulo é meramente introduzir os conceitos para o melhor entendimento do trabalho e não tratá-los em profundidade, visto que já existem muitos materiais de boa qualidade onde estes assuntos foram mais explorados.

2.1 Design e Desenvolvimento de Jogos

No livro Regras do Jogo ([SALEN; ZIMMERMAN, 2003](#)), Salen e Zimmerman analisam e comparam as definições de jogo de diversos autores e chegam à definição final de que "Jogos são sistemas onde jogadores engajam em um conflito artificial, definido por regras, que resultam em um final quantificável". Esta definição diz muita coisa sobre os jogos.

Ao defini-los como sistemas, os jogos são vistos como um conjunto de partes que interagem entre si para atingir um objetivo maior. Os jogos podem ser vistos como sistemas de diversas formas: matemático, social, representacional, etc. Os jogadores são as pessoas que interagem com esse sistema para obter uma experiência. Necessita-se que haja um número mínimo de jogadores para que o jogo possa funcionar, definido pelo próprio sistema de jogo. O conflito artificial é uma disputa de poderes. Esta disputa pode acontecer de forma competitiva, cooperativa ou individual contra o próprio sistema.

Ele é descrito como artificial, pois acontece em seu próprio tempo e espaço, ou seja, separado do mundo real. O conflito é definido por regras, que ditam como ele deve acontecer, ou como se "joga". O final quantificável é o objetivo do jogo, que precisa ser definido entre uma vitória, uma derrota ou alguma forma de pontuação para o(s) jogador(es).

Esta definição abrange todos os tipos de jogos, sejam jogos de tabuleiro, esportes, videogames ou jogos de computador. Há dois tipos de jogos, porém, que precisam de destaque. Os jogos do gênero *puzzle* (quebra-cabeça) possuem apenas uma ou um conjunto de respostas certas, diferente de outros jogos onde o jogador é mais livre para encontrar sua "resposta". Apesar da limitação, a resposta ainda é um final quantificável. RPGs (*Role Playing Games*) multijogadores (tanto os digitais ou não) possuem um final aberto, sem um resultado quantificável. Ao final de uma aventura, quando há um final, não existe um "vencedor". Porém, se limitarmos o olhar às sessões de jogo de RPG, elas possuem um objetivo, seja ele o objetivo de uma missão, ou um objetivo que o próprio jogador estabeleceu para si mesmo. Dentro dessa visão, os RPGs se encaixam na definição de Salen e Zimmerman.

2.1.1 **Design de Jogos**

A partir desta definição de jogos, Salen e Zimmerman também definem o conceito de design de jogos: Design de Jogos é um processo pelo qual o designer cria uma experiência, em formato de jogo, para ser experimentada pelo jogador de onde emerge o *Meaningful Play*.

Meaningful Play (jogo significativo em tradução livre, mas será usado o termo em inglês por ser mais comum na literatura) é o significado criado pela experiência de jogar o jogo. É um conceito complexo que pode ser definido de maneira descritiva ou avaliativa. Para explicar ambas as definições, vamos

usar como exemplo um jogo de xadrez.

No exemplo, temos as peças dispostas em um tabuleiro 8 x 8. Ao mover qualquer uma destas peças, temos uma nova configuração do tabuleiro. Esta é a resposta do sistema à ação do jogador de mover uma peça e, não importa a peça movida, ela possui um significado dentro do jogo tanto para a pessoa que moveu aquela peça, quanto para o seu oponente. Esta é a primeira forma de significado gerado: uma ação do jogador cria uma resposta do sistema e seu significado reside na relação entre essa ação e o resultado. Ou seja, o significado é a mudança no cenário do jogo. Ao mover uma peça, o jogador pode expor o rei, capturar uma peça do oponente ou dar uma pista de sua estratégia.

Quando uma pessoa move uma peça, é importante que esteja claro para ambos os jogadores como isso afetou o cenário. Se, ao invés do tabuleiro para ilustrar, apenas anotassem quais foram os movimentos feitos em papel, seria fácil perder o controle de como está a situação atual. O resultado das ações no jogo são facilmente discerníveis, basta olhar o tabuleiro. Cada ação também é uma parte de uma estratégia maior de cada jogador para sua vitória. A cada ação, o oponente pode ter que mudar sua estratégia original. Os movimentos se somam para chegar ao resultado quantificável do jogo. Essas são as duas qualidades que podem avaliar o quanto um jogo gera significado: suas ações, e o significado delas, precisam ser discerníveis e integradas para um contexto maior.

Meaningful Play não é apenas desejado, mas necessário para um jogo. Raph Koster ([KOSTER, 2013](#)) explica em seu livro que os jogadores não se sentem motivados a realizar ações cujo significado não estiver claro ou não altera o resultado do jogo. Se mover um peão, em um jogo de xadrez, até o final do tabuleiro não oferecesse a chance de transformá-lo em outra peça, os

jogadores não fariam isso. É algo difícil de se realizar e, não fosse a promoção, só traria desvantagem para o jogador. Criar o *Meaningful Play*, portanto, é o objetivo do design de jogos.

Um mesmo jogo pode ser enxergado de formas diferentes. Para analisar, compreender e também como ferramenta para o design de games, Salen e Zimmerman separam os jogos em três grandes esquemas de design de games: Regras, Jogar e Cultura.

O esquema de Regras, também chamado sistema formal, enxerga o jogo através de suas normas de funcionamento. Existem três tipos de regras em um jogo: constitutivas, lógicas e matemáticas, operacionais, que são as normas que os jogadores devem seguir para jogar, e implícitas, que são preceitos de etiqueta e comportamento. Este último tipo não é algo explícito ou dito no jogo, mas uma determinação criada pelos próprios jogadores. As regras criam a identidade formal do jogo, tornando o jogo formalmente único com a relação entre seus preceitos constitutivos e operacionais. Regras elegantes e bem desenhadas permitem que o jogador se foque na experiência, ao invés de gastar tempo tentando entender o jogo. Seus princípios devem ser explícitos, claros, compartilhados por todos os jogadores, obrigatórios, fixos e repetíveis.

O esquema de Jogar, ou sistema experimental, examina o jogo através de sua experiência, que acontece quando suas regras começam a funcionar e o sistema é jogado. Jogar, ou brincar, pode ser tanto uma forma de enquadrar os jogos, como o jogo pode ser uma maneira formal do que se constitui como “jogar”. Em uma definição geral, jogar é um movimento livre em uma estrutura rígida é experimentado através da participação. O *designer* de jogos não consegue criar a experiência diretamente. Ele precisa criá-la indiretamente, criando diretamente as regras do jogo. Portanto, para criar uma experiência significativa para os usuários (*Meaningful Play*), o *designer* deve entender

como as regras do jogo se tornam em uma experiência. Para tal, é necessário planejar desde as interações momento-a-momento que o jogador realiza, a mecânica central, até como essas interações se tornam em uma experiência maior.

O esquema de Cultura, diferente dos dois anteriores, não está diretamente ligado as qualidades internas e intrínsecas do jogo. Este considera como o jogo interage com todo o contexto em que ele está inserido, indo muito além de suas regras e até da própria experiência do jogo. Podemos considerar jogos como representações da cultura em que está inserido, refletindo os significados do contexto onde eles são produzidos e jogados. Entender esses significados é crucial para planejar o *Meaningful Play*. Alguns até mesmo transformam a cultura, agindo em seus contextos para provocar uma mudança. Quando consideramos os jogos como uma representação cultural, também o consideramos como um “texto cultural”. Isso significa fazer uma leitura interpretativa do jogo, similar as análises feitas em estudos culturais e antropologia cultural.

Esses esquemas auxiliam o designer de jogos a considerar diferentes visões do jogo que pretende criar, mas também são ótimas ferramentas para resolver problemas em um jogo que não criou a experiência esperada. Esses esquemas são apenas uma visão macro das diferentes formas que um jogo pode ser analisado. Dentro deles, há esquemas menores para se detalhar mais em cada visão, mas apenas conhecer os esquemas maiores sugeridos por Salen e Zimmerman já são suficientes para um entendimento breve de tudo o que precisa ser considerado no design de um jogo.

2.1.2 *Design de Jogos Educacionais*

Prensky, em seu livro ([PRENSKY, 2012](#)), explica como a aprendizagem lúdica é a forma natural do cérebro aprender, ao contrário da crença comum de que o estudo não pode ser divertido. Com isso, ele defende a aprendizagem baseada em jogos. Aprendizagem baseada em jogos é a ensino promovido através de jogos, sejam educacionais ou não. Ele cria um gráfico da relação entre aprendizagem e motivação. Os jogos para o entretenimento são classificados como alta motivação e baixa capacidade educacional. A aprendizagem baseada em computador, que seria uma versão tecnológica de educação, porém seguindo o mesmo estilo do ensino tradicional, é classificada como baixa em ambos os aspectos. Os jogos educativos estariam, idealmente, no quadrante da alta motivação e alta aprendizagem, para criar um equilíbrio perfeito entre o conteúdo didático e a motivação do aluno. O último quadrante, baixa motivação e alta aprendizagem é algo impossível de existir, pois o aluno não consegue absorver conteúdo sem estar motivado para isso.

A aprendizagem tradicional, assim como aquela baseada em computador, já utiliza vários elementos encontrados nos jogos, como o estímulo a tentar e errar sem consequências irreversíveis, o desafio crescente apoiando a construção de conhecimento e o aprendizado por experimentação. O ensino virtual também utiliza premiações e pontuações, comuns de jogos para incentivar o aluno. Um jogo educacional seria a união do conteúdo didático com o design de um jogo para o entretenimento.

Prensky sugere que o design de jogos educacionais, ou o uso de um jogo para aprendizagem, deve se basear na atividade do conteúdo que será abordado com o jogo. Isso significa que jogos para diferentes conteúdos

devem ter como foco diferentes atividades, como memorização, exploração, experimentação, associação, entre outras. Através da atividade, pode-se escolher um gênero de jogo compatível para utilizar, como aventura para a exploração, simulações para experimentação, puzzles para memorização e etc. Além do conteúdo, precisamos considerar também os gostos do público-alvo e o contexto social, como é feito no design de jogos tradicionais.

Equilibrar a experiência prazerosa do jogo com o aprendizado do conteúdo didático não é fácil e Prensky ressalta que não há fórmula mágica para o design de jogos educacionais. Contudo, ao escolher entre priorizar o conteúdo ou a experiência, a experiência é mais importante. A motivação do aluno é o que impulsiona a aprendizagem do conteúdo, então, priorizar o conteúdo não trará benefícios aos jogos e o tornará menos engajador.

2.1.3 *Desenvolvimento de Jogos Digitais*

A definição anterior é uma definição de jogos em geral. Para jogos digitais, temos Dalmau ([DALMAU; SANCHEZ-CRESPO, 2003](#)), que classifica os jogos digitais como sistemas interativos de tempo real. Os jogos digitais são aplicações de software que simulam um mundo virtual com atividade em tempo real. Isto é alcançado com uma apresentação constante do estado atual do mundo virtual, que precisa ser realizada em um certo ritmo (acima de 25 FPS, *Frames per Second*) para que o jogador não perceba que apresentação está sendo reconstruída.

Para otimizar o processamento, Dalmau separa o jogo em duas partes: a parte de atualização, onde está a lógica do jogo, e a parte de renderização, onde acontece o processamento gráfico.

Dentro da parte de atualização foram classificadas as partes mais com-

plexas do jogo e que devem ser executadas em uma frequência fixa, independentemente do hardware disponível. Temos o tratamento das interações do jogador, a pré-seleção da zona visível, o controle de elementos ativos e a lógica da inteligência artificial dos NPCs (*Non-player Character*, os personagens não controláveis pelo jogador).

O tratamento das interações traduz as entradas do jogador, utilizando os controles aceitos, em alguma ação no jogo. Pode existir aqui uma camada a mais para separar o tratamento da parte física (Hardware) para o que é entendido pela aplicação (Software). Esse controle também avalia o estado atual do jogador dentro do jogo para saber as limitações dos seus movimentos e ações.

A pré-seleção da zona visível e os elementos ativos são processamentos destinados a parte visual, porém, precisam de alguma avaliação lógica antes de serem repassados para a renderização. A zona visível é a parte do mundo virtual que o jogador consegue ver. Para tal, é necessário uma avaliação lógica sobre a direção e o alcance do olhar do jogador. Os elementos ativos são os elementos do jogo que possuem um comportamento, como portas que o jogador pode abrir e objetos animados. A parte lógica avalia qual comportamento cada um está executando neste ciclo, para ser animado na parte de renderização.

Por fim, a inteligência artificial possui uma avaliação similar a do jogador em questão de estado atual e limitação de movimentos, mas também pode atualizar seu comportamento, no caso de inimigos que possuem comportamentos diferentes dependendo das interações com o jogador.

A parte de renderização foi separada para agrupar tudo o que precisa ser atualizado na maior frequência possível de acordo com o hardware. Desta forma, máquinas mais avançadas ou com processamento dedicado

aos gráficos possuem maior FPS. Nesta parte temos a renderização da parte visível e audível, animações e a renderização e animação do próprio jogador.

Com os cálculos feitos pela atualização, a renderização sabe para que direção o jogador está olhando e qual o alcance da sua visão. Com isso, apenas a parte visível é apresentada em tela e os objetos são renderizados e animados conforme a proximidade com o jogador. Objetos mais próximos utilizam mais polígonos para sua renderização, enquanto objetos distantes são renderizados de forma mais simples. Áudios direcionais também são tratados conforme a proximidade com o jogador, em questão de volume e direção, mesmo que o objeto emissor daquele áudio esteja fora do campo visível.

O NPC e o jogador são renderizados e animados de forma similar, porém, os NPCs recebem o mesmo tratamento da renderização dos objetos de cena, perdendo qualidade conforme a distância da visão do jogador. O avatar do jogador está sempre em foco, quando visível, portanto é sempre renderizado com a melhor qualidade possível.

Esta separação de Dalmau é uma visão macro de como um jogo funciona, para depois ser dividido de acordo com as necessidades do jogo. Desde 1994, os jogos tem crescido em complexidade, como ilustrado por Blow ([BLOW, 2004](#)) em seu artigo. Junto com eles, sua arquitetura também se tornou mais sofisticada, separando-se em módulos para dar melhor tratamento a partes importantes do jogo e também para aumentar a reusabilidade do código. A Figura 1 ilustra a arquitetura de um jogo 3D de 2004. A arquitetura ilustrada, apesar de antiga, ainda apresenta a realidade atual para jogos de um jogador, com algumas alterações dependendo do gênero do jogo.

Quando Blow escreveu o artigo, o desenvolvimento de jogos digitais era feito principalmente em C++ através do Microsoft Visual Studio ou com as ferramentas de cada console. Entretanto, hoje há *game engines* (Motores de

Figura 1 – Arquitetura de um jogo computacional de um único jogador, baseada na arquitetura apresentada na figura 3 do artigo de Blow, com poucas simplificações.

Fonte: (BLOW, 2004) com poucas simplificações feitas pelo autor.

Jogo, em tradução livre) destinadas ao desenvolvimento de jogos digitais e acessíveis (KHALIFA, 2017). Ao usá-las, a arquitetura é adaptada a arquitetura da *game engine* escolhida.

O desenvolvimento de um jogo digital é similar ao desenvolvimento de software, porém, por possui métricas de qualidade diferente, os ciclos de vida de desenvolvimento de software não se adequam às necessidades especiais dos jogos digitais. Especificamente para jogos, existem os ciclos de vida de desenvolvimento de jogos, que permitem uma fase maior para o design e contemplam a necessidade de teste e refazer o design (RAMADAN; WIDYANI,

2013).

2.2 Adaptatividade

Um dispositivo se torna adaptativo quando possui a capacidade de alterar sua estrutura dinamicamente, sem intervenção humana direta. A adaptatividade pode ser implementada em qualquer dispositivo orientado a regras, pois o comportamento adaptativo atua nestas regras para alterar a estrutura do dispositivo. Para a implementação da adaptatividade, são necessárias apenas 3 funções básicas: Busca, adição e exclusão de regras. Com isso, qualquer comportamento pode ser alterado, adicionando-se uma nova regra, ou buscando e excluindo uma regra existente (NETO, 2002).

2.2.1 Adaptatividade em Jogos

Ao criar um jogo, o designer planeja uma experiência para ser experimentada pelo jogador. Porém, com um público-alvo abrangente, a experiência não é a mesma para todos os jogadores. Os modos de dificuldade, comuns nos jogos atuais, são uma tentativa de trazer uma experiência um pouco mais adequada aos gostos de diferentes jogadores. Alguns podem optar pelo modo fácil e não ter problema em passar dos desafios. Outros vão preferir mais dificuldade para testar suas habilidades. Infelizmente, nem todos se encaixam perfeitamente nesses 3 níveis e, apenas alterar a dificuldade, não torna a experiência do jogo menos previsível ou mais personalizada.

A adaptatividade em jogos pode ser implementada em diversas características do jogo para torná-lo mais dinâmico e mais personalizado. É possível alterar aspectos como a narrativa, o mundo do jogo, o comportamento dos NPCs e até mesmo as mecânicas do jogo (PITUBA, 2016). O objetivo da

adaptatividade geralmente é manter o jogo balanceado quanto a desafio e diversão, interessante e aumentar sua *rejugabilidade*. Porém, para jogos sérios, a adaptatividade também pode auxiliar o jogador a atingir os objetivos desejados para o jogo, ou torná-lo mais apropriado ao seu ritmo (LOPES; BIDARRA, 2011).

Para implementar a adaptatividade em jogos, é necessário obter um modelo de jogador que estime a experiência atual, que pode ser chamado de Modelo de Experiência do Jogador (*Player Experience Modeling* ou PEM). O PEM é uma coleta de dados da sessão de jogo do jogador guiada pelo objetivo da adaptatividade, que geralmente é manter o engajamento do jogador e evitar sua frustração. Existem três tipos de PEM: Subjetiva, Objetiva e por *Gameplay*. Yannakis e Togelius definiram esses tipos após sua revisão de diversos trabalhos. (YANNAKAKIS; TOGELIUS, 2011).

A modelagem Subjetiva permite que o próprio jogador expresse a sua opinião sobre a experiência. Pode ser feita com questionários após a sessão de jogo, captando as falas voluntárias ao jogar ou incentivando que o jogador descreva sua experiência durante o processo do jogo (*Think Aloud*). Esse tipo de modelagem possui alguns problemas. A maioria dos jogadores não falam enquanto jogam, devido a sua concentração. Há poucas falas voluntárias e incentivar o *think aloud* durante a sessão de jogo é muito invasivo para a experiência do jogador. Quanto ao questionário após a sessão, ainda não há um consenso na pesquisa sobre quanto tempo depois ele deve ser aplicado, pois é preciso que o usuário possa pensar sobre a experiência para formar uma opinião, ao mesmo tempo que deve-se aproveitar a memória de curto prazo para que ele se lembre dos detalhes. Dentre as três modelagens, esta é a modelagem intermediária em questão de invasividade e precisão de medição, variando conforme a abordagem escolhida.

A modelagem Objetiva utiliza aparelhos para medir os sinais vitais do jogador e inferir sua experiência através dessas métricas. Pode utilizar-se de modelos para cruzar os dados dos aparelhos às sensações do jogador ou utilizar seus próprios métodos para avaliar as informações captadas. Também é invasivo, pois o jogador permanece consciente do aparelho de medição durante a sessão. Porém, é um dos métodos mais precisos para a modelagem. Outro problema enfrentado por esse tipo de modelagem é a necessidade do aparelho para jogar, obrigando o jogador a adquiri-lo. Isso pode ser contornado com alguns novos consoles de jogos eletrônicos, que possuem aparelhos de medição integrados ou acompanhando o seu kit, ou os novos *wearables* que monitoram batimentos, passos e etc.

A modelagem baseada no *Gameplay* busca inferir a experiência do jogador através dos eventos ocorridos no jogo. Qualquer evento ocorrido durante o jogo pode ser utilizado para analisar a personalidade e preferências do jogador. Até mesmo a falta de ação do jogador por um período curto, que pode significar dúvida, ou longo, que muitas vezes é alguma parada por motivos externos. Como a modelagem Objetiva, também pode utilizar um modelo como base para a análise, geralmente comportamental ou cognitivo, ou inferir os resultados com um método próprio. É, sem dúvida, a modelagem menos invasiva das três. Contudo, também é a mais ambígua, pois a mesma ação pode significar coisas diferentes para jogadores diferentes.

Por fim, sempre é possível misturar duas ou todas opções em uma mesma modelagem para conseguir resultados mais precisos. A Tabela 1 resume as informações sobre os tipos de modelagem de jogador sugeridos na obra de Yannakis e Togelius.

Além do PEM, Yannakis e Togelius propõem outras 3 partes principais para a adaptatividade de geração procedural de conteúdo: um módulo para

Tabela 1 – Tipos de Modelagem do jogador, segundo Yannakis e Togelius ([YANNAKAKIS; TOGELIUS, 2011](#))

Tipo de Modelagem	Ferramentas para a Modelagem	Grau de Invasão a experiência do Jogador	Grau de Precisão das informações coletadas
Subjetiva	Questionários, Gravação de Reações ao jogo, <i>Think aloud</i>	Médio (quando obrigando o jogador a falar durante o jogo)	Médio (necessário estabelecer um tempo para captar a impressão do jogador na memória de curto prazo)
Objetiva	Dispositivos que recebem os sinais vitais do jogador ou para monitorar o movimento dos olhos	Alto (quando utilizando aparelhos que ficam instalados no jogador)	Alto (informações precisas quando relacionadas corretamente)
Baseada em Gameplay	Logs de ações do jogador	Baixo (geralmente, imperceptível para o jogador)	Baixa (informações coletadas são geralmente ambíguas para análise)

avaliação de conteúdo, um módulo para a representação e outro para a geração. O módulo de avaliação seria um algoritmo que avaliaria os recursos do jogo em sua qualidade em relação a experiência do jogador. Os conteúdos avaliados e selecionados seriam representados em uma estrutura logica no módulo de representação e depois gerados no módulo de geração.

Parnandi, Son e Gutierrez-Osuna ([PARNANDI; SON; GUTIERREZ-OSUNA, 2013](#)) utilizaram uma estrutura similar para fazer a adaptatividade em seu trabalho, porém, bem mais simples e inspirada em um sistema de controle usado para plantas.

Figura 2 – Esquema de adaptação do jogador, adaptado do esquema originalmente apresentado por Parnandi, Son e Gutierrez-Osuna.

Fonte: ([PARNANDI; SON; GUTIERREZ-OSUNA, 2013](#)) com adaptações do autor.

Na Figura 2, temos um PEM Objetivo, feito com sensor de atividade eletrodermal, uma avaliação do erro medido em relação ao resultado desejado para esse modelo e então uma máquina de adaptação que realiza as mudanças necessárias no jogo. A avaliação do estado atual contra o estado desejado e o módulo que realiza as adaptações também estão presentes em outros jogos adaptativos, variando conforme a estrutura utilizada para implementar a adaptatividade.

Em jogos, a adaptatividade pode acontecer em dois momentos: durante

a sessão de jogo (online) e entre uma sessão e outra (offline) (LOPES; BIDARRA, 2011). Para a adaptatividade online, o ciclo de adaptação acontece durante toda a sessão de jogo. Modelando, avaliando e adaptando conforme a necessidade. Dependendo da complexidade da adaptatividade, pode ser necessário um gerenciamento de consumo de recursos, ou a adaptatividade pode prejudicar o desempenho do jogo. Esse tipo de adaptatividade também precisa ser planejada para ser imperceptível ao jogador, ou se tornará muito invasiva e acabará atrapalhando a experiência como um todo (KICKMEIER-RUST; STEINER; ALBERT, 2009) (MANSKE; CONATI, 2005). Já a adaptatividade offline coleta dados durante a sessão e atualiza o modelo de jogador ao final dela. No início de uma nova sessão, o jogo realiza a adaptação. Esse tipo de adaptatividade não tem problema de utilizar os recursos do jogo, porém, sua frequência é bem menor do que a adaptatividade online.

2.3 Estilos de Aprendizagem

Estilos de aprendizagem, estilos cognitivos, estratégias de aprendizagem e outros termos similares nomeiam o conceito de que cada pessoa aprende de uma forma diferente.

Ao longo dos anos, muitos estilos de aprendizagem já foram criados. Uma revisão abrangente (COFFIELD et al., 2004) encontrou cerca de 71 modelos diferentes, porém deve-se ressaltar que algumas não eram abrangentes para todos os públicos e outras eram fortemente apoiadas em teorias anteriores. Há também uma grande indústria comercial envolvida que se concentra em vender instrumentos e inventários de estilos de aprendizagem, em especial nos Estados Unidos e Reino Unido. A área comercial de alguns estilos é tão grande que abordagens críticas e empíricas não são bem vindas.

A área em si é bem divergente. Alguns teóricos defendem os estilos de aprendizagem como algo fixo e imutável, baseando-se em atividades neurais em diferentes áreas do cérebro, traços de personalidade com base em teorias da psicologia ou capacidades intelectuais. Essas crenças de estilos fixos já levou a casos extremos e controversos, tais como a crença de que casais deveriam ter estilos de aprendizagem compatíveis ou que um determinado estilo seria dominante em grupos de pessoas socialmente desfavorecidas.

Em contrapartida, há teóricos que afirmam que os estilos de aprendizagem não são estáveis, apresentando uma teoria de estilos "flexivelmente estáveis", onde as experiências de aprendizado anterior e outros fatores do ambiente podem criar preferências, estratégias ou abordagens, ao invés de um estilo fixo. Também há estilos que variam de acordo com o contexto ou tarefa.

Por fim, também há teóricos que preferem evitar os traços individuais e consideram mais produtivo olhar o aprendizado em contexto e a ideia de "biografias de aprendizagem" ao invés de estilos ou abordagens.

Os estilos de aprendizagem possuem tanto pessoas, entre educadores, instrutores, pesquisadores e gerentes, que aceitam e utilizam os estilos de aprendizagem como parte de seu pensamento profissional, quanto pessoas que consideram seus métodos não confiáveis e inválidos. As pessoas favoráveis adotam os estilos de aprendizagem como uma solução para problemas de grande complexidade em ambientes educacionais. Problemas como motivação, realização e comportamento. Também é uma forma de alterar o jeito tradicional de aprendizado, que é focado em pessoas extremamente analíticas, ineficiente até para o próprio professor. Há também quem use como uma forma de apontar a necessidade de diversificar o método de ensino, para atender os diferentes estilos dos alunos. As pessoas contrárias ao método questionam seus instrumentos exclusivamente qualitativos, porém com mode-

lagem subjetiva e baseada na opinião da pessoa sobre si mesmo, que nem sempre reflete a realidade. Outra afirmação para desqualificar os modelos é a sua natureza extremamente comercial onde o criticismo é refutado para manter os lucros dos autores dos modelos mais famosos.

Segundo as recomendações da revisão, os estilos de aprendizagem, por sua natureza difusa entre os vários teóricos da área, não podem ser levados como uma categorização do aluno, mas como uma forma de discutir e ampliar os métodos de ensino utilizados pelos professores, assim como uma forma de maior autoconhecimento do aluno sobre suas próprias preferências de estudo.

2.3.1 *Estilos de Aprendizagem Felder Silverman*

Felder e Silverman ([FELDER; SILVERMAN, 1988](#)) criaram, em 1988, um guia que buscava auxiliar os professores nas aulas para alunos de engenharia. O modelo, conhecido atualmente como Felder-Silverman, sugeria que os alunos tendiam a se identificar com uma das duas extremidades de 5 dimensões diferentes: Ativo/Reflexivo, Visual/Auditório, Sequencial/Global, Sensitivo/Intuitivo e Indutivo/Dedutivo. Essas dimensões foram criadas a partir de outras teorias. Da teoria das modalidades cognitivas ([BARBE; SWASSING; MILONE, 1979](#)) surgiu a dimensão Visual/Verbal e, dos estilos de aprendizagem de Kolb ([KOLB; KOLB, 2005](#)), surgiu a dimensão Ativo/Reflexivo, além de outros estilos

Em 2002, Felder criou o prefácio para o artigo original. Nele, ele fazia algumas mudanças no modelo. A primeira delas foi a remoção da dimensão Indutivo/Dedutivo. Como os alunos em sua maioria preferiam o método tradicional de ensino, o dedutivo, os professores usavam esta preferência como argumento para não mudar seu método de ensino em outros aspectos. A segunda foi a mudança da dimensão Visual/Auditório para Visual/Verbal, pois

a primeira versão não abrangia palavras escritas. As palavras escritas são vistas, mas não são processadas como um feedback visual. Ao invés disso, elas se transformam em fala no nosso cérebro e são processadas da mesma forma. Portanto, para abranger tanto as informações sonoras, palavras faladas e palavras escritas, segunda parte da dimensão agora é chamada de Verbal. Esse prefácio está disponível na versão digital do site de Felder ([FELDER; SILVERMAN, 1988](#)).

A dimensão Ativo/Reflexivo trata sobre o método como os alunos processam a informação, ou seja, transformam a informação em conhecimento. Alunos ativos preferem atividades práticas, participação e trabalhos em grupo. Os reflexivos preferem a teoria, reflexão sobre o conteúdo e trabalhos individuais. A dimensão Visual/Verbal trata do modo como o aluno melhor recebe as informações. O aluno visual prefere a informação representada através de esquemas, imagens, vídeos ou gráficos. O aluno verbal prefere a forma tradicional com livros, escrita, explicação oral e discussão. A dimensão Sequencial/Global define a sequência em que o aluno processa melhor as informações. Alunos sequenciais preferem passar o conteúdo passo a passo, entendendo cada uma das partes, antes de visualizar o todo. Alunos globais entendem o todo, antes de se especializar nas partes. Eles conseguem olhar pontos diferentes e podem precisar de conteúdo mais avançado para entender o todo. A dimensão Sensitivo/Intuitivo, trata da percepção dos alunos. Sensitivos gostam de lidar com dados, fatos e experimentação. Pacientes com detalhes, porém não gostam de complicações ou "surpresas". Intuitivos lidam com princípios e teorias. Imaginativos, bons em entender novos conceitos, não gostam de repetição e se entediam com detalhes.

Mais tarde, devido ao grande número de citações ao primeiro artigo, Felder juntou-se a Soloman para criar uma ferramenta ([FELDER; SOLOMAN,](#)

2001) que medisse o nível do aluno em cada um dos eixos. A ferramenta ficou conhecida como Índice de Estilos de Aprendizagem (em inglês: *Index of Learning Styles*), e é disponibilizada gratuitamente em formato impresso ou online. Desde então, esse teste tem sido utilizado para validar o modelo em diversos países e universidades diferentes (FELDER; SPURLIN, 2005). Algumas pesquisas buscam invalidar o modelo, questionando a imprecisão da ferramenta ((LOPES, 2002) e (SOUZA et al., 2001)). Porém, Felder (FELDER, 2010) explica que o objetivo do seu modelo é apresentar tendências de comportamento, ou seja, como a pessoa se comporta a maioria das vezes, encaixando sua teoria no tipo "Flexível estável" da revisão citada anteriormente. Ele também ressalta que o papel da educação tradicional é direcionar o aluno para o centro das dimensões, onde ele conseguirá apresentar um equilíbrio das características das duas extremidades das dimensões.

3 EXPERIMENTO DE DESIGN CENTRADO NO USUÁRIO

Segundo Prensky ([PRENSKY, 2012](#)), para fazer o design de um jogo educativo, é necessário levar em consideração o conteúdo e os gostos do usuário. Com o objetivo de criar um design para um jogo de física com foco nos alunos estudantes de engenharia, foi realizado um experimento de design centrado no usuário com jogos abordando assuntos similares ao do trabalho para entender melhor as dificuldades e gostos dos jogadores.

3.1 Design Centrado no Usuário

O termo “Design Centrado no Usuário” é utilizado para cunhar vários métodos cujo objetivo é envolver o usuário final no processo de design. Esse termo foi criado por Donald A. Norman em seu laboratório de pesquisa em 1980, mas se popularizou apenas com a publicação de seu livro Design de Sistemas Centrados no usuário: Novas perspectivas em Interação Humano-Computador (1986) em conjunto com Stephen Draper. O conceito foi desenvolvido em seu livro O Design do Dia-a-Dia, onde ele trata com maior profundidade a usabilidade do design, reconhecendo as necessidades e interesses do usuário. Nessa obra, também propõe sete princípios para o design centrado no usuário:

1. Usar, ao mesmo tempo, o conhecimento no mundo e o conhecimento na

cabeça.

2. Simplificar a estrutura das tarefas
3. Tornar as coisas visíveis: assegurar que as lacunas de execução e avaliação sejam encurtadas ou superadas
4. Fazer corretamente os mapeamentos
5. Explorar o poder das coerções naturais e artificiais
6. Projetar para o erro
7. Quanto tudo mais falhar, padronizar

Norman destacou a necessidade de trazer usuários reais do produto para participar do design. Atualmente, isso é feito de várias formas e em diferentes pontos dos projetos de design. O usuário pode ser entrevistado sobre suas preferências, observado e até mesmo participar de uma simulação com protótipos de papel do produto final. Há também o teste de usabilidade, onde o usuário é envolvido quando o produto está em sua fase alfa ou beta, para detectar possíveis falhas no design de uso.

Outra forma de envolver o usuário no processo é o design participativo, onde um grupo de usuários do público alvo participa ativamente do design, tornando-se *co-designers*. Nesse tipo de processo, os *designers* agem como facilitadores, explicando a parte mais técnica do *design* de produtos e corrigindo eventuais falhas, enquanto os usuários realizam o processo de criação de acordo com o que lhes parece melhor([ABRAS; MALONEY-KRICHMAR; PREECE, 2004](#)).

Para jogos, Chriw Crawford ([CRAWFORD, 1984](#)) descreve um ciclo onde o jogador apenas é envolvido para os testes beta como uma forma de validação

do trabalho. Como resultado, não é incomum ter de jogar todo o trabalho fora nestas fases finais, por não alcançar o objetivo final. Em literaturas mais recentes, é proposto um processo iterativo, onde um protótipo deve ser feito e testado desde o conceito inicial, até a produção do jogo (SALEN; ZIMMERMAN, 2003) (FULLERTON, 2008). Isso é chamado de *Playtesting*. A ideia do *Playtesting* é validar se a experiência planejada para o jogo está sendo alcançada com a ideia do *designer*. Tanto Fullerton, quanto Schell (SCHELL, 2008), dedicam capítulos inteiros explicando técnicas e a importância do *Playtesting*. Ter a experiência do usuário em mente desde a concepção do jogo, com testes frequentes com seu público alvo, é chamado de *Playcentric Design* (FULLERTON, 2008).

Contudo, esse processo iterativo envolve o usuário após existir um protótipo do jogo baseado na ideia do designer. É possível ir além e incluir o jogador antes mesmo de haver um design inicial. No trabalho de Duh et al (DUH et al., 2010), foi usado um método narrativo de design participativo para desenvolver um jogo para crianças de 10 a 15 anos. O objetivo era criar um jogo educativo com uma narrativa que chamasse a atenção daquela faixa etária. Os jogadores gostaram da forma como o jogo foi feito, enquanto as crianças que participaram do design se sentiram importantes por poder influenciar na produção.

Dependendo da abrangência do público, o design participativo pode ser custoso e inviável. Nestes casos, há outras técnicas do design centrado no usuário que podem ser usadas para envolver o jogador final. Entrevistar, observações e até simulações de ideias similares podem ajudar o designer a chegar mais próximo do que o usuário espera daquele jogo.

3.2 Experimento

O experimento realizado foi uma sessão de 15 minutos com 3 jogos, distribuindo 5 minutos máximos para cada um. Era permitido que o jogador trocasse de jogo antes dos 5 minutos, caso ele desejasse. A ordem em que os jogos foram apresentados foi aleatória. Após a sessão, foi realizada uma curta entrevista com 4 perguntas para estimular o participante a expressar sua opinião de forma explícita. As perguntas eram:

1. O que você achou dos jogos?
2. O que você mais gostou em cada um deles?
3. E o que menos gostou?
4. Já havia jogado algum dos jogos apresentados neste experimento ou similar?

Os participantes do experimento foram alunos voluntários da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que cursavam o 2º ano do curso de Engenharia. Na Escola Politécnica, a maioria das disciplinas dos dois primeiros anos dos cursos de Engenharia são ministradas conjuntamente para todos os alunos, constituindo um bloco acadêmico chamado de biênio. Nesse período são incluídas as disciplinas comuns para todos os cursos, tais como Física. Portanto, os alunos já haviam tido contato com o conhecimento que era tratado nos jogos escolhidos. Isso os distancia um pouco do público pensado originalmente para o jogo, alunos do 1º ano, que não teriam esse conhecimento ainda, mas auxilia na avaliação do que pode ou não ter sido deixado claro quanto ao conhecimento científico dentro dos jogos selecionados. Cinco alunos se voluntariaram para participar do experimento, porém o resultado de

um deles foi descartado por falhas técnicas durante as gravações, portanto apenas 4 deles foram levados em consideração durante a análise dos resultados.

Para analisar este experimento, foi utilizado o método de análise de imagens em movimento, para os vídeos gravados, e análise da fala, para a entrevista qualitativa ([BAUER; GASKELL, 2010](#)). As imagens, porém, mostravam apenas poucos gestos durante a sessão, pois os usuários estavam sentados e focados na atividade. Além dos métodos, também considerou-se o desempenho dos participantes nos jogos, pontos comuns de dificuldade e pontos onde houveram mais dúvidas durante o experimento.

O estudo foi conduzido nas dependências da própria Escola Politécnica, em um lugar onde estavam presentes somente o aluno e o avaliador, com o equipamento de filmagem montado para capturar as imagens.

3.2.1 *Jogos Utilizados*

Inicialmente, esperava-se selecionar 3 jogos educativos de física para o experimento, assim seria avaliado não só a experiência do jogador, como a forma de apresentação do conhecimento e o quanto dele seria absorvido. Porém, a busca por jogos deste tipo retornaram poucos resultados. Uma opção cogitada para a pesquisa foi Ludwig ([OVOS, 2012](#)), encontrada através do site da *Games for Change* ([Games for Change, 2004](#)). Entretanto, o conteúdo era muito diferente do planejado para o jogo a ser desenvolvido, as 3 leis de Newton, como também era necessário um tempo maior para encontrar o primeiro ponto que abordava o tema.

Ampliando a busca para jogos para o entretenimento, havia muito mais opções disponíveis, permitindo que fizéssemos um corte rigoroso. Selecciona-

mos apenas aqueles que abordassem as leis de Newton, ou parte delas, em sua mecânica. As mecânicas são os métodos, invocados por agentes, para interagir com o mundo onde o jogo se passa (SICART, 2008). Isto significa que os jogos escolhidos não apenas simulam a física dentro de seu mundo, mas também utilizam os conceitos físicos das leis de Newton para a interação com ele. Com isso, foram selecionados os seguintes jogos:

Mecanika (Games for Science, 2011), um jogo do gênero puzzle desenvolvido para o ensino de física pela CREO inc. junto com professores da *Faculté des sciences de l'éducation* (UQAM). O objetivo é levar pequenos robôs quadrados nomeados como “Scouts” através do cenário para coletar estrelas, que devem ser tocadas por pelo menos dois robôs para a coleta. Estes não possuem a habilidade de se mover sozinhos. O desafio é move-los com o conceito de forças, utilizando outros robôs com diferentes habilidades. Os robôs mais comuns são os direcionais, que criam áreas onde há uma força aplicada em uma certa direção. Também há aqueles que aplicam um impulso imediato ao Scout, como uma mola, e outros que o giram, aproveitando da mesma força inicial, mas mudando-o de direção.

Figura 3 – Mecanika, jogo de física educativo da CREO inc.

Drawtopia ([Super Smith Bros LTD, 2015](#)), é um jogo de gênero puzzle para celular, que apresenta um cenário simples em vermelho e branco, onde o objetivo é levar a bola até a caixa, que marca o ponto final de cada nível. A trilha que leva a bola deve ser desenhada pelo jogador, dando a liberdade para que ele crie sua própria solução. Entretanto, há uma quantidade de "tinta" disponível por nível, limitando o número de soluções possíveis. Quanto menos tinta usada, maior a pontuação. O desafio é coletar as 3 estrelas presentes em cada nível, usando o menor caminho, antes de chegar ao ponto final.

Figura 4 – Drawtopia, jogo de puzzle para celular.

Newton's Law ([Just Two, 2015](#)), é um jogo de desenvolvimento independente do gênero ação com elementos de tiro. Nele é utilizado um equívoco comum sobre a física ao colocar o usuário em um ambiente sem gravidade. A movimentação é feita através da pistola do jogador, quando ele atira para o lado oposto que deseja ir. O objetivo é passar pelos níveis, salvando reféns e enfrentando robôs espalhados pelos vários andares, para restaurar a gravidade no prédio. O jogo possui o sistema de melhoramentos para a arma, em questão de potência, alcance e velocidade. Isto auxilia no avanço do andar, que é ressetado a cada morte.

Figura 5 – *Newton's Law*, jogo independente de ação.

3.3 Resultados

Durante a sessão de jogo, praticamente não houve fala voluntária. Apenas algumas interjeições, tais como "Aah" ao entender o que estava sendo pedido para completar o desafio. Os gestos mais comuns foram o de colocar a mão no queixo durante os jogos de puzzle e balançar a cabeça em afirmação. Apenas um dos jogadores pediu para trocar de jogo antes dos 5 minutos.

Nas entrevistas, houve uma dificuldade inicial dos entrevistados em expressar as opiniões, quando foi feita a primeira pergunta mais abrangente. Talvez pela dificuldade da análise pós-jogo já indicada por Yannakis e Togelius ([YANNAKAKIS; TOGELIUS, 2011](#)). Cada um dos jogadores teve uma experiência diferente com cada jogo, o que era esperado, porém houveram pontos em comum criticados e elogiados.

Mecanika, o único jogo educativo da lista, despertou o interesse dos jogadores com sua mecânica incomum. Um dos participantes expressou que a simulação parecia real ou algo que aconteceria na realidade. Isto é um ponto muito positivo do jogo, porque indica que o usuário está conseguindo relacio-

nar os fenômenos do mundo virtual com os reais. Contudo, a área com forças direcionais foi entendido como vento, uma relação que poderia criar conceitos errados conforme o progresso do jogo.

O aprendizado da mecânica nova, porém, era difícil. A confusão inicial durava as duas primeiras fases. A barreira da língua pode ter influenciado nessa dificuldade, pois a interface apoiava-se muito nos auxílios textuais. Porém, todos os jogos usados estavam em inglês e apenas o Mecanika foi expressamente apontado como difícil de entender. Um exemplo é o tutorial da primeira fase, onde o lugar para colocar o robô que cria campos direcionais é precisamente apontado, junto ao gesto de arrastá-lo, ilustrado na Figura 6 a). Os jogadores arrastam o robô, mas não entendem a especificidade do local até ativarem o robô de fabricação dos *Scouts*, situação ilustrada na Figura 6 b). Como resultado, os *Scouts* são fabricados e permanecem no lugar onde saem da máquina, inafetados pela área de forças direcionais. Após um tempo, eles somem, e o usuário volta a interagir para tentar progredir no jogo. Felizmente, esse aprendizado não afetou a experiência do jogo.

Drawtopia possuía uma interface simples e nenhum dos participantes expressou dificuldade em entendê-la. A liberdade de criar sua própria solução foi apontado como algo positivo no jogo. Entretanto, a própria mecânica de desenho foi o que mais frustrou os jogadores e fez um dos usuários querer trocar de jogo.

A ideia de desenhar na tela é bem intuitiva, e o jogo até providencia linhas pontilhadas para as fases de tutorial. Mesmo seguindo as linhas guia, era possível que a trajetória da bola não fosse a esperada, pois não houve tratamento de estabilização do traçado. Com traços tremidos, a bola pulava, seguindo o relevo do desenho, e errava uma plataforma ou a caixa de destino. Houve vezes em que isso fez o jogador crer que sua solução estava comple-

Figura 6 – a) Explicação do tutorial na primeira fase. b) Erro comum dos jogadores ao tentar seguir as instruções do tutorial.

tamente errada, quando era necessário apenas uma pequena correção. Não havia, também, como apagar apenas parte do traço. Toda a linha tinha de ser descartada para tentar novamente.

Neste jogo, também estava presente o gesto de colocar a mão no queixo. Provavelmente, o participante tentava entender o que estava fazendo de errado, enquanto o erro, na verdade, era técnico. Essa interpretação é reforçada com o gesto de acenar com a cabeça, antes de cada tentativa quase correta, não fosse por alguma irregularidade na linha.

A apresentação de *Newton's Law* chamou a atenção, sendo o único que possuía algum tipo de narrativa. Para compensar sua mecânica diferente, a tela inicial era neutra, sem inimigos ou ameaças para o protagonista, permitindo que o jogador explorasse a forma de movimentação. Ao cruzar a porta deste primeiro ambiente, começava o primeiro nível.

Os níveis eram gerados ou selecionados aleatoriamente e isso criou um forte desbalanceamento nos desafios. O jogo possui dois tipos de inimigo: Robôs fixos em um ponto do nível, que atiravam em 4 direções diferentes simultaneamente, e robôs andarilhos, que andavam livremente pelo nível. Cada um desses robôs possuía uma versão com dificuldade maior. O robô fixo possuía uma versão que conseguia girar no próprio eixo, mudando as direções dos seus tiros, e o robô andarilho possuía uma versão agressiva, que perseguia o jogador. Na organização aleatória dos níveis, os jogadores poderiam encontrar quaisquer combinação desses inimigos em qualquer nível. Um dos participantes ficou frustrado por encontrar os robôs agressivos nos primeiros níveis. Isso causou sucessivas mortes, que o forçavam a recomeçar o andar e evitavam que ele chegasse muito longe no jogo. Na Figura 7 é ilustrado dois primeiros níveis, com dificuldades diferentes.

Os participantes também expressaram que teria sido melhor se a arma tivesse maior alcance. Devido ao curto tempo de jogo, a maioria dos jogadores não pode utilizar o sistema de aprimoramentos, acreditando que a pistola permaneceria daquela forma até o final do jogo.

Nenhum dos participantes havia jogado os jogos utilizados antes, mas 3 deles relacionaram sua experiência com um jogo anterior, quando questionados na última pergunta da entrevista.

Com este retorno dos alunos, sabemos que não há uma forte preferência entre os diferentes estilos de jogos com os mecanismos de física, porém é

Figura 7 – a) Primeiro nível apenas com robôs andarilhos passivos. b) Primeiro nível com robôs andarilhos agressivos e um robô fixo.

necessário alguma coisa que chame a atenção a primeira vista, para estimular a experimentação. Uma interface clara e mecânicas simples também ajudam o jogador a ter mais vontade de tentar e errar, mas deve-se evitar fazê-lo recomeçar do zero, para que não se torne frustrante. Por último, a dificuldade entre níveis deve ser condizente com o nível de habilidade que espera-se que o jogador possua em cada nível, algo explicado por Schell ([SCHELL, 2008](#)) em seu livro como sendo essencial para criar o Canal de *Flow*.

O Canal de *Flow* é uma teoria de um psicólogo russo Mihaly Csikszent-

mihalyi, onde é definido um estado de tão profunda concentração, que a pessoa neste estado perde a noção do tempo e dos acontecimentos ao redor. Schell explica que, para chegar nesse estado, são necessários objetivos claros, desafios constantes, um ambiente sem interrupções e retornos diretos. No design de jogos, o designer tenta criar uma ambientação e desafios equilibrados para que o jogador possa entrar neste estado de concentração, pois isso é fundamental para a experiência.

4 LABORATÓRIO DE ATRITO

A plataforma escolhida para desenvolver o jogo foi a *Unity 3D*, que é uma *Game Engine* para o desenvolvimento principal de jogos em 3D, apesar de também suportar jogos 2D. Essa plataforma foi escolhida pelos idealizadores do projeto de Curso de Extensão da USP por ser compatível com o ambiente web, sendo um candidato ideal para idegração ao projeto sendo desenvolvido. Com isso, O design e o desenvolvimento feitos foram com base na ferramenta *Unity 3D* e os conhecimentos adquiridos no experimento de Design Centrado no Usuário.

4.1 Design

A estrutura inicial pensada para o jogo era de trilhas, onde o aluno veria os conceitos um a um, para depois uni-los em uma fase maior. Haveriam várias trilhas para diferentes assuntos, todas com uma fase que utilizasse todos os conceitos da trilha. Ao final, o jogador teria uma última fase, reunindo todos os conhecimentos apresentados no jogo. Contudo, como o plano previsto para o projeto eram apenas 5 fases desenvolvidas, um novo recorte teve de ser feito no conteúdo, para escolher um tema que seria tratado diretamente no jogo. O tema escolhido foram os conceitos de atrito.

Com os conceitos de atrito, o design inicial do jogo era de um circuito para levar um objeto do ponto inicial até o ponto final, onde haveria ou um

Figura 8 – Esboço da ideia inicial do jogo, com o circuito incompleto.

Fonte: Esboço feito pelo autor.

circuito completo e suas características seriam alteradas para incluir atritos diferentes, ou o circuito estaria incompleto e o jogador usaria peças especiais para completá-lo que alterariam a trajetória do objeto.

Uma versão aprimorada deste design, utilizando a temática de uma fábrica de rosquinhas, foi levada para a avaliação de um professor de física. Ele apontou um problema principal com a ideia: Para abordar apenas os conceitos que os alunos teriam no primeiro ano e ser fiel aos seus cálculos, conceitos mais avançados de física não poderiam estar presentes na simulação. O objeto não poderia girar, pois torque só é visto depois, e toda força aplicada teria de estar sempre no seu centro de gravidade. Com esse novo requisito, a simulação planejada com a fábrica de rosquinhas iria parecer muito artificial, porém, se não seguíssemos esse requisito, o jogo não seria aceito pelos professores e também não seria fiel ao conteúdo ensinado em sala de aula.

O projeto regrediu um passo, a fim de explorar como seria possível manipular os fenômenos físicos da ferramenta Unity, a *game engine* escolhida para

o projeto. Para o protótipo inicial, foram usadas como inspiração as simulações interativas PhET ([University of Colorado Boulder, 2002](#)).

As simulações interativas PhET ([University of Colorado Boulder, 2002](#)) são um projeto da Universidade do Colorado, no campus Boulder. O objetivo do projeto é criar simulações interativas de ciências e matemática que sejam divertidas, gratuitas e efetivas para a educação. Todas as suas simulações são extensivamente testadas para garantir sua eficiência, inclusive no uso em sala de aula. Os códigos das simulações são abertos e há documentação sobre como é feito o design da interface e da interatividade destas. Apesar disso, essa documentação foi usada apenas como inspiração, pelo seu foco em simulações 2D simples em HTML, Flash ou Java.

Com base em uma simulação de atrito do site, foi construído o protótipo inicial chamado Rampa Inclinada. Ele consistia em uma caixa, de material não definido, em cima de uma rampa de concreto. Ao final da rampa, havia uma plataforma onde a caixa deveria ser levada, sem cair para fora. Para atingir este objetivo, era necessário alterar a inclinação da rampa, para que a força da gravidade, imposta sobre a caixa, vencesse o atrito e a fizesse deslizar. A simulação física do protótipo era simples, porém fiel ao requisito de não envolver fenômenos mais complexos que o aluno não teria estudado. Tendo esta base, foram adicionados elementos para torná-lo um jogo. A plataforma foi dividida em diferentes cores para ilustrar as pontuações, diferentes materiais foram usados para criar mais níveis e a interface do usuário também foi melhorada, apresentando os dados da simulação, menus e transições entre níveis.

Apesar do jogo feito ser muito mais simplificado que o projeto original, a estrutura necessária para implementar um comportamento adaptativo já era suficiente. Porém, antes da incorporação de comportamentos adaptativos, o

Figura 9 – Exemplo de nível do Rampa Inclinada

Fonte: Captura de tela feita pelo autor.

Figura 10 – Tela de sucesso e detalhe das faixas coloridas na plataforma.

Fonte: Captura de tela feita pelo autor.

jogo foi submetido a um teste informal com pessoas de diferentes idades e perfis, para avaliar sua experiência, segundo sugerido na literatura de design de jogos ([SALEN; ZIMMERMAN, 2003](#)), ([FULLERTON, 2008](#)), ([SCHELL, 2008](#)).

O retorno dos jogadores indicou que o jogo estava muito abstrato e sem atrativos. Para os testadores mais próximos da faixa-etária do público alvo (entre 18 e 25 anos), o jogo não era interessante e não existia motivos para jogá-lo. Crianças e pré-adolescentes, porém, ficaram entretidos com a simulação, criando desafios para si próprios. Apesar das mecânicas ajustadas e da interface, o protótipo ainda pecava em sua experiência. Esta falha poderia comprometer todo o projeto, então se viu necessário uma revisão do design.

A sugestão dos testadores, inclusive alguns com conhecimentos sobre o

desenvolvimento de jogos, era dar uma temática ao jogo para contextualizar a sua simulação. O esperado para o jogo era estimular a experimentação, atividade de aprendizagem mais utilizada em física, então a temática escolhida foi de um laboratório de testes.

Através da *Asset Store* (Unity, 2018), novos recursos foram importados no projeto do jogo para integrar ao seu cenário. A rampa foi colocada em uma sala com paredes, portas e piso metálico. Um dos acessos a sala tornou-se um painel de controle, com um display sincronizado com a câmera que dava visão a rampa. Os controles e interface do jogo foram adaptados aos botões do painel, para que o usuário tivesse a experiência de interagir através dele.

Figura 11 – Jogo Rampa Inclinada, após mudanças.

Fonte: Captura de tela feita pelo autor.

Apesar da simulação física e objetivos continuarem iguais, as mudanças na interface e elementos visuais trouxeram significado as ações do jogo. Para integrar com a experiência de um computador de laboratório, os menus e transições de níveis também foram redesenhados para serem apresentados na mesma tela que mostra a câmera da rampa. Essa versão final foi chamada de "Laboratório de Atrito".

4.2 Desenvolvimento

Por ser desenvolvido dentro da Unity, a arquitetura planejada para o jogo está adaptada ao conceito de componentes utilizado na Unity, que, basicamente, adicionam comportamento aos objetos do jogo. Considerando isso, a arquitetura desenvolvida não está muito distante daquela apresentada por Blow (BLOW, 2004).

Figura 12 – Diagrama de Classes do Jogo

Fonte: Diagrama montado pelo autor.

A classe *GameController*, que encontra-se no centro do diagrama, é um *Singleton*, ou seja uma instância única por todo o jogo, para que possa guardar as regras do jogo. Ela também possui acesso a todos os *scripts* do jogo para poder controlar o funcionamento dele.

Dentro da *Unity*, existem funções básicas do ciclo de vida do *script*: *Awake*, *Start*, *Update* e *FixedUpdate*. Estas funções são herdadas da classe *MonoBehaviour*, da qual todo *script* do Unity deriva (Unity, 2017b). É possível que *scripts* diferentes iniciem e percorram o ciclo de vida em tempos dife-

rentes, tirando a sincronia os eventos do jogo. Essa falta de sincronia, inicialmente, não é um problema, mas, com o crescimento da complexidade do jogo, ela pode gerar defeitos esporádicos e que só serão notados nas fases finais do jogo. Para evitar isso, a classe *GameController* tornou-se responsável por iniciar esses ciclos, chamando as funções dentro do seu próprio ciclo de vida.

O módulo de Adaptatividade está ilustrado na Figura 12 como *AdaptController*. O funcionamento desse módulo é similar ao esquema apresentado por Parnandi e Gutierrez ([PARNANDI; SON; GUTIERREZ-OSUNA, 2013](#)). A classe recebe os dados que deve analisar, compara com as suas regras internas e retorna o que deve ser alterado no jogo para se adequar ao perfil identificado. Com isso, o módulo está desacoplado do jogo e pode ser associado com outras classes, dependendo da adaptação desejada, alterado ou mesmo melhorado com algoritmos mais sofisticados. Nesse caso, ele está associado ao módulo *GameController* para realizar adaptações de mecânica, utilizando uma tradução dos estilos de aprendizagem Felder-Silverman em variáveis medidas e fornecidas pela *GameController*.

Por fim, foi decidido a utilização de uma única cena de jogo para simplificação do protótipo. Isso evitou duplicação de recursos sem necessidade e também diminuiu o tamanho total do arquivo *stantalone* a ser utilizado para os experimentos.

4.2.1 Simulação Física

Como havia a necessidade de usar apenas fenômenos físicos simples na simulação, a física do jogo foi alterada para apresentar o comportamento esperado. Primeiramente, é necessário saber que, dentro da Unity, a caixa, a rampa e a plataforma são *GameObjects*.

GameObjects são os objetos fundamentais em Unity que podem representar personagens, adereços ou cenário. Eles agem como recipiente para *Components* (Componentes) que implementam a funcionalidade (Unity, 2017a). Comparando com o paradigma de Programação Orientada a Objetos, *GameObjects* são a abstração das entidades existente nas cenas do Unity (Unity, 2017b) e os componentes são classes que agrupam atributos e métodos que podem ser atribuídos aos *GameObjects*. Para manipular a física do jogo, dois componentes são principais: *Rigidbody* e *Collider*.

Rigidbody (corpo rígido) é o componente principal que habilita o comportamento físico de um *GameObject*. Ao possuir um *Rigidbody*, a gravidade e outros fenômenos físicos começam a afetar o *GameObject*. O *Rigidbody* controla o movimento dos objetos por meio da aplicação de forças no seu centro de gravidade, que são chamadas no código de acordo com o comportamento desejado. Também é possível remover os efeitos da gravidade e fenômenos físicos sobre o objeto tornando-o cinemático. Este atributo também é controlado pelo código atribuído ao *GameObject* para ativar e desativar a física sobre o objeto.

Colliders (Colisores) definem a forma do objeto para fins de colisões físicas. O colisor é invisível e não precisa ser do mesmo formato que a representação visual do *GameObject*. Uma aproximação com formas primitivas é, geralmente, mais eficiente e imperceptível durante o jogo. Os *GameObjects* em cena no protótipo possuíam o *Box Collider* como componente. Este é um tipo de colisor com a forma primitiva de um cubo. Esse tipo de colisor possui atributos definindo seu centro, seu tamanho, se ele é usado para disparar eventos e seu *Physics Material*. *Physics Material* (material físico) é utilizado para ajustar o atrito, a elasticidade do colisor e como será o cálculo destas duas variáveis entre dois objetos com colisor *GameObject*.

Figura 13 – Caixa utilizada no jogo e seu colisor de cubo.

Fonte: Captura de tela feita pelo autor.

A simulação física foi construída atribuindo materiais físicos sem elasticidade, para que a caixa deslizasse ao invés de ricochetejar, e com atritos variáveis para os *GameObjects* em cena. A caixa possuía atrito 0, a rampa possuía atrito de acordo com o material em cena e a plataforma 0.08. Entre a caixa e a rampa, era calculado a média dos atritos, diminuindo o valor de atrito da rampa pela metade, e para a plataforma, o maior valor era usado. Para inclinar a rampa, um *GameObject* vazio foi criado como pai da rampa e da caixa, depois adicionado em ponto em que a rampa se encontrava com a

plataforma. Desta forma, rotacionar este objeto, também afetava a plataforma, mas esta era inclinada.

Figura 14 – Controle de rotação utilizado na rampa.

Fonte: Captura de tela feita pelo autor.

Por fim, para testar vários tipos de inclinação e seus efeitos na velocidade do objeto, o componente de *Rigidbody* foi usado para desligar a gravidade, até o momento em que o usuário pressionasse um botão que iniciaria a simulação de atrito. Assim, a simulação da Rampa Inclinada estava Completa.

4.2.2 Jogabilidade e Adaptatividade

O jogo em sua versão atual possui 5 fases implementadas onde 5 materiais diferentes são usados na Rampa: Concreto, Tijolo, Madeira, Gelo e Couro. Em cada fase, o material físico e o aspecto visual da rampa é alterado para criar uma simulação diferente de atrito. Os controles podem ser feitos tanto pelo teclado, quanto pelos controles do painel do jogo, para aumentar a imersão.

O objetivo é atingir as faixas coloridas para conseguir a pontuação, sendo a faixa mais próxima da rampa a que oferece maior pontuação. O jogador precisa controlar a aceleração da caixa, parando assim que chegar a plataforma, para obter a pontuação máxima.

Dentro desta jogabilidade, implementamos um algoritmo para identificar

os perfis de aprendizagem no jogo baseados na descrição do modelo Felder-Silverman. Cada um deles possuía recursos no jogo para lhe dar vantagem ou desvantagem.

Figura 15 – Exemplos de cada um dos recursos usados na adaptatividade do jogo

Fonte: Captura de tela feita pelo autor.

Para o perfil Ativo, era esperado que o jogador realizasse várias tentativas, com pouco tempo de pensamento entre elas, até chegar na solução correta. Para os jogadores ativos com dificuldade (underachievers), foi implementada a funcionalidade de salvar a inclinação anterior (Figura 15 c), assim o jogador apenas ajustaria a sua tentativa, com base nos resultados observados. Para os jogadores ativos com muita facilidade (overachievers), as tentativas seriam limitadas (Figura 15 d), forçando-os a pensar mais sobre a inclinação da rampa.

Para o perfil Reflexivo, era esperado que o jogador demorasse mais antes de realizar cada tentativa e que o resultado fosse alcançado com poucas tentativas. Para os jogadores com dificuldade, era adicionada a tela uma fórmula na base do painel (Figura 15 a), usada para calcular o fenômeno estudado no jogo. Para os jogadores com muita facilidade, o tempo entre cada tentativa

Tabela 2 – Variáveis e valores usados para a avaliação de cada perfil

Tempo	Pontuação	Tentativas	Perfil
≥ 50	< 40	≤ 3	Reflexivo Ajudar
≥ 50	> 60	≤ 3	Reflexivo Dificultar
≤ 35	< 40	> 3	Ativo Ajudar
≤ 35	> 60	> 3	Ativo Dificultar
$< 35 \&\& > 45$	$< 60 \&\& > 40$	$\geq 2 \&\& \leq 5$	Neutro

foi limitado (Figura 15 b)), forçando-os a pensar mais rápido.

Os perfis foram identificados através das medições de tempo antes de iniciar a simulação, pontuação e número de tentativas. Com isso, só era possível que a adaptatividade acontecesse a partir da fase 2.

Qualquer classificação não enquadrada nestes comportamentos foi enxergada como neutra, onde nada no jogo era alterado, mesmo se algum recurso adaptativo estivesse ativado. Através do algoritmo de decisão, o jogador poderia, a qualquer momento, mudar entre esses perfis, o que iria desativar as regras do perfil anterior e ativar as novas regras. É necessário que haja essa liberdade tanto para calibrar as vantagens e desvantagens do jogador, quanto para se adequar aos perfis flexíveis dos estilos de aprendizagem Felder-Silverman, que descrevem tendências de comportamento.

5 EXPERIMENTO COM O JOGO ADAPTATIVO

Uma vez implementado o comportamento adaptativo no jogo, foi necessário validar a sua conformidade quanto ao modelo Felder-Silverman. Como a única ferramenta consolidada disponível para medir os estilos de aprendizagem dentro deste modelo é o questionário ([FELDER; SOLOMAN, 2001](#)), um novo experimento foi realizado para que os participantes respondessem o questionário e testassem o jogo em seguida.

5.1 Protocolo do Experimento

O experimento consistiu em um pré-teste utilizando a ferramenta oficial dos Estilos de Aprendizagem Felder-Silverman, que durou em torno de 10 minutos, uma sessão de jogo de 15 minutos com o jogo desenvolvido no projeto e um pós-teste com a intenção de avaliar a experiência do participante.

A versão original do Índice de Estilos de Aprendizagem ([FELDER; SOLOMAN, 2001](#)) está escrito na língua inglesa. Para que não houvesse a barreira da língua ao responder as perguntas, foi utilizada a versão traduzida por Marcio F. Giorgetti e Midia Pavan Kuri obtida através de uma dissertação de mestrado ([CATHOLICO, 2009](#)), pois a pesquisa original, para qual a tradução foi feita, não foi encontrada. Esta versão, então, foi reformatada com um software gerador de testes múltipla escolha ([BIENVENÜE, 2008 - 2017](#)), que oferecia correção automática. Essa escolha foi feita para otimizar a verificação dos

resultados, porém, como poucos testes foram respondidos, a função não foi utilizada.

A versão do jogo utilizada continha as características descritas no capítulo anterior e foi gerada como um *standalone* para Windows. Essa geração resultou em um arquivo .exe do jogo e uma pasta com alguns dados necessários para seu funcionamento de 114MB. As versões de Mac e Linux não foram geradas, pois era necessário equipamentos com esses sistemas operacionais para gerar os respectivos arquivos. Arquivos .txt foram criados pelo jogo, armazenando relatórios sobre as decisões adaptativas durante o jogo.

Para a avaliação da experiência do jogador, foi utilizado a versão aprimorada do *Model for Evaluation of Educational Games* (MEEGA+), por ser um questionário que avalia a qualidade do jogo através da experiência do jogador. A versão aprimorada foi selecionada não apenas por rever as métricas e o instrumento de avaliação original, mas também por ser desenvolvido pensando no ensino de Engenharia da Computação/Software, que se aproxima do objetivo esperado com o jogo deste projeto. O questionário já estava disponível na língua portuguesa e possuí uma versão de avaliação tanto para os alunos, quanto para o instrutor. Apenas a versão dos alunos foi utilizada, pois não foi possível que um instrutor experimentasse o jogo ([Grupo de Qualidade de Software da Universidade Federal de Santa Catarina, 2016](#)).

A aceitação de participantes para o experimento não se limitou apenas aos cursos de engenharia da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, pois o conteúdo é abordado na grade dos cursos de engenharia de outras instituições. Quatro voluntários do curso de Engenharia da Computação do Insper, instituição de ensino superior brasileira localizada no estado de São Paulo, participaram do experimento. O experimento aconteceu nas dependências do Insper, em uma sala com todos os alunos juntos, utilizando

equipamentos disponibilizados pela própria instituição.

5.2 resultados

Como o experimento teve poucos participantes, a análise será dividida por participante (1, 2, 3 e 4). Ao final, a análise de qualidade do jogo será dada de forma geral. Nos relatórios gerados pelo jogo, 4 dados foram analisados: Tempo da tentativa (medido a partir do momento que a fase é carregada, até o usuário iniciar a simulação), pontuação do nível, tentativas realizadas e tipo de adaptação selecionada pelo algoritmo.

O participante 1 foi identificado como levemente Reflexivo e Global (apenas um ponto fora do meio), moderadamente Sensorial (6 pontos) e fortemente visual(11 pontos). Como há 11 questões para cada dimensão, é impossível o usuário classificar-se como estando no meio. Portanto, o participante 1 é definido como neutro entre os estilos Ativo e Reflexivo, podendo se comportar como ambos. Dentro do jogo, o participante apresentou um pensamento rápido na solução dos níveis (tempo inferior a 10 segundos, variando de 9 a 2, média de 6,06) e pontuações variáveis (70, 30, 60, 100 e 10). Todos os níveis foram completados com apenas 1 tentativa e o algoritmo não realizou nenhuma adaptação para este participante.

O participante 2 foi identificado como forte Ativo (9 pontos), levemente Sensorial e Global (1 ponto) e moderadamente Visual(5 pontos). Este participante posicionou-se no extremo do eixo Ativo da dimensão abordada, portanto, espera-se que ele apresente comportamentos característicos do perfil Ativo, com pouca ou nenhuma característica reflexiva. Nos relatórios, o tempo de pensamento na solução foi rápido (Inferior a 10 segundos, variando de 8 a 2 segundos e média de 6,07 segundos) e pontuação alta (80, 90, 100, 100

e 100). Novamente, apenas uma tentativa foi realizada para completar cada nível e não houve nenhuma adaptação.

O participante 3 foi identificado como levemente Reflexivo e Sequencial (1 e 3 pontos, respectivamente), forte Sensorial (9 pontos) e moderadamente Visual (5 pontos). Durante o jogo, houve um pensamento mais demorado que os participantes anteriores (superior a 10 segundos, variando de 10 a 3 segundos, média de 9,16), com alta pontuação nas fases onde o tempo de solução foi maior e leve queda com a diminuição do tempo (100, 100, 100, 90, 90). Apenas uma tentativa foi realizada em cada nível e não houve adaptações.

O participante 4 foi identificado como moderadamente Ativo e Sensorial (5 pontos) e forte Visual e Sequencial (9 pontos). O tempo de solução variou em valores maiores do que os outros participantes (de 15 a 6 segundos) e teve média de 9,81 segundos, porém com pontuação máxima em todos os níveis. Apenas uma tentativa foi realizada em cada nível e não houve adaptações.

Ressalta-se que o nível 4, onde 3 dos 4 participantes tiveram tempo de solução abaixo de 4 segundos, possuía a rampa com o material físico de gelo. Este material não precisava de muita inclinação para mover a caixa, portanto, pode ser o motivo da diminuição na média de tempo de solução.

A avaliação feita através da ferramenta MEEGA+ é ilustrada nos gráficos abaixo:

Figura 16 – Gráfico de avaliação da experiência do jogo.

Fonte: Planilha de avaliação MEEGA+

Figura 17 – Gráfico de avaliação da percepção de aprendizagem

Fonte: Planilha de avaliação MEEGA+

A avaliação pela ferramenta do MEEGA+ apontou que os usuários não encontraram desafio nas missões do jogo, o que é ruim para um balanceamento adequado e promover o Canal do *Flow*. Entretanto, a interface foi facilmente aprendida pelos usuários, o que é um bom sinal, pois uma interface difícil também desmotivaria os usuários a jogarem.

6 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O jogo foi desenvolvido de acordo com o Design Centrado no Usuário, respeitando as limitações para que fosse propriamente usado para o ensino da matéria a que era destinado. Contudo, segundo a literatura de jogos (SALEN; ZIMMERMAN, 2003) (FULLERTON, 2008) (SCHELL, 2008), são necessários vários testes junto com o público alvo para poder refinar a um bom design. O retorno do primeiro grupo foi levado em consideração para alterar o aspecto visual do jogo. Agora é necessário utilizar os novos resultados obtidos através do experimento formal para refinar o design para um desafio equilibrado e engajador.

O modelo inicial para a adaptatividade foi construído com variáveis baseadas em *Gameplay* de acordo com o esperado para cada um dos perfis. No segundo experimento, utilizou-se o teste como uma forma de modelagem subjetiva para suportar a modelagem inicial baseada em *Gameplay*, porém, não foi realizada nenhuma adaptação para os participantes do segundo experimento. Ainda que o experimento seja pequeno, deve-se lembrar que os perfis de Felder-Silverman são flexíveis, ou seja, apontam tendências de comportamento. Um algoritmo mais sofisticado de aprendizagem de máquina e mais testes com usuários de diferentes pontos da dimensão são necessários para refinar esse modelo independente da ferramenta formal.

Em trabalhos futuros, o foco deve se concentrar no módulo de adapta-

tividade para refinar sua precisão, sem esquecer do design do jogo com a adaptação dele. Um equilíbrio entre os dois deve ser alcançado para o sucesso do jogo adaptativo. Para isso, vale lembrar da sugestão de Prensky ([PRENSKY, 2012](#)), que afirmava que a preocupação inicial deveria ser com a diversão do jogo e apenas depois com o conteúdo educacional. É mais fácil introduzir conteúdo em um bom jogo, que refinar o design de um jogo com muito conteúdo mas pouco engajador.

REFERÊNCIAS

- ABRAS, C.; MALONEY-KRICHMAR, D.; PREECE, J. User-centered design. In: **In Bainbridge, W. Encyclopedia of Human-Computer Interaction. Thousand Oaks: Sage Publications.** [S.l.]: Publications, 2004.
- BARBE, W.; SWASSING, R.; MILONE, M. **Teaching Through Modality Strengths: Concepts and Practices.** [S.l.]: Zaner-Bloser, 1979.
- BAUER, M.; GASKELL, G. **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático.** [S.l.]: Vozes, 2010.
- BIENVENÜE, A. **Auto Multiple Choice.** 2008 – 2017. Disponível em: <https://www.auto-multiple-choice.net/>.
- BLOW, J. Game development: Harder than you think. **Queue**, ACM, v. 1, n. 10, p. 28–37, fev. 2004.
- CATHOLICO, R. A. R. **Estratégia de ensino em curso técnico a partir dos estilos de aprendizagem de Felder-Soloman.** Dissertação (Mestrado) — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Doi:10.11606/D.18.2009.tde-20102009-171201. Acesso em: 2018-01-21.
- COFFIELD, F. et al. **Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review.** [S.l.]: Learning and Skills Research Centre London, 2004.
- CRAWFORD, C. **The Art of Computer Game Design.** [S.l.]: Osborne/McGraw-Hill, 1984. ISBN 0881341177.
- DALMAU, D. S.-C.; SANCHEZ-CRESPO, D. **Core Techniques and Algorithms in Game Programming.** [S.l.]: New Riders Games, 2003. ISBN 0131020099.
- DUH, H. B.-L. et al. A narrative-driven design approach for casual games with children. In: **Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games.** [S.l.]: ACM, 2010. p. 19–24.
- FELDER, R.; SPURLIN, J. Applications, reliability and validity of the index of learning styles. v. 21, p. 103–112, 2005.
- FELDER, R. M. Are learning styles invalid? (hint: no!). **On-Course Newsletter**, 2010. Disponível em: [http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS_VValidity\(On-Course\).pdf](http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS_VValidity(On-Course).pdf).

FELDER, R. M.; SILVERMAN, L. K. Learning and teaching styles in engineering education. **ENGINEERING EDUCATION**, 1988. Disponível em: <http://www4.ncsu.edu/unity/lockers/users/f/felder/public/Papers/LS-1988.pdf>.

FELDER, R. M.; SOLOMAN, B. A. **Index of Learning Styles**. 2001. Disponível em: <http://www.ncsu.edu/felder-public/ILSpage.html>.

FULLERTON, T. **Game Design Workshop: A Playcentric Approach to Creating Innovative Games**. [S.l.]: Taylor & Francis, 2008. ISBN 9780240809748.

Games for Change. **Games for Change**. 2004. Disponível em: <http://www.gamesforchange.org/>.

Games for Science. **Mecanika**. 2011. Disponível em: <http://www.gameforscience.com/physica/>.

Grupo de Qualidade de Software da Universidade Federal de Santa Catarina. **MEEGA+ A model for evaluating educational games**. 2016. Disponível em: <http://www.gqs.ufsc.br/meega-a-model-for-evaluating-educational-games/>.

HWANG, G.-J. et al. A learning style perspective to investigate the necessity of developing adaptive learning systems. v. 16, p. 188–197, 04 2013.

Just Two. **Newton's Law**. 2015. Disponível em: <http://www.crazygames.com/game/newtons-law>.

KHALIFA, A. **Game Engines Galore**. 2017. Disponível em: https://www.gamasutra.com/blogs/AhmedKhalifa/20170315/293689/Game_Engines_Galore.php.

KICKMEIER-RUST, M. D.; STEINER, C. M.; ALBERT, D. Non-invasive assessment and adaptive interventions in learning games. In: IEEE. **Intelligent Networking and Collaborative Systems, 2009. INCOS'09. International Conference on**. [S.l.], 2009. p. 301–305.

KOLB, A. Y.; KOLB, D. A. The Kolb Learning Style Inventory—Version 3.1 2005 Technical Specifications. 2005. Disponível em: <http://www.whitewater-rescue.com/support/pagepics/lsitechmanual.pdf>.

KOSTER, R. **Theory of Fun for Game Design**. 2nd. ed. [S.l.]: O'Reilly Media, Inc., 2013. ISBN 1449363210, 9781449363215.

LOPES, R.; BIDARRA, R. Adaptivity challenges in games and simulations: A survey. **IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games**, v. 3, n. 2, p. 85–99, 2011.

LOPES, W. M. G. **ILS – Inventário de estilos de aprendizagem de Felder-Soloman: investigação de sua validade em estudantes universitários de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002.

MANSKE, M.; CONATI, C. Modelling learning in an educational game. IOS Press, p. 411–418, 2005.

NETO, J. J. Adaptive rule-driven devices - general formulation and case study. In: **Implementation and Application of Automata**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2002. p. 234–250. ISBN 978-3-540-36390-3.

OVOS. **Ludwig**. 2012. Disponível em: <http://www.playludwig.com/en>.

PARNANDI, A.; SON, Y.; GUTIERREZ-OSUNA, R. A control-theoretic approach to adaptive physiological games. In: **2013 Humaine Association Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 7–12.

PITUBA, J. L. Adaptatividade em jogos (resumo). In: **Memórias do X Workshop de Tecnologia Adaptativa - WTA 2016**. [S.l.: s.n.], 2016. p. 6. ISBN 978-85-86686-86-3.

PRENSKY, M. **Aprendizagem Baseada Em Jogos Digitais**. [S.l.]: SENAC SP, 2012. ISBN 9788539602711.

RAMADAN, R.; WIDYANI, Y. Game development life cycle guidelines. In: **2013 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACISIS)**. [S.l.: s.n.], 2013. p. 95–100.

SALEN, K.; ZIMMERMAN, E. **Rules of Play: Game Design Fundamentals**. [S.l.]: The MIT Press, 2003.

SCHELL, J. **The Art of Game Design: A Book of Lenses**. San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 2008. ISBN 0-12-369496-5.

SICART, M. Defining game mechanics. **Game Studies**, v. 8, 2008. Disponível em: <http://gamestudies.org/0802/articles/sicart>.

SOUZA, C. M. D. et al. Estilos de aprendizagem – uma abordagem utilizando o ils – index of learning styles. **ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ABEPRO**, n. 21, 2001.

Super Smith Bros LTD. **Drawtopia**. 2015. Disponível em: https://play.google.com/store/apps/details?id=com.supersmithbros.drawtopia&hl=pt_BR.

Unity. **Unity User Manual**. 2017a. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>.

Unity. **Unity Scripting Reference**. 2017b. Disponível em: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/index.html>.

Unity. **Unity Asset Store**. 2018. Disponível em: <https://www.assetstore.unity3d.com/en/>.

University of Colorado Boulder. **PhET Interactive Simulations**. 2002. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/>.

YANNAKAKIS, G. N.; TOGELIUS, J. Experience-driven procedural content generation. **IEEE Transactions on Affective Computing**, v. 2, n. 3, p. 147–161, July 2011.