



Universidade de Brasília

Instituto de Ciências Exatas
Departamento de Ciência da Computação

**Análise de diferentes algoritmos de ajuste dinâmico
de dificuldade que utilizam dados de atividade
eletrodérmica em jogos digitais**

Rennê Ruan A. Oliveira

Monografia apresentada como requisito parcial
para conclusão do Curso de Engenharia da Computação

Orientador
Prof.a Dr.a Carla Denise Castanho

Brasília
2021

Dedicatória

Dedico este trabalho a todas as pessoas especiais, que percorreram esses anos comigo, amigos, professores, família, e os demais que ajudaram no meu crescimento.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos a minha orientadora, Professora Carla Castanho, aos Professores Tiago Barros e Mauricio Sarmet por terem aceito o convite para participar da banca de avaliação deste trabalho, e também aos voluntários que forneceram do seu tempo para colaborar com os experimentos. Agradeço a todos os amigos, familiares e profissionais que foram responsáveis para a conclusão deste trabalho. No delicado momento em que nos encontramos agradeço cada pessoa que dedicou paciência, empatia e motivação para que eu pudesse finalizar minha jornada. Foi um delicado processo que felizmente pode ser concluído dentre tantos eventos que ocorreram nesta jornada.

Resumo

O alcance dos jogos digitais nos dias contemporâneos é cada vez maior. Sendo utilizados não apenas como catalisadores de prazer e diversão, atualmente jogos desempenham papéis importantes nas mais variadas áreas de conhecimento, como educação, medicina, treinamentos e esportes, dentre outras. A qualidade de jogos digitais, um fator subjetivo a se analisar, abre um leque de possibilidades de avaliação e refinamento utilizando técnicas emergentes na indústria de jogos.

Não há dúvidas que a experiência de jogo deve ser prazerosa e efetiva, dado o seu propósito, para todos os perfis de jogadores. Nesse contexto, a técnica de Ajuste Dinâmico de Dificuldade (ADD) é utilizada para adaptar o nível de desafio que o jogo propõe para o nível de habilidade de cada jogador. O ADD pode ser realizado com base nos dados de desempenho advindos do próprio *gameplay*, ou utilizando dados fisiológicos de cada indivíduo para inferir seus níveis de excitação e os estados emocionais apresentados decorrer do jogo. Este último é denominado de ADD afetivo.

Diversos trabalhos têm investigado este tema, empregando diferentes técnicas de ADD. Entretanto, cada trabalho calcula e infere a excitação do jogador a partir de dados de *biofeedback* de uma forma diferente. Este trabalho tem como objetivo analisar diferentes algoritmos de interpretação e manipulação do sinal da atividade eletrodérmica do jogador que é utilizado como entrada no cálculo de ajuste dinâmico de dificuldade. Além dos estudos teóricos, foi conduzido um experimento piloto com o jogo *Asteroids: in the 2nd and 1/2th Dimension*, para coletar resultados comparativos acerca dos algoritmos analisados.

Palavras-chave: jogos digitais, ajuste dinâmico de dificuldade, ADD, *biofeedback*, EDA

Abstract

The reach of digital games in contemporary days is increasing. Being used not only as catalysts for pleasure and fun, games nowadays play important roles in the most varied areas of knowledge, such as education, medicine, training and sports, among others.

The quality of digital games, a subjective factor to be analyzed, opens up a range of possibilities for evaluation and refinement using emerging techniques in the games industry.

There is no doubt that the gaming experience should be pleasurable and effective, given its purpose, for all player profiles. In this context, the Dynamic Difficulty Adjustment (ADD) technique is used to adapt the level of challenge that the game proposes to the skill level of each player. The ADD can be performed based on performance data from the *gameplay* itself or using physiological data from each individual to infer their levels of excitement and the emotional states presented during the game. The latter is called affective ADD.

Several studies have investigated this topic, using different ADD techniques. However, each study calculates and infers the player's arousal from *biofeedback* data in a different way. This work aims to analyze different algorithms for the interpretation and manipulation of the signal of the electrodermal activity of the player that is used as input in the calculation of dynamic adjustment of difficulty. In addition to the theoretical studies, a pilot experiment was conducted with the game *Asteroids: in the 2nd and 1 / 2th Dimension*, to collect comparative results about the analyzed algorithms.

Keywords: digital games, dynamic difficulty adjustment, dda, biofeedback, EDA

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Definição do Problema	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Metodologia	3
1.4	Estrutura do Trabalho	3
2	Fundamentação Teórica	5
2.1	Jogo	5
2.2	Jogador	6
2.3	<i>Game Analytics</i>	7
2.3.1	<i>Game Telemetry</i>	8
2.3.2	<i>Game Metrics</i>	9
2.4	<i>Game User Research</i>	10
2.5	Emoção	10
2.6	Fluxo	12
2.6.1	Fluxo em Jogos	14
2.7	<i>Biofeedback</i>	15
2.7.1	Eletromiografia (EMG)	16
2.7.2	Atividade Eletrodérmica (EDA)	16
2.7.3	Eletrocardiografia (ECG)	17
2.8	Ajuste Dinâmico de Dificuldade	17
2.8.1	ADD por Desempenho	18
2.8.2	ADD Afetivo	18
2.8.3	ADD Híbrido	19
2.9	Motivação e Frustração	19

3	Trabalhos Correlatos	21
3.1	Ajuste Dinâmico de Dificuldade utilizando Análise em tempo real da condutância da pele	21
3.1.1	Características do ADD	22
3.2	Ajuste Dinâmico de dificuldade em um jogo do gênero plataforma	23
3.2.1	Características do ADD	24
3.3	Ajuste Dinâmico de dificuldade a partir de variáveis do jogo e do usuário	25
3.3.1	Características do ADD	27
3.4	Ajuste dinâmico de dificuldade híbrido e a verificação de variáveis inerentes a dificuldade	27
3.4.1	Características do ADD	28
3.5	Estudo entre os modelos de ADD por Desempenho e ADD afetivo	29
3.5.1	Características do ADD	32
4	Análise dos Ajustes Dinâmicos de Dificuldade	34
4.1	Contexto	34
4.2	O Jogo	35
4.3	Ferramentas	36
4.3.1	Motor de Jogo	37
4.3.2	Sensor	37
4.3.3	Aplicativo, Servidor e Banco de Dados	39
4.4	Ajustes Dinâmicos	40
4.4.1	Ajuste por Mediana	41
4.4.2	Ajuste por RTA	43
4.4.3	Ajuste por DSA	45
4.5	Experimento	47
5	Resultados	51
5.1	Participantes	51
5.2	Análise de Dados	52
5.2.1	ADD por Mediana	52
5.2.2	ADD por RTA	53
5.2.3	ADD por DSA	54
5.2.4	Comparativo e Análise Geral	56
6	Conclusão	64
6.1	Trabalhos Futuros	65
	Referências	67

Apêndice	70
A Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	71
B Questionários	73
B.1 Questionário sociodemográfico	73
B.2 Questionário após a fase	74
B.3 Questionário acerca do <i>gameplay</i> geral	74

Lista de Figuras

2.1	Representação gráfica do modelo circunplexo, eixo x representando a valência, eixo y representando a excitação (adaptado de [1]).	12
2.2	Diagrama de fluxo e dimensões de estado afetivo a partir da relação desafio por habilidade (adaptado de [2]).	14
2.3	a) Zonas de fluxo para um jogador. b) Zonas de fluxo para diferentes tipos de jogadores. c) Jogo adaptado de acordo com diferentes escolhas baseadas no fluxo (adaptado de [3]).	15
2.4	Módulos de fluxo de alteração de dificuldade.	18
3.1	Cena do jogo <i>Electroderma</i> - o jogador em branco desviando de um grupo de inimigos [4]	22
3.2	Diferença entre nível com ajuste dinâmico para jogo de gênero plataforma [5]	24
3.3	Diagrama de estados de jogo, respectivas fases e dificuldades, B para dificuldade Baixa, M para Média e A para Alta [6].	26
3.4	Tabela das variáveis de jogo correlacionadas entre si encontradas a partir da análise dos níveis e dados de percepção [7].	29
3.5	Gráfico com vários dados de um jogador dedicado no decorrer de uma partida do jogo Asteroids [7].	30
3.6	Zonas elencadas a partir do número de mortes e a duração em um nível de determinado jogador. Utilizada para verificar a valência dos jogadores nos ajustes [7].	31
4.1	Cena do jogo Asteroids adaptado [7].	36
4.2	Sensor <i>Empatica E4 Wristband</i> para capturar dados fisiológicos [7].	38
4.3	Fluxo de dados fisiológicos a serem utilizados para ADD. [7]	39
4.4	Processo para encontrar o pico mediano de uma amostra de EDA [7].	42
4.5	Questionário posterior a cada fase [7]	49
5.1	Gráficos do jogador 2 durante a partida, com ajuste por Mediana.	53
5.2	Gráficos do jogador 2 durante a partida, com ajuste por RTA.	54

5.3	Gráficos do jogador 6 durante a partida, com ajuste por RTA.	54
5.4	Gráficos do jogador 2 durante a partida, com ajuste por DSA.	55
5.5	Gráficos do jogador 5 durante a partida, com ajuste por DSA.	56
5.6	Gráfico com a média e desvio padrão da quantia de ajustes realizados para cada modelo de ADD.	57
5.7	Gráfico com a velocidade inicial de cada nível para os diferentes ajustes. . .	57
5.8	Gráfico com a velocidade final de cada nível para os diferentes ajustes. . .	58
5.9	Gráfico com a dificuldade relatada pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.	58
5.10	Gráfico com a diversão relatada pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.	59
5.11	Gráfico com o tédio relatado pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.	60
5.12	Gráfico com a frustração relatada pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.	60

Lista de Tabelas

3.1 Estados afetivos do jogador a partir das médias dos valores de EDA [6].	27
4.1 Valores de velocidade a serem ajustados ao passar de nível.	43
4.2 Valores de velocidade a serem ajustados ao morrer.	43
4.3 Valores de velocidade a serem ajustados ao identificar um pico de excitação (Algoritmo RTA).	45
4.4 Valores de velocidade a serem ajustados ao identificar um pico de excitação (Algoritmo DSA).	47
5.1 Tempo Médio e desvio padrão de cada nível para ADD por Mediana.	61
5.2 Tempo Médio e desvio padrão de cada nível para ADD por RTA.	61
5.3 Tempo Médio e desvio padrão de cada nível para ADD por DSA.	61
5.4 Média de mortes e desvio padrão de cada nível para ADD por Mediana.	62
5.5 Média de mortes e desvio padrão de cada nível para ADD por RTA.	62
5.6 Média de mortes e desvio padrão de cada nível para ADD por DSA.	62

Capítulo 1

Introdução

Esta seção apresenta a definição do problema, os objetivos deste trabalho, a metodologia utilizada para alcançar os objetivos geral e específicos, além da estrutura dos demais capítulos desta monografia.

1.1 Definição do Problema

A indústria de jogos tem um crescimento constante no entretenimento de pessoas das mais variadas idades e perfis, tendo um valor de mercado considerável. Atualmente os videogames são extremamente populares pela interatividade e imersão que oferecem. Além disso, as novas tecnologias que possibilitam o avanço na qualidade dos jogos têm se tornado cada vez mais acessíveis ao público em geral.

Muito do que se estuda na indústria de games é o balanceamento de dificuldade de cada jogo para satisfazer seu público alvo, tal que diferentes tipos de jogos possuem diferentes tipos de dificuldade. Além disso, pessoas de perfis diversos podem jogar um mesmo jogo e, portanto, é fundamental a existência de mecanismos que ajustem o jogo ao nível de habilidade do jogador, visando que este possua uma experiência de jogo agradável [4].

O ajuste de dificuldade é um dos principais desafios para os *designers* de jogos. Nesse contexto a técnica de Ajuste Dinâmico de Dificuldade (ADD) tem como objetivo ajustar a dificuldade de determinado jogo (alterando elementos de acordo com o gênero em questão), baseado em dados provindos do jogador, que podem ter caráter de desempenho, ou afetivo [5, 8].

Um ADD por desempenho utiliza dados que o jogador fornece apenas jogando no decorrer de seu *gameplay*, como por exemplo, quantos tiros este acertou em um inimigo ou quanto tempo está demorando para encontrar um erro. Uma das maiores dificuldades do ADD por desempenho é determinar quais métricas dispõem um desempenho alto ou baixo, a partir dessa informação que o jogo deverá dificultar ou facilitar para o jogador.

Além de identificar o desempenho, o processo de ajuste de dificuldade, dependendo do design do jogo e do jogador, não é trivial, pois um jogador que erra muito tiros não necessariamente tem um desempenho ruim, pode ser, por exemplo, que ele apenas atire desnecessariamente enquanto joga [7, 4].

O ADD afetivo, por outro lado, trata de inferir o estado emocional do jogador a partir de dados fisiológicos coletados no momento do *gameplay*. Esses dados em conjunto com dados do jogo conseguem fornecer informações que possibilitam detectar, por exemplo, se um jogador está com raiva, frustrado ou entediado, e a partir dessa inferência de estado emocional, pode-se ajustar o jogo para que o jogador tenha maior aproveitamento e consiga adentrar no estado de fluxo. Fluxo é um conceito primordial nos estudos de ajuste dinâmico de dificuldade; as medidas propostas pelos ajustes tem como principal objetivo manter o jogador na zona ótima de aproveitamento denominada fluxo.

Trabalhos como o de Natal [9], Rosa[5] e Lopes [10] utilizam ambas as estratégias de ADD para realizar um modelo híbrido, combinando as duas abordagens para garantir uma melhor adaptação à habilidade do usuário, com os dados de desempenho somados ao estado emocional do jogador. Fernandes [7] apresenta também distintos modelos de ADD utilizando limiares de desempenho e estado afetivo definidos. Embora esses quatro estudos tenham como principal característica o emprego da mesma medida bruta de estado afetivo, ou seja, utilizam valores da Atividade Eletrodérmica para inferir o nível de excitação do jogador, todos foram implementados com diferentes algoritmos de interpretação dos dados.

As investigações mencionadas acima não possuem uma consistência em como inferir o estado emocional do jogador a partir dos dados de excitação (EDA). Cada um desses estudos apresentou uma abordagem distinta de como realizar um ADD afetivo ou híbrido, o que não favorece a decisão sobre qual algoritmo utilizar para realizar um ADD, dificultando a criação de trabalhos futuros ou até mesmo a continuidade dos mesmos.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é analisar diferentes ajustes dinâmicos de dificuldade propostos neste e em trabalhos anteriores, estes tendo como característica a utilização dos dados de atividade eletrodérmica da pele como sinal de entrada para a realização dos cálculos de ajuste da dificuldade. Deseja-se interpretar os dados de excitação obtidos e como eles se relacionam com as experiências de jogo de diferentes jogadores. Pretende-se avaliar comparativamente os algoritmos em estudo a partir dos dados obtidos com um experimento piloto em conjunto a questionários de percepção realizados.

Pontuando os objetivos específicos temos as seguintes etapas:

- Analisar subjetivamente como os dados de EDA se comportam ao longo do *gameplay*.

- Analisar como trabalhos anteriores utilizavam os dados de excitação para realizar ajustes de dificuldade.
- Propor a partir da análise inicial um novo modelo para utilização da excitação.
- Analisar os diferentes modelos de utilização dos valores de excitação para ajuste de dificuldade.

1.3 Metodologia

Para alcançar os objetivos elencados acima, serão analisados trabalhos anteriores [9, 7, 5, 10] para realizar um levantamento de como as variáveis de excitação e valência foram utilizadas computacionalmente pelos autores para a realização do ajuste dinâmico de dificuldade. Buscando identificar padrões e hipóteses a partir da análise dos dados de experimentos anteriores, em seguida sugere-se uma utilização alternativa dos valores de EDA visando a otimização do ajuste de dificuldade. Pretende-se verificar a viabilidade do modelo proposto frente aos modelos previamente utilizados, e assim identificar qual apresenta melhor ajuste de acordo com os dados fisiológicos recebidos.

Será utilizado como principal base de continuação o trabalho de Fernandes [7], ou seja, uma adaptação do jogo *Asteroids: in the 2nd and 1/2th dimension*¹, previamente alterado por Natal [9].

Com o devido ambiente preparado para análise, serão coletados dados fisiológicos de diversos jogadores para análise posterior. Será utilizado um sensor de *biofeedback* para captar a condutância da pele de cada participante para obtenção dos indicadores da resposta afetiva do usuário, ou seja, níveis de excitação, tensão e frustração calculada pelos dados de EDA [11]. Somado a isso teremos, como forma de validação das análises, a elucidação de inferências a partir de questionários de satisfação pessoal e depoimentos de estados afetivos que o jogador se inseriu, além de perguntas inerentes ao *gameplay*, como a diversão, tédio e frustração percebida pelo jogador.

1.4 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é organizado com a seguinte disposição de capítulos:

- **Capítulo 2 - Fundamentação Teórica:** exposição dos conceitos necessários para total entendimento do trabalho;

¹<https://github.com/matthewrenze/asteroids>

- **Capítulo 3 - Trabalho Correlatos:** detalhamento acerca dos trabalhos de referência para a criação deste estudo, detalhando os modelos de ADD aplicados por estes e os resultados obtidos;
- **Capítulo 4 - Análise dos Ajustes Dinâmicos de Dificuldade:** este capítulo detalha acerca das ferramentas utilizadas, dos algoritmos de ADD analisados e apresentado o experimento realizado;
- **Capítulo 5 - Resultados:** - apresentação e análise dos resultados obtidos a partir dos experimentos;
- **Capítulo 6 - Conclusão:** neste capítulo apresentamos as conclusões retiradas do presente trabalho, e discussões acerca dos trabalhos futuros.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Esta seção apresentará os conceitos fundamentais, necessários para o completo de entendimento deste trabalho. Serão discutidos termos e suas definições tais como jogo, *game analytics*, emoções, atividade eletrodérmica da pele, ajuste dinâmico de dificuldade e sensores para medir a resposta corporal.

2.1 Jogo

A definição do conceito de Jogo é algo que trás impacto para um inteiro campo de estudo. Jakko [12] analisa 63 definições que foram trabalhadas desde 1930, trazendo uma gama de abordagens que demonstram os principais desafios para classificarmos o que é dito como jogo, tal que, durante a última década, diversas definições de jogo foram e estão sendo expostas, porém trazendo mais confusão do que clareza para se alcançar uma definição concreta. [12]

Temos por exemplo a definição de Elliot e Brian [13], que trata jogo como um exercício de controle voluntário de sistemas em que há: competição entre poderes, regras confinando o escopo de ações e a produção de uma saída de desequilíbrio. Tal conceito pode ser analisado na perspectiva de que um jogo deve envolver um sistema físico ou uma atividade intelectual, que são de uso livre por serem voluntários (de acordo com a vontade do jogador), que possui um conflito entre jogadores, ou entre o jogador e o próprio sistema, com uma natureza limitadora definida por regras em que a resposta final deve ser diferente do estado inicial do jogo. Esta definição foi produzida em 1971 e não contempla tudo o que o termo jogo abrange.

Decorrente da variedade de estudos em relação ao conceito, seguiremos a partir de duas definições populares ditas como canônicas. A primeira, produzida por Salen e Zimmerman [14], trata que um jogo é um sistema em que jogadores se envolvem em um conflito artificial, definido por regras, que resulta em uma saída quantificável. Assim como a

definição de Elliot e Brian, essa definição deve ser mais detalhada para compreendermos os pontos-chaves presentes. Por exemplo, um conflito artificial pode assumir diversas formas de acordo com o tipo de jogo, podendo caracterizar a competição ou a cooperação em determinado jogo, tão quanto o conflito do jogador com o sistema.

Em nossa segunda definição popular temos a de Juul [15], que pontua jogo como um sistema baseado em regras, com um retorno variável e quantificável, onde diferentes respostas são assimiladas a diferentes valores, em que o jogador deve exercer um esforço visando alterar o resultado, tal que o jogador se sente ligado emocionalmente com o resultado, e as consequências da atividade são negociáveis. De acordo com a conceituação anterior temos que a definição proposta por Juul apresenta 6 pontos: regras, resultado variável e quantificável, valor associado a diferentes resultados, o peso do esforço do jogador, a ligação do jogador com o resultado e a necessidade de consequências negociáveis.

Nas três definições apresentadas temos a presença de regras, que definem o que o jogador pode fazer ou não. Perante ao conceito de jogador, temos na proposta de Zimmerman [14] jogadores como agentes (voluntários) que interagem com o sistema do jogo de forma a experienciá-lo. Em face a isso, o jogador é peça essencial no conceito de *gameplay*, que se trata de um processo reativo, delimitado por regras, que emergem da sequência de ações providas de um ou mais jogadores [16]. Cabe ressaltar também que as definições de jogo previamente discutidas contemplam jogos digitais e não-digitais, por consequente temos que jogos digitais apresentam quatro traços propostos por [14]: interatividade imediata mas limitada, manipulação da informação, sistemas automatizados e complexos e, por fim, a possibilidade de comunicação por rede.

Cabe ressaltar que quando avaliamos o estado afetivo do jogador temos que dar ênfase a um ponto específico da definição de jogo, este sendo a ligação do jogador com o resultado de um *gameplay*. Podemos formular hipóteses de acordo com a saída observada e correlacionar dados obtidos, uma vez que o jogador é influenciado pelo resultado. Em caso de uma saída positiva, o jogador tende a ter uma resposta "feliz", todavia caso ocorra uma resposta negativa, o jogador tende a ter uma resposta "triste"[15].

2.2 Jogador

A definição do que é um jogador, assim como a definição de jogo, pode possuir diversas abordagens elicitadas por diferentes estudiosos, todavia podemos levantar os conceitos de diferentes jogadores proposto em [17]:

- **Jogadores Casuais:** são aqueles que jogam visando diversão e relaxamento, preferem jogos com curvas de aprendizagem menores que não precisam de altos níveis de envolvimento ou comprometimento.

- **Jogadores *Core*:** são jogadores que tipicamente jogam jogos com curvas de aprendizagem mais altas, que requerem certo nível de envolvimento e comprometimento, além de táticas e desafios mais complexos.
- **Jogadores *Hardcore*:** jogadores que tipicamente preferem jogos com grandes níveis de ação, extremamente competitivos, que necessitam de um grande nível de envolvimento e destreza em prol de avanço no jogo.

Tal definição de tipos de jogador pode vir a ser necessária para alinhar habilidades e a sensibilidade com frustrações acarretadas, tal que, assim como em [18], jogadores casuais além de não comportar as mesmas habilidades que jogadores *hardcore*, também são menos resilientes a frustrações e falhas, decorrente que, jogadores *hardcore* por experimentarem, conhecerem e praticarem mais sobre jogos, são mais tolerantes a resultados fora do esperado.

É proposto também por [14], cinco tipos diferentes de jogadores, de acordo com a relação da pessoa com o sistema do jogo, assim como suas regras:

- **Jogador padrão:** jogadores padrões e comuns, que se comportam de forma honesta, jogando o jogo da forma como o projeto estipulou.
- **Jogador dedicado:** jogadores que estudam e masterizam o jogo.
- **Jogador antiesportivo:** tipo de jogador que segue as regras do jogo porém se desviando do espírito de brincadeira e prazer que o jogo propõe.
- **Jogador trapaceiro:** jogador que viola as regras e proibições do jogo, visando ganhar.
- **Jogador estraga-prazeres:** se trata do jogador que não liga para ganhar ou perder, apenas frustrar a experiência de outros jogadores.

2.3 *Game Analytics*

Game Analytics é um termo que vem ganhando atenção no desenvolvimento de jogos nos últimos anos. O termo *Analytics* remete a práticas operacionais, táticas e estratégias no mundo comercial, que se desenvolvem a partir de dados. A adoção de tais ações no desenvolvimento de jogos, inseridas em um arcabouço de pesquisa de usuário de jogo (*Game-User Research*), causou uma mudança de paradigma nesta indústria [19]. *Game Analytics* influi diretamente nos *stakeholders* das empresas, sendo estes definidos como qualquer grupo ou indivíduo que podem afetar e são afetados pelos objetivos atingidos por determinada empresa. De forma sucinta, *stakeholder* é qualquer indivíduo ou grupo necessário na sobrevivência da empresa [20].

Game designers são os principais *stakeholders* que se beneficiam do processo de *Game analytics*. Estes são responsáveis por criar e pensar novas mecânicas de um determinado jogo. A partir das informações obtidas utilizando ferramentas e abordagens de *Game Analytics*, *designers* podem gerar hipóteses, visando corroborar e validar elementos de seus jogos, assumindo uma base de dados mais sólida e um balanceamento mais preciso. *Analytics* também são úteis não só para criar novos jogos, mas, utilizando telemetria, podemos também reforçar manutenções em jogos já existentes a partir da análise dos dados obtidos, impedindo erros e aumentando a satisfação dos jogadores, uma vez que as ações de manutenção e melhorias influem diretamente na jogabilidade e são direcionadas a partir do comportamento dos jogadores. Consequentemente não só os *game designers* se beneficiam da utilização dessas ferramentas, essas também são de grande valia para outros *stakeholders*, como por exemplo: produtores, gerentes de produto, *marketers*, pesquisadores de experiência de usuário, gerentes de comunidade, programadores, testadores e, principalmente, os próprios jogadores. Como comentado em momento prévio, a análise gerada a partir de dados brutos, obtidos por seus comportamentos, voltam diretamente para os jogadores, visando o aumento da qualidade de interação jogador-jogo. Em síntese, o objetivo da área de *Game Analytics* é apoiar decisões em todos os níveis organizacionais, desde o *design*, arte, programação, até o marketing envolvendo determinado produto. Sendo um ponto chave no desenvolvimento de jogos, *Game Analytics* carrega consigo importantes conceitos que lhe são atrelados, como *Game Telemetry* (Telemetria de Jogos) e *Game Metrics* (Métrica de Jogos) [19].

2.3.1 *Game Telemetry*

Telemetria, se trata de processos de comunicação automatizados, que realizam medições e coletam dados de locais remotos ou inacessíveis, geralmente utilizando sensores, transmitindo informações para equipamentos que as monitoram e gravam. O processo de telemetria possui uma estrutura com diversos componentes e etapas, que permeiam desde a coleta do dado bruto, o armazenamento e se finalizam em sua possível aplicação [21]. O uso de telemetria é presente em diversas áreas de pesquisa e mercado, como por exemplo a pesquisa biomédica [22], oceanografia [23], engenharia mecânica [24] e, o mais importante no contexto deste trabalho, jogos digitais [25][26].

Telemetria dos Jogos, é um termo que denota toda fonte de dados, obtida a distância e que pertence ao processo de desenvolvimento ou pesquisa de jogos. A telemetria é responsável pela extração dos dados puros de interação do jogador com o ambiente de jogo, de encontro a isso, precisamos ter em mente que o processo de telemetria tem o usuário como principal agente. Telemetria deve ser realizada em um sistema bem arquitetado, em termos de empresas e estratégias reais, é necessário uma robusta infraestrutura, que

seja possível incorporar inúmeros dados recebidos em uma única direção, jogadores para o servidor. A telemetria envolve desde a coleta dos dados, processamento, armazenamento até a análise do que foi obtido. Em termos organizacionais a telemetria deve ser bem planejada e construída, pensando em variáveis como custo, tempo de integração, o que será obtido e como será utilizado, entre muitos outros fatores que otimizam o processo de *Game Analytics* na sua totalidade [19].

A telemetria dos jogos é bastante utilizada em jogos online, uma vez que esses não estão "finalizados", ou seja, são jogos que são continuamente melhorados e refinados, para criar e manter engajamento do jogador com seu sistema. A telemetria propõe medidas quantitativas que questionários aplicados isoladamente dificilmente propõem, de forma que os corretos *stakeholders* analisando os dados recebidos, podem encontrar problemas e desenvolver mecânicas baseando-se em informação [27].

2.3.2 *Game Metrics*

Métrica de jogos é em sua essência, medidas interpretáveis de dados colhidos de determinado jogo, com outras palavras, se trata do refinamento de dados puros, visando apresentar cálculos e junções complexas para construir uma maneira intuitiva e informativa de analisar uma telemetria realizada. Métricas usualmente são propostas em função de variáveis, como por exemplo "pontos por minuto", nesse último exemplo temos os dados de ponto de dado jogador com a variável tempo imposta. Métrica de jogos é maleável de acordo com o objetivo de o que está sendo analisado e o que se deseja obter, podendo ser visualizada e construída de diversas formas para interpretar os dados de origem [27].

Métricas de jogo são conectadas ao setor de inteligência de negócios das empresas, possuindo igual ou mais valor que outras fontes de inteligência. As informações de métricas podem ser obtidas e relacionadas (assim como o processo de telemetria) a diversos métodos atualmente presentes no mercado e nas áreas de pesquisa, como *Data Mining*, *Machine Learning* e análise estatística. Métricas de jogo geralmente são focadas no aspecto jogabilidade, termo este que assim como jogo e *gameplay*, pode possuir diversas abordagens de definição, como por exemplo a de Sánchez [28], cujo define jogabilidade pelo conjunto de propriedades que descrevem a Experiência do Jogador, utilizando um sistema de jogo, o qual tem o principal objetivo de prover prazer e entretenimento, credível e satisfatório, com o jogador jogando sozinho ou em companhia. As métricas focam exatamente nessas propriedades previamente elicítadas, analisando os rastros que jogadores deixam em suas interações, por exemplo quantas vezes uma porta é aberta ou uma arma é disparada até quantas vezes tais jogadores não conseguem atingir seus objetivos de acordo com a escolha de ferramentas inicial [19].

2.4 *Game User Research*

A indústria de jogos na última década se transformou em um dos maiores setores de entretenimento. A medida que jogos se inserem na vida de uma grande quantidade de jovens e adultos, a indústria precisa se adaptar e inovar para criar experiências mais ricas e prazerosas para os jogadores. Conhecer o usuário alvo e como se desenvolve sua interação com o jogo, se trata de uma etapa fundamental para o processo de design de jogos.

Diante dessa situação, se insere o conceito de pesquisa de usuário de jogo (*Game User Research* - GUR) [29], que trata-se de uma emergente e importante área de estudo no desenvolvimento de jogos. Tais pesquisas são responsáveis por identificar e analisar a interação dos jogadores com o jogo, aplicando uma variedade de métodos, que possuem resultados qualitativos e quantitativos, estes tendo como principais objetivos descobrir e determinar como produzir uma boa jogabilidade. Alguns dos métodos mais comuns e efetivos são: *think-aloud*, *Rapid Iterative Testing and Evaluation* (RITE), heurísticas, *playtesting*, teste A/B, e o tópico que já foi discutido, *Game Analytics*.

Muitos desses métodos estão sendo adotados por grandes empresas no mundo dos jogos [30]. Observar dados de como os jogadores interagem com uma nova mecânica, ações que os jogadores tomam em certo momento do jogo, como os jogadores se encontram ligados emocionalmente a este ou como estes classificam a experiência de jogo, estes são alguns pontos a se questionar em termos de design, tal quais informações e conclusões podem ser obtidas a partir dos métodos de pesquisa. A pesquisa de usuário e o design caminham lado a lado de forma a maximizar a qualidade final de um jogo. Há a possibilidade do termo de pesquisa orientada ao usuário de jogos ser confundida com o conceito de *game analytics*. É importante ressaltar que as técnicas de *game analytics* se inserem nas ações de pesquisa, sendo estas presentes em um nível superior ao processo de levantamento de informações do usuário.

2.5 **Emoção**

Emoções podem ser descritas como estados psicológicos que contém múltiplos processos relacionados. Segundo Myers [31], emoções são respostas adaptativas de nosso corpo, que permitem nossa sobrevivência, podendo ser abordada a partir de três perspectivas, fisiologicamente, comportamentalmente e cognitivamente. Emoções são uma mistura de ativação fisiológica (aumento de batimentos cardíacos, o aumento de sudorese no corpo, disritmia da respiração), comportamentos expressivos (mudança comportamentais atrelada a emoção, falar mais rápido), pensamentos (suposições, frustrações) e sentimentos

conscientemente experienciados, em face a isso, a grande questão na área da psicologia é como essas três peças se encaixam, criando diferentes perspectivas do conceito.

A resposta corporal relacionada a nossas emoções é comandada pelo sistema nervoso autônomo, o qual mobiliza nosso corpo para agir ou se acalmar. A divisão simpática do sistema nervoso autônomo é responsável pela indução de glândulas e liberação de hormônios por exemplo, enquanto a parassimpática acalma o corpo após uma determinada crise, a partir desses dois módulos, temos que emoções específicas conseqüentemente ativam diferentes atividades cerebrais em nosso corpo, resultando em diferentes respostas corporais, com isso, mesmo que exteriormente uma emoção não possa ser detalhada nem observada fielmente (no caso de uma pesquisa visual), ao analisar a resposta corporal de determinado indivíduo podemos vincular alterações fisiológicas que este apresenta a um determinado estado afetivo.

Emoções desempenham também um papel ativo e fundamental em nossa sociabilização, em conjunto com a área teórica de teoria dos jogos, as emoções podem ser descritas como funções de retorno, estes sendo materiais ou psicológicos, e relacionados ao que previamente esperamos. Luke e Alec [32] utilizam uma abordagem que emoções são respostas adaptativas de como o agente avalia a situação, sendo chamado de Teoria de Avaliação, temos que emoções podem ser incorporadas para capturar tendências de ações, condicionando assim a uma expectativa de resultado previamente avaliado pelo indivíduo que está buscando-o, sendo o modelo de teoria avaliativa mais aproximado de uma modelagem computacional, o agente interpreta as mudanças e estímulos no ambiente continuamente, tal que o estado emocional de cada indivíduo muda em decorrência da variação das informações recebidas e como elas são avaliadas.

Lang [33] propõe uma discussão que define emoções como nossa disposição para agir, e as descreve como um banco de dados de comportamentos funcionais, linguagem avaliativa e expressiva, e eventos psicológicos. Tal que todas essas respostas variam de forma significativa entre emoções, porém construídas a partir de parâmetros motivacionais. Lang fornece um modelo em que todas as emoções podem ser localizadas em um espaço bidimensional, com coordenadas de valência afetiva e excitação. James A. Russel [34] propôs um método de classificação de emoções chamado de modelo Circumplexo, uma representação visual do modelo circumplexo de Russel é proposta em [1], apresentada na Figura 2.1.

Tal modelo assim como o de Lang [33] descreve emoções em duas escalas, Valência (eixo x) e Excitação/Ativação (eixo y), ambas medidas podem ser utilizadas para descrever todo tipo de emoção, tal que Valência é dita como o quão "prazerosa" uma emoção realmente é para o ser humano, por exemplo, tristeza é representada por baixos níveis de valência, em contraponto temos a felicidade em alto nível de valência. A excitação de uma emoção

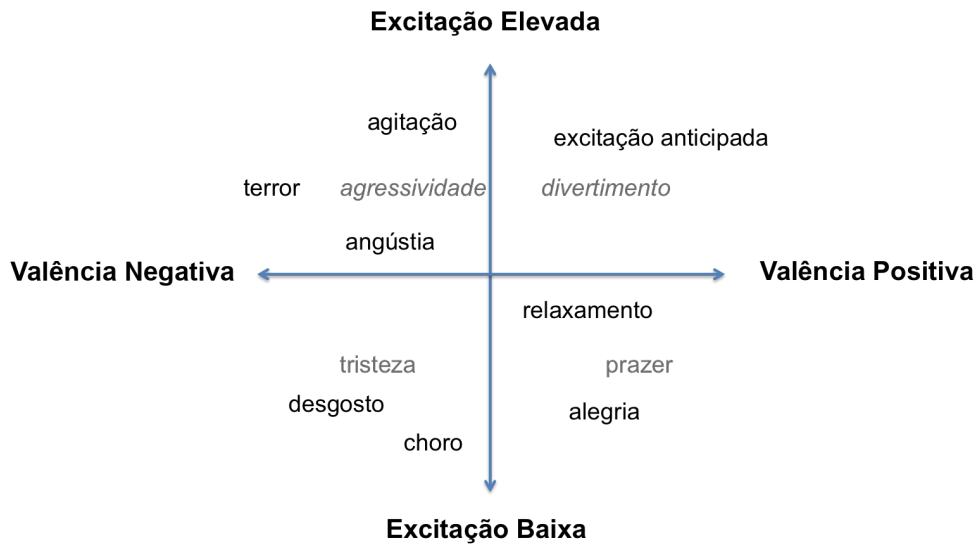


Figura 2.1: Representação gráfica do modelo circumplexo, eixo x representando a valência, eixo y representando a excitação (adaptado de [1]).

corresponde ao nível em que a valência da emoção se apresenta no momento, ou seja o quão intensa a sensação se encontra.

2.6 Fluxo

Uma experiência ótima é caracterizada pela grande sensação de prazer ao realizar determinada tarefa, que tende a acontecer quando um agente tem um esforço mental voluntário para alcançar algo que possui determinada dificuldade ou vale a pena o esforço. É um estado que acontece quando focamos nossas habilidades em objetivos condizentes com o que podemos agir, esquecendo outras coisas temporariamente, se tornando uma atividade automaticamente recompensadora (autotélica). Esse estado também é chamado de estado de Fluxo (*flow*, em inglês) [2].

Correlacionado ao estado de fluxo insere-se o conceito de divertimento (*enjoyment*, em inglês) que acontece quando determinado indivíduo atinge não só as expectativas iniciais que possuía em determinada ação, mas também atinge algo além do programado e esperado, caracterizado então pelo sentimento de novidade e realização. O fenômeno de divertimento e a inserção de determinado agente no estado de fluxo possui 8 maiores componentes, tal que quando as pessoas descrevem experiências positivas mencionam ao menos um destes [2, 35]:

1. Tarefas com uma chance razoável de conclusão;
2. Devemos estar aptos a nos concentrar em o que estamos fazendo;

3. Possuir objetivos claros;
4. *Feedback* imediato;
5. Envolvimento profundo porém sem esforço, que elimina preocupações e frustrações na vida cotidiana;
6. Senso de controle sob nossas ações;
7. O desaparecimento da preocupação quanto a si mesmo;
8. O sentimento de duração do tempo; alterado, horas passam em minutos e minutos parecem demorar horas.

Cabe ressaltar que o estado de fluxo é caracterizado pela ausência de desordem da consciência para se dissipar e nenhuma ameaça que necessitamos nos defender, quando uma pessoa consegue organizar sua consciência depositando atenção unicamente para atingir seus objetivos. Decorrente disso o estado de fluxo tende a ocorrer quando há um equilíbrio entre as atividades do indivíduo e a dificuldade da tarefa apresentada [35].

Experenciar uma experiência de fluxo faz com que o indivíduo se torne mais complexo do que previamente, devido a 2 processos psicológicos, diferenciação e integração. A diferenciação é responsável por diferenciar a pessoa antes e depois da experiência de fluxo, fazendo com que estas se sintam mais habilidosas e capazes. Enquanto a integração é responsável por unir pensamentos, intenções, sentidos e sentimentos se organizam em foco a um mesmo objetivo.

Para que possamos aproveitar o estado de fluxo e melhorar nossa qualidade de vida, devemos balancear nossos objetivos com nossas capacidades, e mudar como experienciamos condições externas para aproveitar os estímulos e assumir uma posição autotélica frente aos acontecimentos [35].

Existem algumas atividades que conduzem a uma experiência de fluxo pois são projetadas para fazer com que a experiência ótima seja facilmente alcançada, possuindo regras e habilidades de aprendizagem, como por exemplo música, escalada, dança, xadrez. Elas facilitam a concentração e tem como principal função prover divertimento a quem as realiza, inserindo aqui o contexto de jogos como uma atividade que acarreta o estado de fluxo.

Todas as atividades de fluxo necessitam de um senso de descoberta e crescimento, um sentimento criativo que transporta a pessoa para uma nova realidade. É importante para manter o indivíduo em um estado de fluxo, equilibrar suas habilidades junto ao seu crescimento em determinada atividade, de forma que, como mostra na Figura 2.2 devemos adaptar as habilidades do usuário as dificuldades dos objetivos que devem ser alcançados, para evitar estados desagradáveis como a ansiedade e o tédio [2].

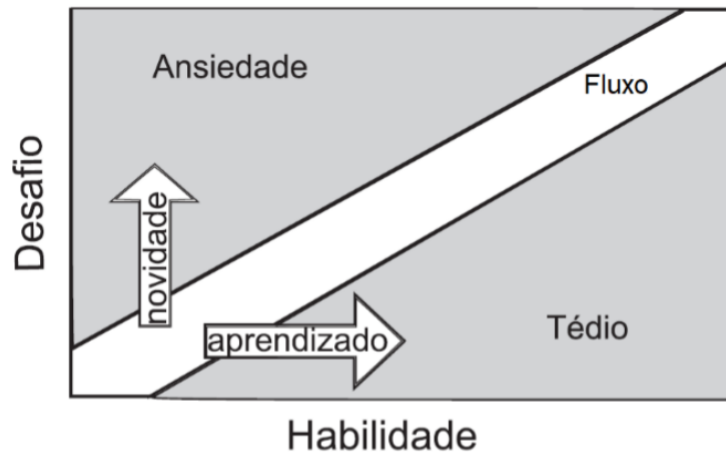


Figura 2.2: Diagrama de fluxo e dimensões de estado afetivo a partir da relação desafio por habilidade (adaptado de [2]).

2.6.1 Fluxo em Jogos

Jogos apresentam uma característica de imersão marcante, a sensação de controle e poder frente a projeção de uma outra realidade para o indivíduo, fazendo com que ele perca a noção de tempo ao seu redor e tenha sua atenção totalmente voltada para o jogo faz com que jogos sejam uma atividade que caso os desafios sejam suficientes para o usuário, possa trazer uma experiência ótima e por conseqüente inserir o agente em um estado de fluxo [3, 2].

Em âmbito comercial, a maioria dos jogos da atualidade incluem ao menos 1 dos 8 componentes de fluxo citados na seção anterior. Provendo *feedback* imediato e perceptível, além de objetivos claros para que o jogador possa demonstrar e incrementar suas habilidades. No contexto de jogos temos a experiência de fluxo descrita como uma zona, o estado ótimo em que gera mais divertimento no jogador, e devemos trabalhar para mantermos o jogador presente nessa zona de fluxo a maior parte do tempo em determinado *gameplay*. Como mostrado na Figura 2.2 se o desafio é muito acima da habilidade do jogador, este se torna massante gerando ansiedade, caso o desafio falhe em atender ao jogador engajando-o, este perde rapidamente o interesse e tende a abandonar o jogo.

Como uma habilidade interativa, o jogo deve refletir o balanceamento entre desafio e habilidade para manter os jogadores na zona de fluxo, projetar este balanceamento é um dos maiores desafios da área de jogos, jogadores possuem diferentes habilidades e esperam diferentes desafios (como apresentado na Figura 2.3), fazendo com que as experiências possuam diferentes escolhas e modelos, se adaptando a diversos usuários. Mas não devemos simplesmente popular determinadas atividades com escolhas para o jogador, de forma que isso pode sobrecarregar o indivíduo e interromper o *gameplay*

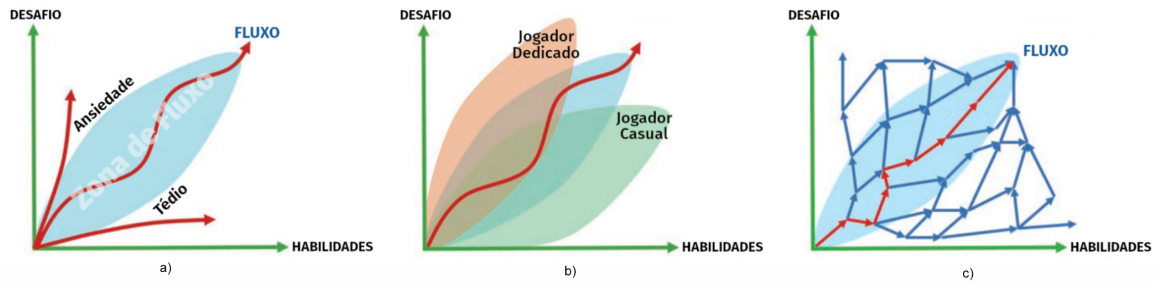


Figura 2.3: a) Zonas de fluxo para um jogador. b) Zonas de fluxo para diferentes tipos de jogadores. c) Jogo adaptado de acordo com diferentes escolhas baseadas no fluxo (adaptado de [3]).

retirando assim o sentimento de controle e concentração na tarefa.

É necessário buscar a melhor forma de adaptar a experiência de jogo que não seja linear e estática oferecendo uma cobertura para os diferentes tipos de jogadores, tendo o equilíbrio de habilidade e desafio proporcional, objetivando a inserção do jogador no estado de fluxo, para maior divertimento e aproveitamento [3].

2.7 Biofeedback

Biofeedback é a medição de variáveis biomédicas, para colher informações biológicas de usuários em tempo real, a partir do *Biofeedback* podemos captar informações preciosas produzidas pelo usuário e seu organismo. Medidas de *Biofeedback* possuem duas categorias, biomecânica e fisiológica, tal que, biomecânica se trata de medidas a partir do movimento, posturas e forças aplicadas, enquanto fisiológicas são medidas diretas provenientes do sistema nervoso, respiratório e cardiovascular [36].

As técnicas de *Biofeedback* são tradicionalmente utilizadas no contexto médico para auxiliar em reabilitações, o *Biofeedback* é devolvido ao usuário por meio de mecanismos visuais, auditivos ou táteis, todavia cada vez mais essas técnicas são aplicadas no arcabouço de *Game Analytics*, se inserindo em sua telemetria [37]. Utilizando uma variedade de sensores (eletrocardiografia, eletromiografia, atividade eletrodérmica, acelerômetro, sensor de luz) a utilização de *biofeedback* em jogos digitais é utilizada por companhias produtoras de jogos, em seu processo de *Game User Research*. No contexto de jogos, temos que devido a variedade de sensores, a partir do jogo que está sendo desenvolvido, sensores específicos são mais adequados para a utilização visando o *Biofeedback*. Levando em conta a conceituação de emoção, temos que emoções distintas geram respostas físicas características em nossos corpos, construindo uma minuciosa análise referente a momentos específicos de um *gameplay*, a partir de um sinal corporal recebido podemos inferir qual estado emocional que o corpo humano reflete em dado momento [38]. A seguir será descrito alguns

dos utilizados nas pesquisas envolvendo jogos digitais, por não se tratar do escopo deste trabalho, não será uma exposição completa ou extensa.

2.7.1 Eletromiografia (EMG)

A eletromiografia é a medição da atividade muscular geralmente realizada na face, detecta a voltagem presente na superfície da pele quando os músculos são contraídos [39]. O EMG pode ser utilizado para medir gestos individuais, expressões faciais e até mesmo acessar a valência emocional, decorrente de longos períodos de contração facial [40].

2.7.2 Atividade Eletrodérmica (EDA)

A atividade eletrodérmica, também referida como Resposta Galvânica da Pele (GSR) ou Condutância Dérmica, como o nome propõe, é a medida da condutividade da pele, provocada pela sudorese produzida por suas glândulas, tais glândulas respondem a estímulos externos e o aumento da condutância é associado principalmente a excitação emocional, que pode ser correlacionada linearmente aos valores obtidos com o EDA [41, 33].

Mandryk [11] pontuou que grandes valores obtidos por sensores de GSR, ao relacionarem com níveis de excitação, podem indicar proporcionalmente grandes níveis de desafio, frustração ou entusiasmo. Temos como por exemplo no experimento realizado em [42], os valores obtidos foram correlacionados a efeitos negativos de frustração do jogador.

A condutância da pele geralmente é expressa em micro-Siemens. A resposta do EDA a um estímulo varia em latência, amplitude e duração. A medida de condutância da pele ao longo do tempo possui dois componentes que podem ser descritos como:

- ***Skin conductance base level (SBL)*** - Mudanças lentas sobre o tempo (Nível Tônico). É descrito também como *Skin conductance level (SCL)* e indica a ativação do sistema nervoso simpático.
- ***Skin conductance responses (SCR)*** - caracterizando mudanças em períodos mais curtos (Nível fásico) e reflete respostas a eventos que são novos, inesperados, relevantes ou aversivos. Um SCR que pode ser relacionado a algum evento identificado que acarretou a mudança será tratado como ER-SCR, ou caso não seja possível identificar o estímulo NS-SCR [43].

De acordo com [44], vários estudos analisam formas de extrair os componentes fásicos e tônicos, existindo diversos algoritmos de decomposição do EDA e seus respectivos componentes.

2.7.3 Eletrocardiografia (ECG)

As informações de eletrocardiografia contemplam o sistema cardiovascular, este se trata de toda a gama de órgãos que regulam o fluxo de sangue em nosso organismo, sensores de medidas cardiovasculares em geral focam em extrair informações como por exemplo a Taxa de batimentos cardíacos, variação da taxa de batimentos, pressão sanguínea [42] [45]. Medidas obtidas pelo sistema cardiovascular podem estudar variáveis como atenção, esforço cognitivo, estresse, excitação e valência por exemplo [46], todavia, uma vez que o sistema cardiovascular é utilizado e influenciado por diversos estímulos e processos do corpo, utilizar informações isoladas podem acarretar em falhas de interpretação, em frente a isso, é necessário alinhar as informações de outros sensores como o de EDA por exemplo [47].

2.8 Ajuste Dinâmico de Dificuldade

Para alcançar uma dinamicidade e a não linearidade de dificuldade, determinados jogos contam com a técnica emergente de Ajuste Dinâmico de Dificuldade (ADD), onde o jogo se adapta as habilidades e variáveis fornecidas por métricas, estas criadas pelo usuário. De forma que a dificuldade tenha uma abordagem diferente e variável no decorrer de determinado gameplay, alterando de acordo com o objetivo de *design* do gênero do jogo [4].

Técnicas de ADD utilizam de estimativas e suposições da habilidade do usuário, a partir de diferentes formas de identificar, como discutido na Seção 2.6, como manter o usuário em um estado de melhor aproveitamento do jogo por mais tempo, como previamente explicado, o desafio que o jogador se depara não pode ser tão difícil de acordo com sua habilidade, nem tão fácil caso este já possua experiência [4].

É importante que as técnicas de ADD utilizadas tenham como objetivo a manutenção do jogador no estado de fluxo. Prezando por uma resposta de adaptação rápida e sutil para evitar qualquer interferência negativa que pode frustrar o sentimento de não controle do ambiente de jogo [8, 4].

Para a implementação de ADD tipicamente são utilizados 4 módulos que se correlacionam para produzir a alteração de dificuldade:

- Jogador, gera dados fisiológicos e de desempenho a partir do *gameplay*;
- Sistema de Monitoramento, colhe os dados fisiológicos do jogador utilizando sensores de biofeedback e dados de desempenho;
- Sistema de Análise, verifica o estado emocional do jogador, a partir da interpretação da excitação e da valência correspondente;

- Sistema de Controle, realiza a adaptação de dificuldade do jogo;
- Jogo, influi diretamente no estado afetivo do jogador, a partir da dificuldade atual.

O ADD acaba sendo um ciclo de controle monitorando as ações e variáveis fornecidas pelo jogador, realizando as adaptações correspondentes nos elementos dos jogos. Fluxo presente na Figura 2.4.

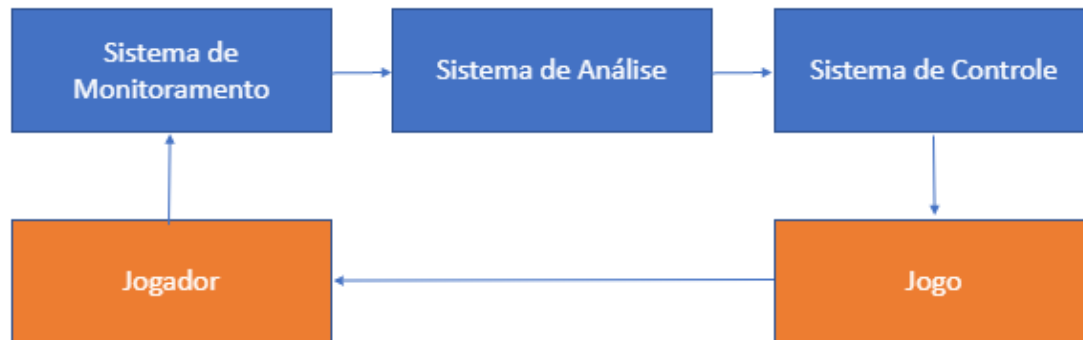


Figura 2.4: Módulos de fluxo de alteração de dificuldade.

2.8.1 ADD por Desempenho

ADD por Desempenho é o tipo de ADD que utiliza apenas métricas do usuário geradas a partir do sistema do jogo, exclusiva apenas da performance do usuário e como ele se relaciona com os elementos do *gameplay*. Não planejamos descobrir o estado afetivo do usuário, mas sim o que ele está retornando de métricas e com isso atuar variando a dificuldade dos desafios propostos. Por exemplo, um jogador que derrota todos os inimigos sem perder vida, em contraponto a um que já morreu várias vezes para os mesmos inimigos, podemos inferir que o primeiro está com o desempenho muito melhor que o segundo. Porém o ADD por desempenho não leva em conta variáveis subjetivas nem a possível motivação do usuário que gera determinado dado, por exemplo alguém que demora muito para terminar uma fase, pode estar demorando para simplesmente explorar o nível com calma [4].

2.8.2 ADD Afetivo

Diferentemente do ADD de Desempenho, o ADD afetivo utiliza de inferências relativas ao estado emocional do jogador, para podermos ajustar a dificuldade do jogo em relação ao estado afetivo que desejamos manter. A informação de estado afetivo do jogador é obtida

a partir de dados fisiológicos, como citado na seção (emoção), determinados estados emocionais do ser humano geram respostas fisiológicas frente ao que está sendo experienciado. Algumas implementações de ADD afetivo também utilizam métricas vindas do desempenho do usuário no jogo para descobrir o estado afetivo. Devemos nos atentar que esta última situação não se trata de um ADD de Desempenho, pois os dados são utilizados para descobrir o estado afetivo [4].

2.8.3 ADD Híbrido

O Ajuste Híbrido tem esse nome por utilizar ADD de Desempenho e ADD Afetivo juntos, visando ajustar o jogo para alcançar o nível de dificuldade que possa ser considerado ótimo para cada jogador adequadamente. De forma a evitar estados emocionais não desejados somando com as métricas de desempenhos dos jogadores para evitar estados de frustração ou tédio, como dito na seção (fluxo), tais estados emergem quando uma dificuldade é muito acima ou muito abaixo da habilidade do jogador, respectivamente [5, 7].

2.9 Motivação e Frustração

Quando falamos de jogos, é muito importante pensarmos na seguinte questão, porque as pessoas jogam? Uma pesquisa conduzida por [48] propõe que diferentes pessoas jogam principalmente pelas diversas experiências que os jogos podem criar, como momentos de adrenalina, desafios mentais, ou até mesmo usufruir de momentos de solidão ou companhia dos amigos. Foram criados 4 pontos chaves que descrevem e sintetizam o que mais motiva diferentes pessoas jogarem diferentes jogos, estes pontos chaves são:

- **Diversão difícil:** caracteriza a emoção criada por atingir objetivos, focar na atenção e na recompensa do progresso, muito presente emoções como sucesso e frustração.
- **Diversão fácil:** é relacionado ao foco do jogador que busca prazer e a experiência em atividades simples que o jogo propõe, a partir da imersão e do senso de curiosidade, explorando e usufruindo de coisas novas.
- **Estados alterados:** como um jogo faz os jogadores se sentirem internamente é uma das maiores motivações encontradas, como jogos se comportam como "terapia", ou seja a influência dos jogos e como eles mudam os sentimentos dos jogadores durante e depois do jogo.
- **O fator pessoas:** muitos jogadores buscam jogos que para jogar com outras pessoas no geral e sentem prazer com isso, tal que o trabalho em equipe em direção a um

objetivo em comum substitui uma jogabilidade solitária. Jogos que oferecem experiência cooperativa e competitiva oferecem uma gama de emoções para os jogadores.

É importante ressaltar que jogos *best seller* como *Bejeweled*, *Halo*, *Grand Theft Auto* (GTA), *EverQuest* e *Mario Kart Double Dash*, possuem 3 ou mais desses pontos-chaves. [48]

De acordo com [49] o sentimento de frustração cresce, a partir do progresso bloqueado de um usuário em direção a um objetivo. É uma emoção negativa que pode ser monitorada e utilizada para evitar situações que apresentem dificuldade e causam jogadores abandonarem o jogo.

Capítulo 3

Trabalhos Correlatos

3.1 Ajuste Dinâmico de Dificuldade utilizando Análise em tempo real da condutância da pele

O trabalho apresentado por Imre [4] tem como objetivo verificar e validar a utilização de sinais fisiológicos do usuário no ajuste de dificuldade para jogos digitais. Utilizando um modelo de ADD Afetivo que realiza ajustes a partir da análise do estado emocional do usuário para manipular o jogo em tempo real. O estudo faz um extenso levantamento dos conceitos acerca de ADD, modelos e embasamentos referentes a utilização dos dados de *biofeedback* na alteração de dificuldade.

O autor cria um jogo chamado *Electroderma* que responde aos dados de EDA do jogador realizando o ADD Híbrido, apresentado na Figura 3.1. O Autor apresenta duas versões do jogo *Electroderma* com diferentes formas de verificar o estado de excitação. A versão inicial temos que cada jogador inicialmente é submetido a uma versão alterada do jogo em que não é possível perder, por 2 minutos, de forma a fornecer uma linha de base para suas medidas fisiológicas, medida que representa o estado ótimo de excitação que desejamos obter. A partir da linha de base que o ADD afetivo irá trabalhar, os jogadores são classificados em 3 estados, agitado, neutro e calmo. Caso o jogador no decorrer do *gameplay* tenha sua linha de base alterada por um tempo mínimo do nível ótimo (estado neutro) será considerada uma variação das taxas de excitação, essa versão foi considerada pelo autor como inefetiva, pois a linha de base do jogador pode mudar regularmente, se tornando inviável a comparação ao longo do jogo de uma linha de base inicial. A versão final apresentada pelo autor utiliza o algoritmo intitulado como *data subset analysis (DSA)*, um algoritmo mais robusto baseado no trabalho dos autores Fairclough e Gilleade [50] e Leiner, Larhr e Früh [43]. O algoritmo possui um design simples e precisa apenas das duas últimas medidas de EDA, computando a diferença entre a medida mais recente

e a segunda mais recente, adicionando o resultado a um total, esse processo é repetido por uma quantidade de vezes, de acordo com o valor no total o algoritmo informa se houve alguma alteração no estado de excitação do jogador ou se não houve nenhuma alteração.

Em complemento com a verificação dos valores de excitação, serão utilizadas variáveis do jogo para inferir o estado emocional do jogador, ou seja, sua valência, caracterizando a alteração de dificuldade como um ADD Híbrido, de acordo com a vida do jogador. O jogador será classificado como normal, agitado ou calmo, de forma que a dificuldade é aumentada ou diminuída a partir da vida atual do jogador. Com uma vida baixa e estado agitado, infere-se frustração tal que a dificuldade é diminuída, caso contrário seria se o jogador estivesse em estado calmo com o jogador com a vida alta, que caracteriza tédio, necessitando que a dificuldade seja aumentada.

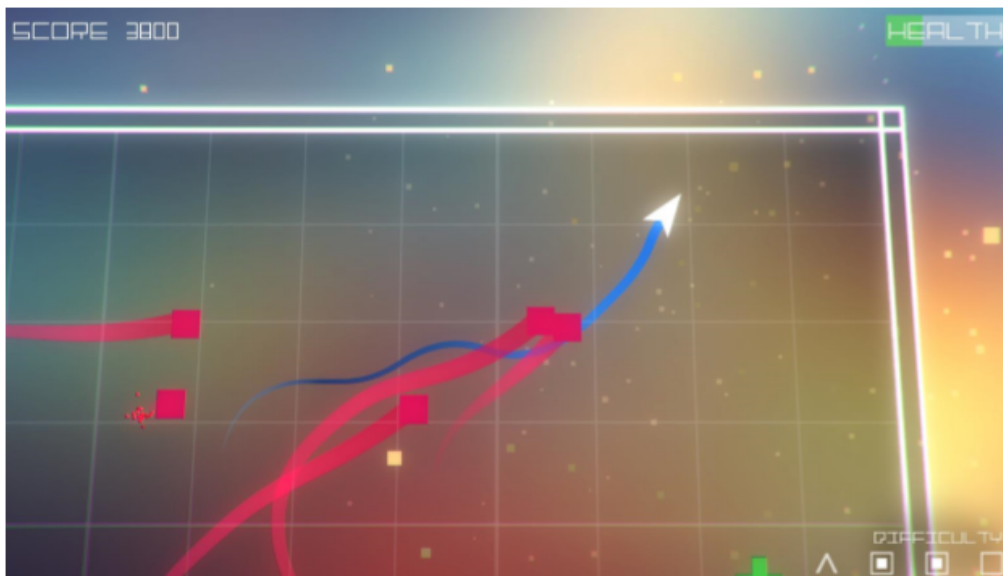


Figura 3.1: Cena do jogo *Electroderma* - o jogador em branco desviando de um grupo de inimigos [4]

3.1.1 Características do ADD

As principais características do ADD realizado por Imre em seu trabalho são:

- Utiliza o sensor *SeeedStudio Grove GSR Reader*¹ conectando ao microcontrolador Arduino².
- Jogo *Electroderma* com três níveis de dificuldade, fácil, médio e difícil.

¹Página de venda do sensor *SeeedStudio Grove GSR Reader*

²Site oficial Arduino

- Utiliza o algoritmo *Data subset analysis* (DSA) para verificar alterações no EDA.
- A valência é obtida a partir da vida.
- Caso a vida baixa, e variação positiva no EDA (indicativo de frustração), facilitar o jogo.
- Caso a vida alta, e variação negativa no EDA (indicativo de tédio), dificultar o jogo.

3.2 Ajuste Dinâmico de dificuldade em um jogo do gênero plataforma

O trabalho proposto por Rosa [5] tem como objetivo analisar diferentes modelos de ADD em um jogo do gênero plataforma. O jogo original se chama *The Explorer: 2D³*, e teve suas funcionalidades amplamente alteradas para agregar os ajustes de dificuldade dinâmica, e um *gameplay* condizente para a realização dos testes dos três diferentes modelos (desempenho, afetivo e híbrido).

Foi investigado e conseqüentemente identificado, fatores que representam dificuldade em jogos do tipo plataforma e como ela pode ser mensurada nos diferentes níveis ao decorrer do jogo. A determinação de dificuldade segue a linha de probabilidades de sucesso e fracasso durante a execução de tarefas, analisando segmentos de níveis, componentes do nível de forma individual em caráter espacial (salto entre pontos) ou temporal (tempo para superar um desafio), em suma, a dificuldade é disposta como sucesso para executar saltos.

Tal informação tem extrema importância em um projeto de ADD, onde devemos saber o que alterar diretamente para refletir no aumento ou diminuição da dificuldade. O salto sempre é realizado como uma parábola e a probabilidade de sucesso é calculada a partir do erro horizontal e vertical da parábola em relação ao ponto final. A alteração da dificuldade ajustada é correlacionada com tamanho das plataformas como representado na Figura 3.2, a partir de um complexo cálculo envolvendo o limiar de dificuldade da fase, e a dificuldade dos componentes no eixo x e y.

Para verificar o desempenho do usuário o autor verifica os saltos que foram bem sucedidos ou não, enquanto os dados afetivos foram obtidos utilizando um sensor de atividade eletrodérmica *Empatica E4 Wristband*, em que a proporção do nível fásico (picos) e do nível tônico (mudanças lentas) medidos é calculada a cada 2 segundos, com essas medições foi utilizado um código aberto utilizando o framework Microsoft .NET e a linguagem C#, para o cálculo dos níveis de excitação a partir do EDA medido. A ferramenta utili-

³<https://assetstore.unity.com/packages/essentials/tutorial-projects/2d-game-kit-107098>

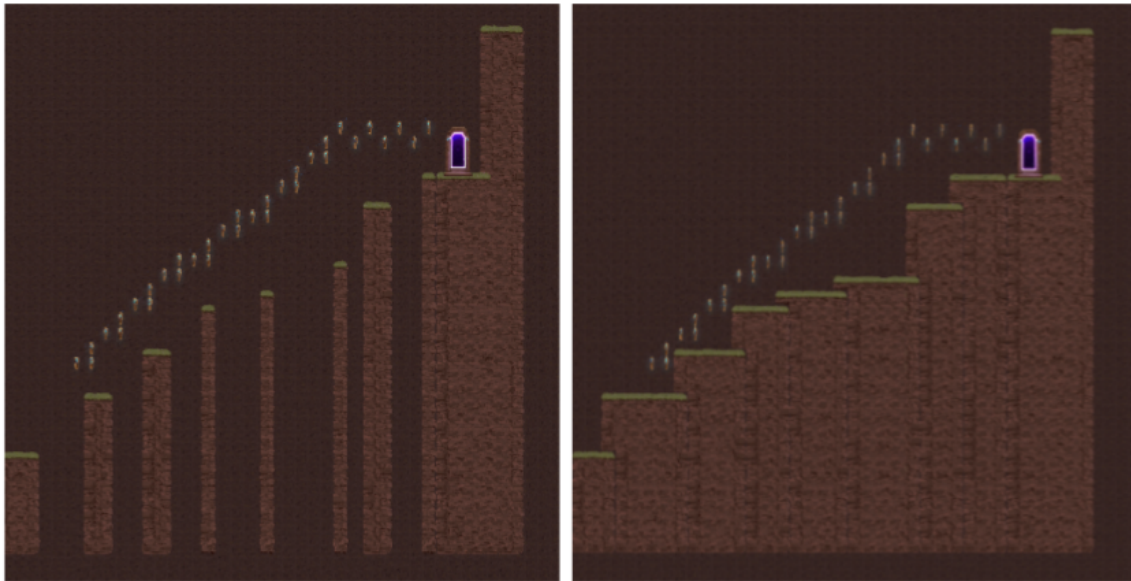


Figura 3.2: Diferença entre nível com ajuste dinâmico para jogo de gênero plataforma [5]

zada trás a tona uma relação de entrada e saída para o cálculo de excitação do trabalho de Rosa, como um esquema de caixa preta quanto ao EDA utilizado, não sendo muito descritivo o processo de como os valores são obtidos ⁴.

O autor realizou duas baterias de testes, tal que a primeira objetivava determinar um balanceamento da dificuldade do jogo e se essa dificuldade estimada é consistente, se foi possível observar que a dificuldade estimada se relacionava com a experiência dos jogadores.

A segunda bateria de testes foi realizada com os jogadores testando as diferentes modalidades de ADD, repassando suas percepções para questionários, seguindo o padrão: Nível sem aplicação de ADD, com ADD baseado no desempenho do jogador, com ADD afetivo e com ADD híbrido, com essa sequência se repetindo 3 vezes. Com os resultados se constatou a hipótese gerada inicialmente, o ADD Híbrido foi o mais adequado na adaptação de dificuldade. Com maior eficiência em proporcionar experiências que mantinham os jogadores em um estado de fluxo para o jogo do gênero plataforma utilizado.

3.2.1 Características do ADD

O ADD afetivo proposto no trabalho de Rosa, tem como principais características:

- Utiliza o sensor *Empatica E4 Wristband*⁵ enviando os dados brutos obtidos para um servidor simples em PHP e SQL, transitando por uma rede interna. Os dados

⁴<https://github.com/ddessy/RealTimeArousalDetectionUsingGSR>

⁵<https://www.empatica.com/en-int/research/e4/>

possuem uma chave, hora de captura e valor. O jogo construído em Unity recebe os dados a cada 2 segundos.

- Os dados são processados com o código em C# anteriormente citado, obtendo-se o nível fásico dependendo da área de excitação fásica (alterações de pico), o nível tônico (alterações lentas) e o nível geral de excitação definido pela média das amplitudes dos valores de EDA [51].
- Há uma variável de dificuldade global que varia de 0 a 1, a cada 2 segundos a proporção do nível fásico e do nível tônico medidos é recalculada e a variação dela é adicionada à dificuldade global.
- O valor global é limitado pela progressão de níveis.
- Realiza o ajuste em três momentos: Ao criar segmentos de níveis, ao morrer ou em tempo real com a variação da dificuldade global.
- Cada elemento do jogo possui uma dificuldade associada, a dificuldade global do jogador é comparada com a dificuldade do segmento pela quantidade de elementos. A diferença gera a dificuldade que deve ser modificada e varia entre -1 e 1 em relação à dificuldade atual, de fazendo com que esta diminua (negativo) ou aumente (positivo).

3.3 Ajuste Dinâmico de dificuldade a partir de variáveis do jogo e do usuário

O trabalho desenvolvido por Aguiar e L. Fernandes [6] é um dos precursores da implementação de um modelo de ajuste de dificuldade híbrido, que tem como proposta utilizar dados de desempenho e fisiológicos do jogador como métricas para o ajuste. É verificado como o usuário responde ao ajuste de dificuldade dinâmico, a partir de experimentos de teste tendo como o objetivo principal, amplamente discutido na fundamentação teórica deste trabalho, manter o jogador em um estado de fluxo. Nos testes realizados em conjunto com respostas de questionários do usuário, demonstraram que o ADD Híbrido gera uma maior facilidade de percepção do estado de fluxo por parte dos participantes.

Para realizar o mecanismo de ajuste dinâmico, o autor foi o primeiro a utilizar o jogo adaptado *Asteroids: in the 2nd and 1/2th Dimension*, de forma que a densidade e velocidade dos asteroides, foram consideradas componentes associados a dificuldade, ou seja alterada de acordo com o estado que o jogador se encontra e seu desempenho.

Foram definidas margens para se alterar a dificuldade, em que os limiares eram relativos a taxa de mortes dos jogadores, caso um jogador morresse mais que o limite

estabelecido por exemplo, a dificuldade era diminuída. O estado afetivo encontrado foi realizado baseado em um cálculo de médias a partir do primeiro nível do jogador (utilizado apenas para ambientação e cálculo do limiar de EDA), cabe ressaltar que a utilização de um limiar fixo ao decorrer de todo o *gameplay* não é uma estratégia efetiva como elencado por Imre [4].

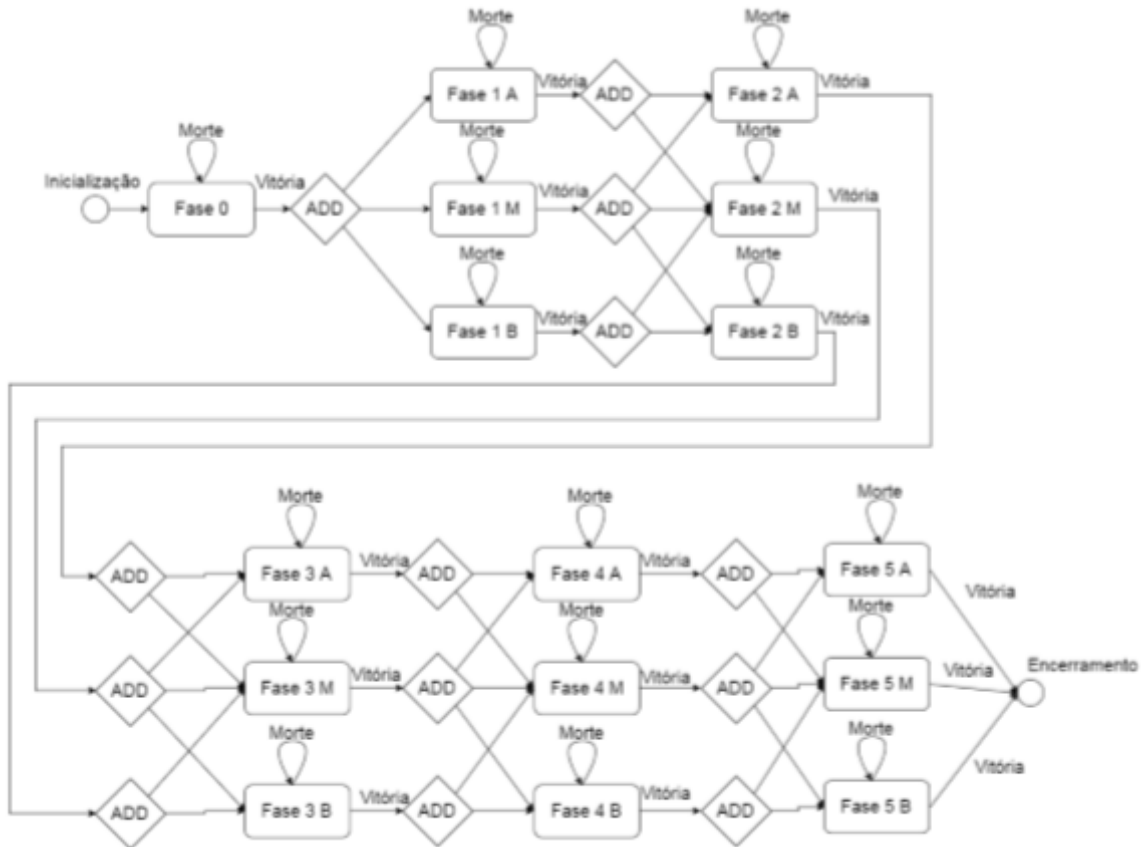


Figura 3.3: Diagrama de estados de jogo, respectivas fases e dificuldades, B para dificuldade Baixa, M para Média e A para Alta [6].

O estudo foi realizado utilizando o sensor *Bitalino*, teve como conclusão que é necessário uma maior cobertura para aferir que o modelo híbrido é melhor que os outros dois modelos. O trabalho teve uma grande contribuição em introduzir o estudo acerca de ajuste de dificuldade híbrido, tal como as ferramentas, porém como lacunas temos: As variáveis dos inimigos utilizadas não sofreram um estudo em cima de quais são percebidas como dificuldade pelo jogador; Os limiares de EDA são colocados fixamente, não representando realmente um limiar que definisse uma necessidade de alteração de dificuldade, devido a alterações do EDA por outras variáveis fora do jogo.

Margem	Estado Afetivo
Maior que 0,2	Estresse
Entre 0,1 e 0,2	Desafio
Menor que 0,1	Tédio

Tabela 3.1: Estados afetivos do jogador a partir das médias dos valores de EDA [6].

3.3.1 Características do ADD

O ADD apresentado no trabalho de Aguiar e L. Fernandes possui as principais características elencadas a seguir:

- Utiliza o sensor *BITalino*⁶ enviando dados ao software *MATLAB*⁷ que posteriormente se comunica com a *Engine do jogo em Unity*⁸
- 5 fases presentes no jogo
- Três níveis de dificuldade, baixa, média e alta. Cada fase possui apenas uma dificuldade, com o ajuste sendo realizado após o término de cada fase
- Verifica o EDA a partir de médias, calcula a média dos menores valores tônicos, e subtrai este valor da média total, tal que o estado afetivo do jogador está disposto como na Tabela 3.1
- A valência é obtida a partir da quantidade de mortes do jogador na fase.
- Possui um ajuste de dificuldade bem variável, presente na Figura 3.3, alternando entre densidade e velocidade dos asteroides indo dos níveis de dificuldade para algum adjacente (nunca alterando dois níveis), cada nível de dificuldade possui um limiar de quanto a velocidade pode chegar.

3.4 Ajuste dinâmico de dificuldade híbrido e a verificação de variáveis inerentes a dificuldade

Natal [9] tem o seu trabalho como uma extensão e refinamento do trabalho proposto por [6], visando identificar os elementos que levam o jogador para o estado de fluxo utilizando o ADD Híbrido proposto no trabalho anterior.

Primeiramente o trabalho identifica variáveis de maior importância para o ajuste dinâmico de dificuldade, tal que as variáveis utilizadas e modificadas no trabalho anterior

⁶<https://bitalino.com/en/>

⁷<https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

⁸<https://unity.com/>

eram velocidade e densidade. Após a realização de diversos testes alterando os valores dessas variáveis, observou-se que a velocidade possui uma maior influência na percepção de dificuldade.

Para a realização dos testes Natal utilizou também a placa *BITalino* para coletar os dados fisiológicos dos jogadores. Manteve a mesma lógica de ajuste de dificuldade do trabalho de Aguiar e L. Fernandes[6]. O autor encontra o valor médio dos sinais fisiológicos do usuário e determina uma linha de base desse valor para o jogador. Durante o *gameplay* caso os dados fisiológicos do usuário se distanciem dessa linha de base, ou ele está frustrado ou entediado, dependendo se está acima ou abaixo respectivamente. Para o cálculo de desempenho do jogador, é utilizada a quantidade de mortes do jogador em determinada fase.

Demais testes foram realizados para comparar os três tipos de ADD assim como o trabalho anterior, obteve-se que o ADD por desempenho em contrapartida com o trabalho anterior gerou um resultado melhor que o ADD Híbrido, esse comportamento pode ter ocorrido devido ao estado emocional prevalecer sob o desempenho, tornando as duas medidas muitas vezes conflitantes com o esperado para manter o jogador em estado de fluxo.

3.4.1 Características do ADD

As principais características de ADD dispostas por Natal em seu trabalho são elencadas a seguir:

- Utiliza o sensor *BITalino*⁹, não foi dado muitos detalhes como este se comunica com a *Engine do jogo* em *Unity*¹⁰.
- O Jogador pode estar em 3 níveis ditos como Entediado, Normal ou Frustrado.
- Caso os sinais fisiológicos coletados indiquem que o jogador está frustrado a dificuldade do jogo será diminuída, em um estado de tédio é aplicado um aumento na dificuldade, caso estado normal o ajuste é feito baseado apenas no desempenho do jogador. O autor não entra em detalhes como os estados são calculados, quais limites utilizados, dentre outras lacunas.
- A dificuldade é alterada nos momentos de morte e troca de fase. De forma que o estado afetivo do início da fase perdura por toda a fase que o jogador está inserido.

⁹<https://bitalino.com/en/>

¹⁰<https://unity.com/>

3.5 Estudo entre os modelos de ADD por Desempenho e ADD afetivo

O trabalho apresentado por Fernandes [7] também trata do contexto de ADD para jogos digitais, visando apresentar um estudo de caso frente a utilização de um ADD Afetivo e de Desempenho, sendo um trabalho construído como um refinamento do disposto por Natal [9]. O trabalho de Natal [9] apresentou algumas lacunas em como o ADD foi trabalhado, de modo que Fernandes utiliza o mesmo jogo levando em consideração as conclusões realizadas por Natal com o objetivo de contribuir na pesquisa deste.

O trabalho de Fernandes foi construído em cima do jogo *Asteroids: in the 2nd and 1/2th Dimension*, adaptado para possuir 10 níveis intercalando-os com perguntas para o jogador, de forma a registrar como este está se sentindo em determinado momento do jogo, medida utilizada para encontrar valores da dificuldade, satisfação e tédio que o jogador venha a presenciar (dados afetivos).

A dificuldade do jogo apresentado por Fernandes é diretamente proporcional a velocidade dos asteroides, sendo este o fator de dificuldade utilizado, essa relação de dificuldade com a velocidade foi uma contribuição do trabalho de Natal. As lacunas apresentadas do trabalho de Natal [9], pontuadas por Fernandes são: (i) não se faz distinção de valência do jogador; (ii) não é levado em consideração o estado atual do jogador (apenas valores de média para linha de base); (iii) jogador nunca estará no estado normal (que não há alteração de excitação) tendo em vista a forma que linha de base e os valores de EDA foram calculados, além disso (iv) não é especificado como o limiar de mortes para determinar o desempenho dos jogadores foi encontrado, de forma que são valores subjetivos no trabalho de Natal.

	Dific.	Diver.	Frust	Tédio	Vel.	Morte	Duraç	TpV
Dificuldade	1,00	0,84	0,62	-0,82	0,99	0,95	0,92	-0,95
Diversão	0,84	1,00	0,27	-0,81	0,85	0,69	0,59	-0,91
Frustração	0,62	0,27	1,00	-0,37	0,58	0,78	0,74	-0,47
Tédio	-0,82	-0,81	-0,37	1,00	-0,84	-0,71	-0,67	0,86
Velocidade	0,99	0,85	0,58	-0,84	1,00	0,93	0,89	-0,95
Mortes	0,95	0,69	0,78	-0,71	0,93	1,00	0,98	-0,85
Duração	0,92	0,59	0,74	-0,67	0,89	0,98	1,00	-0,80
Tempo por Vida	-0,95	-0,91	-0,47	0,86	-0,95	-0,85	-0,80	1,00

Figura 3.4: Tabela das variáveis de jogo correlacionadas entre si encontradas a partir da análise dos níveis e dados de percepção [7].

Em cima dessas questões Fernandes desenvolveu seu trabalho, visando refiná-las e

saná-las. Primeiramente foi realizado uma bateria de testes sem ADD implementado, para mapear o comportamento e variáveis que podiam ser utilizadas para a melhor implementação do ADD, no que tange os valores de desempenho que podem ser descritos para alterar ou não determinada dificuldade. Mapeando ao longo dos níveis como os níveis de excitação e as respostas dos questionários se relacionavam, os jogadores foram analisados individualmente e Fernandes analisou como os dados de percepção e de desempenho se correlacionavam, tal que foi construída a tabela apresentada na Figura 3.4 a partir dos dados e gráficos como por exemplo o apresentado na Figura 3.5. Posteriormente os jogadores foram separados em dois tipos: casual e dedicado. A satisfação dos jogadores foi correlacionada com a quantidade de mortes, duração do nível e tempo por vida para cada jogador de acordo com seu tipo, a partir dessas correlações, Fernandes conseguiu encontrar os limiares ótimos (que acarretam em melhor aproveitamento do jogador) de quantidade de mortes e da duração de nível para os jogadores. A partir desses limiares Fernandes construiu um esquema de desempenho a partir de zonas, sendo a zona amena quando o jogador está abaixo do limiar de mortes e do tempo de conclusão, zona intensa caso o jogador tenha morrido mais que o limiar de mortes e com tempo de conclusão também maior que o limiar de tempo, e zona ótima em nenhum dos dois casos prévios. A classificação por zonas, apresentada na Figura 3.6 foi também utilizada para a classificação de valência do jogador em conjunto com o ADD Afetivo resultando então em um ADD Híbrido.

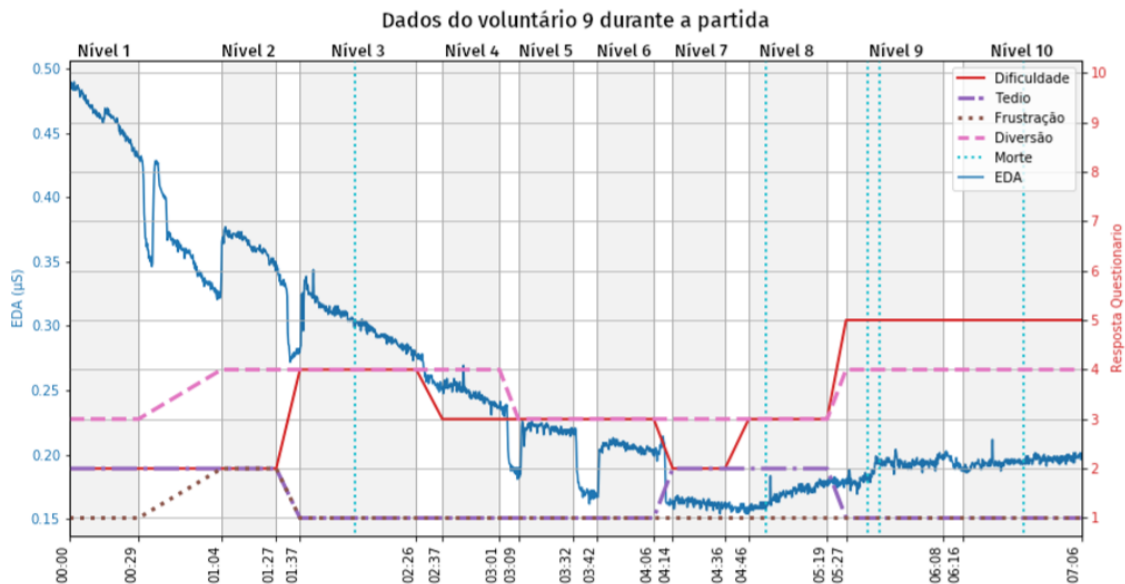


Figura 3.5: Gráfico com vários dados de um jogador dedicado no decorrer de uma partida do jogo Asteroids [7].

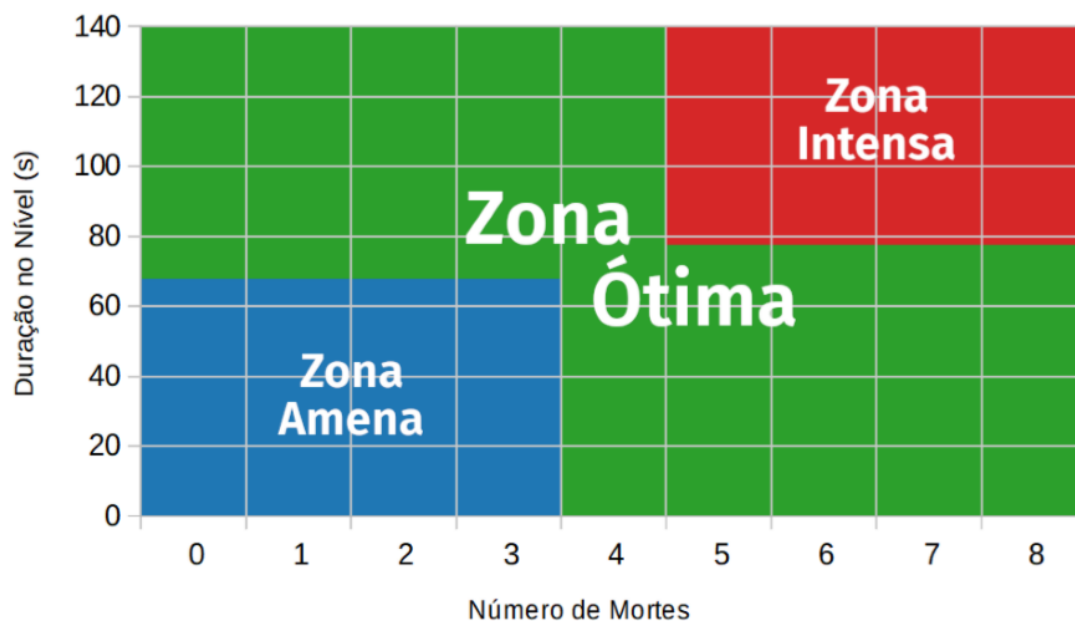


Figura 3.6: Zonas elencadas a partir do número de mortes e a duração em um nível de determinado jogador. Utilizada para verificar a valência dos jogadores nos ajustes [7].

Tanto no ADD por desempenho quanto no ADD Híbrido, as dificuldades são alteradas em dois momentos, quando o jogador morre ou passa de nível. Para implementar o ADD por desempenho Fernandes achou uma equação que classificasse o desempenho do jogador em determinada fase a partir dos valores encontrados de morte e duração ótimas previamente comentados quanto a distinção entre jogadores dedicados e casuais, realizando regressões lineares para encontrar equação e analisar onde o jogador se enquadrou no final do nível (quando se avança de nível) ou a partir da classificação do nível anterior (quando o jogador morre).

Para o ADD Híbrido, foi utilizado os valores de mediana dos picos de excitação de cada jogador para cada jogador separadamente. Além de encontrar essa mediana, esses valores são multiplicados por uma constante k , tal constante foi encontrada a partir dos testes sem ADD, analisando subjetivamente e verificando qual valor possuiu a maior taxa de itens corretamente classificados (dentro a variação de excitação), encontrando assim o valor 2. A partir das janelas que caracterizariam a variação de excitação, é verificada a diferença de excitação do fim para o início do nível (em caso de nível concluído) ou a classificação prévia do nível anterior (em caso de morte), verificando assim se o valor se encontra dentro da janela disposta ou não. A verificação de variação em conjunto com a zona de limiares que o jogador se encontra, influencia no ajuste da velocidade nos asteroides.

Por último Fernandes realizou um ADD classificado como ADD por zona, em que

utiliza apenas dados da zona, baseando-se apenas na zona em que o jogador se encontra a partir da quantia de mortes e duração no nível, mas sem a classificação de desempenho proposta no ADD por desempenho. Cabe ressaltar que tanto o ADD híbrido quando o ADD por desempenho utilizam o conceito de zona, mas possuem outras variáveis significativas para o ajuste. Fernandes intitula seu ADD híbrido como afetivo, mas pelo fato deste utilizar os conceitos de zona que são dados de desempenho, é uma classificação incorreta de um ADD híbrido. O termo zona aqui utilizado é distinto do conceito de zona de fluxo elencada na Seção 2.6.

Como conclusão Fernandes obteve um resultado mais satisfatório a partir do ADD por desempenho para os casos elencados, o ADD híbrido não foi capaz de proporcionar uma experiência desafiadora para jogadores dedicados, tal que esses jogadores podem gostar de situações onde a excitação é alta, diferenciando dos casuais. Tal diferenciação possibilitou uma melhor interpretação dos dados para verificar a eficiência das diferentes abordagens. Para trabalhos futuros Fernandes propõe que as informações de excitação e desempenho não sejam calculadas apenas quando se termina o nível, o que possibilita um ajuste respectivo a cada morte. Além disso podem ser analisadas alterações abruptas na excitação para se utilizar o ADD híbrido.

3.5.1 Características do ADD

Temos as seguintes características utilizadas por Fernandes para a realização do ADD em seu trabalho:

- Utiliza o sensor *Empatica E4 Wristband*¹¹ enviando os dados brutos obtidos para um servidor simples em PHP e SQL, transitando por uma rede interna. Os dados possuem uma chave, hora de captura e valor. O jogo construído em Unity recebe os dados de excitação do jogador apenas nos momentos de ajuste.
- Possui 10 níveis, alterando apenas a variável de velocidade dos asteroides.
- Quando o jogador passa de nível é calculada a mediana de pico dos valores de excitação do jogador, esta é multiplicada pela constante k (De valor 2) para gerar a janela de estado afetivo do jogador. Verifica-se então os valores de excitação final e inicial do jogador, se estão inseridos na janela, abaixo ou acima (Níveis normal, pouco excitado ou muito excitado respectivamente).
- Realiza o ajuste em dois momentos: ao se passar de nível, utilizando os dados pra ajuste do nível que se acabou de completar ou ao morrer com os dados do nível anterior.

¹¹<https://www.empatica.com/en-int/research/e4/>

- Realiza 3 tipos de ajuste, por desempenho, que possui desempenho a partir das equações de jogadores dedicados ou casuais. Afetivo, que verifica a variação da excitação ao longo do nível, e por zona que verifica apenas a quantidade de mortes e o tempo decorrido na fase de cada jogador.
- O conceito de zona é utilizado também como valência do jogador tanto para o ADD por desempenho ou híbrido.

O atual trabalho proposto nesta monografia se insere como uma extensão do trabalho apresentado por Fernandes [7], visando refinar cada vez mais táticas de Ajuste dinâmico de dificuldade, principalmente de como a excitação é utilizada no ADD híbrido e como este pode ser aplicado visando maior satisfação do jogador.

Capítulo 4

Análise dos Ajustes Dinâmicos de Dificuldade

Neste capítulo está presente a proposta do trabalho, as ferramentas utilizados, o jogo utilizado no experimento, e principalmente o algoritmos de ADD sob investigação. Por fim, são fornecidos os detalhes do experimento realizado.

4.1 Contexto

Este trabalho se insere como uma evolução de diversas contribuições no ambiente de Ajuste Dinâmico de Dificuldade. Os trabalhos elucidados na Seção 3 por exemplo, apresentam formas diversas de como a dificuldade em determinado jogo digital consegue influir na percepção do jogador do seu estado de fluxo gerando aproveitamento do tempo de jogo como diversão. Mas os trabalhos não conseguem ter uma linha de conexão entre uma principal variável utilizada, a excitação e o caráter afetivo do Ajuste Dinâmico de Dificuldade. A proposta desse trabalho é além de elencar quais as estratégias utilizadas e como a excitação é utilizada para determinado ajuste, adaptá-las e encontrar uma forma viável e consistente de algoritmo, visando padronizar o uso dessa medida fisiológica. Queremos também acoplar como proposta ao trabalho de Fernandes, medidas de ajuste em tempo real ao jogo utilizado, isso será feito portando os algoritmos dos outros trabalhos que realizam ajustes em tempo real, porém para o jogo aqui utilizado. Nas próximas seções buscamos as seguintes etapas:

1. Elencar como o ADD afetivo/híbrido é realizado, tais como algoritmos e cálculos nos trabalhos correlatos e pré-existentes.
2. Propor frente aos métodos já utilizados e as conclusões dos trabalhos anteriores, uma forma de estimar o estado afetivo do jogador com o dado de excitação.

3. Comparar os modelos de ajustes afetivo propostos visando direcionar trabalhos futuros para utilizar a excitação de maneira semelhante, adaptada a novos jogos.

Tendo em vista que os jogos descritos nos trabalhos analisados possuem momentos e formas de alterar a dificuldade diferentes, cabe adaptá-las a este trabalho visando o ponto principal que é a quantificação da excitação como estado afetivo do jogador. Esse estudo apresenta a utilização de um sensor em tempo real e será realizado utilizando o jogo *Asteroids: in the 2nd and 1/2th Dimension*.

4.2 O Jogo

Uma vez que este estudo trata-se de uma evolução do trabalho apresentado em [7], seguiremos a utilizar o jogo adaptado baseado em *Asteroids: in the 2nd and 1/2th Dimension*. O objetivo do trabalho é um alinhamento teórico frente ao assunto Ajuste Dinâmico de Dificuldade e não o desenvolvimento de um novo jogo. O jogo foi utilizado por apresentar os seguintes pontos:

- Possui licença para uso não comercial e código fonte aberto, possibilitando alteração para o contexto do estudo.
- Os componentes do jogo estruturados para permitir adicionar código referente ao Ajuste Dinâmico de Dificuldade e a coleta de dados utilizada para análise.
- Controles simples de forma que usuários tenham uma familiarização com o jogo não dificultada.
- Jogo para um único jogador, tal que a presença de outros usuários iria inserir diversas variáveis fora do foco da pesquisa.
- Roda em sistema operacional Windows ou Linux.

O objetivo do jogo é atravessar em cada nível uma linha de chegada após cruzar um campo de asteroides, de forma que a nave (controlada pelo jogador) não colida com eles. Sendo possível pro jogador atirar nos asteroides para destruí-los. A distância do jogador para completar o nível é explicitada em tela, e o jogador inicia o nível com um escudo (possibilidade de chocar com um asteroide sem morrer), caso a nave do jogador choque com um asteroide, ele irá voltar para o início do nível. O jogo possui um objetivo claro e simples para o jogador, tal como uma situação de "derrota" evidente e simples de entender.

Fernandes [7] introduziu uma malha azul no jogo adaptado por Natal [9], para reduzir casos de tontura informados por uma gama de jogadores. Como outras contribuições temos a homogenização dos elementos do jogo para que alterações no *design* de cada

fase ou dos asteroides não gere confusão frente as medidas que estão sendo coletadas. Essa homogeneização se dá pelo tamanho dos asteroides e seus tipos, de forma que não há uma variabilidade do tamanho de asteroides dentro da mesma fase, assim como todos os asteroides se comportam da mesma forma. Tais trabalhos anteriores também possuem contribuições no que tange aos limiares para classificar o desempenho do jogador e quais variáveis devem ser alteradas ou coletadas do jogo. Natal [9] concluiu que a velocidade possui uma influência na percepção de dificuldade maior que a densidade de asteroides ao longo das fases, sendo esta a variável que será alterada neste trabalho no caso de ajustes. Fernandes [7] encontrou os níveis de morte e o tempo de vida do jogador para caracterizar o desempenho e a valência deles ao longo das fases. Uma imagem do jogo pode ser visualizada na Figura 4.1

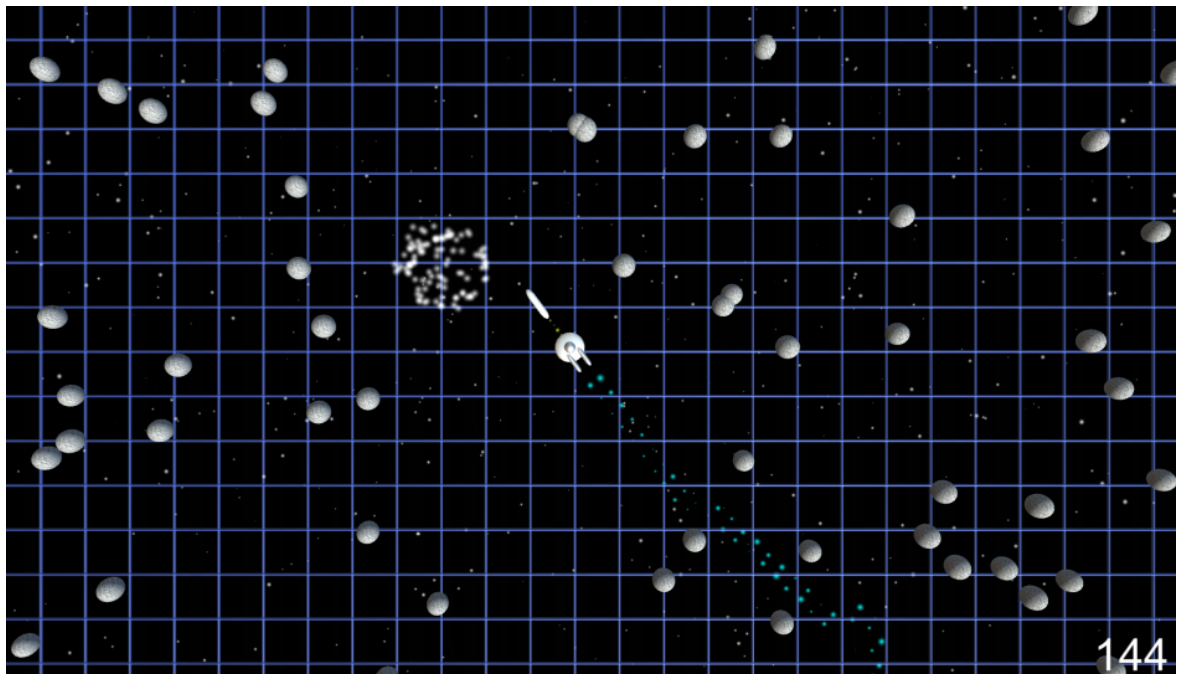


Figura 4.1: Cena do jogo Asteroids adaptado [7].

Foram realizadas diversas alterações de código visando a modularização e a facilidade de inserção de novos tipos de ajuste de dificuldade ao jogo *Asteroids*. Mudanças que foram necessárias para este trabalho e que também facilitariam alterações em trabalhos futuros.

4.3 Ferramentas

Para o desenvolvimento deste trabalho, tal como os trabalhos anteriores, foram utilizadas múltiplas tecnologias necessárias para o uso dos dados de *biofeedback*, este fluxo será

explicitado visando maior esclarecimento para a produção de trabalhos futuros, utilizando a coletânea de informações e trabalhos aqui dispostos.

4.3.1 Motor de Jogo

O jogo utilizado *Asteroids: in the 2nd and 1/2th Dimension*¹ teve seu desenvolvimento utilizando o motor de jogo *Unity*², com sua primeira versão datada em 2015. Um motor de jogo também conhecido como *engine*, se trata de um programa para simplificar o desenvolvimento de jogos, a partir da abstração do desenvolvimento. Motores de jogo possuem diversos módulos e funcionalidade como por exemplo renderização gráfica 2D e/ou 3D, simulações físicas, controles de sons, dentre outros. Fornecem suporte para uma linguagem de programação em geral com suporte para *scripts* permitindo um desenvolvimento de jogos robusto e simples.

Unity permite desenvolvimento multiplataformas, possui uma gama de conteúdo e suporte, além de sua utilização para fins de estudo ser gratuita. Este motor utiliza a linguagem de programação CSharp (C#) e UnityScript, tal que esta última está tendo seu suporte encerrado.

Todas as alterações do jogo *Asteroids*, foram realizadas utilizando o *Unity*. Alterações que permeiam os componentes visuais do jogo, a lógica do ajuste de dificuldade, o recebimento e armazenamento de informações em banco de dados, a quantidade de fases e questionários dentro do jogo.

4.3.2 Sensor

Este trabalho cerne a utilização e análise das práticas de ADD Afetivo e Híbridos discutidas na Seção 2.8.2, de forma que o principal dado fisiológico que será utilizado será o de EDA, dado também utilizado nos trabalho de Fernandes [7] e Rosa [5]. Como elencado na Seção 2.7.2, a condutância da pele fornece informações de excitação, tensão e frustração, possibilitando a interpretação da mesma para condicionar o Ajuste Dinâmico de Dificuldade e conseqüentemente possibilitar ao jogador alcançar o estado de fluxo [4]. Nesta pesquisa é empregado o sensor *Empatica E4 Wrisband*³ ilustrado na Figura 4.2. O sensor é utilizado a partir de uma pulseira, sendo não invasivo e possibilitando um monitoramento eficaz dos dados fisiológicos do usuário. Os dados obtidos já vem filtrados e o tempo de calibragem do sensor é curto.

¹<https://matthewwrenze.com/software/asteroids-in-the-2nd-and-1-2th-dimension/>

²<https://unity.com/pt>

³<https://www.empatica.com/en-int/research/e4/>



Figura 4.2: Sensor *Empatica E4 Wristband* para capturar dados fisiológicos [7].

A *Empatica E4* possibilita a aquisição de dados em tempo real em conjunto com ferramentas de visualização e análise. Possui acurácia e precisão nos dados obtidos, além de suporte para desenvolvimento de aplicativos independentes (*Android* e *iOS*).

Para as medidas de EDA utilizadas o sensor captura a condutividade elétrica por meio de eletrodos em contato com a pele, fornecendo medidas de condutância em unidades de *microSiemens* (μS).

Além do sensor para EDA utilizado, a *Empatica E4* conta com os seguintes recursos:

- Sensor Fotopletismografia (PPG) para medição do volume de sangue, utilizado para dados de frequência cardíaca;
- Sensor de movimento composto de acelerômetro de 3 eixos;
- Sensor de temperatura a partir de termopilha infravermelha;
- Suporte para marcação de eventos correlacionados aos sinais fisiológicos;
- Relógio interno de alta precisão.

Como disposto por [5], a empresa fabricante do sensor recomenda o uso na mão não-dominante, visando um dado mais consistente e homogêneo, tendo em vista que a mão dominante apresenta mais movimento podendo interferir na aquisição do sinal. Outras recomendações para utilização da pulseira dizem que os eletrodos devem estar alinhados na parte inferior do pulso e posicionados entre os dedos do meio e anelar, a pulseira deve estar firme para que os eletrodos não mudem de posição com o movimento, porém não tão apertada para gerar desconforto.

4.3.3 Aplicativo, Servidor e Banco de Dados

Para realizarmos o ADD em tempo de execução do jogo precisamos adquirir os dados de EDA fornecidos pelo sensor em tempo hábil de interpretação. Devido a isso não podemos utilizar o aplicativo padrão de aquisição dos dados da *Empatica*, uma vez que ele fornece apenas a possibilidade de download dos dados em formato CSV ao final da sessão de coleta. Para ilustrar de forma sucinta o fluxo de dados necessário neste trabalho, temos como base a Figura 4.3.

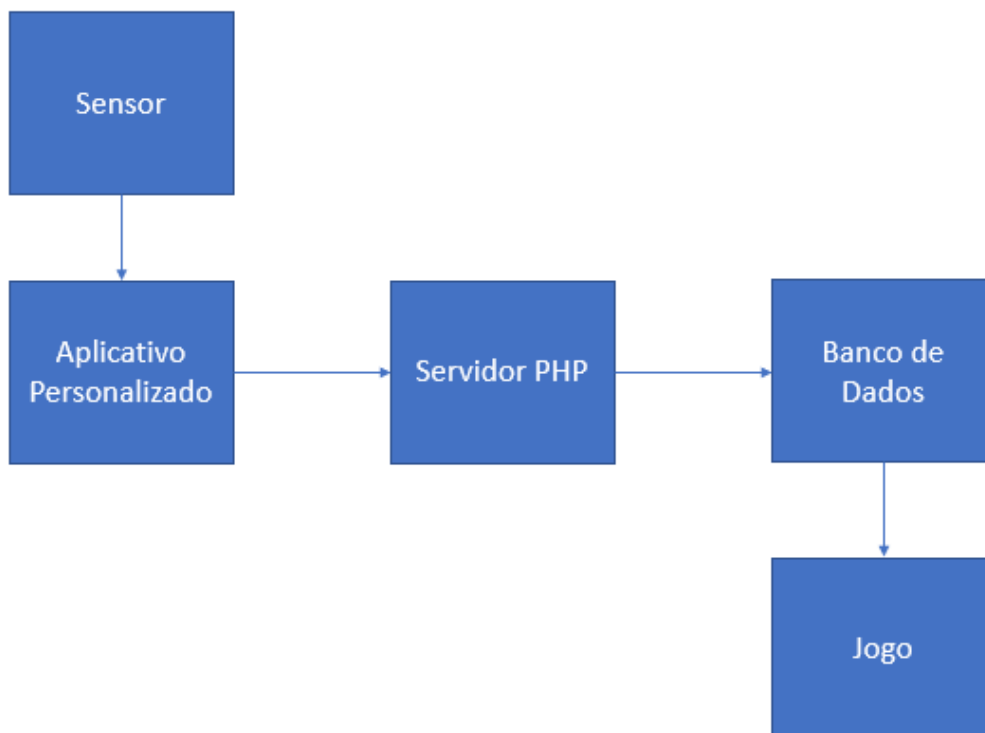


Figura 4.3: Fluxo de dados fisiológicos a serem utilizados para ADD. [7]

Como descrito por Rosa [5], a *Empatica Inc* fornece a possibilidade de desenvolvedores customizarem seus próprios aplicativos de comunicação com o sensor *Empatica E4*. A partir de uma conexão *bluetooth*, a pulseira se comunica com um *smartphone*, este por sua vez envia os dados brutos para um servidor de linguagem PHP, com banco de dados MySQL. Os dados recebidos são ordenados por chave, valor e hora de captura. Os dados de EDA armazenados podem ser lidos pelo *Unity* visando sua utilização no ambiente de jogo. Tal que para cada tipo de ADD aqui apresentado, estes dados sofrerão um tratamento distinto.

O *Android Studio* ⁴ é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) para desenvolver aplicações Android. Foi utilizado para a customização do aplicativo *Empatica E4*. Para o desenvolvimento do servidor foi utilizado o pacote XAMPP ⁵, utilizando o banco de dados MySQL e a linguagem PHP.

4.4 Ajustes Dinâmicos

Nesta seção serão apresentados os ajustes dinâmicos a serem testados neste trabalho, todos eles possuem caráter afetivo, ou seja utilizam de dados afetivos do usuário para realizar ajustes na dificuldade do jogo, porém são melhor classificados como ajustes híbridos pois utilizam o conceito de zona de desempenho proposto por Fernandes [7], ou seja utilizam de dados do jogo (desempenho) juntamente dos dados de *biofeedback*.

Além do ajuste que mantivemos do trabalho de Fernandes, portamos outros dois ajustes dos trabalhos de Rosa e Imre. Estes novos ajustes para o jogo *Asteroids* foram intitulados de acordo com os trabalhos de referência, e ambos modificam o jogo utilizando a identificação de alterações bruscas do EDA ao longo do nível. Essa estratégia foi proposta como possibilidade de melhoria por Fernandes quanto a seu trabalho, inserir no jogo *Asteroids* ajustes que levem em conta alterações de pico no EDA, tendo em vista que este fez seu ADD híbrido só verificando os valores do sinal em momentos bem específicos (ao passar de nível ou morrer)

O conceito de zona foi mantido para os três tipos de ajustes por se tratar de uma estimativa de valência do jogador, a partir do seu desempenho. As zonas caracterizam o desempenho do jogador ao longo do nível baseado em seu tempo de conclusão e a quantidade de mortes, correlacionado aos dados de excitação podemos realizar um ajuste positivo ou negativo na velocidade, nos casos de tédio ou frustração respectivamente.

A limiares de morte e tempo de vida foram mantidos de acordo com a pesquisa de Fernandes, de forma que o tempo e distância dos níveis não foi alterado. As zonas podem ser visualizadas na Figura 3.6. De forma sucinta temos que, zonas são as classificações do jogador de acordo com o valor de mortes e a duração dele no nível, se ambos estão ruins (muitas mortes e muita duração), o jogador está na zona intensa, se ambos estão bons (poucas mortes e pouca duração) está na zona baixa, e na zona ótima caso nenhuma das anteriores.

Outro fator importante para os ajustes realizados é a conceituação de dificuldade, tal como utilizado e corroborado por [7], encontrado por [9]. A dificuldade do nível no jogo *Asteroides* pode ser correlacionada com a velocidade dos asteroides. Cada nível

⁴https://www.android.com/intl/pt-BR_br

⁵https://www.apachefriends.org/pt_br/index.html

possui um intervalo de velocidades dos asteroides gerados, com a dificuldade diretamente proporcional com a velocidade mínima dos asteroides. Os asteroides podem ser gerados com velocidade entre a velocidade mínima e máxima do nível, tal que a velocidade máxima é dita pela Equação 4.1.

$$velMax = velMin + 1 \quad (4.1)$$

4.4.1 Ajuste por Mediana

Este ajuste foi proposto por Fernandes [7] e mantido neste trabalho, sendo esta seção uma revisão mais detalhada de como é o algoritmo. Iremos intitulá-lo como algoritmo por mediana, e posteriormente analisar seu comportamento em comparação aos modelos de ajuste em tempo real ao longo do nível.

Tal abordagem não é considerada inteiramente em tempo real pois realiza o ajuste apenas em 2 momentos designados, quando o jogador avança de nível, ou quando morre, aumentando a dificuldade e reduzindo respectivamente. A maior problemática dos ADDs é designar o quanto um jogador tem sua excitação alta ou baixa, e como encontrar limiares que possa definir tal variação de acordo com a estratégia utilizada.

Para calcular a variação de excitação, o algoritmo utiliza o valor no final do nível comparado ao do início do nível, se este é maior ou menor do que o segundo. Porém isso acarreta no problema que o jogador nunca estaria em um estado neutro, para saná-lo foi introduzido uma janela de valores de excitação. Tal janela precisa levar em conta que há variação dos níveis de EDA de um jogador para outro, sendo necessário utilizar um valor que pudesse ser retirado do próprio nível jogado e que tivesse relação com os limites de excitação, para cada jogador individualmente. Fernandes decidiu por utilizar o pico mediano da amostra de EDA ao longo do nível. Para achar tal valor precisamos dos seguintes conceitos:

- **Pico** - Valores de máximo e mínimos locais. Caso um valor seja maior ou menos que ambos os adjacentes.
- **Tamanho do Pico** - Tamanho de um pico subtraído pelo módulo do seu valor anterior no tempo.
- **Tamanho do Pico Mediano** - Valor mediano dos picos ordenados utilizado para calcular a janela de excitação.

Como representado na Figura 4.4, temos o processo para identificar o valor mediano utilizado para construir uma janela de alteração de excitação, em etapas temos:

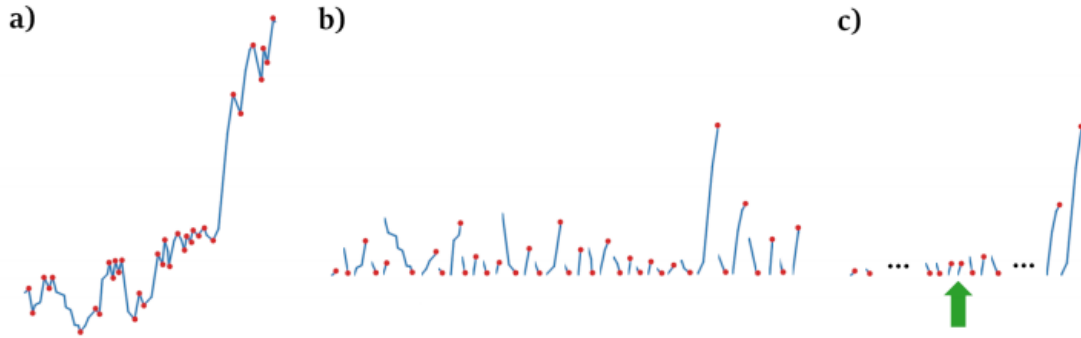


Figura 4.4: Processo para encontrar o pico mediano de uma amostra de EDA [7].

1. Identificar picos dos valores de EDA, letra A da imagem;
2. Extrair os valores de tamanho de pico, letra B da imagem;
3. Ordenar os valores e identificar o valor de mediana, letra C da imagem.

Segundo Fernandes a mediana é utilizada para descartar valores com subidas e descidas abruptas e também valores de ruídos com mudanças pequenas. Após encontrar o valor de mediana, ainda se faz necessário definir o tamanho do intervalo de comparação, resultando na mediana multiplicada por uma constante k .

O valor da constante k foi encontrado a partir de uma análise subjetiva realizada por Fernandes. Ele analisou os 18 gráficos de sua primeira bateria de testes a qual não possuía ajuste dinâmico, e testou diversos valores para k para encontrar o que mais satisfazia a janela de alterações, quando era evidente visualmente a necessidade de ajuste (dos valores de EDA para o final e início do nível), o valor encontrado foi de 2. Foi mantido este mesmo valor de k para este trabalho, visando a consistência com o trabalho de Fernandes, porém o valor de k não necessariamente seria viável para todos os conjuntos de sujeitos de teste.

Temos então que a excitação é calculada de acordo com a Equação 4.5.

$$k = 2 \quad (4.2)$$

$$maxIntervalo = eda(t0) + k * mediana \quad (4.3)$$

$$minIntervalo = eda(t0) - k * mediana \quad (4.4)$$

$$excitacao = eda(tf) > maxIntervalo ? alta : eda(tf) < minIntervalo ? baixa : média \quad (4.5)$$

Com a excitação devidamente designada a dificuldade será alterada em dois momentos, ao passar de nível ou ao morrer. Resgatamos aqui o conceito de zonas discutidos nas Seções 3.5 e 4.4, de forma que as dificuldades são alteradas conforme a Tabela 4.1 e Tabela 4.2

	Zona Amena	Zona Ótima	Zona Intensa
Excitação Baixa	+2	+1,5	+1
Excitação Média	+1,5	+1	+0,5
Excitação Alta	+1	+0,5	0

Tabela 4.1: Valores de velocidade a serem ajustados ao passar de nível.

	Zona Amena	Zona Ótima	Zona Intensa
Excitação Baixa	0	-0,25	-0,5
Excitação Média	-0,25	-0,5	-0,75
Excitação Alta	-0,5	-0,75	-1

Tabela 4.2: Valores de velocidade a serem ajustados ao morrer.

Todos os jogadores começam na zona amena ao iniciar o jogo e esta é alterado no decorrer do *gameplay*. O estado de excitação só é alterado quando se passa de nível, tal que, no caso de mortes é utilizada a excitação calculada do nível anterior para o atual.

Este é o ADD proposto por Fernandes intitulado por ele de ADD afetivo, mas este se trata na prática de um ADD híbrido, para este trabalho vamos nomeá-lo de ADD por Mediana. Ele não teve resultados tão promissores comparado ao ADD por desempenho também proposto por Fernandes em seu trabalho. O ADD por desempenho não irá ser discutido a fundo neste trabalho pois queremos focar no ADD que utiliza dados de EDA para a realização de ajustes. Esperamos visualizar os efeitos e diferenças dessa abordagem que realiza alterações apenas em dois momentos (passando de nível ou morrendo), com abordagens que realizem alterações em tempo real.

4.4.2 Ajuste por RTA

Este ajuste foi realizado utilizando o algoritmo *Real-Time Arousal Set* criado pelo projeto RAGE (*Realising an Applied Gaming Ecosystem*)⁶ e posteriormente adaptado por Rosa [5] para ser utilizado em jogos Unity a partir da estrutura de dados EDA utilizada em seu trabalho e mantida neste. O algoritmo utiliza os processamentos descritos por Dawson [41] que considera valores mínimos e máximos da condutância da pele, de forma a extrair os componentes tônico e fásico dos dados de EDA do usuário [44].

O algoritmo original consegue extrair do dado bruto de EDA as seguintes medidas:

- Nível fásico do usuário definido pela área sobre a curva do dado bruto;

⁶<http://rageproject.eu/rage-ecosystem/software-assets-inventory/real-time-arousal-detection-using-galvanic-skin-response/>

- Nível tônico do usuário, indicado pela media da amplitude do componente tônico do sinal;
- Atividade fásica, representado pela média e amplitude máxima da resposta de condutância da pele;
- Taxa de atividade fásica (picos/segundo);
- Tempo de crescimento do SCR;
- Tempo de recuperação do SCR;
- Média da atividade tônica;
- Inclinação da atividade tônica;
- Nível de excitação do usuário baseado nos componentes fásicos e tônicos.

Para este trabalho não utilizamos todas as medidas previamente descritas, sendo portadas para Unity o algoritmo para identificação do Nível Tônico e Fásico, além da excitação geral, adaptados por Rosa para o motor de jogo Unity. Para seu trabalho foi utilizado diretamente a variável dos níveis tônicos e fásicos, porém em seu texto não há detalhes de como foram dispostas a saída do processamento nem como os valores influenciavam na dificuldade. Neste trabalho iremos utilizar a variável de excitação geral que une no próprio algoritmo a interpretação das medidas tônicas e fásicas do EDA. O algoritmo aqui se comporta como uma caixa preta, sendo importante para este trabalho verificar se o mesmo se adequa para a interpretação do dado bruto de determinado jogador. Os níveis de excitação são retornados em uma janela de valores de 0 a 1000.

De acordo com Souza [44], o algoritmo RTA tem uma abordagem controversa devido a natureza variável do EDA. Ele cita em seu trabalho outros algoritmos para a decomposição do sinal em níveis fásicos e tônicos, porém pontua que não há um conceito bem definido para os sinais de condutância da pele. Os algoritmos propostos também não poderiam ser utilizados em tempo real sem um estudo prévio, pois iriam requerer uma consistente adaptação destes ao motor de jogo Unity.

Visando a utilização do algoritmo de RTA ao jogo *Asteroids* de acordo com o fluxo de dados fisiológicos é necessário adequar o código para a captação e o processamento de dados ao longo de cada fase. Os dados de EDA bruto são resgatados do banco de dados (alimentados pelo sensor *Empatica E4*) em uma janela de 8 valores a cada 2 segundos. A cada aquisição desse intervalo de 8 valores recebidos, estes são utilizados com a ferramenta RTA para se obter os níveis fásicos e tônicos a cada aquisição. Temos então um valor de excitação a cada 2 segundos (tempo definido para adequar com a baixa frequência de aquisição dos dados EDA).

	Zona Amena	Zona Ótima	Zona Intensa
Pico de Excitação Alto	0	0	-0,5
Pico de Excitação Baixo	0,5	0	0

Tabela 4.3: Valores de velocidade a serem ajustados ao identificar um pico de excitação (Algoritmo RTA).

A partir do valor de excitação encontrado, sendo um valor entre 0 e 1000, comparamos ele com o valor de excitação anteriormente calculado referente ao intervalo prévio. A comparação é feita a partir dos valores diretos e suas porcentagens, no caso deste trabalho, foi utilizado uma porcentagem de 30%. Tal comparação foi pensada para identificarmos apenas alterações bruscas e momentos de pico no sinal EDA provindo do usuário. A partir do acréscimo acima de 30% do valor anterior temos um pico positivo de excitação identificado, caso contrário em um decréscimo de 30% temos um pico negativo de excitação identificado. O valor de 30% foi unicamente experimental, visando um teste piloto e como a utilização do algoritmo RTA em tempo real se comportaria.

Além da identificação de picos mantemos a classificação de zonas proposta por Fernandes para classificar o desempenho de cada jogador, analisando passíveis ajustes ou não. O conceito de zonas para ADD por Mediana utiliza a zona do nível anterior ao que o jogador está jogando, para o algoritmo de RTA, o nível irá conter sua própria zona que irá se alterar conforme a duração e a quantia de mortes do jogador.

De acordo com a união do desempenho e os picos de excitação identificados, realizamos um ajuste pontual na velocidade mínima dos asteroides criados. Os valores de ajuste são expressados na Tabela 4.3

Temos então apenas duas situações em que a velocidade será ajustada, tal como no trabalho de Imre [4]. Realizamos o ajuste apenas quando seria necessário uma intervenção, caso um jogador esteja na zona intensa e com uma excitação alta, é interpretado como uma frustração. Caso o jogador esteja na zona amena com uma excitação baixa, este seria identificado como entediado.

4.4.3 Ajuste por DSA

Imre [4] em seu trabalho utilizou o algoritmo *data subset analysis* (DSA), um algoritmo baseado no trabalho de [50] e [43]. É descrito como um algoritmo simples e intuitivo, que filtra organicamente ruídos do dado bruto de EDA, além de não ser suscetível a alterações de umidade e temperatura, com cálculo aplicável a diferentes indivíduos independente dos diferentes níveis de EDA.

Para este ajuste, por utilizar dados de EDA durante o nível, iremos utilizar a janela de 8 valores recebidos, assim como especificado para o algoritmo RTA, estes valores são recebidos e podem ser analisados a cada 2 segundos.

Foi implementado o algoritmo DSA para o motor de jogo Unity para ser utilizado em conjunto com o jogo proposto e o sensor utilizado, ambos diferentes do proposto por Imre. O algoritmo utiliza os dois últimos valores de condutância da pele, computa a diferença entre eles e adiciona o resultado a um montante final. Esse processo é repetido para cada valor adicionado até um número específico de iterações. Ao final das iterações o valor do montante final é avaliado para verificarmos se houve ou não alterações notáveis no EDA, podendo inferir alterações no estado emocional do jogador.

O algoritmo identifica as alterações e reinicia sua contagem, tal como o montante final para recomençar as iterações com os novos dados de EDA provindos do *gameplay*.

Assim como o algoritmo RTA, por ambos serem ajustes em tempo real ao longo da fase, recebemos a cada 2 segundos o 8 últimos valores de EDA lidos pelo sensor, iremos chamar esses valores de Janela de valores EDA. Para cada Janela de Valores EDA recebido, os valores serão dispostos em ordem para o algoritmo DSA calcular o valor total, tal como na Equação 4.6.

$$Total = \sum_{i=1}^N EDA_i - EDA_{i-1} \quad (4.6)$$

Utilizamos neste trabalho o mesmo N utilizado por Imre, com o valor de 20, ou seja serão computados 20 valores de EDA para podermos avaliar o montante total. Tendo em vista que cada Janela de valores EDA retorna 8 valores do sinal, precisamos de no mínimo 3 janelas para realizar uma avaliação do sinal do jogador, isto resulta em uma avaliação dos dados fisiológicos do jogador a cada 6 segundos, aproximadamente.

O algoritmo de Imre ao final das iterações realiza a comparação do montante final com um limiar de valor fixo, com valor igual ao N proposto de 20. Neste trabalho iremos comparar o montante total com o desvio padrão da penúltima janela de valores EDA recebida. Com essa abordagem, evitaremos comparações com a última janela, pois em casos de picos muito bruscos no valor de condutância da pele, o desvio padrão iria acompanhar esse acréscimo, tornando a comparação enviesada para uma não alteração. Utilizando a penúltima janela podemos continuar identificando as alterações negativas ou positivas com maior precisão. Foi realizada essa alteração no algoritmo, pois a utilização de um valor fixo como no caso de *Imre* não levaria em conta a diferença de valores de EDA entre os indivíduos, como ele não utiliza o sensor *Empatica E4*, temos que os valores de EDA podem flutuar muito de um indivíduo para outro.

Caso o *Montante total* tenha um valor maior em magnitude que o desvio padrão da

	Zona Amena	Zona Ótima	Zona Intensa
EDA Crescente/Pico positivo	0	0	-0,5
EDA Decrescente/Pico Negativo	0,5	0	0

Tabela 4.4: Valores de velocidade a serem ajustados ao identificar um pico de excitação (Algoritmo DSA).

penúltima janela de valores, identificamos uma alteração no EDA, se o *Montante total* for positivo se trata de uma alteração crescente, se o *Montante total* for negativo, de uma alteração decrescente. Caso a magnitude do *Montante total* for menor que o desvio padrão da penúltima janela, não foi identificado comportamento de alteração no EDA.

Assim como no ADD utilizando o algoritmo RTA, utilizamos o conceito de zona para identificar o desempenho do jogador, inferindo um possível estado emocional em casos de picos de excitação e alterações no valor de EDA. As velocidades serão ajustadas de acordo com a Tabela 4.4.

Esta abordagem de algoritmo, identifica não só picos na condutância da pele mas também alterações constantes ao longo do intervalo analisado, ou seja caso o EDA possua unicamente um comportamento decrescente ou crescente.

Cabe ressaltar que em ambos os ajustes em tempo real ao longo da fase (RTA ou DSA), o valor de velocidade a ser alterado foi limitado a uma magnitude de 4, ou seja além da velocidade padrão do nível, a velocidade poderia ser aumentada ou reduzida a um máximo de 4 unidades de acordo com o estado emocional do jogador. Isso foi feito para evitar alterações indiscriminadas na dificuldade, resultando em níveis impossíveis ou muito fáceis.

4.5 Experimento

O foco deste trabalho é verificar a viabilidade de diferentes metodologias para ajuste dinâmico de dificuldade, como proposto por Fernandes. Assim, foram conduzidos experimentos inserindo dois algoritmos acoplados de outros trabalhos que realizam ajustes em tempo real para o jogo *Asteroids*. Os testes foram realizados utilizando as 3 formas de jogo, sendo estas classificadas como: Ajuste por Mediana, para classificar o ajuste disposto por Fernandes [7], Ajuste por RTA e Ajuste por DSA.

Para cada sujeito do experimento foram apresentados 3 tipos de ADD, com cada tipo contendo 5 fases de *gameplay*, totalizando 15 jogadas por cada sujeito. Para cada sujeito apresentamos os diferentes ADDs na mesma ordem, ADD por Mediana seguido do ADD por RTA e por último ADD por DSA. Após cada fase aplicou-se um breve questionário de percepção de dificuldade, frustração e satisfação para aquela fase, com o mesmo intervalo

de valores construídos no trabalho de Fernandes. Decidiu-se utilizar 5 fases diferentemente das 10 apresentadas por Fernandes, para encurtar o tempo de experimento, uma vez que, como não foi analisado diretamente o estado de fluxo dos jogadores, as 5 fases satisfazem a visualização do EDA e a saída dos algoritmos.

Diversas variáveis relativas ao desempenho foram salvas em arquivos no formato JSON, visando a construção e análise de gráficos. Para cada nível foram armazenadas as seguintes variáveis:

- Número de asteroides;
- Velocidade mínima e máxima dos asteroides;
- Tempo inicial e final do nível;
- Duração do nível;
- Tempo médio por vida;
- Se o jogador concluiu o nível;
- Momentos em que o jogador morreu;
- Momentos e a quantia que a dificuldade/velocidade foi alterada;
- Dados de EDA e Verificação de alterações de acordo com o algoritmo utilizado.

Além dos dados de desempenho coletados, foram utilizados questionários objetivos e subjetivos para analisar os diferentes modelos de dificuldade dinâmica, correlacionando-os com os gráficos de excitação obtidos a partir do *gameplay* experimental com os jogadores. Os questionários aplicados podem ser visualizados no Apêndice B, sendo utilizado 3 tipos de questionários, um anterior ao jogo para coletar dados sociodemográficos do jogador, um durante o jogo entre as fases para coletar a percepção do jogador quanto ao seu *gameplay*, e um posterior para auxiliar na comparação e na melhoria dos diversos modos de ajuste. Os questionários posteriores as fases podem ser visualizados na Figura 4.5.

Todos os experimentos foram realizados no mesmo local, que prezasse a consistência e evitasse interrupções no momento de jogo de cada indivíduo. Além disso a temperatura foi controlada e padronizada utilizando ar condicionado. Todos os participantes foram submetidos ao mesmo volume e brilho de tela. O seguinte roteiro de teste foi seguido:

1. Apresentação do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), presente no Apêndice A;
2. Explicação acerca do experimento:

De 1 a 10, quão difícil foi esse nível?

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

De 1 a 5, você achou esse nível:

Não Tediado 1 2 3 4 5 Muito Tediado

Não Frustrante 1 2 3 4 5 Muito Frustrante

Muito Chato 1 2 3 4 5 Muito Divertido

Opinião opcional...

Figura 4.5: Questionário posterior a cada fase [7]

- Informar o tempo que será gasto no experimento;
 - Explicação de como será o jogo apresentado e qual o objetivo ao longo das fases;
 - Orientações de controles e periféricos utilizados, além da possibilidade do usuário passar o nível em momentos de grande dificuldade;
 - Exposição do sensor *Empatica E4* utilizado, a ausência de riscos e quais dados serão medidos;
 - Orientação para resposta sincera dos questionários apresentados, e quais são os questionários;
 - Explicação quanto a interface gráfica do jogo utilizando uma imagem de referência, elucidando elementos como a distante que falta para completar o nível, escudo, tiros, movimentação e asteroides;
 - Retirada de dúvidas pendentes e indicar que o experimento não deve ser interrompido após seu início.
3. Disponibilizar o primeiro questionário para o usuário responder;
 4. Colocar o sensor no jogador e sincronizá-lo com o aplicativo e o banco de dados;
 5. Verificar o conforto do jogador e se ele está pronto para começar o experimento;

6. Iniciar o jogo com o pesquisador selecionando a forma de ajuste que deverá ser realizada;
7. Alterar para novo tipo de ajuste ao término das fases, de forma que o jogador repita as fases até que todos os tipos de ADD sejam experimentados.

Durante o experimento, o pesquisador deve ficar disponível para eventuais problemáticas e a correta aquisição dos dados, porém afastado o suficiente para não atrapalhar na imersão e o estado de fluxo do jogador. Como previamente indicado, dúvidas só podem ser retiradas antes do experimento começar sem prejuízos de imersão. O jogo apresenta controles simples e foi disposto também uma forma do jogador passar de nível desistindo do mesmo, caso encontrasse uma curva de dificuldade muito elevada. Além do questionário aplicado após cada nível, foi realizado ao final da seção de jogo, um questionário subjetivo sobre os diferentes tipos de dificuldade e a satisfação do jogador acerca do experimento apresentado.

Devido o atual contexto da pandemia presente no ano deste trabalho (2021) foram realizadas medidas de segurança como: utilização de máscaras, higienização de equipamentos utilizados e distanciamento mínimo entre participantes/pesquisador. Ainda inserido nesse contexto temos que o trabalho será disposto como um experimento piloto, verificando a viabilidade de testes em massa utilizando os ADDs em tempo real propostos, não sendo possível no escopo do trabalho presente utilizar grandes quantidades de participantes para aquisição dos dados.

O jogo com as devidas alterações e os ajustes discutidos pode ser encontrado hospedado em Github⁷.

⁷<https://github.com/renneruan/asteroids>

Capítulo 5

Resultados

Neste capítulo serão descritos os resultados dos experimentos realizados. Serão analisados os dados afetivos, de desempenho e o comportamento do EDA nos respectivos modelos de tempo real propostos.

A inserção de modelos utilizando o EDA em tempo real ao longo das fases foi proposta visando o ponto principal do processo de *game design*, um refinamento na adaptação de dificuldade em prol do aproveitamento do jogador. Todavia o aspecto diversão respectivo aos modelos necessitaria de ajustes característicos ao quanto devemos alterar a velocidade ao longo do nível, necessitando testes mais robustos respectivos ao *game design* em si. Os resultados deste trabalho buscam avaliar a possibilidade de inserção das estratégias em tempo real e a consolidação de qual algoritmo poderia exercer um melhor ajuste dinâmico afetivo ou híbrido para futuros trabalhos.

Buscou-se então verificar se os algoritmos conseguem identificar picos ou alterações contínuas no EDA de determinado indivíduo. Se a alteração em tempo real influi na percepção do jogador em dificuldade e em o quanto ele julga que se divertiu ao longo da partida.

5.1 Participantes

Como levantado na seção anterior devido a pandemia vigente durante esta pesquisa, os testes realizados foram caracterizados como testes piloto, com uma quantidade simbólica de indivíduos para validar os algoritmos criados e se estes seriam eficazes em determinado ambiente de jogo, neste caso utilizando o jogo *Asteroids*. Os testes foram realizados com 10 participantes, os quais jogaram o jogo com os 3 diferentes tipos de algoritmos. Todos tiveram seus dados de EDA captados para posterior análise e discussão acerca do comportamento dos algoritmos.

Os participantes tiveram as seguintes características:

- Idade com média de 23,6 anos e desvio padrão de 5,2; Idade mínima sendo 14 e máxima 32.
- 90% dos voluntários se identificam do gênero masculino, e 10% feminino;
- 60% dos voluntários estavam minimamente familiarizados com o estilo de jogo apresentado;
- 70% dos voluntários geralmente jogam na dificuldade média, 20% no difícil e 10% no fácil;
- 30% dos voluntários informam jogar diariamente em *Desktops*, 30% esporadicamente e 40% afirma jogar raramente/nunca.

5.2 Análise de Dados

Ao longo do jogo foram gravadas as informações referentes ao desempenho do jogador e seus dados de condutância da pele, assim como informado na Seção 4.5. Em adição foram salvos também os resultados de saída dos algoritmos aqui propostos, para cada momento do jogo. Todos os dados foram armazenados de forma transparente ao usuário durante o *gameplay*. Com os dados obtidos foram gerados gráficos para permitir a análise do impacto da utilização do ADD por mediana e dos ADDs em tempo real ao decorrer do *gameplay* do jogo *Asteroids*.

5.2.1 ADD por Mediana

A Figura 5.1 representa o comportamento do jogador ao longo de um *gameplay* utilizando ADD por mediana. Podemos visualizar as alterações na velocidade e o comportamento do sinal de EDA do participante. A velocidade dos asteroides, fator que condiciona a dificuldade, só é alterada ao passar de nível ou quando o jogador em questão morre. Com a estratégia de verificar valores do final comparando com o inicial em conjunto com a janela de mediana, mesmo com alterações bruscas do EDA ao longo do nível, este algoritmo não toma nenhuma ação, podendo facilmente condicionar a uma interpretação tardia de determinado estado afetivo do jogador. No caso do gráfico em questão, temos por exemplo no penúltimo nível uma característica decrescente do EDA ao longo de todo o nível, podendo representar tédio por parte do jogador, porém antes do nível finalizar há um único pico de EDA que faz com o que o algoritmo entenda que o jogador está excitado, gerando nenhum ajuste ou um ajuste errôneo, tendo em vista o incremento da velocidade de um valor baixo. Ao longo da sessão de jogo, há diversos picos do EDA que não são

aproveitados nem identificados. Caso haja a presença de ruídos nos valores iniciais ou finais do nível também haveria uma falha na interpretação do estado afetivo do jogador.

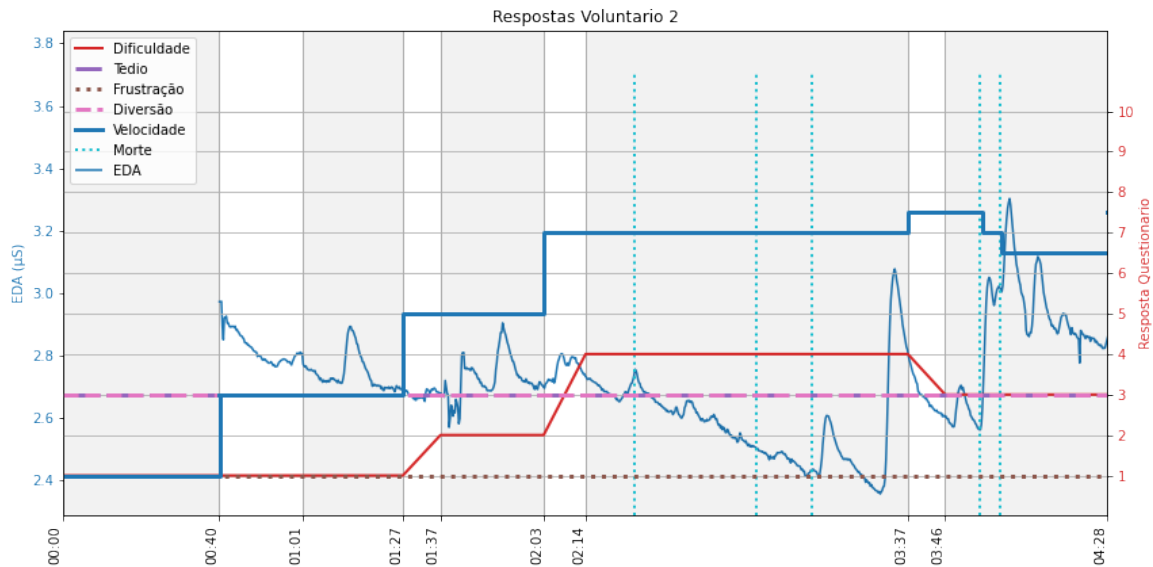


Figura 5.1: Gráficos do jogador 2 durante a partida, com ajuste por Mediana.

5.2.2 ADD por RTA

Na Figura 5.2 temos o mesmo jogador, porém com o *gameplay* utilizando o algoritmo de RTA. Neste gráfico a linha verde se trata da saída do processamento do algoritmo, sendo a excitação geral do jogador, percebemos a partir dos resultado que essa saída se comporta como uma suavização do dado bruto de EDA do usuário, reduzindo ruídos, aumentando e diminuindo de acordo com o dado de origem. Para cada jogador a saída do algoritmo assumiu algo como uma linha de base, apresentando alterações de valores que seguem o dado bruto mas que não necessariamente tornam fácil a identificação de mudanças bruscas ou picos. Neste trabalho utilizando a verificação da alteração de 30% de um valor para outro não foi possível identificar muitas alterações, algo que será discutido novamente posteriormente quando analisarmos a quantia de ajustes de acordo com o modelo.

No gráfico da Figura 5.3, podemos visualizar novamente o comportamento da saída utilizando o algoritmo RTA, o resultado segue o dado bruto em seus picos e declives, porém não são realizados ajustes significativos, consolidando uma falha nos limiares utilizados, a falta de ajustes também pode ser justificado pelo jogador não se encontrar em uma zona passível de mudanças na velocidade de acordo com a alteração do EDA. Para os demais participantes podemos perceber que a saída do RTA não diverge consideravelmente do valor inicial, criando uma curva suave para a saída de excitação do participante.

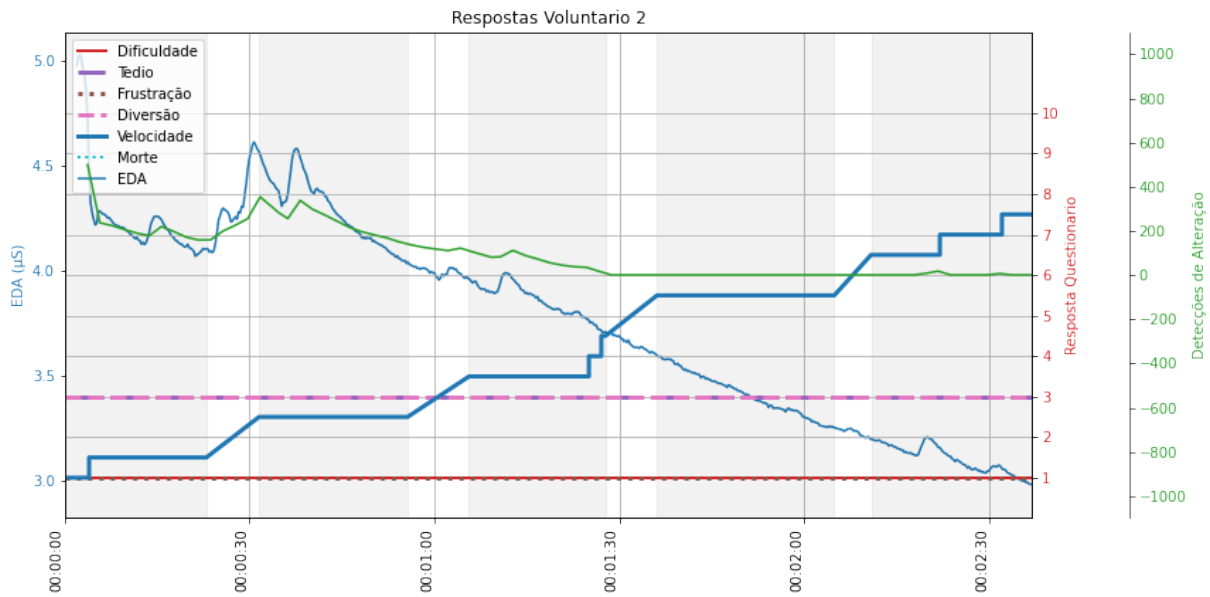


Figura 5.2: Gráficos do jogador 2 durante a partida, com ajuste por RTA.

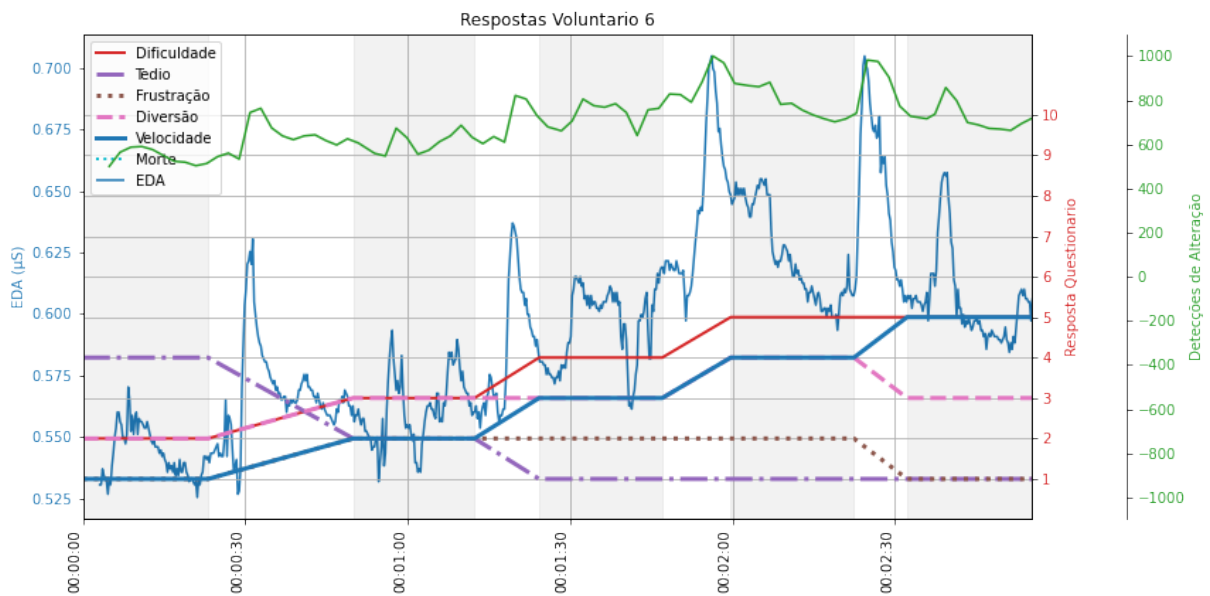


Figura 5.3: Gráficos do jogador 6 durante a partida, com ajuste por RTA.

5.2.3 ADD por DSA

Tanto o algoritmo por DSA quanto o RTA são utilizados para alterações ao longo da fase, porém ambos funcionam de formas bem distintas em cima do dado bruto, sendo o algoritmo por DSA mais simples e intuitivo de se entender e aplicar a outros jogos, devido a isso, este foi proposto nesse trabalho.

Para os resultados do ajuste com o algoritmo DSA temos o gráfico da Figura 5.4. A

saída do algoritmo é retratada pelo eixo verde, de forma que o algoritmo identifica picos no dado bruto de EDA e também o comportamento de variação caso o EDA aumente ou diminua constantemente, cada pico entre -1 e 1 da saída do algoritmo retrata o comportamento do EDA, no caso de decréscimos ou acréscimos respectivamente, no caso de nenhuma alteração considerável a resposta será 0. A saída do algoritmo é intervalada no gráfico devido ao intervalo de N valores que devem ser coletados para o resultado do montante de diferenças, no caso desse trabalho, é utilizado 20 valores.

Identificamos a partir da análise gráfica dos dados dos participantes, que o algoritmo identifica corretamente os momentos de variação, tanto positivos quanto negativos, realizando os ajustes necessários no caso de picos e decréscimos ou acréscimo constantes. Utilizando o limiar a partir do desvio padrão da penúltima janela da amostra, teve como consequência uma sensibilidade em relação ao algoritmo, de forma que é o algoritmo que resultou em mais verificações de alteração de EDA. Neste gráfico podemos ver uma sequência de ajustes em resposta ao EDA decrescente no início do jogo, esperando que o EDA aumente em conjunto com a dificuldade para retirar o tédio do jogador.

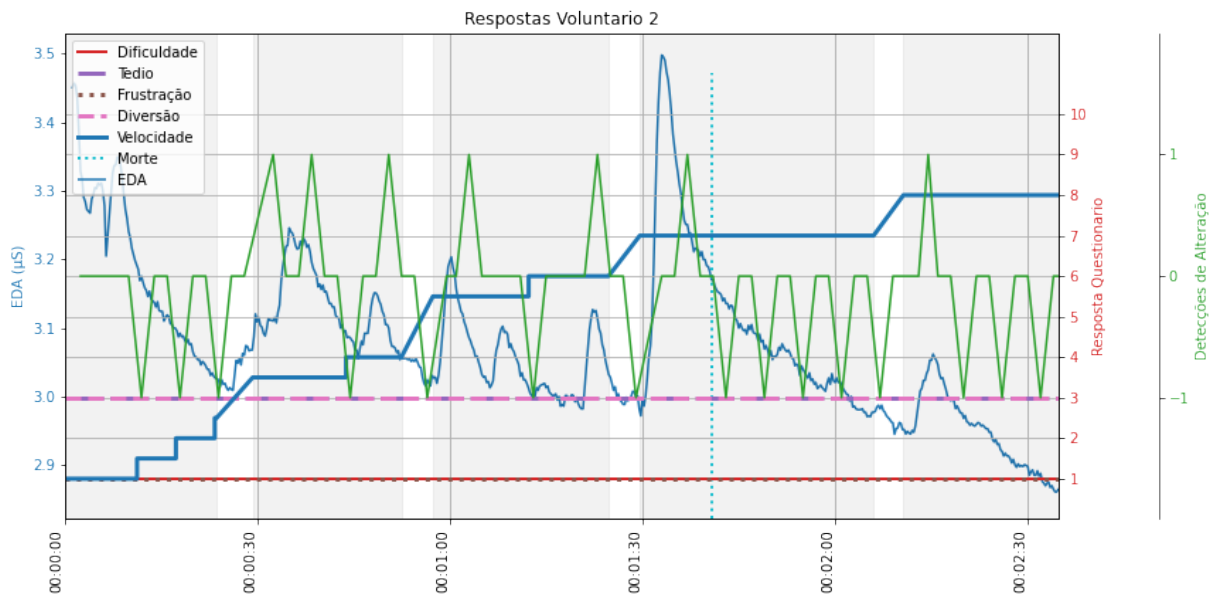


Figura 5.4: Gráficos do jogador 2 durante a partida, com ajuste por DSA.

O algoritmo DSA se mostrou consistente para identificar alterações mesmo em casos de EDA com ruído presente, tendo em vista que computa a diferença. Foi útil também para lidar com as diferenças dos valores de EDA para cada indivíduo. Podemos ver no gráfico da Figura 5.5, que apresenta um jogador de EDA com valores baixos e suscetíveis a ruído. Podemos visualizar nessa imagem o comportamento do algoritmo em casos em que o EDA se encontra estável, mesmo com ruído aparente o valor retornado é nulo.

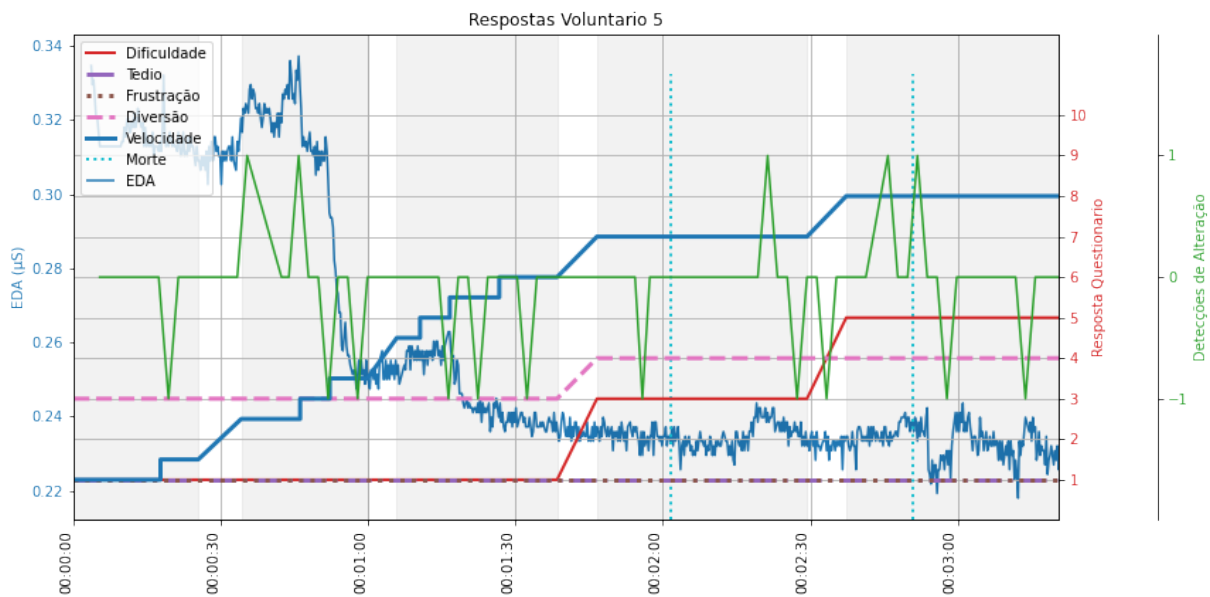


Figura 5.5: Gráficos do jogador 5 durante a partida, com ajuste por DSA.

5.2.4 Comparativo e Análise Geral

A utilização do ADD com DSA resultou em uma maior quantia de ajustes de dificuldade, apresentando uma possível sensibilidade ao dado bruto com os limiares utilizados, e ajustando a dificuldade mais frequentemente, incluindo em níveis mais fáceis, comparado aos outros ajustes. A quantia de ajustes por DSA em níveis mais fáceis resultavam em um acréscimo súbito de dificuldade, tornando o jogo mais difícil para os jogadores rapidamente. Mesmo com a saída visivelmente satisfatória do algoritmo por RTA, por se tratar de um espelhamento do dado bruto porém suavizado, este não resultou em muitos ajustes utilizando os limiares propostos. Possuindo valores consideráveis apenas no último nível, porém apresentando um desvio padrão alto. O comparativo da quantia de ajustes para cada modelo de ADD pode ser visualizada no gráfico da Figura 5.6.

A quantidade de ajustes influenciou diretamente na dificuldade final de cada nível, as velocidades dos asteroides, fator diretamente proporcional a dificuldade de cada nível pode ser visto na Figura 5.7 e Figura 5.8. Utilizando o ajuste em tempo real com o ADD por DSA, podemos ver maior diferença na velocidade ao longo do nível, para o algoritmo por mediana temos alteração significativa na velocidade média apenas no último nível. Para os algoritmos de tempo real é possível que a velocidade seja ajustada já no primeiro nível, de forma que este nível no ajuste por mediana tem sua velocidade estagnada.

A relação das velocidades com a dificuldade pode ser observada analisando os gráficos em conjunto com o da Figura 5.9. A dificuldade relatada para o ADD por DSA é visivelmente maior que as outras estratégias, de forma que os últimos níveis apresentam os

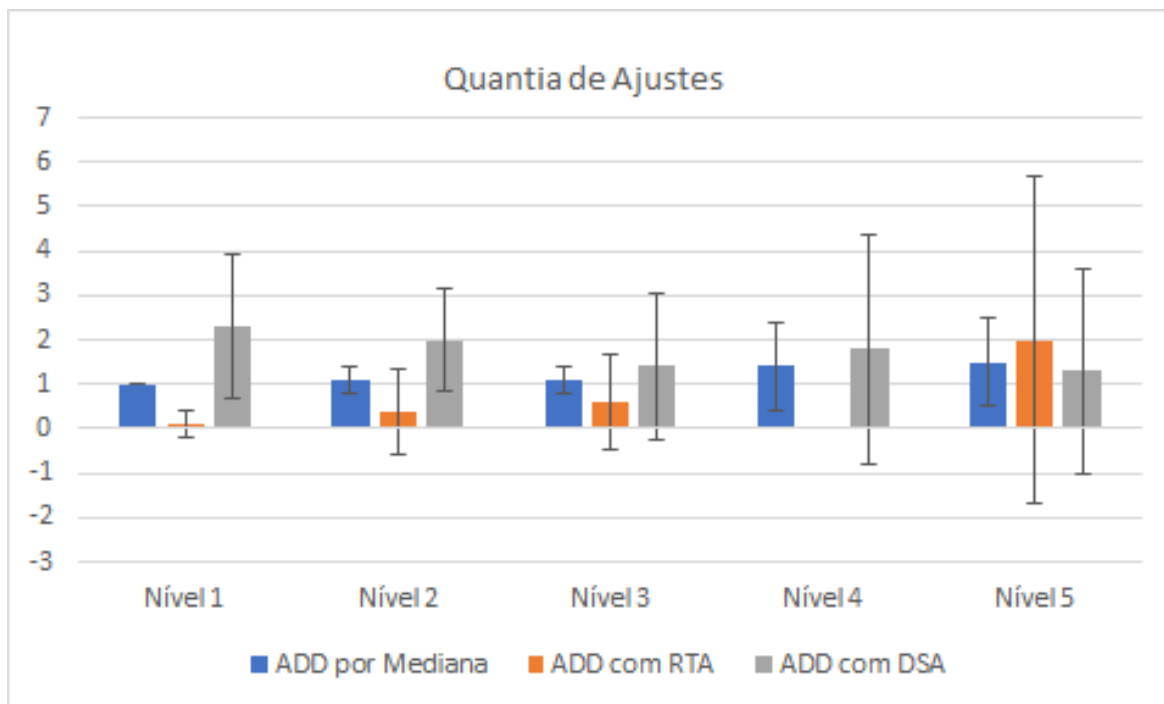


Figura 5.6: Gráfico com a média e desvio padrão da quantia de ajustes realizados para cada modelo de ADD.

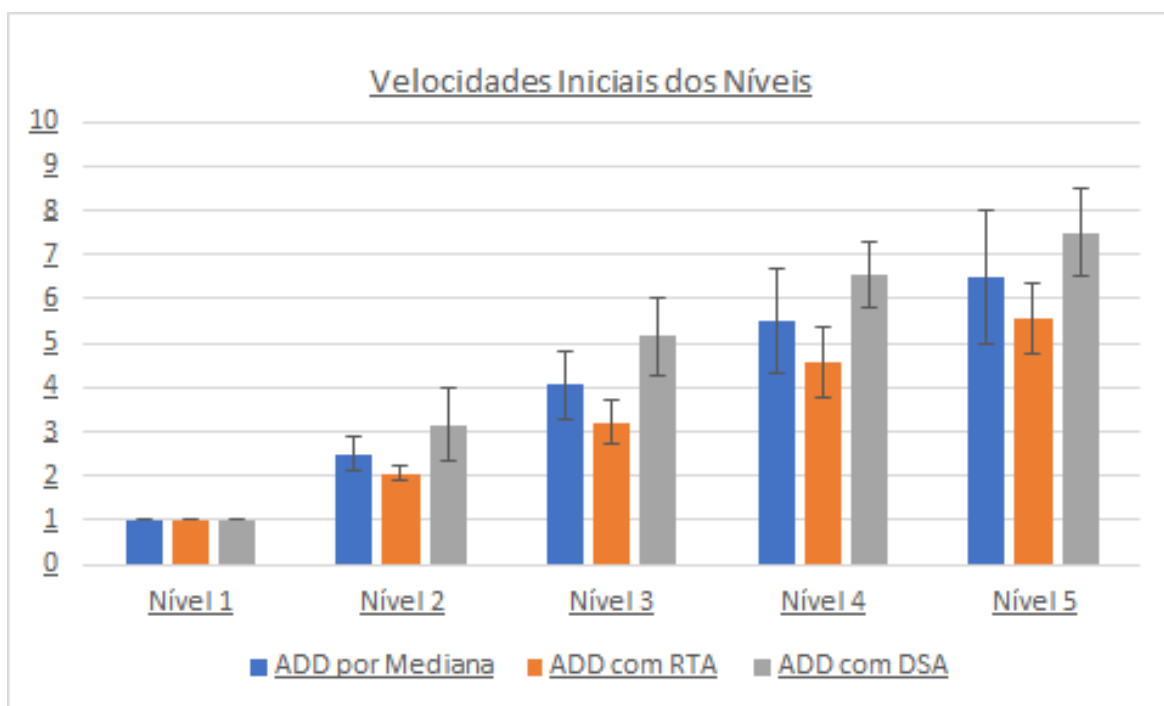


Figura 5.7: Gráfico com a velocidade inicial de cada nível para os diferentes ajustes.

maiores valores de dificuldade. Devido a falta de ajustes no algoritmo de RTA, a dificuldade relatada para o mesmo não foi considerável, de forma que apenas a dificuldade base

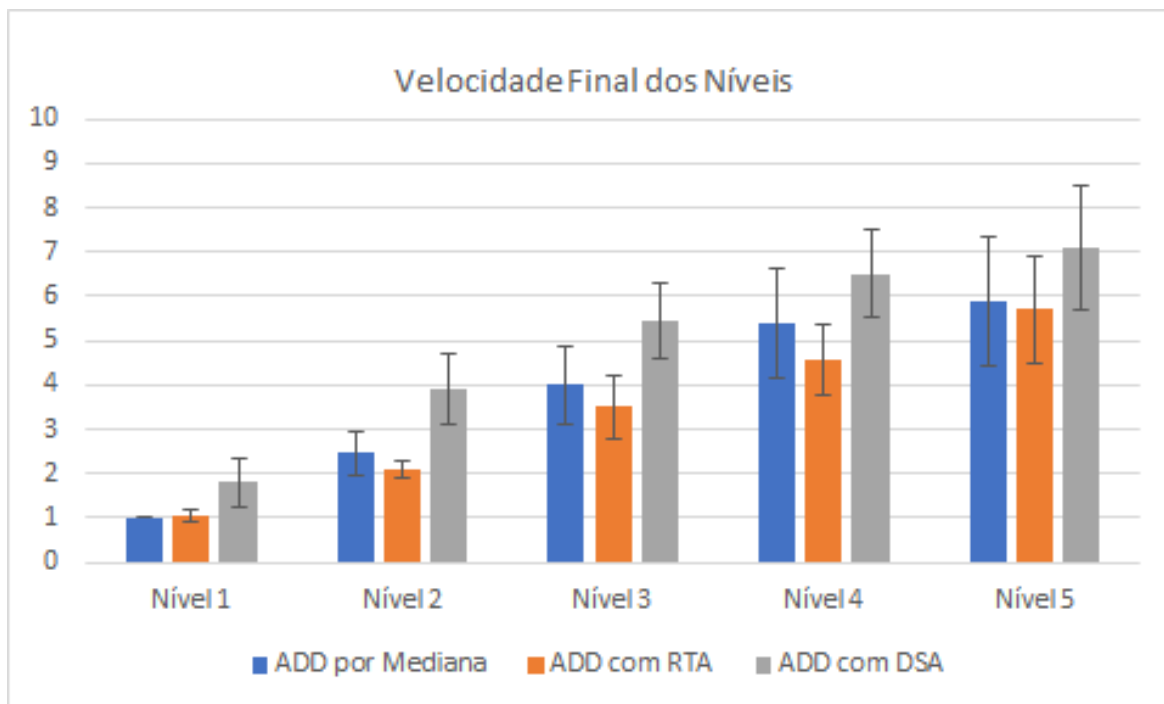


Figura 5.8: Gráfico com a velocidade final de cada nível para os diferentes ajustes.

de cada nível era alterada, sem que ocorressem ajustes significativos que influenciassem na dificuldade final.

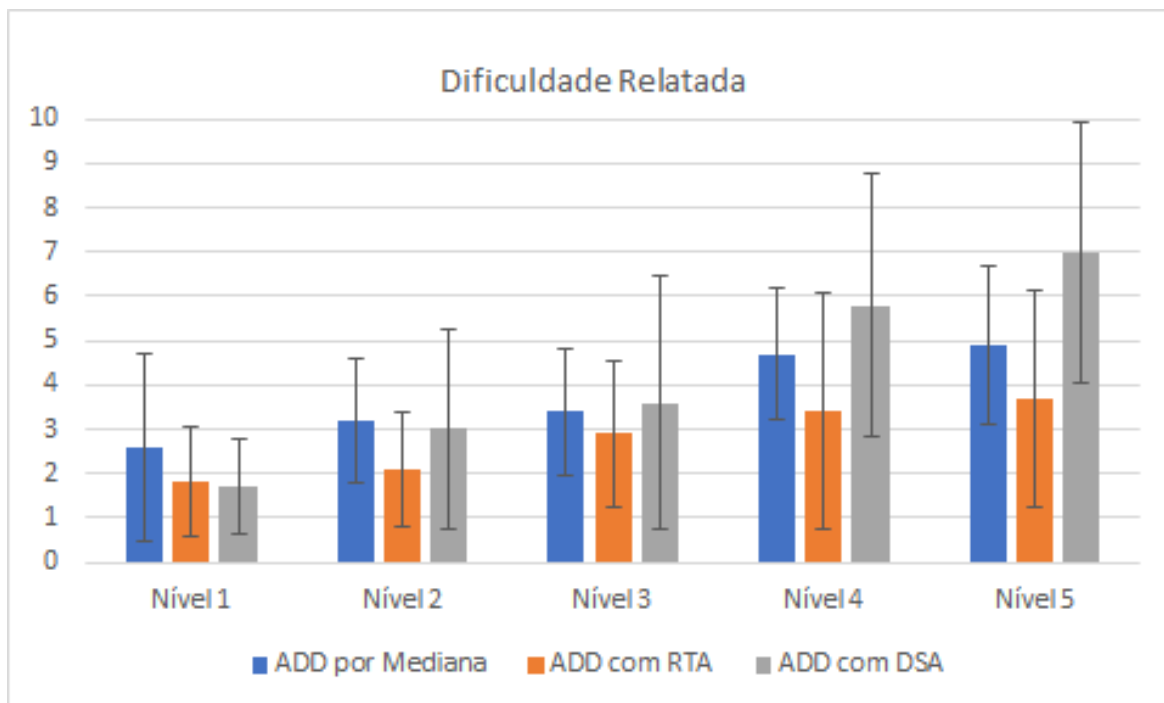


Figura 5.9: Gráfico com a dificuldade relatada pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.

A percepção de diversão dos jogadores acompanhou o aumento da dificuldade ao longo dos níveis, podemos visualizar no gráfico da Figura 5.10. Exceto para o último nível o ADD utilizando DSA foi o que apresentou a maior média de diversão, sendo proporcional ao aumento de dificuldade percebido pelos jogadores. O último nível pode ter sua diversão não tão satisfatória por apresentar valores muito altos de dificuldade, gerando também frustração nos jogadores por estarem em uma dificuldade além das suas habilidades devido a grande quantidade de ajustes realizados, o ADD por mediana é o que apresenta maior diversão relatada no último nível, possivelmente por não dificultar em mais nenhum ponto para o jogador. Os valores de diversão, assim com os de frustração e tédio relatados possuem um intervalo de 1 a 5, enquanto o valor da dificuldade percebida de 1 a 10 visando acompanhar o intervalo possível de velocidade dos asteroides.

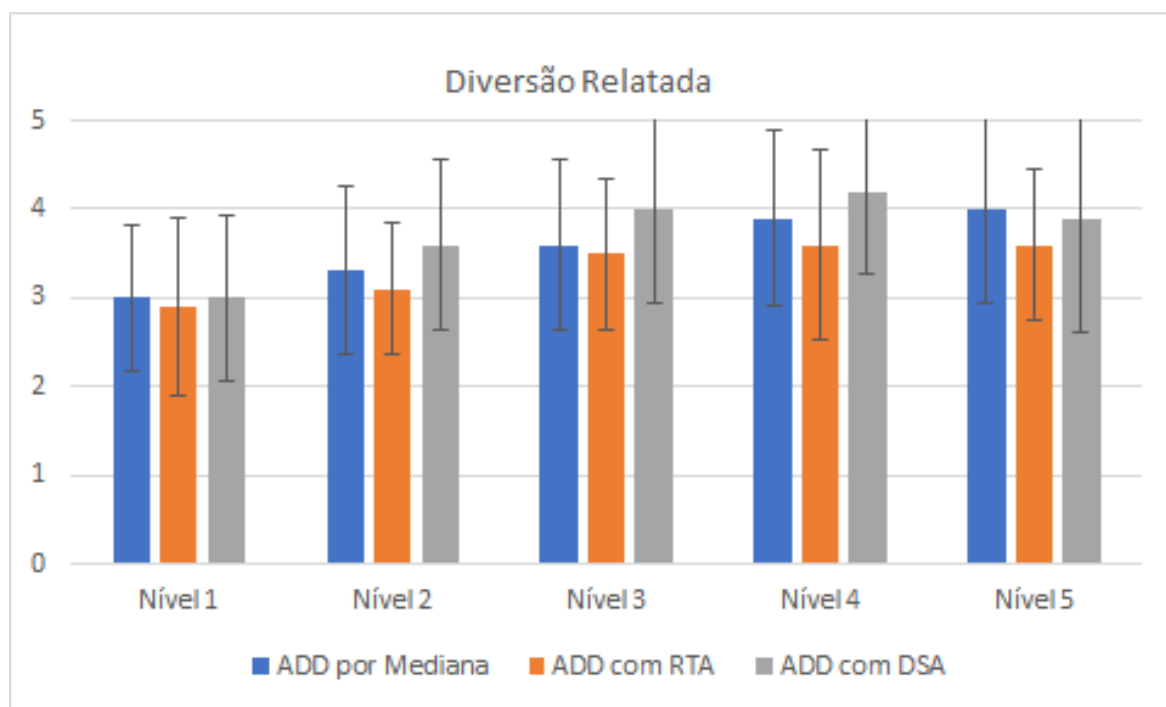


Figura 5.10: Gráfico com a diversão relatada pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.

Em adição a diversão temos também os valores de tédio e frustração que podem ser visualizados nos gráficos da Figura 5.11 e Figura 5.12 respectivamente. Os valores de tédio para o algoritmo DSA possuem a menor média relatada, exceto para o primeiro nível. Enquanto a falta de ajustes utilizando o RTA, conseqüentemente, a não modificação da velocidade/dificuldade, acarretou em mais tédio por parte dos jogadores. Os valores de frustração estão muito próximos para os diferentes tipos de algoritmo, tendo seus maiores valores no penúltimo nível.

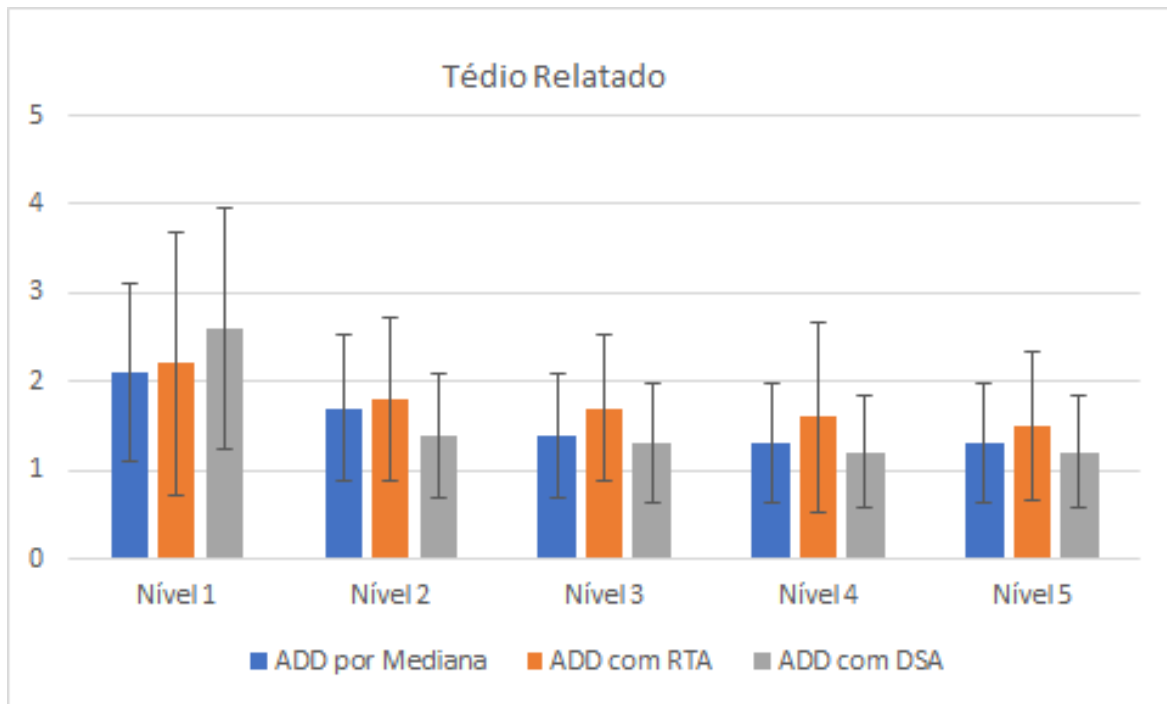


Figura 5.11: Gráfico com o tédio relatado pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.

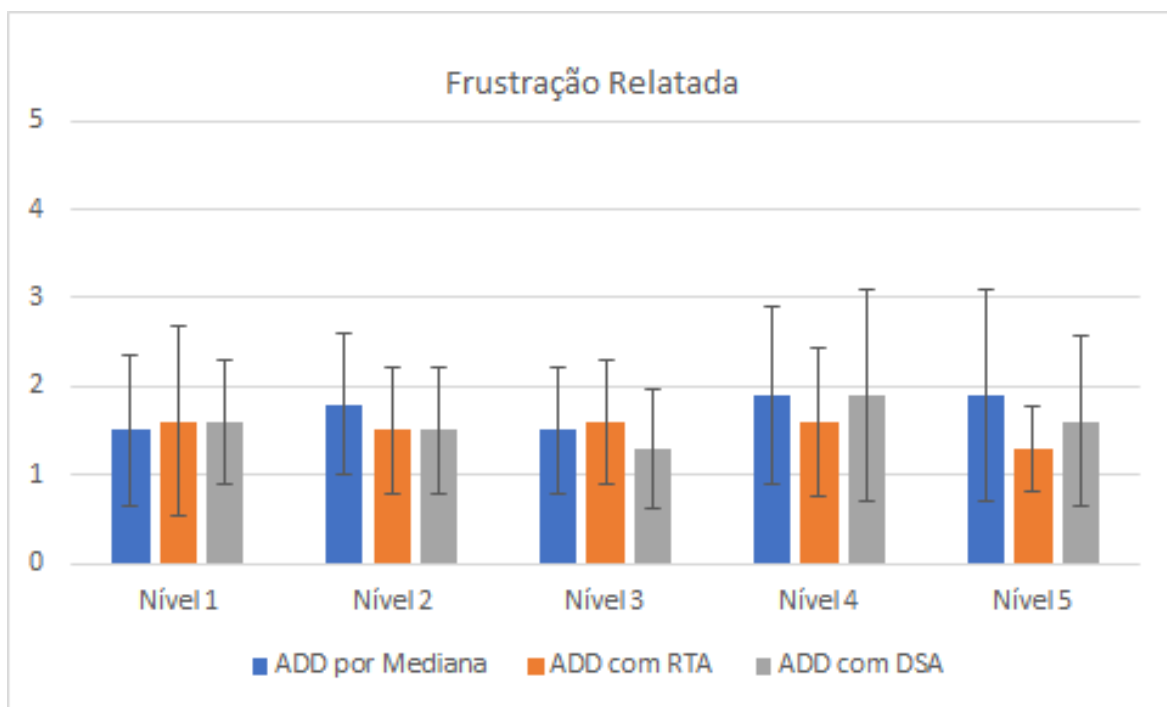


Figura 5.12: Gráfico com a frustração relatada pelos jogadores a partir do questionário, para cada nível em diferentes ADDs.

A dificuldade pode ser também correlacionada com o tempo em que os jogadores permaneceram no nível, a Tabela 5.1, Tabela 5.2 e Tabela 5.3 apresentam os valores em

Nível	Tempo Médio	Desvio Padrão
1	44,38	22,83
2	44,14	18,41
3	40,75	18,38
4	54,86	24,77
5	62,53	25,77

Tabela 5.1: Tempo Médio e desvio padrão de cada nível para ADD por Mediana.

Nível	Tempo Médio	Desvio Padrão
1	27,33	6,58
2	33,43	13,52
3	35,71	23,51
4	56,91	77,61
5	50,20	44,98

Tabela 5.2: Tempo Médio e desvio padrão de cada nível para ADD por RTA.

segundos das médias e desvio padrão do tempo em que os jogadores permaneceram nos níveis, cabe ressaltar que o tempo também era utilizado para enquadrar os jogadores nas zonas de desempenho, fator necessário para condicionar o ajuste. Ampliar os ajustes para diferentes zonas poderia acarretar em uma maior quantia no caso de algoritmos como o RTA.

O algoritmo por DSA também acarretou com seu aumento de dificuldade uma maior média de mortes no penúltimo e último nível, sendo quase o dobro do último nível utilizando a estratégia por mediana. O algoritmo utilizando RTA foi o que teve a menor quantidade de mortes, correlacionado a menor percepção de dificuldade por parte dos jogadores. Os valores de morte podem ser visualizados na Tabela 5.4, Tabela 5.5 e Tabela 5.6.

Com o questionário posterior ao jogo temos novamente a dificuldade relacionada ao ADD por DSA relatada pelos jogadores. 80% dos jogadores acharam que este ajuste foi o

Nível	Tempo Médio	Desvio Padrão
1	27,035	6,58
2	29,85	8,93
3	52,25	47,77
4	69,96	46,39
5	74,95	80,38

Tabela 5.3: Tempo Médio e desvio padrão de cada nível para ADD por DSA.

Nível	Média de Mortes	Desvio Padrão
1	0	0
2	0,2	0,42
3	0,4	0,97
4	0,9	1,20
5	1,8	1,48

Tabela 5.4: Média de mortes e desvio padrão de cada nível para ADD por Mediana.

Nível	Média de Mortes	Desvio Padrão
1	0	0
2	0,1	0,32
3	0,3	0,67
4	1,3	3,13
5	1	2

Tabela 5.5: Média de mortes e desvio padrão de cada nível para ADD por RTA.

Nível	Tempo Médio	Desvio Padrão
1	0	0
2	0,2	0,42
3	1	2
4	2,3	2,63
5	3,3	4,76

Tabela 5.6: Média de mortes e desvio padrão de cada nível para ADD por DSA.

mais desafiador. Outra pergunta que foi feita no questionário, era de qual ajuste o jogador achou mais apropriado, o termo utilizado foi comumente confundido por qual ajuste teria sido o mais fácil, tal que 80% dos jogadores responderam o ajuste por RTA nessa questão.

Pelo fato deste trabalho ter um caráter piloto devido a pequena quantidade de participantes envolvida, informações acerca do *gameplay* geral não podem ser distinguidas para qual ADD as proporcionou. Perguntas acerca do estado de fluxo do jogador foram realizadas no questionário final, mas por não ser possível distinguir qual ADD condicionou ao estado de fluxo, estas não trazem relevância para a análise.

Capítulo 6

Conclusão

Relacionado ao estudo conduzido por Fernandes [7] em sua seção de trabalho futuros, foi proposto neste trabalho duas formas adicionais de utilização o sinal de EDA para identificar o estado afetivo do jogador.

A partir dos dados coletados e das análises gráficas realizadas, foi possível observar os resultados da aplicação dos algoritmos em tempo real no jogo *Asteroids*, adaptado para utilizar os dados de EDA ao longo da fase. Porém a inserção dos ajustes em tempo real abre espaço para diversas questões acerca do *game design*, tal como a quantidade de velocidade que deve ser alterada em cada ajuste e quais limiares devem ser utilizados para identificar alterações.

O algoritmo por RTA proposto teve uma resposta visual e subjetiva satisfatória, considerando a saída gráfica do algoritmo proposto, que apresentou o mesmo comportamento do EDA bruto coletado. Porém em termos de *game design* o limiar utilizado acerca dos valores, não resultou em um ADD satisfatório, que gerou níveis de tédio elevados por apresentar uma dificuldade estagnada e fácil. Tais limiares e ajustes apresentam uma grande dificuldade de serem avaliados, por requererem testes com diferentes propostas.

Em contrapartida, o algoritmo por DSA conseguiu identificar e responder ao comportamento do EDA bruto de cada jogador, tal que os limiares utilizados apresentaram um caráter graficamente consistentes com os participantes utilizados. Novamente, é necessário verificar a quantia de velocidade a ser alterada nos momentos de ajustes, para impedir picos de dificuldade especialmente nos últimos níveis.

De acordo com os questionários posteriores às fases, a diversão relatada utilizando o algoritmo DSA foi superior ao por mediana proposto por Fernandes.

O algoritmo DSA sendo simples e intuitivo de ser portado para diferentes tipos de jogos apresentou uma resposta satisfatória no presente experimento, considerando a diversão relatada pelos jogadores. Se resgatarmos a divisão proposta por Fernandes [7], entre jogadores casuais e dedicados para a interpretação dos dados, a presença de dificuldades

elevadas poderia ser melhor aproveitada por jogadores dedicados, alterando a forma de interpretar altas excitações.

Por fim, vale ressaltar novamente que o número de voluntários com o qual o experimento foi conduzido neste trabalho o caracteriza como um piloto com o objetivo de fornecer um direcionamento para o uso de dados de EDA em tempo real em trabalhos futuros.

6.1 Trabalhos Futuros

O algoritmo aqui apresentado tal como os experimentos conduzidos foram desenvolvidos para o jogo *Asteroids* baseando-se nos trabalhos [7] e [9], mas podem ser inseridos em diferentes jogos, possibilitando trabalhos futuros para verificar a aplicação dos ADDs em diferentes gêneros de jogo.

Para analisar de forma mais robusta a aplicação do ADD utilizando RTA ou DSA, trabalhos futuros devem realizar testes com um conjunto maior de participantes. Para realizar um estudo com o objetivo de coletar também o aproveitamento dos jogadores, sugere-se uma dinamização na ordem dos ajustes apresentados aos participantes, tal como participantes diferentes testarem os diversos tipos de ajuste, de modo que cada participante seja apresentado a um único tipo de ajuste. Outra sugestão seria alterar a ordem dos ajustes apresentados ou inserir intervalos entre eles. Dessa forma, pode ser possível resgatar informações que possamos correlacionar com o estado de fluxo do jogador e atrelá-las ao tipo de ajuste que este jogou.

Neste trabalho não nos aprofundamos nos dados de dispersão encontrados nos experimentos realizados, estudos futuros com uma maior amostra de teste podem se aprofundar em análises acerca dessas medidas de dispersão, como também propor outros tipos de correlação e utilizar como por exemplo intervalos de confiança para verificar diferenças mais consistentes entre os tipos de ADD.

Outra problemática relativa ao estudo de ADD, que pode ser abordada em trabalhos futuros, seria a identificação de quais métricas são necessárias para se comparar diferentes ajustes, ou seja quais informações da experiência de jogo podem ser recolhidas para afirmar que determinado ajuste é mais satisfatório que o outro, para um maior quantitativo de jogadores.

Questões acerca do *game design* para mensurar a quantidade de velocidade a ser ajustada em cada identificação de pico, também é passível de experimentos com um conjunto de participantes mais abrangente. É possível também aplicar a remoção do limite de velocidade ajustável, de forma a identificarmos níveis extremos em que não é possível o jogador completá-lo. A velocidade que se altera a cada nível também pode ser um fator

a se ponderar, atrelar ajustes de velocidade ao longo do nível, em conjunto com ajustes variáveis ao se passar de nível.

Assim como no jogo *Electroderma*, podemos verificar a aplicação dos algoritmos em determinado jogo infinito, alterando a dinâmica do jogo *Asteroids* para não haver níveis, gerando uma linha de base do sinal EDA a partir da própria experiência de jogo.

É delicado tratar o dado de EDA devido aos diversos fenômenos que podem acarretar alterações no mesmo, podemos inserir estudos mais extensos para encontrar quais fatores alteram o EDA dentro ou fora do jogo, como fatores biomecânicos e variabilidade postural do jogador.

Tendo em vista o caráter subjetivo do resultado do algoritmo por RTA, caracterizando uma suavização da curva do EDA bruto, pode-se verificar a possibilidade da junção dos dois algoritmos propostos, uma vez que o DSA conseguiu identificar corretamente as alterações e comportamentos no sinal, aplicá-lo a um dado com o mesmo comportamento, porém suavizado, poderia reduzir a ocorrência de falsos positivos na identificação de alterações do EDA.

Referências

- [1] Posner, Jonathan E, James A Russell e Bradley S. Peterson: *The circumplex model of affect: an integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology*. Development and psychopathology, 17 3:715–34, 2005. x, 11, 12
- [2] Csikszentmihalyi, Mihaly: *Toward a Psychology of Optimal Experience*. In: *Flow and the Foundations of Positive Psychology*. Springer, 2014. x, 12, 13, 14
- [3] Chen, Jenova: *Flow in games (and everything else)*. Commun. ACM, 50(4):31–34, abril 2007, ISSN 0001-0782. <https://doi.org/10.1145/1232743.1232769>. x, 14, 15
- [4] Imre, Daniel: *Real-time analysis of skin conductance for affective dynamic difficulty adjustment in video games*, 2016. x, 1, 2, 17, 18, 19, 21, 22, 26, 37, 45
- [5] Rosa, Marcos Paulo Cayres: *Ajuste dinâmico de dificuldade híbrido em um jogo do gênero plataforma.*, 2019. x, 1, 2, 3, 19, 23, 24, 37, 38, 39, 43
- [6] Aguiar, João Victor Santos e Lucas Vanderlei Fernandes: *Ajuste dinâmico de dificuldade em jogos a partir de variáveis do jogo e do usuário.*, 2017. x, xii, 25, 26, 27, 28
- [7] Fernandes, Matheus Vieira: *Ajuste Dinâmico de Dificuldade em jogos digitais: um estudo de caso comparativo entre os modelos Afetivo e baseado em Desempenho.*, 2019. x, 2, 3, 19, 29, 30, 31, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 47, 49, 64, 65
- [8] Andrade, Gustavo, Geber Ramalho, Alex Gomes e Vincent Corruble: *Dynamic game balancing: An evaluation of user satisfaction*. páginas 3–8, janeiro 2006. 1, 17
- [9] Natal, Guilherme Victor Ramalho: *Uso de sensores no ajuste dinâmico de dificuldade híbrido em jogos*, 2018. 2, 3, 27, 29, 35, 36, 40, 65
- [10] Lopes, Isaac Moreira e Wagner Alberto Soares Junior: *Comparação entre modelos de ajuste dinâmico de dificuldade em um jogo do gênero plataforma/shooter.*, 2019. 2, 3
- [11] Mandryk, Regan L. e M. Stella Atkins: *A fuzzy physiological approach for continuously modeling emotion during interaction with play technologies*. International Journal of Human-Computer Studies, 65(4):329 – 347, 2007, ISSN 1071-5819. Evaluating affective interactions. 3, 16
- [12] Stenros, Jakko: *The game definition game: A review*. Games and Culture, 12(6):499–520, 2017. 5

- [13] Avedon, E.M. e B. Sutton-Smith: *The study of games*. J. Wiley, 1971, ISBN 9780471038399. 5
- [14] Salen, Katie e Eric Zimmerman: *Rules of Play: Game Design Fundamentals*. The MIT Press, 2003, ISBN 0262240459, 9780262240451. 5, 6, 7
- [15] Juul, Jesper: *The game, the player, the world: Looking for a heart of gameness*. páginas 30–45, 2003. 6
- [16] Salen, Zimmerman: *The Game Design Reader: a Rules of Play Anthology*. The MIT Press Cambridge, 2006. 6
- [17] *Casual games white paper*, 2006. 6
- [18] Isbister, Katherine e Noah Schaffer: *Chapter 10 - the strange case of the casual gamer*. Em Isbister, Katherine e Noah Schaffer (editores): *Game Usability*, páginas 143 – 158. Morgan Kaufmann, Boston, 2008, ISBN 978-0-12-374447-0. 7
- [19] M.Seif El-Nasr, A. Drachen, A. Canossa: *Game Analytics: Maximizing the Value of Player Data*. Springer London, 2013, ISBN 978-1-4471-4768-8. 7, 8, 9
- [20] Freeman, R. Edward e David L. Reed: *Stockholders and stakeholders: A new perspective on corporate governance*. California Management Review, 25(3):88–106, 1983. 7
- [21] *Telemetry*. <https://academic-eb-britannica.ez54.periodicos.capes.gov.br/levels/collegiate/article/telemetry/71586>, 2018. Acessado em 14/08/2018. 8
- [22] Soh, P. J., B. Van den Bergh, H. Xu, H. Aliakbarian, S. Farsi, P. Samal, G. A. E. Vandenbosch, D. M. M. . Schreurs e B. K. J. C. Nauwelaers: *A smart wearable textile array system for biomedical telemetry applications*. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 61(5):2253–2261, Maio 2013, ISSN 0018-9480. 8
- [23] Hussey, Nigel E., Steven T. Kessel, Kim Aarestrup, Steven J. Cooke, Paul D. Cowley, Aaron T. Fisk, Robert G. Harcourt, Kim N. Holland, Sara J. Iverson, John F. Kocik, Joanna E. Mills Flemming e Fred G. Whoriskey: *Aquatic animal telemetry: A panoramic window into the underwater world*. Science, 348(6240), 2015, ISSN 0036-8075. <http://science.sciencemag.org/content/348/6240/1255642>. 8
- [24] Manzie, Chris, Tae Soo Kim e Rahul Sharma: *Optimal use of telemetry by parallel hybrid vehicles in urban driving*. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 25:134 – 151, 2012, ISSN 0968-090X. 8
- [25] Drachen, Anders, Christian Thureau, Rafet Sifa e Christian Bauckhage: *A comparison of methods for player clustering via behavioral telemetry*. CoRR, abs/1407.3950, 2014. <http://arxiv.org/abs/1407.3950>. 8
- [26] Gagné, André R., Magy Seif El-Nasr e Chris D. Shaw: *Analysis of telemetry data from a real-time strategy game: A case study*. Comput. Entertain., 10(1):2:1–2:25, 2012, ISSN 1544-3574. <http://doi-acm-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/10.1145/2381876.2381878>. 8

- [27] El-Nasr, Magy Seif, Heather Desurvire, Bardia Aghabeigi e Anders Drachen: *Game analytics for game user research, part 1: A workshop review and case study*. 2013. 9
- [28] Sánchez, José Luis González, Natalia Padilla Zea e Francisco Luis Gutiérrez Vela: *From usability to playability: Introduction to player-centred video game development process*. Em *HCI*, 2009. 9
- [29] Magy Seif El-Nasr, Heather Desurvire: *Methods for game user research, studying player behavior to enhance game design*. 2013. 10
- [30] Nacke, E. L.: *Games user research and gamification in human-computer interaction*, 2017. 10
- [31] Myers, David G.: *Psicologia*. LTC, 9ª edição, 2015. 10
- [32] Luke J. Chang, Alec Smith: *Social emotions and psychological games*. páginas 133–140, 2015. 11
- [33] J. Lang, Peter: *The emotion probe: Studies of motivation and attention*. 50:372–85, junho 1995. 11, 16
- [34] Russell, James A.: *A circumplex model of affect*. *Journal of Personality and Social Psychology*, 1980. 11
- [35] Csikszentmihalyi, Mihaly: *Flow: The Psychology of Optimal Experience*. janeiro 1990. 12, 13
- [36] Oonagh M. Giggins, Ulrik McCarthy Persson, Brian Caulfield: *Biofeedback in rehabilitation*. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2013. 15
- [37] Soares, Rodrigo, Elton Sarmanho, Marco Miura, Tiago Silva, Ricardo Jacobi e Carla Castanho: *Biofeedback sensors in game telemetry research*. *Proceedings of SBGames*, páginas 81–89, 2016. 15
- [38] Soares, Rodrigo, Elton Sarmanho, Marco Miura, Tiago Silva, Ricardo Jacobi e Carla Castanho: *Biofeedback sensors in electronic games: A practical evaluation*, 2017. 15
- [39] Psychology, R.M.S.D.P., W.J.R.A.P. Psychology e K.S.Q.A.P.P.P.S. University: *Psychophysiological Recording*. *Psychophysiological Recording*. Oxford University Press, USA, 2000, ISBN 9780198027348. 16
- [40] Tassinary, Louis, John Cacioppo e Eric Vanman: *The skeletomotor system: Surface electromyography*. janeiro 2007. 16
- [41] Dawson, Michael, Anne Schell e Diane Filion: *The electrodermal system*. janeiro 2007. 16, 43
- [42] Drachen, Anders, Lennart E. Nacke, Georgios Yannakakis e Anja Lee Pedersen: *Correlation between heart rate, electrodermal activity and player experience in first-person shooter games*. Em *Proceedings of the 5th ACM SIGGRAPH Symposium on Video Games, Sandbox '10*, páginas 49–54, New York, NY, USA, 2010. ACM, ISBN 978-1-4503-0097-1. <http://doi.acm.org/10.1145/1836135.1836143>. 16, 17

- [43] Leiner, Dominik, Andreas Fahr e Hannah Früh: *Eda positive change: A simple algorithm for electrodermal activity to measure general audience arousal during media exposure*. *Communication Methods and Measures*, 6:237–250, dezembro 2012. 16, 21, 45
- [44] Souza, Danillo Neves: *Cybersickness e Dados Fisiológicos: Um Estudo Exploratório*, 2020. 16, 43, 44
- [45] Mandryk, Regan L. e Kori M. Inkpen: *Physiological indicators for the evaluation of co-located collaborative play*. Em *Proceedings of the 2004 ACM Conference on Computer Supported Cooperative Work, CSCW '04*, páginas 102–111, New York, NY, USA, 2004. ACM, ISBN 1-58113-810-5. <http://doi.acm.org/10.1145/1031607.1031625>. 17
- [46] Ravaja, Niklas: *Contributions of psychophysiology to media research: Review and recommendations*. *Media Psychology*, 6(2):193–235, 2004. 17
- [47] Kivikangas, J. Matias, Jari Kätsyri, Simo Järvelä e Niklas Ravaja: *Gender differences in emotional responses to cooperative and competitive game play*. *PLOS ONE*, 9(7):1–16, julho 2014. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100318>. 17
- [48] Lazzaro, Nicole: *Why we play games: Four keys to more emotion without story*. janeiro 2004. 19, 20
- [49] Gilleade, Kiel M e Alan Dix: *Using frustration in the design of adaptive videogames*. Em *Proceedings of the 2004 ACM SIGCHI International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology, ACE '04*, páginas 228–232, New York, NY, USA, 2004. ACM, ISBN 1-58113-882-2. <http://doi.acm.org/10.1145/1067343.1067372>. 20
- [50] Fairclough, Stephen e Kiel Gilleade: *Advances in Physiological Computing*. janeiro 2014, ISBN 978-1-4471-6391-6. 21, 45
- [51] Alberto Greco, Gaetano Valenza, Enzo Scilingo: *Modeling for the analysis of the eda*, 2016, ISBN 978-3-319-46704-7. 25

Apêndice A

Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

(De acordo com as normas da Resolução nº 466, do Conselho Nacional de Saúde de 12/12/2012)

Você está sendo convidado para participar da pesquisa sobre **ajuste dinâmico em jogos digitais a partir de variáveis do jogo e dados fisiológicos**. A qualquer momento você pode desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição.

Os objetivos deste estudo são: **testar um modelo multimétodo de análise de imersão e investigar o impacto de diferentes técnicas de adaptação de jogos**.

Sua participação nesta pesquisa consistirá em interagir com um jogo, de modo que serão coletados dados fisiológicos através do uso de sensores (EDA – atividade eletrodérmica, HR – frequência cardíaca, BVP – Batimentos Ventriculares Prematuros, temperatura da pele).

Os riscos relacionados a sua participação são nulos, de modo que o ambiente do experimento e os equipamentos são seguros, não havendo uso de produtos químicos ou equivalentes. Em função da pandemia que assola o país no momento, destaca-se que será mantido o distanciamento social durante a realização do experimento, assim como a higienização com álcool 70% de todos os equipamentos com os quais o participante tiver que entrar em contato.

O benefício da sua participação é ajudar diretamente um projeto de pesquisa de graduação, de modo a fornecer dados experimentais fidedignos.

As informações obtidas através dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre a sua participação. Os dados não serão divulgados de forma a possibilitar sua identificação. Ao final da análise dos dados, todas as informações pertinentes a sua participação serão excluídas.

Uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido ficará com o senhor (a), podendo tirar suas dúvidas sobre o projeto e sua participação, agora ou a qualquer momento com o pesquisador responsável Rennê Ruan Alves Oliveira no e-mail renneruan@hotmail.com ou no telefone (61) 99144-7230

Pesquisador Responsável

Declaro que entendi os objetivos, riscos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

Brasília, ____ de ____ de 20__.

Sujeito da pesquisa

E-mail para contato

Pai / Mãe ou Responsável Legal (Caso o sujeito seja menor de idade)

Apêndice B

Questionários

Questionários aplicados aos participantes acerca de dados sociodemográficos e a percepção destes quanto ao *gameplay*.

B.1 Questionário sociodemográfico

1. Qual a sua idade? [caixa de texto]
2. Qual o seu gênero? [múltipla escolha]
 - Feminino
 - Masculino
 - Outro
3. O quanto você se considera um jogador dedicado? [escala de 1 a 5]
 - Casual - Dedicado
4. O quão familiarizado você está com jogos shooter 2D? [escala de 1 a 5]
5. O quanto você gosta de jogos shooter 2D [escala de 1 a 5]
6. Em qual dificuldade você costuma jogar? [múltipla escolha]
 - Fácil
 - Médio
 - Difícil
7. Com que frequência você joga nos seguintes dispositivos? [grade de escalas de 1 a 5]

- Nunca - Diariamente
- (a) Celular / tablet
 - (b) Console de mesa (ex: PlayStation 4, XBOX One, Nintendo Wii)
 - (c) Console portátil (ex: Nintendo 3DS, Playstation Vita)
 - (d) Computador pessoal (desktop ou laptop)

B.2 Questionário após a fase

1. De 1 a 10 o quão difícil foi esse nível? [escala de 0 a 10]
 - Muito fácil - Muito difícil
2. De 1 a 5 você achou esse nível:
 - Não tedioso - Muito tedioso
 - Não frustrante - Muito frustrante
 - Muito chato - Muito divertido

B.3 Questionário acerca do *gameplay* geral

1. Como você considera o seu desempenho no jogo? [escala de 1 a 5]
 - Péssimo - Ótimo
2. Você concorda com a seguinte afirmação? [grade de escalas de 1 a 5]
 - Discordo muito - Concordo muito
 - (a) O jogo foi desafiador
 - (b) Eu fui desafiado pelo jogo, mas achei capaz de superar todos os desafios
 - (c) A dificuldade do jogo foi apropriada
 - (d) Eu gostei da experiência de jogar esse jogo
 - (e) Minha atenção estava inteiramente focada no jogo
 - (f) Em vários momentos me vi fazendo coisas automaticamente, sem que tivesse que pensar
 - (g) Eu perdi a noção do tempo enquanto jogava o jogo
3. Qual das sessões de jogo teve uma dificuldade mais confortável?

- Primeira sessão (ADD por Mediana)
- Segunda sessão (ADD por RTA)
- Terceira sessão (ADD por DSA)

4. Qual das sessões de jogo teve uma dificuldade mais desafiadora?

- Primeira sessão (ADD por Mediana)
- Segunda sessão (ADD por RTA)
- Terceira sessão (ADD por DSA)

5. Qual das sessões de jogo foi a mais frustrante?

- Primeira sessão (ADD por Mediana)
- Segunda sessão (ADD por RTA)
- Terceira sessão (ADD por DSA)