

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**SENSORES DE BIOFEEDBACK  
EM JOGOS ELETRÔNICOS:  
UM ESTUDO TEÓRICO E PRÁTICO**

**Rodrigo Teixeira Soares**



**ENGENHARIA  
MECATRÔNICA**  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
Faculdade de Tecnologia  
Curso de Graduação em Engenharia de Controle e Automação

TRABALHO DE GRADUAÇÃO

**SENSORES DE BIOFEEDBACK  
EM JOGOS ELETRÔNICOS:  
UM ESTUDO TEÓRICO E PRÁTICO**

**Rodrigo Teixeira Soares**

*Trabalho de Graduação submetido como requisito parcial de obtenção do grau de Engenheiro de Controle e Automação.*

Banca Examinadora

Carla D. Castanho, CIC/UnB  
*Orientador*

\_\_\_\_\_

Ricardo P. Jacobi, CIC/UnB  
*Examinador*

\_\_\_\_\_

Antônio Padilha L. Bo, ENE/UnB  
*Examinador*

\_\_\_\_\_

**Brasília, 16 de dezembro de 2016**

## FICHA CATALOGRÁFICA

SOARES, RODRIGO TEIXEIRA

Sensores de Biofeedback em Jogos Eletrônicos: um estudo teórico e prático [Distrito Federal] 2016. xi, 57p., 210 x 297 mm (FT/UnB, Engenheiro, Controle e Automação, 2016).

Trabalho de Graduação – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia.

1. Sensores

2. Biofeedback

3. Game Analytics

4. Jogos Eletrônicos

I. Mecatrônica/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOARES, R.T. (2016). Sensores de Biofeedback em Jogos Eletrônicos: um estudo teórico e prático, Trabalho de Graduação em Engenharia de Controle e Automação, Publicação TG-039/2016, Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 57p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Rodrigo Teixeira Soares

TÍTULO: Sensores de Biofeedback em Jogos Eletrônicos: um estudo teórico e prático.

GRAU: Engenheiro ANO: 2016

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta trabalho de graduação e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa trabalho de graduação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

Rodrigo Teixeira Soares

Faculdade de Tecnologia - FT

Universidade de Brasília (UnB)

Campus Darcy Ribeiro

CEP 70919-970 - Brasília - DF - Brasil

*Dedico este trabalho à minha família,  
aos meus amigos e aos profissionais da  
Universidade de Brasília que me ensina-  
ram tanto nestes anos.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Gostaria de agradecer ao apoio que a minha família e meus amigos me deram nestes anos difíceis mas gratificantes do curso. Agradeço também a todos os professores, especialmente à minha professora orientadora, que me guiaram no meu caminho da melhor forma possível.*

---

## RESUMO

*Game Analytics* é uma das novas tendências de investigação na indústria de jogos digitais. Ela consiste em analisar as variáveis obtidas durante uma sessão de jogo, com o objetivo de melhorar o *design* de jogos e também para colaborar com a pesquisa de análise do comportamento do jogador. Estes dados podem ser adquiridos a partir do próprio jogo, como progresso nas fases, duração da sessão ou o desempenho geral do jogador; ou a partir dos usuários, como frequência cardíaca, atividade cerebral, movimento dos olhos ou qualquer indício de atenção, diversão ou tédio. O processo automático utilizado para capturar estes dados é chamado de *Game Telemetry* (Telemetria de Jogos). Diversos estudos vem propondo meios diferentes de aplicar técnicas de medição para utilizar sensores específicos, com o objetivo de obter os dados do jogador. Neste trabalho, o objetivo é realizar um levantamento acerca dos usos de sensores de *Biofeedback* em estudos recentes no contexto de telemetria de jogos, bem como uma avaliação prática do uso destes sensores, quando utilizados para prever o comportamento do jogador em diferentes gêneros de jogos. Mais precisamente, foi conduzido um experimento com três sensores de *biofeedback* (Eletrocardiografia, Sensor de Resposta Galvânica da Pele, e Eletromiografia) com o intuito de verificar a adequação destes sensores para a identificação de emoções do jogador em função do gênero do jogo.

---

## ABSTRACT

Game Analytics is one of the new research trends in digital games' industry. It consists of analyzing the variables collected during a game session in order to improve game designing and collaborate with gamer behavior research as well. These data may be acquired from the game itself, such as level progression, session duration and the user's overall performance; or from the users, like heartbeat, brain activity, gaze movement or any indication of attention, fun or boredom. The automatic process used to capture such data is called game telemetry. Several studies have been proposing different ways to apply measurement techniques and to employ specific sensors to collect user data. In this work, the objective is to perform a survey about the uses of Biofeedback sensors in recent studies in the context of game telemetry, as well as a practical evaluation of the use of these sensors, when used to predict the behavior of the player in different genres of games. More precisely, an experiment with three biofeedback sensors (Electrocardiography, Electrodermal Activity Sensor, and Electromyography) was conducted to verify the suitability of these sensors to identify the player's emotions according to the genre of the game.

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CONCEITOS FUNDAMENTAIS</b>	<b>3</b>
2.1	<i>Game Analytics</i>	3
2.2	TELEMETRIA DE JOGOS	3
2.3	INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA	4
2.4	<i>Biofeedback</i>	4
2.4.1	SENSORES DE AQUISIÇÃO DE DADOS DE <i>Biofeedback</i>	5
2.4.1.1	MONITOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA (HR - <i>Heart Rate Monitor</i> )	6
2.4.1.2	ELETROCARDIOGRAFIA (ECG - <i>Electrocardiography</i> )	6
2.4.1.3	SENSOR DE RESPOSTA GALVÂNICA DA PELE (EDA - <i>Electrodermal Activity Sensor</i> )	7
2.4.1.4	ELETROMIOGRAFIA (EMG - <i>Electromyography</i> )	8
2.4.1.5	ELETROENCEFALOGRAFIA (EEG - <i>Electroencephalography</i> )	9
2.4.1.6	SENSOR DE RESPIRAÇÃO (RSP - <i>Respiration Sensor</i> )	10
2.4.1.7	SENSORES DE MOVIMENTO (MV - <i>Motion Sensor</i> )	10
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DOS SENSORES DE BIOFEEDBACK EM JOGOS ELETRÔNICOS</b>	<b>13</b>
3.1	MONITOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA	14
3.2	ELETROCARDIOGRAFIA	15
3.3	SENSOR DE RESPOSTA GALVÂNICA DA PELE	16
3.4	ELETROMIOGRAFIA	17
3.5	ELETROENCEFALOGRAFIA	18
3.6	SENSOR DE RESPIRAÇÃO	18
3.7	SENSOR DE MOVIMENTO	19
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTO COM SENSORES</b>	<b>20</b>
4.1	VISÃO GERAL	20
4.1.1	OBJETIVO	20
4.1.2	CENÁRIO	20
4.2	APARATO TECNOLÓGICO	21
4.2.1	<i>Hardware</i>	21
4.2.1.1	COMPUTADOR E PERIFÉRICOS	21
4.2.1.2	KIT DE SENSORES	21
4.2.1.3	SENSOR ECG	22
4.2.1.4	SENSOR EMG	23
4.2.1.5	SENSOR EDA	24
4.2.2	<i>Software</i>	25
4.2.2.1	OPEN SIGNALS - COLETA DE DADOS	25
4.2.2.2	FERRAMENTAS	25

4.2.2.3 JOGOS .....	26
4.3 O EXPERIMENTO .....	27
4.3.1 COLETA DE DADOS .....	28
4.3.2 VALIDAÇÃO DOS DADOS .....	29
4.3.3 TRATAMENTO DOS DADOS.....	29
4.3.3.1 OBTENÇÃO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA.....	29
4.3.3.2 COMPARAÇÃO COM A REFERÊNCIA.....	31
4.3.3.3 ADEQUAÇÃO DAS RESPOSTAS DO QUESTIONÁRIO.....	31
4.4 RESULTADOS.....	32
4.4.1 RESULTADOS DO SENSOR ECG.....	32
4.4.2 RESULTADOS DO SENSOR EDA.....	32
4.4.3 RESULTADOS DO SENSOR EMG.....	33
4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	36
4.5.1 ANÁLISE DO DESEMPENHO GERAL .....	37
4.5.2 ANÁLISE PARA OS GÊNEROS DE JOGOS.....	37
<b>5 CONCLUSÃO.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>44</b>
1 QUESTIONÁRIO .....	45
2 RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO .....	46
3 GRÁFICOS GERADOS .....	48



2.1	ALGUMAS CATEGORIAS DE <i>biofeedback</i> [1].....	5
2.2	EXEMPLOS DE SENSORES DE <i>biofeedback</i> [2].....	5
2.3	UM DIAGRAMA ELETRÔNICO DE UM MONITOR CARDÍACO [3].....	6
2.4	UM GRÁFICO GERADO POR ELETROCARDIOGRAFIA [4]. ....	7
2.5	UMA FORMA DE ONDA DE ECG COMUM [5].....	7
2.6	<i>Emotion Board</i> , UM SENSOR EDA [6]. ....	8
2.7	EXEMPLO DE UM SENSOR EMG [7]. ....	9
2.8	ALGUMAS REGIÕES DO CÉREBRO E SUAS FUNÇÕES [8].....	10
2.9	UM ESQUEMA DE UM SENSOR EEG [9]. ....	11
2.10	UM JOGADOR VESTINDO UM CINTO DE UM SENSOR DE RESPIRAÇÃO [10]. ....	11
2.11	EXEMPLO DE UM JOGO COM <i>biofeedback</i> QUE UTILIZA O SENSOR KINECT [11]....	12
4.1	UM KIT DE SENSORES BITALINO[12].....	22
4.2	POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS DO SENSOR ECG [13].....	23
4.3	POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS DO SENSOR EMG [14].....	24
4.4	POSICIONAMENTO DOS ELETRODOS DO SENSOR EDA [15].....	25
4.5	EXEMPLO DE UMA COLETA DE DADOS DO SENSOR ECG ATRAVÉS DO OPEN SIGNALS.....	26
4.6	<i>Screenshots</i> DOS JOGOS UTILIZADOS NO EXPERIMENTO.....	27
4.7	EXEMPLO DE UMA GRAVAÇÃO REALIZADA DURANTE O EXPERIMENTO. ....	28
4.8	EXEMPLO DA EXECUÇÃO DA FUNÇÃO <i>findpeaks</i> NO GRÁFICO DE ECG. ....	30
4.9	EXEMPLO DA EXTRAÇÃO DA FREQUÊNCIA CARDÍACA A PARTIR DO GRÁFICO DE ECG. ....	30
4.10	EXEMPLO DE UMA SUAVIZAÇÃO DA CURVA DE FREQUÊNCIA CARDÍACA A PARTIR DO GRÁFICO DE ECG. ....	30
4.11	EXEMPLO DA REPRESENTAÇÃO DOS INSTANTES EM QUE SENTIMENTOS SUAVES E INTENSOS OCORREM. ....	33
4.12	EXEMPLO DE UM GRÁFICO FINAL GERADO PARA UMA COLETA DO SENSOR ECG..	34
4.13	EXEMPLO DE UM GRÁFICO FINAL GERADO PARA UMA COLETA DO SENSOR EDA..	34
4.14	EXEMPLO DE UM GRÁFICO FINAL GERADO PARA UMA COLETA DO SENSOR EMG. ....	35
1	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 1.....	46
2	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 2.....	46
3	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 3.....	46
4	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 4.....	47
5	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 5.....	47
6	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 6.....	47
7	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 7.....	47
8	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 8.....	48
9	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 9.....	48

10	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 10 .....	48
11	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 11 .....	48
12	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 12 .....	48
13	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 13 .....	49
14	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 14 .....	49
15	RESPOSTAS DAS PERGUNTAS GERAIS DO QUESTIONÁRIO - PARTE 15 .....	49
16	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 1...	49
17	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 2...	49
18	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 3...	50
19	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 4...	50
20	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 5...	50
21	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 6...	50
22	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 1	50
23	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 2	50
24	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 3	51
25	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 4	51
26	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 5	51
27	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 6	51
28	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 1 .....	51
29	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 2 .....	51
30	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 3 .....	52
31	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 4 .....	52
32	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 5 .....	52
33	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 6 .....	52
34	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 1 .....	52
35	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 2 .....	52
36	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 3 .....	53
37	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 4 .....	53
38	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 5 .....	53
39	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR ECG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 6 .....	53
40	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 1...	53
41	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 2...	53
42	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 1	54
43	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 1 .....	54
44	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 2 .....	54

45	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 1 .....	54
46	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EDA - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 2 .....	54
47	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 1 ..	54
48	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 2 ..	55
49	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 3 ..	55
50	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 4 ..	55
51	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO ASTEROIDS - PARTICIPANTE 5 ..	55
52	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 1	55
53	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 2	55
54	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 3	56
55	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO PYDLASYIAS - PARTICIPANTE 4	56
56	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 1 .....	56
57	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 2 .....	56
58	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 3 .....	56
59	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 4 .....	56
60	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO SUPER TUX KART - PARTICIPANTE 5 .....	57
61	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 1 .....	57
62	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 2 .....	57
63	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 3 .....	57
64	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 4 .....	57
65	GRÁFICO GERADO PARA O SENSOR EMG - JOGO WIZZNIC - PARTICIPANTE 5 .....	57

3.1	LISTA DOS ARTIGOS PESQUISADOS E SEUS RESPECTIVOS SENSORES DE <i>biofeed-back</i> EMPREGADOS. ....	14
3.2	ESTUDOS AGRUPADOS DE ACORDO COM A ABORDAGEM DE USO DO SENSOR. ....	15
3.3	ARTIGOS QUE UTILIZAM O MONITOR CARDÍACO, AGRUPADOS DE ACORDO COM O USO.....	16
3.4	ESTUDOS QUE USAM O ECG, AGRUPADOS DE ACORDO COM O USO. ....	16
3.5	SENSORES QUE UTILIZAM O EDA, AGRUPADOS DE ACORDO COM O USO. ....	17
3.6	ESTUDOS QUE USAM O EMG, AGRUPADOS DE ACORDO COM O USO. ....	17
3.7	ESTUDOS QUE USAM O EEG, AGRUPADOS DE ACORDO COM O O USO. ....	18
3.8	ESTUDOS QUE USAM O SENSOR DE RESPIRAÇÃO, AGRUPADOS DE ACORDO COM O USO.....	18
3.9	ESTUDOS QUE USAM SENSORES DE MOVIMENTO, AGRUPADOS DE ACORDO COM SEU USO.....	19
4.1	ESTADOS EMOCIONAIS DIVIDIDOS EM DUAS CATEGORIAS. ....	32
4.2	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR ECG.....	33
4.3	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR ECG, JOGO ASTEROIDS. ....	33
4.4	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR ECG, JOGO PYDLASYIAS.....	33
4.5	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR ECG, JOGO WIZZNIC. ....	35
4.6	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR ECG, JOGO SUPER TUX KART. ....	35
4.7	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EDA. ....	35
4.8	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EDA, JOGO ASTEROIDS. ....	35
4.9	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EDA, JOGO PYDLASYIAS.....	36
4.10	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EDA, JOGO WIZZNIC. ....	36
4.11	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EDA, JOGO SUPER TUX KART. ....	36
4.12	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EMG. ....	36
4.13	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EMG, JOGO ASTEROIDS. ....	36
4.14	DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EMG, JOGO PYDLASYIAS.....	36

4.15 DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EMG, JOGO WIZZNIC. ....	36
4.16 DETECÇÃO DE EVENTOS CAUSADOS POR EMOÇÕES INTENSAS, SENSOR EMG, JOGO SUPER TUX KART. ....	37

Neste trabalho, ao referenciar cada tipo de sensor estudado, são utilizadas as seguintes siglas:

- ECG: Eletrocardiografia (*Electrocardiography*)
- EDA: Sensor de Reposta Galvânica da Pele (*Electrodermal Activity Sensor*)
- EEG: Eletroencefalografia (*Electroencephalography*)
- EMG: Eletromiografia (*Electromyography*)
- HR: Monitor Cardíaco (*Heart Rate Monitor*)
- MV: Sensor de Movimento (*Motion Sensor*)
- RSP: Sensor de Respiração (*Respiration Sensor*)

# 1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de jogos, em seus primeiros anos, era um processo de experimentação baseado na introdução e teste de novos conceitos [16]. Desde então, muitas teorias de *design* foram criadas e estudadas nesta área, baseados nos novos jogos e gêneros que se destacaram nas décadas seguintes. Quando novos jogos se tornavam grandes sucessos, estes introduziam novos conceitos ou gêneros que auxiliavam no crescimento da indústria. Entretanto, estes casos nem sempre forneciam informações úteis ou algum tipo de receita para desenvolver sistematicamente um jogo memorável, pois o comportamento do usuário e a aceitação do jogo não eram facilmente previsíveis.

Nos anos recentes, com o objetivo de melhorar o processo de desenvolvimento de jogos e analisar o comportamento do jogador, o *design* de jogos está se direcionando para uma nova abordagem. Para *designers* contemporâneos, ficou claro que mais informação sobre a experiência do usuário era necessária para identificar e analisar os aspectos que produzem um jogo notável. Diversos estudos apontam que um *design* de jogos orientado por dados não é somente benéfico para a indústria, mas também necessário, dada a diversificação do mercado, tanto na esfera dos consumidores quanto das empresas [17].

*Game Analytics*, então, surgiu como uma nova ferramenta de suporte no processo de concepção de um jogo. A aplicação da análise de dados de jogos serve como uma ferramenta poderosa quando se tem em mente a preferência dos usuários e a sua reação esperada ao jogo [17]. Recentemente, os jogos vem sendo desenvolvidos e melhorados não somente com a experiência do *designer*, mas também baseado em dados reais derivados diretamente do jogo e de seus usuários. Taxa de progressão nas fases, duração média de uma sessão de jogo e outras variáveis relacionadas ao jogo estão sendo obtidas e armazenadas com o objetivo de avaliar a evolução do jogador dentro do jogo, além de outros aspectos relevantes. Além disso, os próprios usuários também fornecem informações valiosas, pois seu nível de entusiasmo pode ser avaliado para determinar quais momentos são eletrizantes ou tediosos, por exemplo.

Telemetria de jogos, como é chamado o processo de medir dados de jogos de uma fonte distante [17], é um passo chave em *Game Analytics* para reunir informações sobre jogo e o jogador. Enquanto os dados do jogo são obtidos diretamente através de métodos computacionais internos a ele e enviados através da rede, por exemplo, os dados do usuário são adquiridos através de sensores e sistemas supervisores que estão ligados fisicamente à pessoa. Os dispositivos aplicados normalmente medem dados de *Biofeedback*, ou seja, dados provenientes dos sistemas fisiológicos e motores do corpo humano [1]. Além disso, questionários aplicados após a sessão de jogo também são meios de coleta de dados acerca do jogador.

Este trabalho tem como um dos objetivos fazer um levantamento e apresentar os esforços recentes de pesquisa no que diz respeito à aquisição de dados de usuários de jogos, tais como [18] [11] [10] [19] [20] [21]. Tais trabalhos possuem objetivos e ambientação diferentes, pois alguns são focados nos métodos de uso do sensor, enquanto outros propõem outras aplicações dos mesmos dispositivos ou métodos estatísticos para melhorar a análise de dados. Por outro lado, todos eles apresentam, de forma similar, um ambiente de coleta de dados, bem como uma forma de avaliar os resultados

comparados a uma base teórica. Além disso, a obtenção dos dados do usuário é cercada de um grande número de desafios, como limitações de *hardware*, sensores invasivos ou interferência de sinais. Estas barreiras serão ressaltadas no decorrer do trabalho para cada tipo de sensor apresentado.

Além disso, outro objetivo deste trabalho é apresentar um resultado prático no uso de estes sensores. Por isso, o presente estudo engloba a condução de um experimento, que consistiu na escolha de três sensores de *biofeedback* (ECG, EDA, e EMG) dentre os apresentados no levantamento, os quais foram utilizados para obter variáveis fisiológicas de jogadores durante várias sessões com diferentes gêneros de jogos eletrônicos. Mais precisamente o propósito principal do experimento foi verificar a adequação destes sensores para a identificação de emoções do jogador em função do gênero do jogo.

O restante deste documento está organizado na seguinte forma. O Capítulo 2 explica os principais conceitos utilizados na execução da pesquisa e do experimento. O Capítulo 3 apresenta o levantamento realizado acerca dos principais artigos relacionados a sensores de *biofeedback*. O experimento prático conduzido com os sensores ECG, EDA, e EMG é detalhado no Capítulo 4, desde a preparação até os resultados e análise. Por fim, o Capítulo 5 conclui este trabalho com algumas considerações finais e indicação de possíveis trabalhos futuros.



## 2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

### 2.1 GAME ANALYTICS

*Game Analytics* trata da aplicação de técnicas de análise na indústria de jogos [17]. Seu objetivo é auxiliar o processo de desenvolvimento em todas as suas fases: concepção, *design*, desenvolvimento, testes e lançamento. Também é utilizada em outros ramos da indústria de jogos, como modelagem, programação e negócios. Esta análise é feita a partir de dados provenientes de variáveis e métricas relacionadas ao jogo, experiência do usuário ou reação fisiológica (*biofeedback*).

Sua origem vem dos jogos *online* e da análise realizada por eles, como tráfego de usuários, quantidade de acessos etc. Isto proporcionou um grande crescimento em sua área, o que desde então vem incentivando outras empresas de jogos a aplicar as mesmas técnicas. Seu principal foco é o usuário, e como proporcionar a experiência mais completa para que este continue consumindo os jogos como forma de entretenimento. A análise das métricas do jogo e do usuário estão presentes não só durante o jogo, mas também em seu estágio de desenvolvimento, pois esta auxilia no refinamento das interações realizadas pelo jogo, a partir do *feedback* do jogador e de seu desempenho.

Cada empresa ou instalação de pesquisa possui sua própria metodologia para avaliar dados de jogo, e cada investigação leva a uma nova descoberta sobre o jogo e o comportamento do usuário. Assim, os pesquisadores são capazes de desenvolver um sistema que auxilia os *designers* de jogos a, eventualmente, ajustar, equilibrar e melhorar o jogo, baseado nestas informações.

### 2.2 TELEMETRIA DE JOGOS

Telemetria de jogos é o processo de adquirir dados do jogo a uma certa distância [17]. Ela dá suporte à *Game Analytics* e se caracteriza por receber dados de jogo através de servidores *online* ou de um conjunto de sensores instalados em uma estação de jogos próxima, por exemplo. Um cenário genérico inclui um cliente de jogo transmitindo dados sobre a interação usuário-jogo para um servidor, onde os dados são transformados e armazenados em um formato acessível, possibilitando a subsequente análise e descrição dos procedimentos. Há várias aplicações de telemetria de jogos, incluindo monitoramento remoto e análise de servidores de jogos, aparelhos móveis e comportamento de usuários.

A melhor fonte de telemetria de jogos apresentada neste trabalho é a telemetria do usuário, ou seja, aquisição dos dados de comportamento do usuário, como interações com o jogo, reações psicológicas, movimentação física, hábitos de compra ou interação com outros usuários, grupos ou aplicações [22]. Normalmente os dados são armazenados em grandes conjuntos de variáveis equivalentes, para que a análise seja mais simples e objetiva.

A obtenção de dados de jogos é empregada para ajudar em iniciativas de pesquisa em diversas áreas. Na indústria de jogos, ela pode ser usada para analisar o estado afetivo do jogador após certos

eventos ou para induzir reações específicas neste durante uma sessão de jogo, com o propósito de fornecer a melhor experiência. Este ramo é chamado de *Affective Gaming* [23]. Nas ciências da saúde, pode ser uma forma de auxiliar na realização de vários tipos de tratamentos para diferentes distúrbios e deficiências, utilizando jogos como uma forma de promover um experiência lúdica a pacientes, utilizando telemetria para medir seu progresso [24]. Em psicologia, é uma ferramenta de análise do comportamento humano durante uma interação homem-máquina, considerando os eventos do jogo como um estímulo cognitivo [4].

### 2.3 INTERAÇÃO HOMEM-MÁQUINA

O campo de estudo da Interação Homem-Máquina é um campo bastante amplo, interessado na experiência do usuário na utilização do computador. O conceito principal, relacionado com a abordagem centrada no usuário, é a usabilidade, que consiste na "efetividade, eficiência e satisfação com a qual usuários específicos conseguem atingir certos objetivos em determinados ambientes"[25]. Entretanto, quando se avalia a experiência de jogo, o padrão ISO 9241-11 não é suficiente [26]. Neste sentido, o conceito de "jogabilidade" é proposto para descrever os requisitos dos sistemas nos quais o objetivo é o entretenimento, ao invés da produtividade [27].

Como consequência, a experiência de jogo vem sendo medida em termos de construtos emocionais e cognitivos, como engajamento, imersão, presença, satisfação e *flow* [28]. A maioria dos trabalhos estudados nesta investigação utilizaram questionários para avaliar a experiência de jogo, entretanto, alguns utilizaram medidas objetivas, tais como movimento dos olhos, respostas fisiológicas e pressão do toque na tela para testar a sua efetividade e/ou compará-los às medidas subjetivas. Jennett et al. [29] mostraram que a imersão pode ser medida através do movimento dos olhos, que é caracterizada pela redução do número de fixações do olhar e o aumento da duração de cada fixação com o passar do tempo. Entretanto, a avaliação das emoções em jogos é feita, em sua maioria, através de respostas fisiológicas (frequência cardíaca, condutividade elétrica da pele, atividade cerebral etc.). Nas sessões seguintes, estas medidas serão descritas com maior detalhe.

### 2.4 BIOFEEDBACK

O método de obtenção de variáveis biológicas humanas, respondendo a estímulos em tempo real é chamado de *Biofeedback* [1]. Ele é dividido em duas principais categorias: biomecânico e fisiológico. O primeiro se refere ao movimento e a capacidades motoras, enquanto o outro corresponde às variáveis geradas pelo organismo humano, como temperatura ou batimentos cardíacos (Figura 2.1).

O *Biofeedback* é empregado nas ciências da saúde, principalmente quando lidam com tratamentos físicos de traumas e deficiências. Além disso, ele cumpre um papel importante no ramo de pesquisa em jogos ao fornecer a aquisição de dados do usuário para sua utilização em *Game Analytics*.

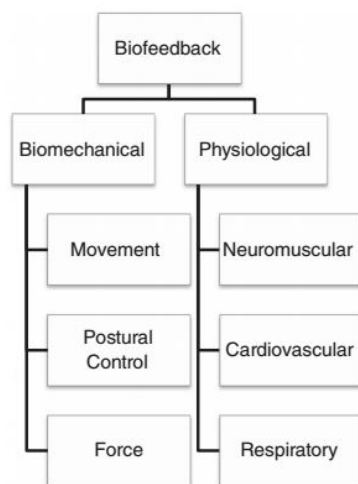


Figura 2.1: Algumas categorias de *biofeedback* [1].

#### 2.4.1 Sensores de Aquisição de Dados de *Biofeedback*

O processo de aquisição de dados de jogos consiste na obtenção do sinal elétrico emitido pelos sensores e na utilização de técnicas estatísticas para condicionar o sinal de modo que este seja melhor interpretado. Um papel importante neste esforço é desempenhado pelos sensores, pela forma como os dados biológicos são transformados em sinais. Sensores de *biofeedback* representam os dispositivos responsáveis por medir estes dados biológicos de uma pessoa [1] (Figura 2.2).

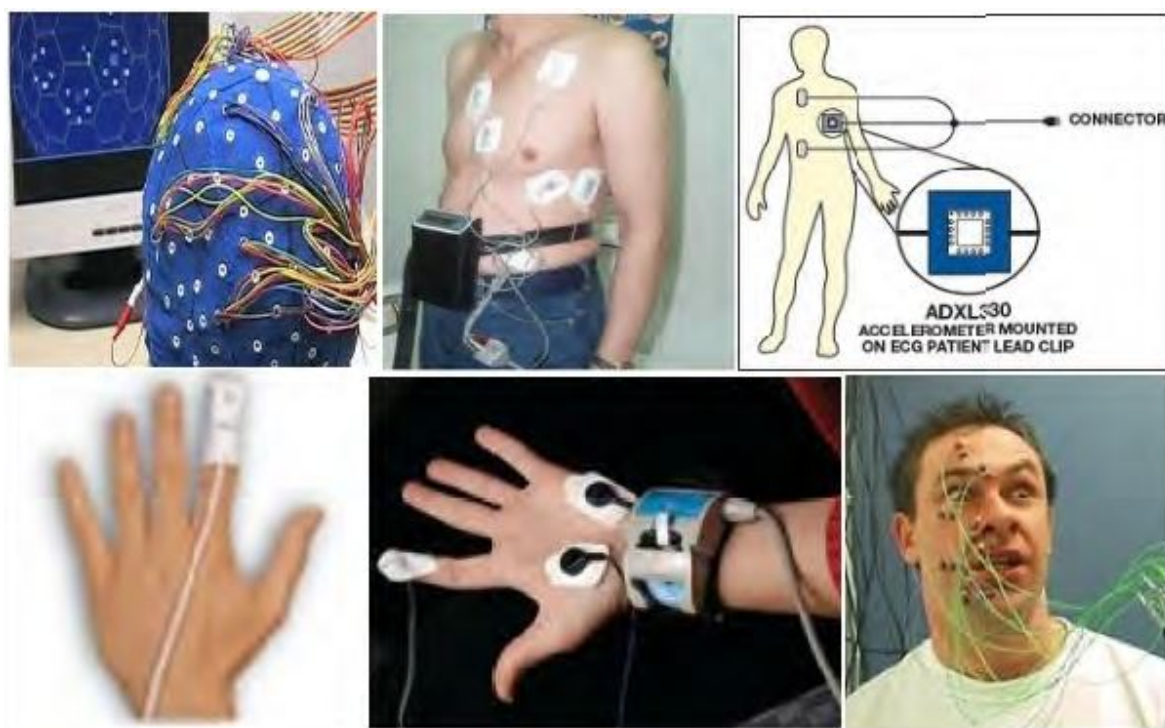


Figura 2.2: Exemplos de sensores de *biofeedback* [2].

Nesta seção, serão descritos os principais sensores utilizados para obter dados de *biofeedback* dos usuários para telemetria de jogos. Seus usos, as variáveis biológicas que podem ser obtidas, as

vantagens e desvantagens também serão apontados.

#### 2.4.1.1 Monitor de Frequência Cardíaca (HR - *Heart Rate Monitor*)

O monitor de frequência cardíaca é um sensor amplamente utilizado na telemetria de jogos [30] [31] [32] [33] [18] [34] [35] [36]. Ele detecta os batimentos cardíacos humanos e emite sinais a uma frequência equivalente, que podem ser utilizados para determinar a frequência de batimentos de uma pessoa com o tempo. Além disso, ele também é muito simples de se contruir e de baixo custo de produção [3]. A Figura 2.3 mostra um esquema eletrônico de um monitor cardíaco.

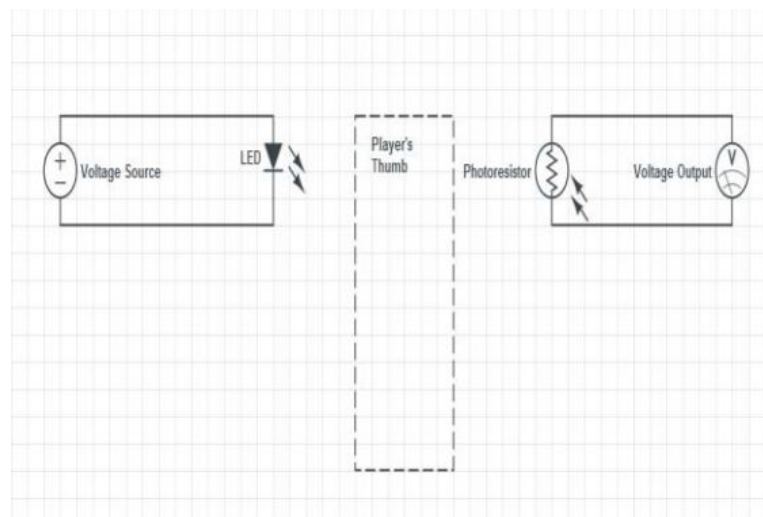


Figura 2.3: Um diagrama eletrônico de um monitor cardíaco [3].

Por ser um sensor simples, ele é bastante ruidoso e pouco confiável, quando utilizado em muitas aplicações. Porém, existem algumas técnicas utilizadas para superar estas desvantagens, como redução de ruídos e detecção de picos de batimentos cardíacos mais precisa [37]. Apesar disso, comparada aos dados gerados por uma eletrocardiografia, mostrados posteriormente na Subseção 2.4.1.2, uma análise de batimentos cardíacos é muito simplista.

Considerando o ambiente de jogos, a frequência cardíaca está normalmente relacionada a níveis de entusiasmo ou tédio, e é certamente um bom indicativo para expressar estes níveis de *stress* [38]. Portanto, a análise de batimentos cardíacos é geralmente utilizada para detectar momentos intensos no jogo, como cenas assustadoras ou sequências com bastante ação [31].

#### 2.4.1.2 Eletrocardiografia (ECG - *Electrocardiography*)

Eletrocardiografia é a técnica de geração da forma de onda elétrica do batimento cardíaco em um gráfico, chamado de eletrocardiograma (Figura 2.4) [39]. Esta ferramenta consiste em medir a atividade elétrica do coração de um usuário. Em relação ao monitor cardíaco, a Eletrocardiografia fornece mais formas de analisar a resposta cardíaca a estímulos.

A atividade elétrica do coração é obtida através de eletrodos posicionados no tórax do usuário. Um padrão dos dados coletados é desenhado em um gráfico, que representa os pulsos elétricos do

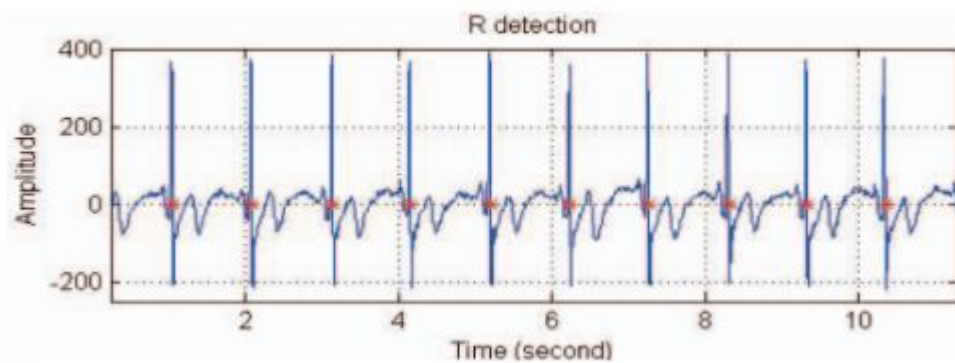


Figura 2.4: Um gráfico gerado por Eletrocardiografia [4].

coração durante uma sessão do exame. Cada pico e vale desenhados representam um pulso diferente da rotina de batimentos do coração (Figura 2.5) [5].

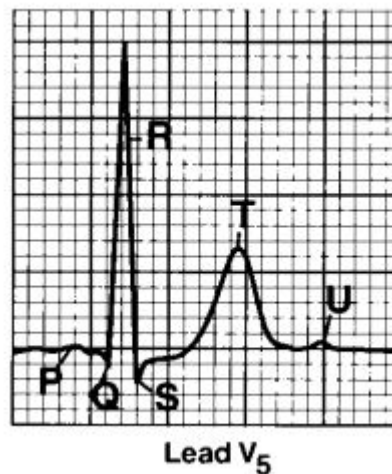


Figura 2.5: Uma forma de onda de ECG comum [5].

A partir do ECG, há vários indicativos de entusiasmo ou tédio, obtidos pela frequência cardíaca ou pela amplitude da onda, por exemplo. Entretanto, é possível extrair mais informações, aplicando técnicas de processamento de sinais no resultado gerado. A intensidade das atividades simpáticas e parassimpáticas, por exemplo, pode ser coletada a partir do sinal do ECG [4].

Apesar disso, como o ECG utiliza vários eletrodos colocados no peito do usuário, ele é um sensor relativamente invasivo, portanto, ele pode interferir com a experiência de jogo durante o processo de aquisição de dados. Outra desvantagem é que os sinais gerados requerem alguma manipulação antes de poderem ser analisados, logo, isto pode impor algumas limitações nos experimentos que requerem respostas em tempo real.

#### 2.4.1.3 Sensor de Resposta Galvânica da Pele (EDA - *Electrodermal Activity Sensor*)

*Electrodermal Activity (EDA)*, ou a resposta galvânica da pele, é a variação dos aspectos elétricos da pele, geralmente relacionado a algum tipo de reação do sistema nervoso simpático, indicando uma

mudança no nível de entusiasmo [40]. Esta atividade elétrica é gerada pelas glândulas de suor sob a pele.

O sensor é composto de eletrodos que detectam mudanças na condutividade da pele, e é tão invasivo quanto um monitor cardíaco, requerendo alguns fios e plugues na mão do usuário (Figura 2.6). Ele pode, portanto, atrapalhar o jogador caso ele precise utilizar suas mãos para utilizar um *joystick* ou mouse/teclado, por exemplo.

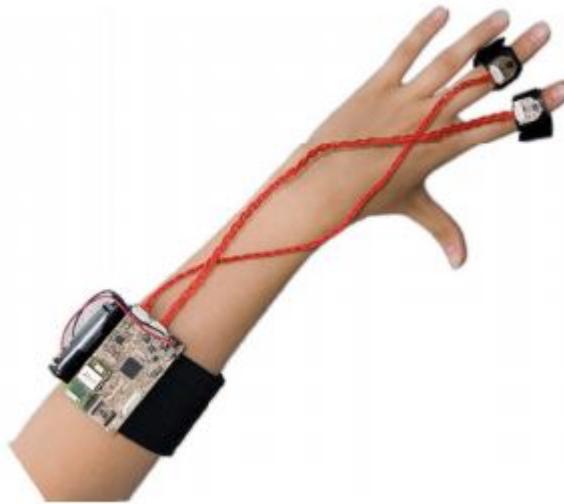


Figura 2.6: *Emotion Board*, um sensor EDA [6].

Na área de jogos, sensores EDA são utilizados para identificar variações de excitação causadas por algum evento na sessão de jogo. Infelizmente, eles possuem algumas falhas, como por exemplo os diversos padrões de atividade elétrica da pele causada pelos diferentes tipos de pele humana [9].

#### 2.4.1.4 Eletromiografia (EMG - *Electromyography*)

Eletromiografia é o processo de monitorar sinais elétricos dos músculos [41]. O sinal é gerado pelos nervos quando o músculo contrai ou relaxa e é detectado por eletrodos colocados na pele do usuário. Colocando os eletrodos no local adequado, é possível identificar movimentos de músculos específicos do corpo. A Figura 2.7 mostra uma situação onde cada eletrodo está coletando dados de um músculo da face e o conjunto está sendo utilizado para detectar emoções.

Para obter uma medida completa de uma região do corpo, vários eletrodos são posicionados e cada um é responsável por coletar os sinais elétricos de um único músculo naquela região. Ao combinar estes sinais, é possível analisar o movimento daquela parte do corpo.

Nas ciências médicas, o EMG pode ser utilizado em tratamentos de reabilitação, pois ele possui potencial para ser utilizado para observar o progresso do paciente e a resposta durante as sessões de exercícios [24][42]. Na indústria de jogos, o EMG pode ser estudado como uma forma de *input* dentro do jogo, para controlar o movimento do personagem, por exemplo [20]; e também como uma forma de adquirir informações sobre o estado emocional do jogador ao colocar eletrodos em seu rosto

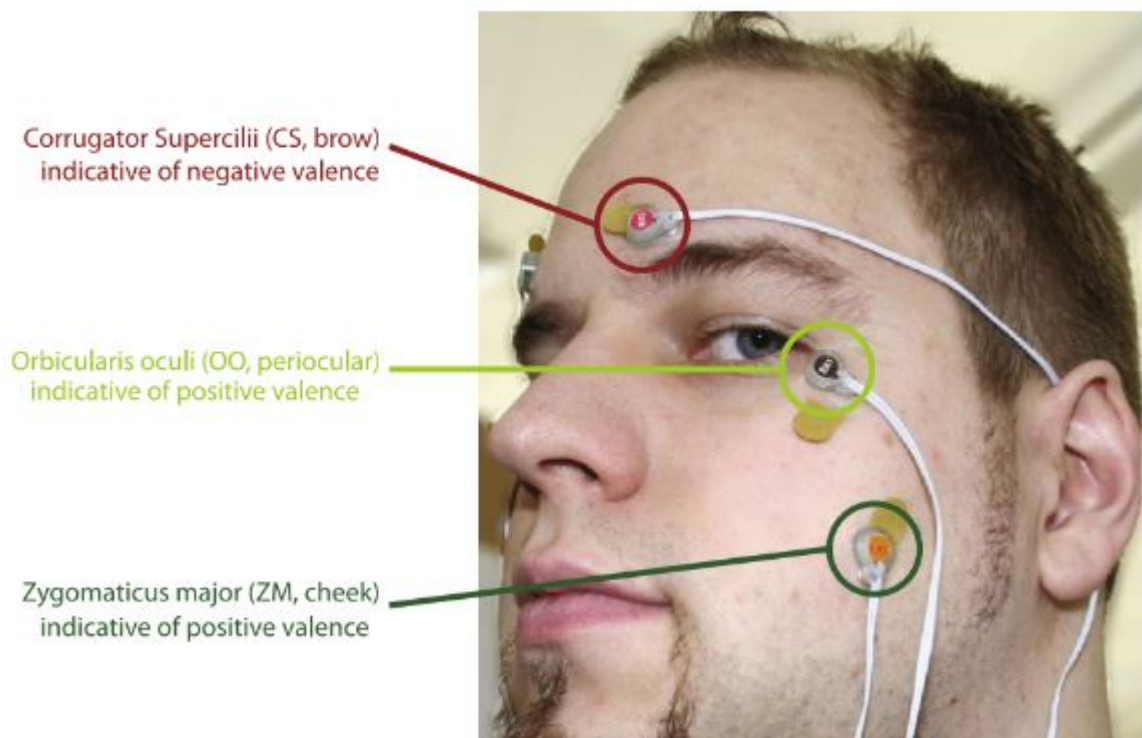


Figura 2.7: Exemplo de um sensor EMG [7].

e verificar mudanças na expressão facial [7].

O EMG tem limitações em termos de confiabilidade do sinal, pois os sinais gerados por outros músculos podem interferir na medição. Camadas de gordura ou pele grossa também podem dificultar uma aquisição de dados mais precisa.

#### 2.4.1.5 Eletroencefalografia (EEG - *Electroencephalography*)

Eletroencefalografia é o procedimento de gravar a atividade elétrica do cérebro [43]. Diversos eletrodos são posicionados no couro cabeludo do usuário e detectam a variação de tensão gerada por neurônios no cérebro. Cada grupo de eletrodos mede o sinal elétrico vindo de uma diferente região do cérebro (Figura 2.8), que é responsável por uma atividade cerebral específica, como controle do movimento, emoção ou memória.

Geralmente, o sensor EEG é uma espécie de gorro, que é colocado sobre a cabeça do usuário. Os dados são coletados e mapeados para representar setores do cérebro diferentes (Figura 2.9). Então, o sensor traça os sinais para cada região durante o tempo da medição. Os principais usos do EEG em jogos estão na área de *Affective Gaming*, onde são utilizados para obter uma estimativa do estado afetivo do usuário baseado em sua atividade cerebral, [7][8] e também como mecanismo de input, servindo como um controle no jogo [19].

O EEG é um dos sensores mais úteis na análise de dados de jogos, pois ele pode fornecer uma

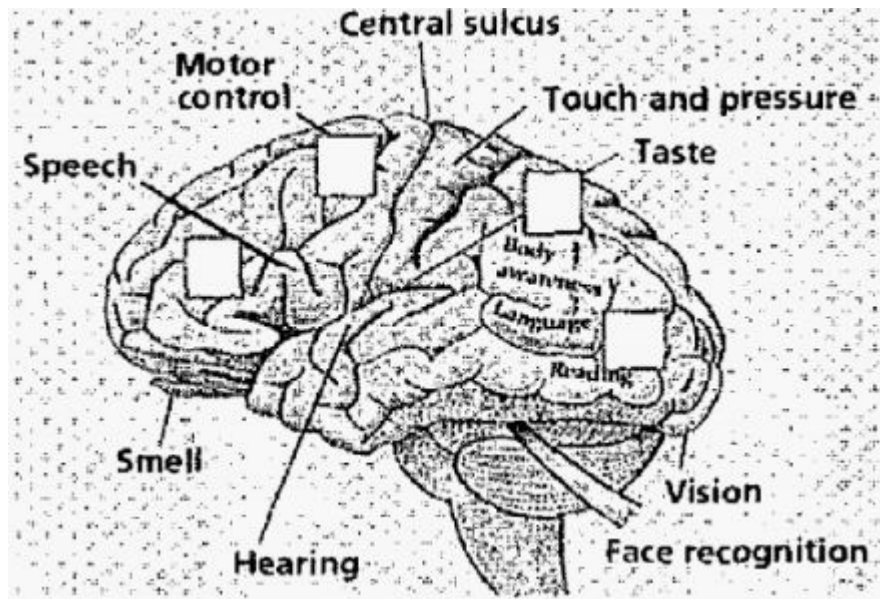


Figura 2.8: Algumas regiões do cérebro e suas funções [8].

visão nos valores não só de empolgação e tédio, mas também em emoções mais profundas, como tristeza e alegria, por exemplo. Contudo, ele é caro e está sujeito a ruídos, pois seu nível de sensibilidade deve ser bastante alto para poder obter os sinais elétricos gerados pelos neurônios [9].

#### 2.4.1.6 Sensor de Respiração (RSP - *Respiration Sensor*)

Um sensor de respiração é um dispositivo que captura a taxa de respiração e intensidade de inalação do usuário [10]. Ele consiste em um cinto que é vestido ao redor da barriga e detecta o movimento realizado pela inspiração e expiração (Figure 2.10).

Ele é comumente usado para identificar mudanças de entusiasmo, relacionado a variações na taxa de respiração. Em *Game Analytics*, seu principal uso é para detectar mudanças repentinas de excitação causadas por certos eventos no jogo.

Os sinais do sensor de respiração são imprecisos quando procuram determinar eventos de tempo preciso, pois ele pode detectar reações com atraso. Além disso, ele pode ser desconfortável de se vestir enquanto o usuário joga.

#### 2.4.1.7 Sensores de Movimento (MV - *Motion Sensor*)

Sensores de movimento são responsáveis por capturar a posição do usuário, orientação e movimento. Cada sensor possui suas próprias particularidades e parâmetros, assim como uso específico. Alguns dos sensores de movimentos mais conhecidos que surgiram no mercado de jogos são:

- Nintendo Wii Remote<sup>1</sup>;
- Nintendo Wii Balance Board<sup>1</sup>;

<sup>1</sup><http://www.nintendo.com/wiiu/accessories>



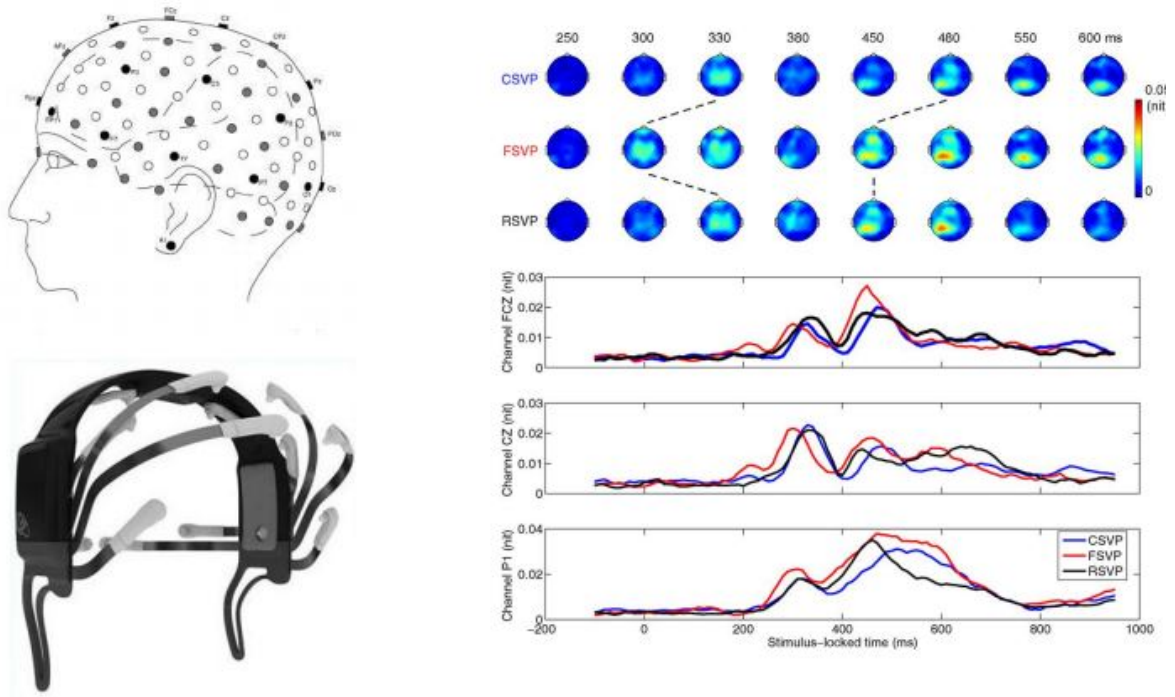


Figura 2.9: Um esquema de um sensor EEG [9].

- Sony Playstation Move<sup>2</sup>;
- Microsoft Kinect<sup>3</sup> (Figure 2.11);
- Luvas de Rastreamento de Movimento, como a Luva 5DT<sup>4</sup>.

Seu uso vai além de servir como um controle no jogo, pois eles também estão presentes em pesquisas de análise de comportamento e de reabilitação. O sensor Kinect é memorável nesta área

<sup>2</sup><https://www.playstation.com/en-gb/explore/ps3/accessories/>

<sup>3</sup><https://developer.microsoft.com/en-us/windows/kinect>

<sup>4</sup>[http://www.5dt.com/?page\\_id=34](http://www.5dt.com/?page_id=34)

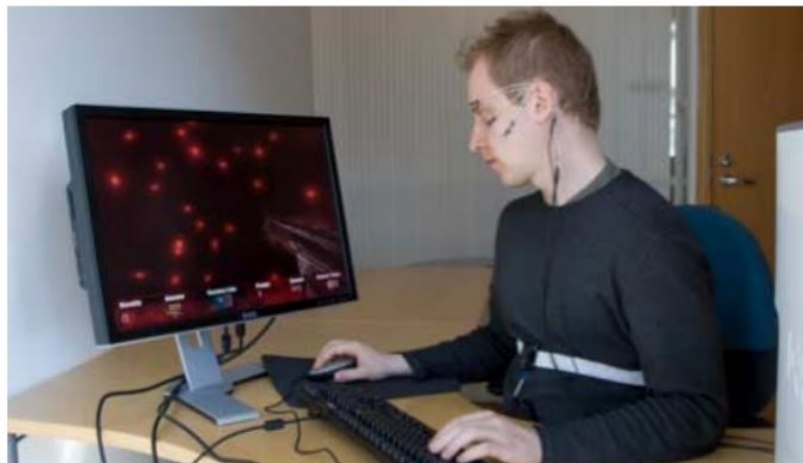


Figura 2.10: Um jogador vestindo um cinto de um sensor de respiração [10].

porque ele não requer que o usuário vista ou segure qualquer tipo de aparelhagem ou dispositivo para capturar seu movimento e posição.



Figura 2.11: Exemplo de um jogo com *biofeedback* que utiliza o sensor Kinect [11].

Apesar de sua grande gama de funcionalidades, os sensores de captura de movimento não são muito precisos e normalmente fornecem poucas informações sobre o estado emocional do usuário. Além disso, eles precisam de técnicas de processamento de imagens ou reconhecimento de postura para se tornarem mais úteis em *Game Analytics*.

### 3 ANÁLISE DOS SENSORES DE BIOFEEDBACK EM JOGOS ELETRÔNICOS

Neste capítulo, é apresentado um levantamento acerca dos trabalhos de pesquisa que utilizam os sensores de *biofeedback* listados na Subseção 2.4.1. A seleção dos artigos para esta investigação seguiu os seguintes critérios:

1. O estudo deve estar relacionado à área de jogos;
2. Ele deve tratar com pelo menos um sensor de *Biofeedback*;
3. O estudo deve mostrar alguma aplicação prática do sensor;
4. O sensor deve ser empregado no estudo como um *input* no jogo ou como uma forma de analisar o comportamento do jogador;
5. O estudo deve mostrar algum tipo de resultado relacionado com o sensor utilizado.

A principal base de dados para este levantamento foi a *IEEE Xplore Digital Library* [44], uma das principais editoras científicas nos campos de Ciência e da Engenharia de computação. Os termos "*biofeedback*", "*game analytics*", "*game sensor*" e "*affective gaming*" foram utilizados como palavras-chave na pesquisa por trabalhos relevantes.

Para fins de simplificação, as seguintes abreviações serão utilizadas a partir de agora:

HR - Monitor de Frequência Cardíaca,

ECG - Eletrocardiografia,

EDA - Sensor de Resposta Galvânica da Pele,

EMG - Eletromiografia,

EEG - Eletroencefalografia,

RSP - Sensor de Respiração e

MV - Sensor de Movimento.

Considerando os requisitos estabelecidos acima, a Tabela 3.1 mostra uma lista dos artigos pesquisados, apontando os sensores de *biofeedback* empregados em cada um deles.

Considerando a abordagem ao empregar sistemas de sensores de *biofeedback*, os estudos pode ser divididos em duas categorias: aqueles que utilizam sensores meramente como uma entrada no jogo (ENTRADA), e outros que os usam como uma forma de analisar o estado afetivo do usuário (EMOCIONAL). A Tabela 3.2 lista os artigos de acordo com esta separação.

Ao cruzar as informações dadas nas Tabelas 3.1 e 3.2, é possível criar uma tabela individual para cada sensor, listando os artigos que lidam com aquele dispositivo e os classificando de acordo com o seu uso específico. Assim, as seções seguintes são dedicadas a apresentar estas informações sobre os sensores considerados neste trabalho. Além disso, para cada sensor, algumas conclusões relevantes e outras observações extraídas dos artigos analisados serão ressaltadas.

Artigo	HR	ECG	EDA	EMG	EEG	RSP	MV
[31]	✓						
[33]	✓						
[18]	✓						
[24]				✓			
[45]				✓		✓	✓
[11]							✓
[46]				✓			
[10]			✓			✓	
[34]	✓		✓	✓		✓	
[47]		✓	✓				
[19]					✓		
[48]				✓			
[30]	✓		✓				
[35]	✓		✓				
[7]			✓	✓			
[49]			✓				
[50]		✓				✓	
[20]				✓			
[36]	✓		✓			✓	
[42]				✓			
[4]		✓					
[51]					✓		
[21]		✓			✓		
[32]	✓		✓				
Total							
24	8	4	9	8	3	5	2

Tabela 3.1: Lista dos artigos pesquisados e seus respectivos sensores de *biofeedback* empregados.

### 3.1 MONITOR DE FREQUÊNCIA CARDÍACA

A Tabela 3.3 lista os artigos que empregam o monitor cardíaco, divididos de acordo com o uso do sensor, isto é, como mecanismo de entrada ou para avaliar o estado afetivo do usuário. As seguintes conclusões extraídas destes estudos foram consideradas relevantes:

- Em [34], a medida de frequência cardíaca não foi suficiente para ser relacionada com a resposta emocional.
- Em [36], os autores mencionaram que o sinal do monitor flutuou significativamente entre os participantes e sessões de jogo, sendo portanto necessário uma normalização dos dados para sua utilização na adaptação do jogo.

ENTRADA	EMOCIONAL
[24]	[31]
[45]	[33]
[11]	[18]
[46]	[10]
[19]	[34]
[48]	[47]
[30]	[35]
[20]	[7]
[42]	[49]
[51]	[50]
[32]	[36]
	[4]
	[21]
Total	
11	13
46%	54%

Tabela 3.2: Estudos agrupados de acordo com a abordagem de uso do sensor.

- Abe et al. [31] encontraram uma correlação entre a frequência cardíaca e a pontuação do jogador, mas afirmaram que era necessárias análises adicionais para confirmar este fato.

### 3.2 ELETROCARDIOGRAFIA

A Tabela 3.4 mostra que todos os artigos considerados em relação ao ECG utilizaram este sensor com a finalidade de estudar o comportamento do usuário. Alguns resultados em relação ao uso do ECG em jogos foram observados:

- Em [4], as características extraídas do ECG descreveram o stress mental em termos de atividades nervosas simpáticas e parassimpáticas. A partir desta informação, os autores concluíram que o stress mental foi muito maior durante a sessão do jogo, comparado com o período de descanso.
- Em [21] os resultados mostraram que os sinais do ECG foram satisfatórios para prever as mudanças afetivas em um jogo de terror. Além disso, quando comparado com a Eletroencefalografia, o ECG apresentou resultados melhores. O EEG, contudo, pode ser mais adequado para ambientes de jogo diferentes.

ENTRADA	EMOCIONAL
[30]	[31]
[32]	[33]
	[18]
	[34]
	[35]
	[36]
Total	
2	6

Tabela 3.3: Artigos que utilizam o monitor cardíaco, agrupados de acordo com o uso.

ENTRADA	EMOCIONAL
	[47]
	[50]
	[4]
	[21]
Total	
0	4

Tabela 3.4: Estudos que usam o ECG, agrupados de acordo com o uso.

### 3.3 SENSOR DE RESPOSTA GALVÂNICA DA PELE

Os diferentes propósitos do sensor EDA são mostrados na Tabela 3.5. As descobertas relevantes na pesquisa acerca do sensor EDA são:

- Em [34], o sensor EDA mostrou uma correlação entre a resposta galvânica da pele e os eventos que ocorreram durante o jogo. Esta correlação estava presente em 15 dos 32 casos analisados, ou seja, 46,9% do total.
- Durante o jogo analisado em [35], os efeitos sonoros causaram mudanças significativas na resposta galvânica da pele do usuário. Isto apoia a hipótese do autor que este sensor pode ser usado para detectar o impacto de alguns aspectos do jogo no estado emocional do jogador.
- Parnandi et al. [36] observou que o EDA capta uma variável fisiológica que pode ser difícil para uma pessoa controlar, comparado com respiração ou frequência cardíaca, por exemplo. Portanto, para aplicações em aprendizado de controle de *stress*, onde uma pessoa deve controlar seu próprio estado emocional, o EDA não é recomendado para ser usado como *input*.

ENTRADA	EMOCIONAL
[30]	[10]
[32]	[34]
	[47]
	[35]
	[7]
	[49]
	[36]
Total	
2	7

Tabela 3.5: Sensores que utilizam o EDA, agrupados de acordo com o uso.

### 3.4 ELETROMIOGRAFIA

Cada trabalho que utilizou o EMG, teve seu propósito de uso em uma das duas diferentes categorias, ENTRADA ou EMOCIONAL, como mostrado na Tabela 3.6. Abaixo estão listadas algumas discussões acerca do processo de aquisição de dados do sensor EMG:

- Durante o estudo descrito em [24], os participantes realizaram diversos exercícios de alongamento e fortalecimento, e vários músculos foram utilizados. Entretanto, o sensor EMG só conseguiu detectar atividade muscular dos músculos superficiais.
- As desvantagens do EMG mencionadas em [20] foram: o EMG produz um sinal que pode variar significativamente, dependendo do participante ou condição da pele. Ele também requer um contato estável entre o eletrodo e a pele, o que pode causar problemas durante a movimentação dos músculos. Contudo, os autores perceberam que um processo de calibração pode ser capaz de superar muitos dos problemas presentes neste sensor.

ENTRADA	EMOCIONAL
[24]	[34]
[45]	[7]
[46]	
[48]	
[20]	
[42]	
Total	
6	2

Tabela 3.6: Estudos que usam o EMG, agrupados de acordo com o uso.

### 3.5 ELETROENCEFALOGRAFIA

A Tabela 3.7 mostra a divisão de uso do EEG para os artigos investigados. As conclusões selecionadas acerca deste sensor são as seguintes:

- Vachiratamporn et al. [21] mostrou que, apesar de o EEG ter mostrado resultados piores que o ECG, ele ainda possui potencial para analisar o *stress* mental em jogos de terror.
- Em [51], o treinamento de *neurofeedback* baseado no EEG foi considerado um candidato promissor para amplificar as habilidades cognitivas de pessoas saudáveis e com deficiência.

ENTRADA	EMOCIONAL
[19]	[21]
[51]	
Total	
2	1

Tabela 3.7: Estudos que usam o EEG, agrupados de acordo com o uso.

### 3.6 SENSOR DE RESPIRAÇÃO

A Tabela 3.8 categoriza os cinco artigos analisados que empregaram sensores de respiração. Nestes trabalhos, os seguintes pontos foram considerados pertinentes:

- A pesquisa realizada em [36] mostrou que, apesar de a respiração ser um indício de *stress*, esta variável não é decisiva o suficiente por si só. Mais indicadores relacionados com a respiração devem ser usados, como volume torácico e nível de  $CO_2$  no final da respiração.
- Kuikkaniemi et al. [10] observou que normalizar o sinal de respiração não é completamente trivial. Há bastante diferença em ritmo de respiração e amplitude entre as amostras, e isso torna os sinais normalizados pouco sensíveis em estudos de longo prazo.

ENTRADA	EMOCIONAL
[45]	[10]
	[34]
	[50]
	[36]
Total	
1	4

Tabela 3.8: Estudos que usam o sensor de respiração, agrupados de acordo com o uso.



### 3.7 SENSOR DE MOVIMENTO

Dentre os artigos investigados, dois deles possuem o uso de sensores de movimento como um mecanismo de *input* no jogo (Tabela 3.9). A partir destes artigos, as informações relevantes foram resumidas a seguir:

- Silva et al. [45] utilizou uma *Tracker Glove* em sua pesquisa. Trata-se de uma luva com sensores embutidos que pode monitorar continuamente o estado dos dedos do usuário. De acordo com os autores ela é uma opção melhor em relação às técnicas baseadas em visão computacional, pois não é necessário que a luva esteja visível na câmera. Além disso, a pessoa não precisa estar em uma posição específica para que a medição seja realizada.
- Em [11], o sensor Kinect foi usado e apontado como uma alternativa razoável para obter dados relevantes à análise, devido a sua capacidade de mapear as juntas do corpo de até dois jogadores. Foi possível usar o Kinect para analisar a posição ótima dos membros superiores do paciente, assim como a posição das juntas e a flexão ou extensão muscular.

ENTRADA	EMOCIONAL
[45]	
[11]	
Total	
2	0

Tabela 3.9: Estudos que usam sensores de movimento, agrupados de acordo com seu uso.

## 4 EXPERIMENTO COM SENSORES

Após um extenso levantamento acerca das pesquisas recentes no contexto de Telemetria de Jogos, elegeu-se três sensores de *biofeedback* (ECG, EDA, e EMG) dentre os pesquisados para a condução de um experimento que obtém variáveis fisiológicas de jogadores com diferentes gêneros de jogos eletrônicos. O intuito é verificar a adequação destes sensores para a identificação de emoções do jogador em função do gênero do jogo. Este capítulo detalha o experimento realizado e os resultados obtidos.

### 4.1 VISÃO GERAL

#### 4.1.1 Objetivo

O objetivo deste experimento é, dado alguns gêneros de jogos, determinar se uma categoria específica de sensor de *biofeedback* é adequada para identificar mudanças emocionais nos jogadores.

#### 4.1.2 Cenário

A ideia geral do experimento consiste em submeter um certo número de participantes a sessões curtas de jogo, enquanto são monitorados através de sensores de *biofeedback*. Então, os dados coletados de cada sessão são correlacionados com os estados emocionais descritos pelos próprios jogadores para determinar se os valores apontados pelos sensores em uso são suficientes para determinar algum tipo de mudança emocional ocorrida durante a coleta.

Para este experimento, foram selecionados quatro gêneros de jogos:

- Ação;
- Raciocínio;
- Terror;
- Corrida.

A motivação para o delineamento destes gêneros consistiu em selecionar os tipos de jogos que fossem mais distintos em sua essência e, ao mesmo tempo, que causam diferentes estados emocionais, dados os seus aspectos de interação, ambientação e jogabilidade.

Já, dentre os sensores estudados, foram escolhidos três tipos para a utilização na coleta de dados:

- Eletrocardiografia;
- Eletromiografia;

- Sensor de resposta galvânica da pele.

Estes três sensores foram os eleitos devido à sua usabilidade encontrada nos estudos pesquisados, e também pela disponibilidade nos laboratórios da Universidade.

Para validar os dados, um questionário foi aplicado para cada participante, onde este descreveu os estados emocionais que foram identificados por ele durante a sessão. Para auxiliar na identificação de cada emoção em diferentes momentos do jogo, as sessões foram filmadas por uma *webcam* e um vídeo contendo o *gameplay* do jogo e a reação do jogador foi gerado. Desta forma, os participantes souberam delimitar com maior confiança as diferentes emoções presentes dentro de cada aquisição de dados. Com estes dados coletados, foi realizado um cruzamento destas informações para determinar se os sensores utilizados eram satisfatórios para o objetivo proposto.

## 4.2 APARATO TECNOLÓGICO

### 4.2.1 *Hardware*

#### 4.2.1.1 Computador e Periféricos

O computador utilizado possui as seguintes especificações:

- Computador Dell XPS
- Processador Intel Core i7-4790 de 3.6 GHz
- 16 GB de memória RAM
- Disco Rígido de 1 TB
- Sistema Operacional Windows 10 Home 64 bits

Além do computador, também foi utilizada uma *webcam* Microsoft, para gravar o usuário durante o experimento.

#### 4.2.1.2 Kit de Sensores

Para este experimento, o equipamento utilizado para coletar os dados de *biofeedback* dos participantes foi o kit Bitalino<sup>1</sup>. Ele é uma solução *open hardware* que permite a obtenção de sinais de *biofeedback* de forma rápida e simples (Figura 4.1).

As especificações do kit Bitalino são as seguintes [52]:

- Taxa de amostragem: 1, 10, 100 ou 1000Hz;
- Portas analógicas: 4 portas de 10 bits e 2 de 6 bits;

---

<sup>1</sup><http://www.bitalino.com/>

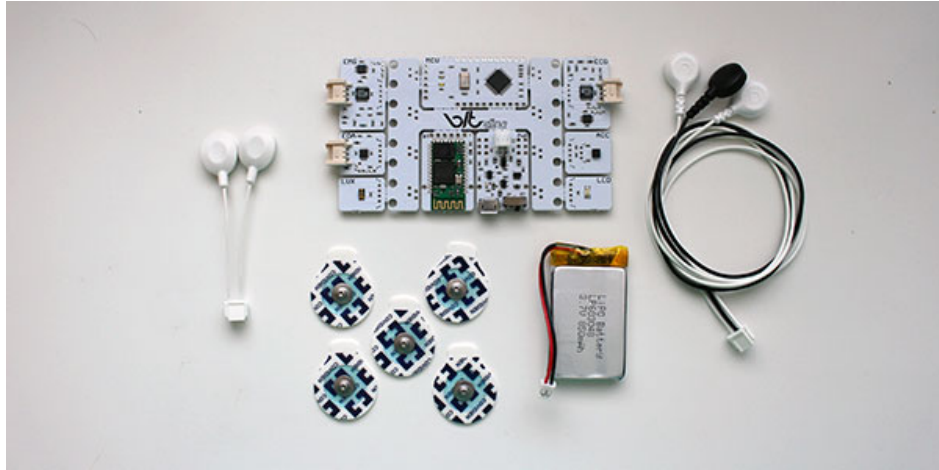


Figura 4.1: Um kit de sensores Bitalino[12]

- Portas de entradas digitais: 4 de entrada e 4 de saída;
- Comunicação: Bluetooth 2.0+EDR;
- Alcance: Até 10m (dentro da linha de visão);
- Sensores:
  - Eletrocardiografia;
  - Eletromiografia;
  - Sensor de resposta galvânica da pele;
  - Acelerômetro;
  - Sensor de luz;
- Atuadores: LED;
- Tamanho: 105x60x6mm.

#### 4.2.1.3 Sensor ECG

O sensor ECG do kit Bitalino é um sensor de um canal que mapeia a atividade elétrica do coração em um gráfico de tensão por tempo [13]. No kit Bitalino, ele é encontrado em versões de 2 ou 3 eletrodos, onde cada versão requer um posicionamento diferente dos eletrodos no corpo do participante (Figura 4.2). No caso do kit utilizado no experimento, o sensor de 3 eletrodos foi utilizado.

O sensor coleta dados de diferença de tensão proveniente de dois eletrodos, posicionados na região do tórax do participante, enquanto um terceiro eletrodo é usado como referência, colocado em uma área de menor atividade elétrica proveniente do coração, como a barriga. Este sinal coletado passa pelo sensor, onde ele é mapeado para valores de acordo com a tensão de operação do sensor e a quantidades de *bits* da porta analógica do controlador. A tensão de saída do sensor ECG, então, é mostrada na Equação 4.1 [13].

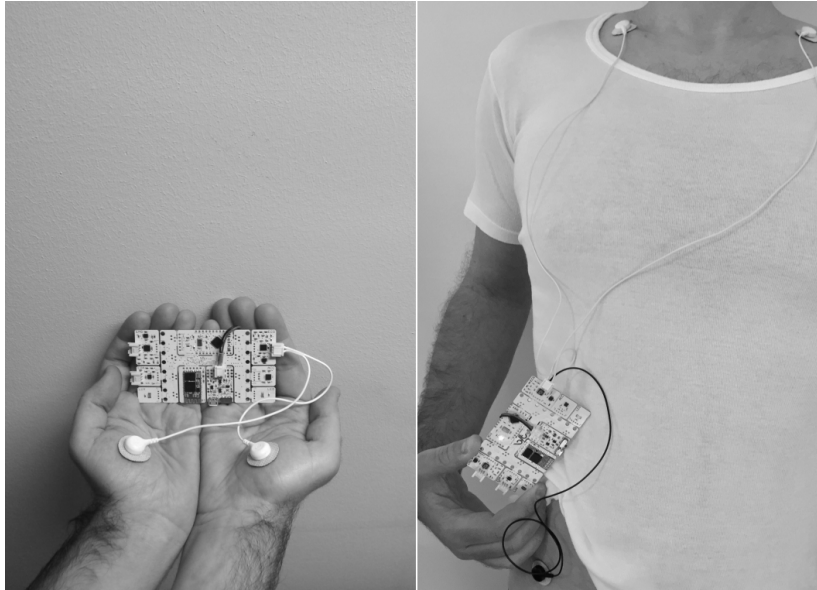


Figura 4.2: Posicionamento dos eletrodos do sensor ECG [13]

$$ECG(V) = \frac{\left(\frac{ADC}{2^n} - \frac{1}{2}\right) \times VCC}{G_{ECG}} \quad (4.1)$$

Onde:

- $ECG(V)$  é a tensão de saída do sensor;
- $ADC$  é o valor analógico medido pelos eletrodos, mapeado em valores equivalentes a tensões entre  $-1,5$  e  $1,5$   $mV$ ;
- $n$  é o número de *bits* do canal de leitura dos eletrodos;
- $VCC$  é a tensão de alimentação do sensor;
- $G_{ECG}$  é o ganho do sensor, fixado em 1000.

#### 4.2.1.4 Sensor EMG

O Sensor EMG do kit Bitalino detecta a atividade muscular através de três eletrodos. De forma análoga ao ECG, dois sensores são responsáveis pela captação da diferença de tensão gerada pelos músculos, enquanto outro é utilizado como referência. A Figura 4.3 mostra o posicionamento dos eletrodos para a aquisição correta da atividade muscular.

Durante a contração e extensão do músculo, os eletrodos coletam a variação de tensão gerada pelos nervos, responsável pela movimentação dos músculos. Então, o sensor capta esta tensão e transforma este sinal para a mesma ordem de grandeza do controlador, de acordo com a Equação 4.2 [14].

$$EMG(V) = \frac{\left(\frac{ADC}{2^n} - \frac{1}{2}\right) \times VCC}{G_{EMG}} \quad (4.2)$$

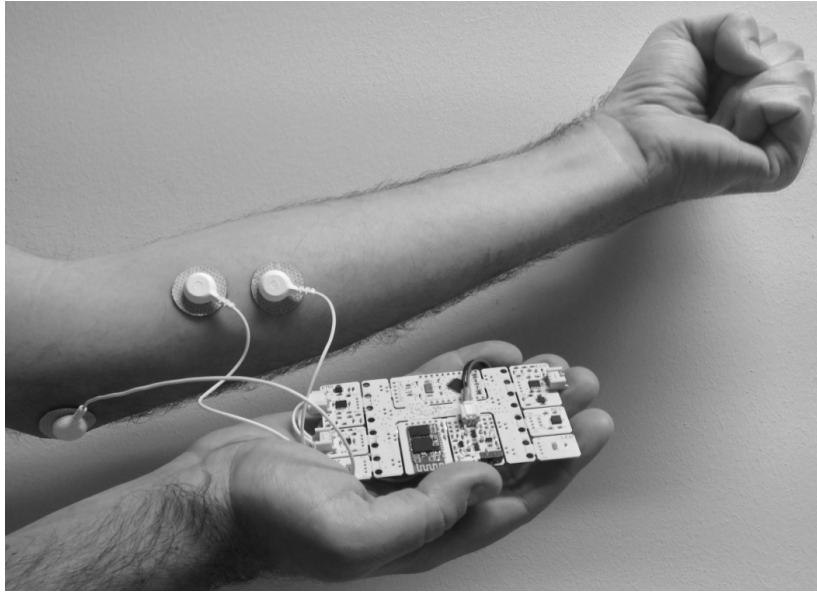


Figura 4.3: Posicionamento dos eletrodos do sensor EMG [14]

Onde:

- $EMG(V)$  é a tensão de saída do sensor;
- $ADC$  é o valor analógico medido pelos eletrodos, mapeado em valores equivalentes a tensões entre  $-1,65$  e  $1,65$   $mV$ ;
- $n$  é o número de *bits* do canal;
- $VCC$  é a tensão de alimentação do sensor;
- $G_{EMG}$  é o ganho do sensor, fixado em 1000.

#### 4.2.1.5 Sensor EDA

O sensor EDA do kit Bitalino obtém valores de condutividade da pele através de dois eletrodos. A condutividade da pele está relacionada com a produção de suor, que por sua vez pode ser acionada por eventos que causam *stress* ou nervosismo. Para medir a condutividade da pele, os sensores são colocados na pele do participante de acordo com a Figura 4.4.

A condutividade da pele é medida na ordem de  $\mu S$ . Os valores medidos no sensor através dos eletrodos são transformados em valores de condutividade de acordo com a Equação 4.3 [15].

$$EDA(\mu S) = \frac{1}{1 - \frac{ADC}{2^n}} \quad (4.3)$$

Onde:

- $EDA(\mu S)$  é a condutividade de saída do sensor;

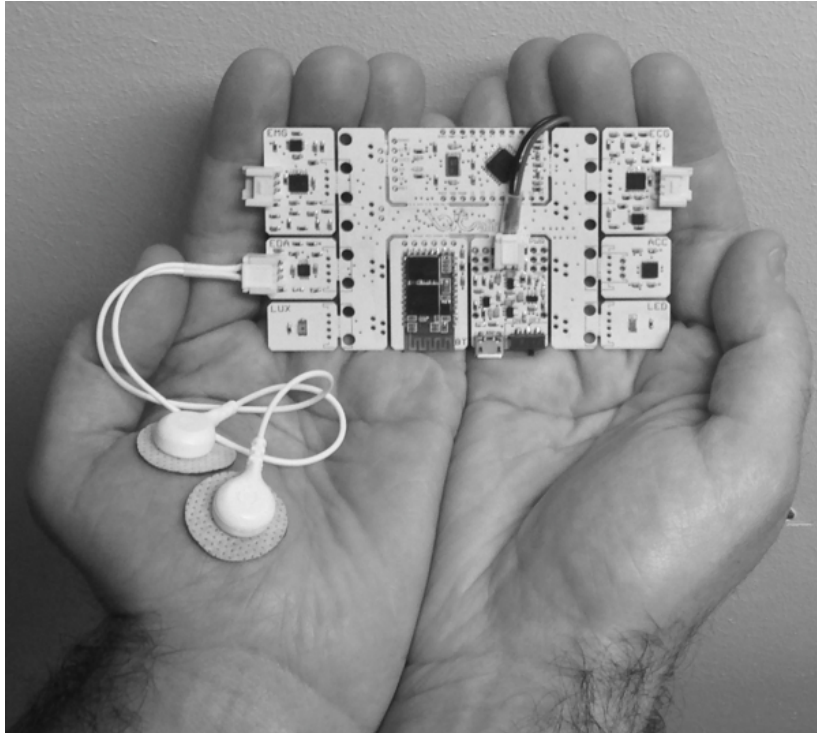


Figura 4.4: Posicionamento dos eletrodos do sensor EDA [15]

- $ADC$  é o valor analógico medido pelos eletrodos, mapeado em valores equivalentes a condutividades entre 1 e  $\infty \mu S$ ;
- $n$  é o número de *bits* do canal.

## 4.2.2 Software

### 4.2.2.1 Open Signals - Coleta de dados

O Open Signals é uma ferramenta de coleta de dados de *biofeedback* desenvolvida pela Plux Wireless Biosignals<sup>1</sup>, mesma empresa responsável pelo desenvolvimento do kit de sensores Bitalino. Esta ferramenta é compatível com o kit, e facilita a coleta e armazenamento dos dados através da conexão *Bluetooth* do sensor. É possível acessar cada um dos canais do kit, gravá-los simultaneamente ou individualmente e salvar os sinais coletados em arquivos de texto (.txt) ou em formato de dados hierárquicos (.h5). Este último formato é compatível com várias ferramentas de análise de dados, como o *Matlab*, por exemplo. A Figura 4.5 mostra um exemplo da tela de coleta de dados do Open Signals.

### 4.2.2.2 Ferramentas

As seguintes ferramentas de *software* foram utilizadas dentro do experimento.

---

<sup>1</sup><http://www.plux.info/index.php/en/>

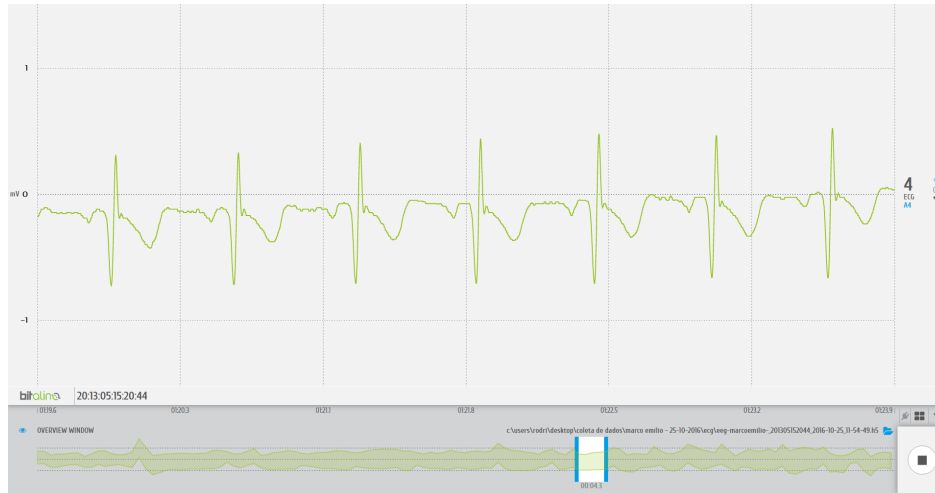


Figura 4.5: Exemplo de uma coleta de dados do sensor ECG através do Open Signals

- Bandicam<sup>2</sup> - Utilizado para gravar o *gameplay* dos jogos juntamente com as imagens da *webcam* em um único arquivo de vídeo.
- Formulários Google<sup>3</sup> - Utilizado para criar os formulários de validação, respondidos pelos participantes após a execução do experimento.
- Mathworks Matlab<sup>4</sup> - Utilizado para plotar os gráficos de coleta dos sensores e também para realizar os testes estatísticos do experimento.

#### 4.2.2.3 Jogos

Os jogos são um fator importante na condução do experimento, pois são os responsáveis pelas mudanças emocionais dos jogadores, medidas através dos sensores. Ao escolher os jogos que representariam cada categoria (corrida, ação, raciocínio e terror), foram utilizados os seguintes critérios:

- O jogo deve ser *open source*;
- O código do jogo deve ser simples de ser modificado;
- O jogo deve ser compatível com o sistema operacional Windows 10;
- O jogo deve permitir uma sessão completa em até 10 minutos.

A partir destes critérios, os jogos selecionados para o experimento foram:

- **Ação:** Open Source Asteroids<sup>5</sup> - projeto *open source* que replica um jogo espacial onde o objetivo é destruir asteroides e encontrar uma pílula azul (Figura 4.6a).
- **Corrida:** Super Tux Kart<sup>6</sup> - jogo de corrida com personagens dos mais famosos projetos *open*

<sup>2</sup><http://www.bandicam.com/br/>

<sup>3</sup><https://www.google.com/forms/about/>

<sup>4</sup><https://www.mathworks.com/products/matlab.html>

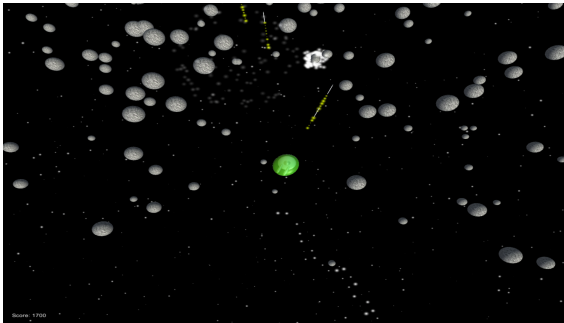
<sup>5</sup><https://github.com/matthewrenze/asteroids>

<sup>6</sup><https://supertuxkart.net>



source, onde os corredores podem utilizar itens para ganhar vantagens na corrida (Figura 4.6b).

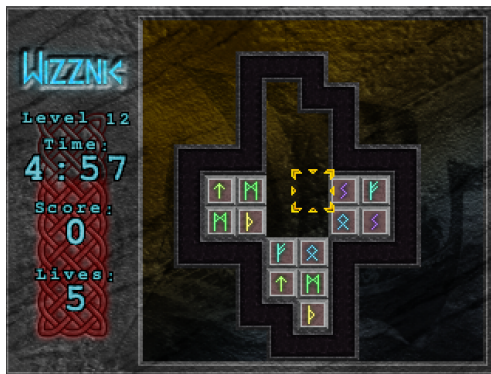
- **Raciocínio:** Wizznic<sup>7</sup> - jogo de quebra-cabeça onde o objetivo é unir blocos que possuem símbolos iguais (Figura 4.6c).
- **Terror:** pyDon't Let Animatronics Stuff You Into a Suit<sup>8</sup> - versão *open source* do jogo de terror *Five Nights at Freddy's*, onde o objetivo é sobreviver durante a madrugada enquanto robôs tentam chegar até você (Figura 4.6d).



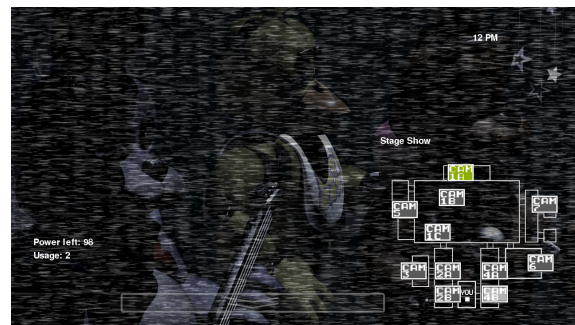
(a) Jogo Asteroids



(b) Jogo Super Tux Kart



(c) Jogo Wizznic



(d) Jogo pyDLASYIAS

Figura 4.6: Screenshots dos jogos utilizados no experimento

### 4.3 O EXPERIMENTO

O experimento foi realizado no Laboratório de Sistemas Integrados e Concorrentes - LAICO, localizado no prédio do CIC/EST no campus Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, no período de 25 a 28 de outubro de 2016.

<sup>7</sup><https://github.com/DusteDdk/Wizznic>

<sup>8</sup><https://github.com/ZDDM/pyDLASYIAS>

### 4.3.1 Coleta de Dados

Foram convidados seis participantes, sendo três homens e três mulheres, de idades entre 21 e 26 anos. Antes de iniciar a sessão de jogo, a cada participante foram introduzidos os sensores e cada um dos jogos. Assim, os participantes tiveram inicialmente a oportunidade de praticar com os controles e a mecânica de cada jogo. Em seguida, o experimento seguiu o seguinte roteiro, para cada participante:

- Posicionar os eletrodos do sensor corretamente e verificar se os dados estão sendo coletados de forma correta;
- Por 2 minutos, coletar os dados de *biofeedback* do participante, em repouso;
- Realizar uma sessão de cada jogo, com duração de, no máximo, 10 minutos, enquanto coleta os dados utilizando um dos sensores do kit Bitalino;
- Repetir os passos anteriores utilizando outro sensor do kit.

Seguindo estes passos, o experimento durou aproximadamente 2 horas por participante.

Além da coleta dos dados, também foi realizada uma gravação do *gameplay*, juntamente com as imagens de uma *webcam* direcionada para o jogador. Esta gravação foi utilizada posteriormente para validar os dados coletados pelos sensores. A Figura 4.7 mostra um exemplo da gravação do jogo feita.



Figura 4.7: Exemplo de uma gravação realizada durante o experimento.

Durante a realização do experimento, ocorreram alguns problemas que, depois, comprometeram o tratamento e a análise dos dados coletados. O primeiro problema, foi, enquanto ocorria a coleta do sensor EMG de um dos participantes, os dados do EMG do jogo de terror ficaram completamente zerados. O segundo problema ocorreu na aquisição do EMG do sexto participante, quando o cabo dos eletrodos do sensor EMG foi rompido, interrompendo completamente a aquisição do EMG deste último participante, para todos os jogos. Em consequência disso, das possíveis 24 coletas, apenas 19 tiveram sucesso e foram consideradas.

Além disso, houve um grave problema na aquisição do EDA. Alguns dos dados coletados, que a princípio foram considerados de acordo com o esperado, na realidade estavam bastante inconsistentes.

Desta forma, apenas 7 das 24 coletas do EDA estavam corretas. Isto foi causado, provavelmente, por mal contado com os eletrodos, pois estes estavam posicionados na mão do participante, que estava em constante movimentação. Isto comprometeu bastante a análise dos dados do EDA.

#### 4.3.2 Validação dos Dados

Para alcançar o objetivo do experimento, foi necessário criar uma forma de comparar os dados dos sensores com informações reais do estado emocional dos jogadores. Para isso, após o experimento, os participantes foram submetidos a um formulário. Este continha uma seção de perguntas gerais, como nome, idade, experiência com jogos e gêneros preferidos. Após esta seção, havia uma seção onde os participantes eram perguntados sobre qual era a descrição do seu estado emocional em cada momento do jogo. Para que isto fosse possível, cada pergunta deste tipo era acompanhada da gravação correspondente. As questões feitas e suas respostas estão disponíveis no Anexos 1 e 2, respectivamente.

Para que os participantes pudessem responder a este formulário de forma remota, este foi feito na plataforma de Formulários *Google*, e os vídeos das gravações foram enviados para o *YouTube*. Então, para cada gravação, que correspondia a uma sessão de algum dos jogos, utilizando algum dos sensores, os participantes descreveram seus próprios estados emocionais, com suas próprias palavras, tendo como base os vídeos de seu jogo. Esta é uma forma muito mais segura de obter os dados verídicos do participante, pois ele não precisa confiar em sua memória para recordar eventos do jogo, por exemplo.

Enfim, para que os dados medidos fossem verificados, bastou cruzar as informações dadas pelos participantes com os dados medidos pelos sensores em momentos da sessão de jogo equivalentes, e verificar se houve mudanças nas medidas de acordo com as mudanças emocionais relatadas pelos jogadores. Estes resultados serão mostrados posteriormente.

#### 4.3.3 Tratamento dos Dados

Antes de realizar o cruzamento dos dados dos sensores e dos questionários, foi preciso transformar tanto os dados obtidos pelos sensores, como as respostas do questionário para um formato mais adequado para a interpretação. Estas transformações são discutidas nesta seção.

##### 4.3.3.1 Obtenção da Frequência Cardíaca

Diferentemente dos sensores EDA e EMG, onde o gráfico já está em um formato de fácil interpretação, o sensor ECG apenas desenha a forma de onda gerada pelos batimentos cardíacos. O maior indicativo de *stress* que é verificável pelo ECG é o de frequência cardíaca. Portanto, foi necessário transformar a onda gerada pelo ECG em um gráfico de frequência cardíaca por tempo.

Com este objetivo em mente, o gráfico do ECG foi desenhado, e, a partir dos picos do gráfico, gerados através da função *findpeaks* do Matlab[53], foram obtidos os momentos exatos de cada batimento cardíaco detectado pelo sensor, como mostrado na Figura 4.8.

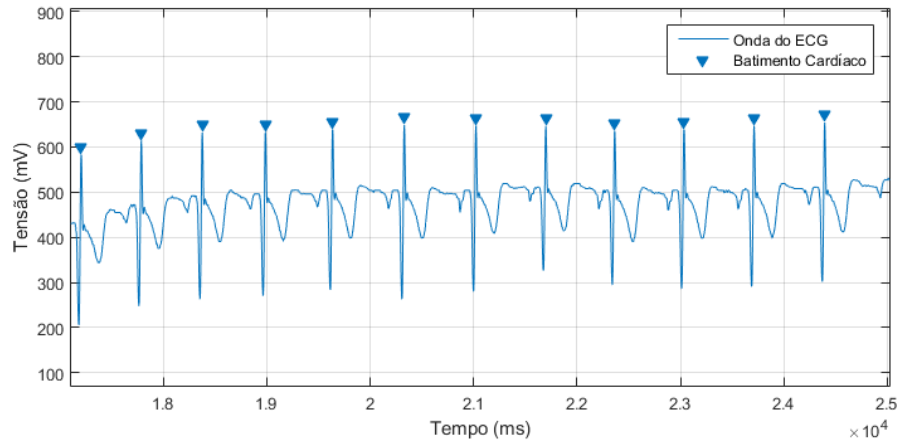


Figura 4.8: Exemplo da execução da função *findpeaks* no gráfico de ECG.

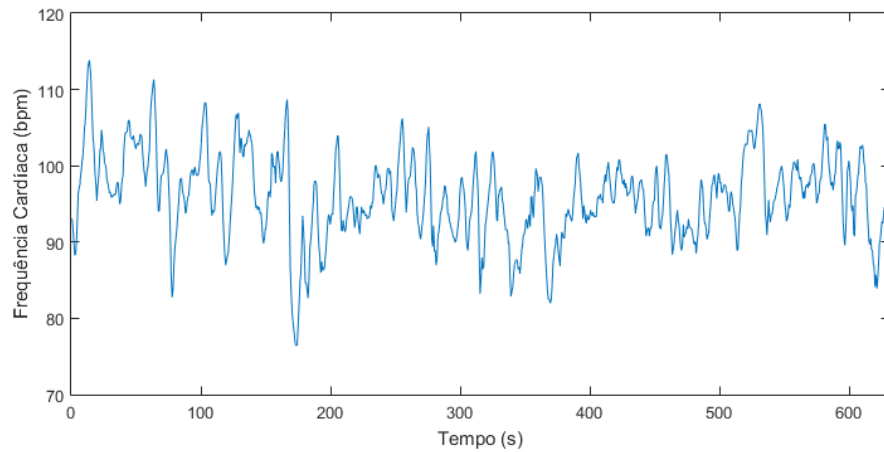


Figura 4.9: Exemplo da extração da frequência cardíaca a partir do gráfico de ECG.

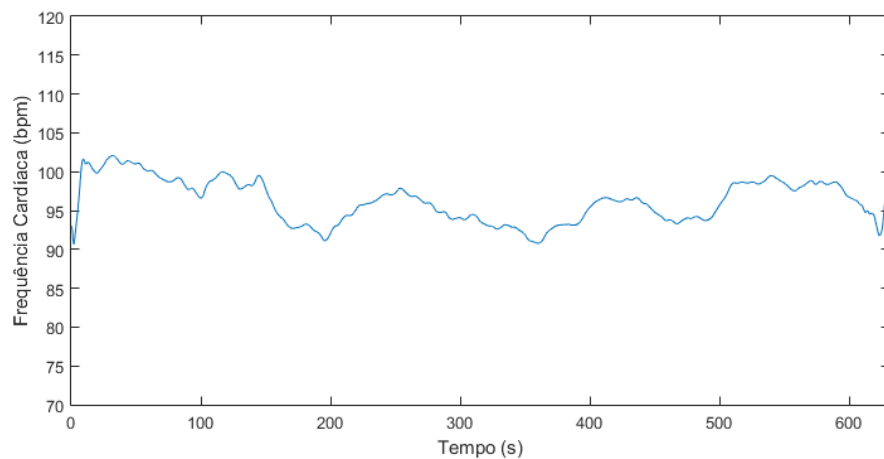


Figura 4.10: Exemplo de uma suavização da curva de frequência cardíaca a partir do gráfico de ECG.

Dessa forma, com os batimentos cardíacos detectados, é possível encontrar a taxa de batimentos cardíacos instantânea através do intervalo entre cada batimento. Entretanto, é possível observar através do gráfico mostrado na Figura 4.9 que os intervalos variam muito bruscamente.

Para suavizar a curva de taxa de batimentos cardíacos, é possível utilizar a função *smooth* do Matlab[54], que realiza uma média do valor atual com os  $n$  valores futuros. Considerando que a taxa de batimentos cardíacos normal é de cerca de 80 batimentos por minuto, foi realizada a suavização considerando  $n = 80$ . O resultado desta suavização é visto na Figura 4.10.

Pode-se ver que é possível agora obter um valor aceitável de frequência cardíaca nos diferentes momentos da sessão de jogo. Estes gráficos foram, então, utilizados para verificar o nível de excitação ou tédio do participante durante o experimento.

#### 4.3.3.2 Comparação com a Referência

A primeira coleta de dados de um sensor, conduzida com cada participante, foi realizada em repouso. Isto proporcionou uma referência para uma calibração simples do sensor ao analisar os dados. Portanto, para cada gráfico observado, seu valor foi subtraído com o valor da média do gráfico da referência para verificar o aumento ou diminuição daquele parâmetro em específico.

#### 4.3.3.3 Adequação das Respostas do Questionário

Na seção do questionário referente às mudanças emocionais de cada jogador, a pergunta permitia ao participante dizer quais sentimentos ele conseguia identificar através da gravação do *gameplay*, e em quais instantes eles ocorreram. Isto permitia que cada pessoa respondesse com diferentes sentimentos. Através de todos os questionários, foram citados 24 sentimentos diferentes. Desta forma, seria bastante complexo estudar os efeitos individuais de cada estado emocional em relação ao sinal gerado pelos sensores.

Portanto, para fins de simplificação, os sentimentos encontrados nos questionários foram divididos em duas categorias:

- **Intensos**, que causam os seguintes efeitos:

Um aumento da taxa de batimentos cardíacos no participante, sentido pelo sensor ECG;

Um aumento da condutividade da pele do participante, sentido pelo sensor EDA;

Uma reação dos músculos da face do participante, sentido pelo sensor EMG;

- **Suaves**, que não causam os efeitos acima.

A Tabela 4.1 mostra a classificação dos sentimentos descritos nos questionários.

A seguir, todos os momentos descritos pelos participantes puderam ser classificados. Então, foi possível pontuar estes instantes em um gráfico pelo tempo, com as emoções suaves e intensas valendo 1 e 2, respectivamente. A Figura 4.11 mostra um exemplo desta representação.

Desta forma, o cruzamento das informações foi bem definido, e, conseqüentemente, o objetivo da análise do experimento ficou mais claro. É possível perceber, que, de acordo com a especificação dos tipos de estados emocionais que podem ser detectados pelos sensores, os estados emocionais suaves são, a princípio, imperceptíveis a partir destes sensores utilizados. Portanto, o estudo conduzida

<b>Suaves</b>	<b>Intensos</b>
Concentração	Surpresa
Tédio	Felicidade
Decepção	Nervosismo
Tristeza	Apreensão
Orgulho	Empolgação
Alívio	Animação
Descrença	Indignação
Confusão	Amedrontamento
Auto-Confiança	Susto
Frustração	Decepção
Curiosidade	Aflição
	Raiva
	Impaciência

Tabela 4.1: Estados emocionais divididos em duas categorias.

neste trabalho foi direcionada à análise da detecção de sentimentos intensos a partir dos sensores de *biofeedback* no ambiente de jogos.

#### **4.4 RESULTADOS**

Após coletar os dados dos sensores, dos questionários e finalmente tratar os dados para melhor interpretação, foi possível gerar um gráfico final para cada coleta. Nestes gráficos estão presentes os valores obtidos através dos sensores, subtraídos da média do valor da coleta de referência, bem como a posição no tempo de cada emoção descrita pelos participantes através dos questionários, classificadas em suave ou intensa. As Figuras 4.12, 4.13 e 4.14 mostram exemplos dos gráficos gerados para cada sensor. Os demais gráficos estão presentes na seção de Anexos deste trabalho.

Nestes gráficos, é possível observar os pontos onde os momentos de emoção intensa representaram mudanças nos valores dos sensores. Quando isto ocorre, é razoável dizer que o evento foi detectado pelo sensor. Assim, esta análise foi feita para cada gráfico gerado.

##### **4.4.1 Resultados do Sensor ECG**

A Tabela 4.2 mostra o resultado geral para o sensor ECG, também dividido entre cada gênero de jogo nas Tabelas 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6.

##### **4.4.2 Resultados do Sensor EDA**

A Tabela 4.7 mostra o resultado geral para o sensor EDA, também dividido entre cada gênero de jogo nas Tabelas 4.8, 4.9, 4.10 e 4.11.

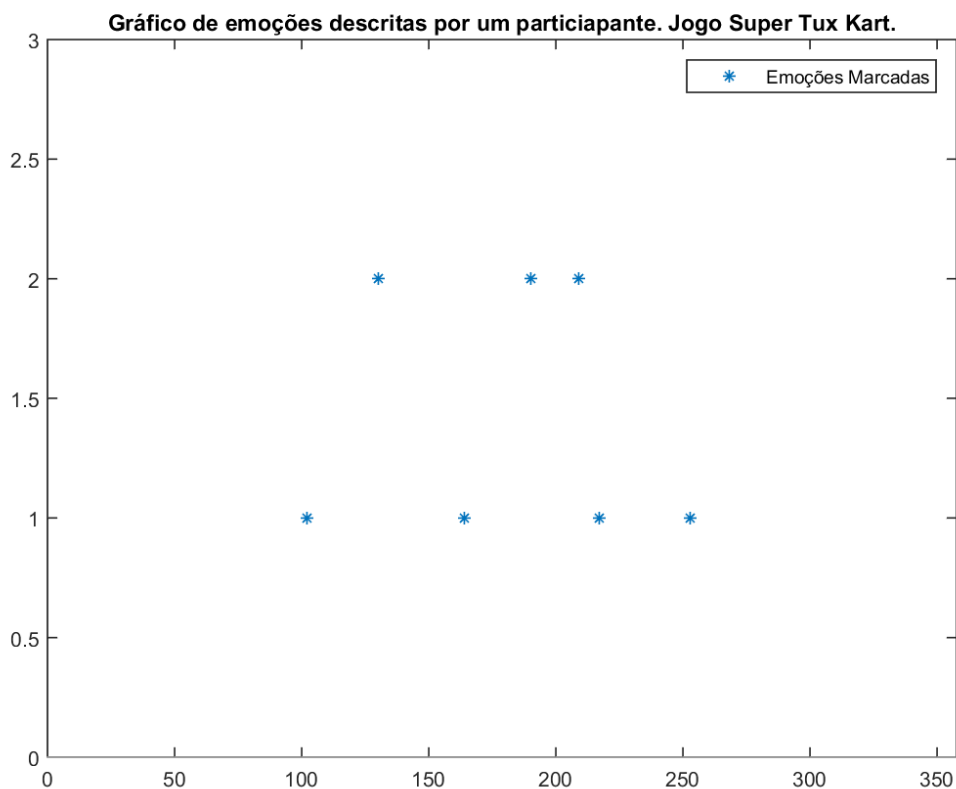


Figura 4.11: Exemplo da representação dos instantes em que sentimentos suaves e intensos ocorrem.

Sensor ECG

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
87	49	56,32%

Tabela 4.2: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor ECG.

Sensor ECG - Jogo Asteroids (Ação)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
23	13	56,52%

Tabela 4.3: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor ECG, jogo Asteroids.

Sensor ECG - Jogo pyDLASYIAS (Terror)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
31	21	67,74%

Tabela 4.4: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor ECG, jogo pyDLASYIAS.

### 4.4.3 Resultados do Sensor EMG

A Tabela 4.12 mostra o resultado geral para o sensor EMG, também dividido entre cada gênero de jogo nas Tabelas 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16.

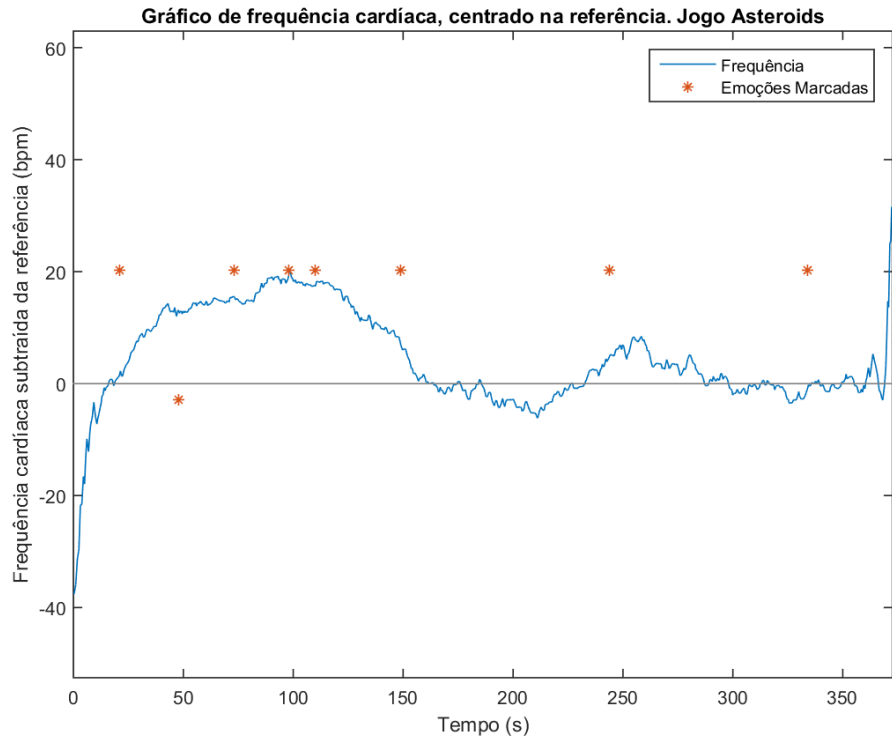


Figura 4.12: Exemplo de um gráfico final gerado para uma coleta do sensor ECG.

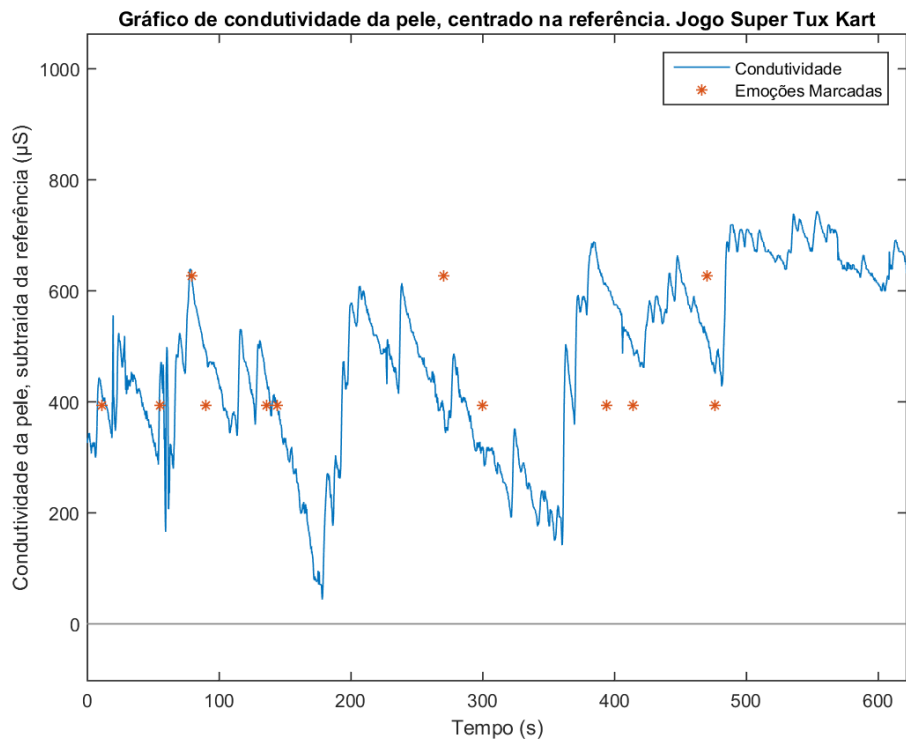


Figura 4.13: Exemplo de um gráfico final gerado para uma coleta do sensor EDA.



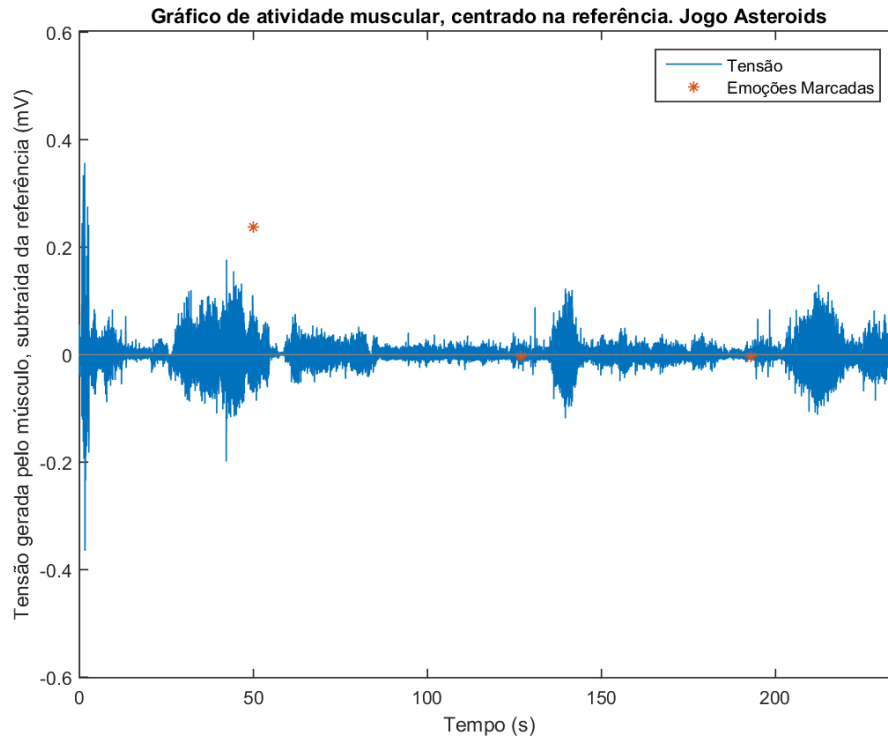


Figura 4.14: Exemplo de um gráfico final gerado para uma coleta do sensor EMG.

Sensor ECG - Jogo Wizznic (Raciocínio)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
7	3	42,86%

Tabela 4.5: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor ECG, jogo Wizznic.

Sensor ECG - Jogo Super Tux Kart (Corrida)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
26	12	46,15%

Tabela 4.6: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor ECG, jogo Super Tux Kart.

Sensor EDA

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
20	12	60%

Tabela 4.7: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EDA.

Sensor EDA - Jogo Asteroids (Ação)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
5	2	40%

Tabela 4.8: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EDA, jogo Asteroids.

Sensor EDA - Jogo pyDLASYIAS (Terror)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
4	2	50%

Tabela 4.9: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EDA, jogo pyDLASYIAS.

Sensor EDA - Jogo Wizznic (Raciocínio)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
3	1	33,33%

Tabela 4.10: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EDA, jogo Wizznic.

Sensor EDA - Jogo Super Tux Kart (Corrida)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
8	7	87,5%

Tabela 4.11: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EDA, jogo Super Tux Kart.

Sensor EMG

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
37	17	45,95%

Tabela 4.12: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EMG.

Sensor EMG - Jogo Asteroids (Ação)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
7	5	71,42%

Tabela 4.13: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EMG, jogo Asteroids.

Sensor EMG - Jogo pyDLASYIAS (Terror)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
14	8	57,14%

Tabela 4.14: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EMG, jogo pyDLASYIAS.

Sensor EMG - Jogo Wizznic (Raciocínio)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
5	2	40%

Tabela 4.15: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EMG, jogo Wizznic.

## 4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Primeiramente, devido ao problema relatado na Subseção 4.3.1, o sensor EDA possui poucos dados, em relação aos outros sensores, portanto estes não serão considerados durante a comparação

Sensor EMG - Jogo Super Tux Kart (Corrida)

Eventos Intensos	Eventos Intensos Detectados	Taxa de Acerto
11	2	18,18%

Tabela 4.16: Detecção de eventos causados por emoções intensas, sensor EMG, jogo Super Tux Kart.

de desempenho. Apesar disso, os resultados mostram que o EDA é um sensor promissor e, seguindo os comentários mostrados na Seção 3.3, possui uma correlação com o *stress* do usuário.

#### 4.5.1 Análise do Desempenho Geral

Observando o resultado geral das coletas, a partir das Tabelas 4.2 e 4.12, é possível observar que o sensor ECG foi o que detectou mais emoções intensas, aproximadamente 56,32% delas, contra 45,95% do sensor EMG. Isto está de acordo com o esperado, considerando a análise feita na Capítulo 3, onde a frequência cardíaca é um dos maiores indicadores de excitação ou tédio, dentro dos sensores estudados. O desempenho inferior do sensor EMG está relacionado, também, ao fato de a mudança de expressão facial do usuário não acontecer de forma determinística quando o participante passa por alguma das emoções citadas. O aumento dos batimentos cardíacos é muito mais involuntário, neste sentido. Outro aspecto importante a ser observado é que o desempenho encontrado para estes dois sensores está na mesma ordem de grandeza das outras análises dos artigos mostrados no Capítulo 3, o que fortalece a escolha dos métodos escolhidos para esta análise.

#### 4.5.2 Análise para os Gêneros de Jogos

Para ambos os sensores, os gêneros de ação e terror foram os que encontraram maior relação entre a detecção das emoções pelos sensores e as emoções relatadas. Isto era esperado, pois são gêneros de jogos que possuem uma carga elevada de *stress*, comparados ao de raciocínio, que foi o pior colocado. Já o gênero de corrida foi uma surpresa e obteve um desempenho muito inferior ao que se esperava, pois a princípio sua carga emocional poderia ser comparada aos jogos de terror e ação. Em especial na análise do sensor EMG, nem ao menos 20% das emoções intensas causadas pelo jogo de corrida foram detectadas pelo sensor. O que pode justificar isso é que o jogo pode ter causado uma imersão maior no participante, o que diminuiu a frequência na qual o jogador falou ou moveu seu rosto.

Tendo como base as tabelas mostradas nas Subseções 4.4.1 e 4.4.3, este estudo identificou que o sensor ECG é potencialmente mais indicado para detectar emoções intensas nos jogos de terror, raciocínio e corrida, enquanto o sensor EMG demonstrou maior adequação para identificar as mesmas emoções em jogos de ação.

## 5 CONCLUSÃO

Este trabalho consistiu em duas partes principais: a primeira, um estudo acerca dos artigos recentes que descreveram pesquisas empregando sensores *biofeedback* no contexto de jogos eletrônicos; a segunda, um experimento que teve como objetivo avaliar a adequação dos sensores para detectar determinadas emoções de jogadores, dado diferentes gêneros de jogos.

O levantamento de artigos foi fundamental para definir todo o roteiro do experimento posteriormente realizado. Várias técnicas e equipamentos utilizados nos artigos foram introduzidas durante a coleta dos dados do experimento. Isto contribuiu para uma maior confiança ao tratar e analisar os dados, sabendo que há base na literatura para que algumas das escolhas pudessem ser feitas no decorrer deste período.

Além disso, a pesquisa revelou a importância da análise do comportamento para a indústria de jogos. Ela proporciona ferramentas muito poderosas para garantir o divertimento e a imersão máximos, aumentando os lucros das empresas e fornecendo cada vez jogos com mais qualidade.

Já o experimento foi o ponto primordial deste trabalho, pois este visava contribuir ativamente na pesquisa de jogos eletrônicos e análise do comportamento. Ele utilizou, em sua maioria, ferramentas *open source* e *open hardware*, para garantir a maior reprodutibilidade do experimento por outros pesquisadores. Outro aspecto importante neste sentido foi escolher jogos de código aberto para permitir que a programação dos jogos fosse modificada em estudos futuros, inserindo novas variáveis na jogabilidade, inclusive variáveis de *biofeedback*.

Apesar de ter sido baseado em diversos outros experimentos, este também contém decisões, a princípio, inéditas, como a de categorizar as emoções descritas em níveis de intensidade. As consequências disto foram positivas, para simplificar a análise dos dados, porém isto pode ter causado algum tipo de viés inesperado nos resultados que comprometeram a integridade da análise feita.

O resultado encontrado foi considerado positivo, e espera-se que este trabalho contribua para aumentar a compreensão dos pesquisadores no campo de *Game Analytics* na usabilidade de sensores, a importância de considerar diferentes gêneros de jogos, além de quais decisões tomar ao conduzir experimentos e na validação dos dados encontrados.

Para complementar este estudo, sugere-se como trabalho futuro a condução de experimentos com o sensor de Eletroencefalografia (EEG), a fim de estudar a sua utilização em jogos que não possuem uma carga de *stress* tão alta, como os jogos de raciocínio, por exemplo. Também vale ressaltar a sugestão de uma nova realização de testes com o sensor EDA, para incluir seus resultados no comparativo com os demais sensores.

- [1] O. M. Giggins, U. M. Persson, and B. Caulfield, “Biofeedback in rehabilitation,” *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, vol. 10, no. 1, pp. 1–11, 2013. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-10-60>
- [2] I. Kotsia, I. Patras, and S. Fotopoulos, “Affective gaming: Beyond using sensors,” in *Communications Control and Signal Processing (ISCCSP), 2012 5th International Symposium on*, May 2012, pp. 1–4.
- [3] C. Bischke and N. Debnath, “Hardware solutions for biofeedback and game interactions,” in *Information Technology: New Generations (ITNG), 2014 11th International Conference on*, April 2014, pp. 73–77.
- [4] A. R. Subahni, L. Xia, and A. S. Malik, “Association of mental stress with video games,” in *Intelligent and Advanced Systems (ICIAS), 2012 4th International Conference on*, vol. 1, June 2012, pp. 82–85.
- [5] J. W. Hurst, “Naming of the waves in the ecg, with a brief account of their genesis,” *Circulation*, vol. 98, no. 18, pp. 1937–1942, 1998. [Online]. Available: <http://circ.ahajournals.org/content/98/18/1937.short>
- [6] C. Setz, B. Arnrich, J. Schumm, R. L. Marca, G. Tröster, and U. Ehlert, “Discriminating stress from cognitive load using a wearable eda device,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, no. 2, pp. 410–417, March 2010.
- [7] L. E. Nacke, M. N. Grimshaw, and C. A. Lindley, “More than a feeling: Measurement of sonic user experience and psychophysiology in a first-person shooter game,” *Interact. Comput.*, vol. 22, no. 5, pp. 336–343, Sep. 2010. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2010.04.005>
- [8] A. Maricic and H. P. Leang, “Biofeedback computer game-based training,” in *47th International Symposium ELMAR, 2005.*, June 2005, pp. 185–188.
- [9] M. Ambinder, “Biofeedback in gameplay: how valve measures physiology to enhance gaming experience,” 2011.
- [10] K. Kuikkaniemi, T. Laitinen, M. Turpeinen, T. Saari, I. Kosunen, and N. Ravaja, “The influence of implicit and explicit biofeedback in first-person shooter games,” in *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '10. New York, NY, USA: ACM, 2010, pp. 859–868. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1753326.1753453>
- [11] M. C. dOrnellas, D. J. Cargnin, and A. L. C. Prado, “Thoroughly approach to upper limb rehabilitation using serious games for intensive group physical therapy or individual biofeedback training,” in *2014 Brazilian Symposium on Computer Games and Digital Entertainment*, Nov 2014, pp. 140–147.

- [12] “Bitalino kit web page,” 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: <http://www.bitalino.com/index.php/board-kit>
- [13] “Bitalino ecg sensor datasheet,” 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: [http://bitalino.com/datasheets/ECG\\_Sensor\\_Datasheet.pdf](http://bitalino.com/datasheets/ECG_Sensor_Datasheet.pdf)
- [14] “Bitalino emg sensor datasheet,” 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: [http://bitalino.com/datasheets/EMG\\_Sensor\\_Datasheet.pdf](http://bitalino.com/datasheets/EMG_Sensor_Datasheet.pdf)
- [15] “Bitalino eda sensor datasheet,” 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: [http://bitalino.com/datasheets/EDA\\_Sensor\\_Datasheet.pdf](http://bitalino.com/datasheets/EDA_Sensor_Datasheet.pdf)
- [16] B. Bates, *Game Design*, 2nd ed. Premier Press, 2004. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=f7XFJnGrb3UC>
- [17] M. S. El-Nasr, A. Drachen, and A. Canossa, *Game Analytics: Maximizing the Value of Player Data*. Springer London, 2013.
- [18] C. Bischke and N. Debnath, “Biofeedback implementation in a video game environment,” in *Information Technology: New Generations (ITNG), 2014 11th International Conference on*, April 2014, pp. 78–83.
- [19] E. Lopetegui, B. G. Zapirain, and A. Mendez, “Tennis computer game with brain control using eeg signals,” in *Computer Games (CGAMES), 2011 16th International Conference on*, July 2011, pp. 228–234.
- [20] D. G. Park and H. C. Kim, “Muscleman: Wireless input device for a fighting action game based on the emg signal and acceleration of the human forearm.”
- [21] V. Vachiratamporn, R. Legaspi, K. Moriyama, K.-i. Fukui, and M. Numao, “An analysis of player affect transitions in survival horror games,” *Journal on Multimodal User Interfaces*, vol. 9, no. 1, pp. 43–54, 2015. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1007/s12193-014-0153-4>
- [22] A. Drachen and A. Canossa, “Evaluating motion: spatial user behaviour in virtual environments,” *International Journal of Arts and Technology*, vol. 3, no. 4, pp. 294–314, 2011.
- [23] A. Çakır İlhan, Y. Ng, C. Khong, and H. Thwaites, “The world conference on design, arts and education (dae-2012), may 1-3 2012, antalya, turkey a review of affective design towards video games,” *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 51, pp. 687 – 691, 2012. [Online]. Available: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812033630>
- [24] H. Converse, T. Ferraro, D. Jean, L. Jones, V. Mendhiratta, E. Naviasky, M. Par, T. Rimlinger, S. Southall, J. Sprenkle, and P. Abshire, “An emg biofeedback device for video game use in forearm physiotherapy,” in *SENSORS, 2013 IEEE*, Nov 2013, pp. 1–4.
- [25] I. O. F. Standardization, *ISO 9241-11: Ergonomic Requirements for Office Work with Visual Display Terminals (VDTs): Part 11: Guidance on Usability*. ISO, 1998. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=TzXYZwEACAAJ>

- [26] R. J. Pagulayan, K. Keeker, D. Wixon, R. L. Romero, and T. Fuller, “User-centered design in games,” in *The Human-computer Interaction Handbook*, J. A. Jacko and A. Sears, Eds. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc., 2003, pp. 883–906. [Online]. Available: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=772072.772128>
- [27] R. Bernhaupt, M. Eckschlager, and M. Tscheligi, “Methods for evaluating games: How to measure usability and user experience in games?” in *Proceedings of the International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, ser. ACE '07. New York, NY, USA: ACM, 2007, pp. 309–310. [Online]. Available: <http://doi.acm.org/10.1145/1255047.1255142>
- [28] L. Caroux, K. Isbister, L. Le Bigot, and N. Vibert, “Player–video game interaction: A systematic review of current concepts,” *Computers in Human Behavior*, vol. 48, pp. 366–381, 2015. [Online]. Available: <https://hal.inria.fr/hal-01108083>
- [29] C. Jennett, A. L. Cox, P. Cairns, S. Dhoparee, A. Epps, T. Tijs, and A. Walton, “Measuring and defining the experience of immersion in games,” *Int. J. Hum.-Comput. Stud.*, vol. 66, no. 9, pp. 641–661, Sep. 2008. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2008.04.004>
- [30] A. A. Mahmud, O. Mubin, J. R. Octavia, S. Shahid, L. Yeo, P. Markopoulos, J. B. Martens, and D. Aliakseyeu, “Affective tabletop game: A new gaming experience for children,” in *Horizontal Interactive Human-Computer Systems, 2007. TABLETOP '07. Second Annual IEEE International Workshop on*, Oct 2007, pp. 44–51.
- [31] E. Abe, H. Chigira, K. Fujiwarai, T. Yamakawa, and M. Kano, “Heart rate monitoring by a pulse sensor embedded game controller,” in *2015 Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA)*, Dec 2015, pp. 1266–1269.
- [32] G. N. Yannakakis, “Game adaptivity impact on affective physical interaction,” in *2009 3rd International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction and Workshops*, Sept 2009, pp. 1–6.
- [33] A. H. Beg, N. Ahmad, N. Khan, A. N. A. Alla, M. Nubli, and A. K. Lovely, “Artificial intelligent strategy to control heart rate variability,” in *Electronic Computer Technology (ICECT), 2010 International Conference on*, May 2010, pp. 228–231.
- [34] A. Landowska and M. R. Wróbel, “Affective reactions to playing digital games,” in *2015 8th International Conference on Human System Interaction (HSI)*, June 2015, pp. 264–270.
- [35] M. A. G. Maureira, L. E. Rombout, L. Teernstra, I. C. T. M. Speek, and J. Broekens, “The influence of subliminal visual primes on player affect in a horror computer game,” in *Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII), 2015 International Conference on*, Sept 2015, pp. 705–711.
- [36] A. Parnandi and R. Gutierrez-Osuna, “Physiological modalities for relaxation skill transfer in biofeedback games,” *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, vol. PP, no. 99, pp. 1–1, 2015.

- [37] Q. Li, H. Alemzadeh, Z. Kalbarczyk, and R. K. Iyer, "A fault-tolerant hardware architecture for robust wearable heart rate monitoring," in *Pervasive Computing Technologies for Healthcare (PervasiveHealth)*, 2015 9th International Conference on, May 2015, pp. 185–192.
- [38] J. A. Healey and R. W. Picard, "Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 156–166, June 2005.
- [39] W. B. Fye, "A history of the origin, evolution, and impact of electrocardiography," *American Journal of Cardiology*, vol. 73, no. 13, pp. 937–949, 1995. [Online]. Available: [http://dx.doi.org/10.1016/0002-9149\(94\)90135-X](http://dx.doi.org/10.1016/0002-9149(94)90135-X)
- [40] W. Boucsein, *Electrodermal Activity*, ser. The Springer series in behavioral psychophysiology and medicine. Springer US, 2012. [Online]. Available: <https://books.google.com.br/books?id=6N6rnOEZEEoC>
- [41] M. R. Ahsan, M. I. Ibrahimy, and O. O. Khalifa, "Emg signal classification for human computer interaction: A review", european," *Journal of Scientific Research ISSN 1450-216*, pp. 480–501, 2009.
- [42] C. E. Stepp, D. Britton, C. Chang, A. L. Merati, and Y. Matsuoka, "Feasibility of game-based electromyographic biofeedback for dysphagia rehabilitation," in *Neural Engineering (NER)*, 2011 5th International IEEE/EMBS Conference on, April 2011, pp. 233–236.
- [43] E. Niedermeyer and F. da Silva, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, ser. LWW Doody's all reviewed collection. Lippincott Williams & Wilkins, 2005. [Online]. Available: <https://books.google.fi/books?id=tndqYGPHQdEC>
- [44] IEEE, "Ieee xplore digital library," 2016, [Online; accessed 10-June-2016]. [Online]. Available: <http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>
- [45] G. A. da Silva, P. A. Nogueira, and R. Rodrigues, "Multimodal vs. unimodal biofeedback in videogames: An empirical player study using a first-person shooter," in *2014 9th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, June 2014, pp. 1–6.
- [46] E. Heiden, Y. Lajoie, and A. Nativ, "Games-based biofeedback training applications in rehabilitation and fall prevention," in *2009 Virtual Rehabilitation International Conference*, June 2009, pp. 215–215.
- [47] Y. Li, A. S. Elmaghraby, and E. M. Sokhadze, "Designing immersive affective environments with biofeedback," in *Computer Games: AI, Animation, Mobile, Multimedia, Educational and Serious Games (CGAMES)*, 2015, July 2015, pp. 73–77.
- [48] G. M. Lyons, P. Sharma, M. Baker, S. O'Malley, and A. Shanahan, "A computer game-based emg biofeedback system for muscle rehabilitation," in *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, vol. 2, Sept 2003, pp. 1625–1628 Vol.2.



- [49] F. Negini, R. L. Mandryk, and K. G. Stanley, "Using affective state to adapt characters, npcs, and the environment in a first-person shooter game," in *Games Media Entertainment (GEM), 2014 IEEE*, Oct 2014, pp. 1–8.
- [50] H. A. Osman, H. Dong, and A. E. Saddik, "Ubiquitous biofeedback serious game for stress management," *IEEE Access*, vol. 4, pp. 1274–1286, 2016.
- [51] K. P. Thomas, A. P. Vinod, and C. Guan, "Enhancement of attention and cognitive skills using eeg based neurofeedback game," in *Neural Engineering (NER), 2013 6th International IEEE/EMBS Conference on*, Nov 2013, pp. 21–24.
- [52] "Bitalino board kit datasheet," 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: [http://bitalino.com/datasheets/BITalino\\_Board\\_Datasheet.pdf](http://bitalino.com/datasheets/BITalino_Board_Datasheet.pdf)
- [53] Mathworks, "Find local maxima - matlab findpeaks," 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/signal/ref/findpeaks.html>
- [54] —, "Smooth response data - matlab smooth," 2016, [Online; accessed 20-November-2016]. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/help/curvefit/smooth.html>

# Apêndice

## 1 QUESTIONÁRIO

Nesta seção, será mostrado com mais detalhes o questionário aplicado com cada participante. As perguntas feitas são mostradas a seguir.

### 1. Parte 1 - Perguntas Gerais

Nome.

Idade.

Você já havia participado deste tipo de pesquisa anteriormente?

Você se considera experiente em jogos eletrônicos?

Quais são os seus gêneros de jogos favoritos?

### 2. Parte 2 - Análise de Emoções no Jogo - Sensor ECG.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Asteroids.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Five Nights At Freddy's.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Wizznic.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Super Tux Kart.

### 3. Parte 3 - Análise de Emoções no Jogo - Sensor EDA.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Asteroids.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Five Nights At Freddy's.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Wizznic.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Super Tux Kart.

### 4. Parte 4 - Análise de Emoções no Jogo - Sensor EMG.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Asteroids.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Five Nights At Freddy's.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Wizznic.

Descreva aqui quais estados emocionais você consegue identificar em diferentes momentos do vídeo do jogo Super Tux Kart.

5. Parte 5 - Perguntas Finais.

Você já conhecia quais desses jogos anteriormente? (Asteroids, pyDLASYIAS, Wizznic, Super Tux Kart)

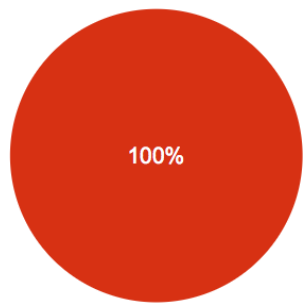
Você encontrou dificuldades em jogar algum jogo? (Asteroids, pyDLASYIAS, Wizznic, Super Tux Kart)

Qual foi seu jogo favorito? (Asteroids, pyDLASYIAS, Wizznic, Super Tux Kart)

Alguns dos sensores lhe causou incômodo?

## 2 RESPOSTAS AO QUESTIONÁRIO

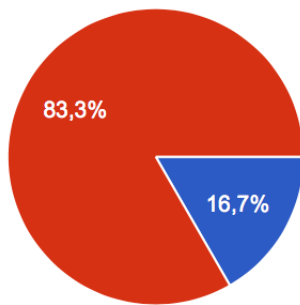
### Você já havia participado deste tipo de pesquisa anteriormente?



Sim	0	0%
Não	6	100%

Figura 1: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 1

### Você se considera experiente em jogos eletrônicos?



Sim	1	16.7%
Não	5	83.3%

Figura 2: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 2

### Asteroids (Nave) [Você já conhecia quais desses jogos anteriormente?]



Já conhecia	2	33.3%
Não conhecia	4	66.7%

Figura 3: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 3

**Five Nights at Freddy's (Terror) [Você já conhecia quais desses jogos anteriormente?]**



Figura 4: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 4

**Super Tux Kart (Corrida) [Você já conhecia quais desses jogos anteriormente?]**



Figura 5: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 5

**Wizznic (Raciocínio) [Você já conhecia quais desses jogos anteriormente?]**



Figura 6: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 6

**Quais são os seus gêneros de jogos favoritos?**

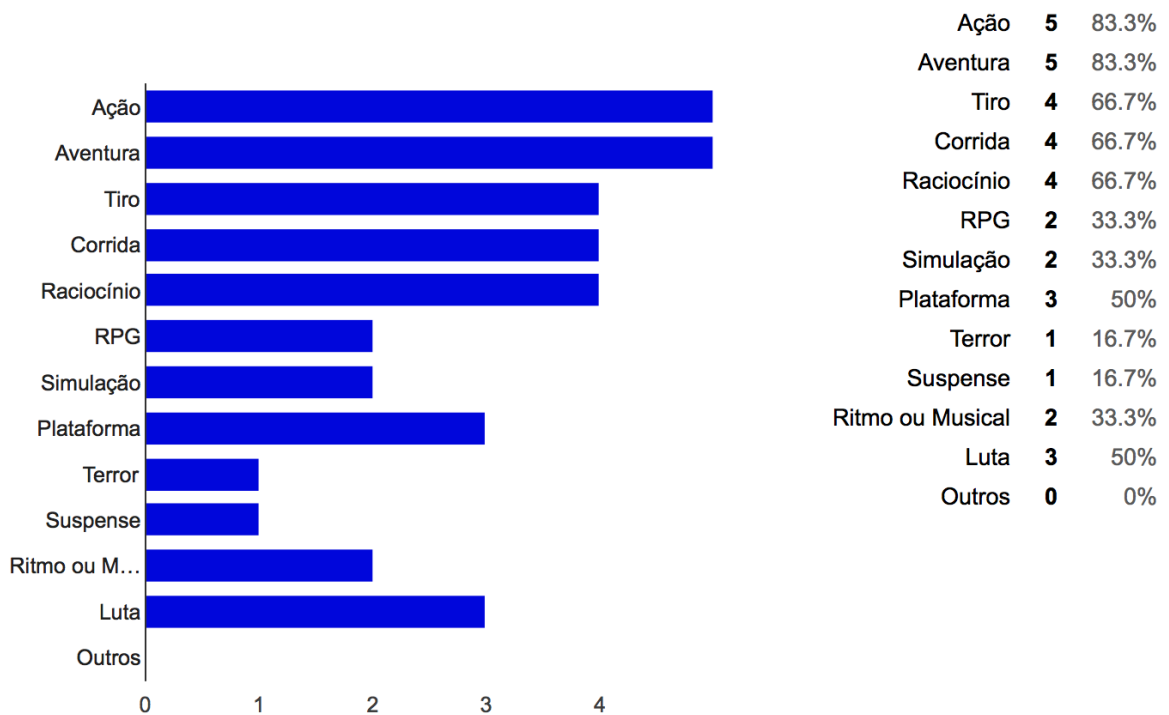


Figura 7: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 7

### Asteroids (Nave) [Você encontrou dificuldades em jogar algum jogo?]



Figura 8: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 8

### Five Nights at Freddy's (Terror) [Você encontrou dificuldades em jogar algum jogo?]



Figura 9: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 9

### Super Tux Kart (Corrida) [Você encontrou dificuldades em jogar algum jogo?]



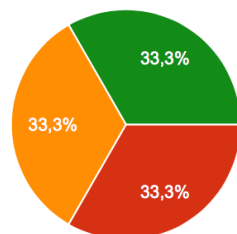
Figura 10: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 10

### Wizznic (Raciocínio) [Você encontrou dificuldades em jogar algum jogo?]



Figura 11: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 11

### Qual foi seu jogo favorito?



Asteroids (Nave)	0	0%
Five Nights at Freddy's (Terror)	2	33.3%
Super Tux Kart (Corrida)	2	33.3%
Wizznic (Raciocínio)	2	33.3%

Figura 12: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 12

## 3 GRÁFICOS GERADOS

### Eletrocardiografia (eletrodos no peito) [Algun dos sensores lhe causou incômodo?]



Figura 13: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 13

### Eletromiografia (eletrodos no rosto) [Algun dos sensores lhe causou incômodo?]



Figura 14: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 14

### Sensor de resposta galvânica da pele (eletrodos na mão) [Algun dos sensores lhe causou incômodo?]



Figura 15: Respostas das perguntas gerais do questionário - Parte 15

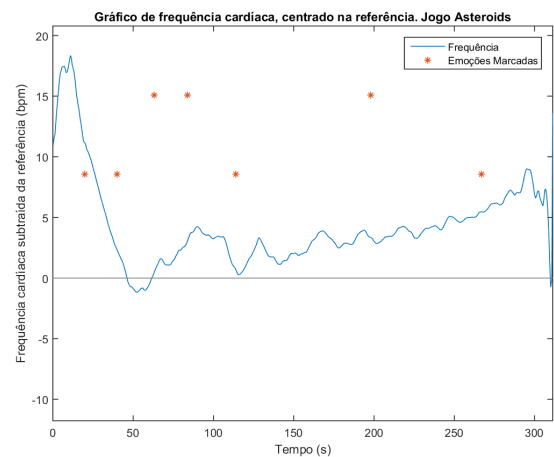
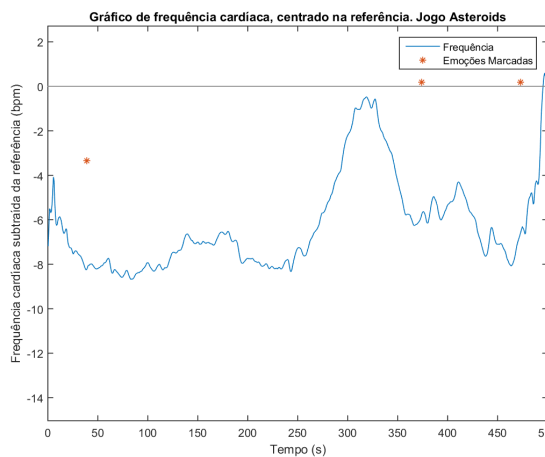


Figura 16: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Asteroids - Participante 1

Figura 17: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Asteroids - Participante 2

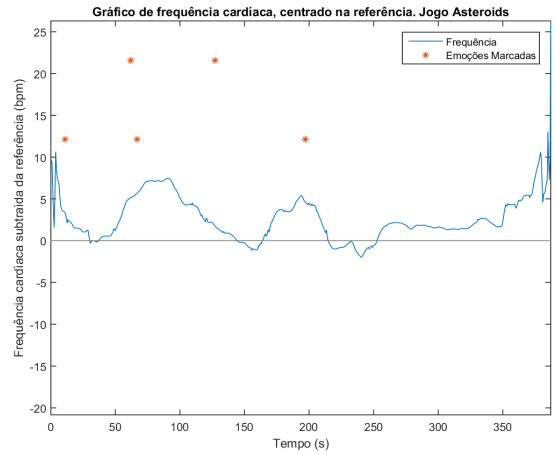
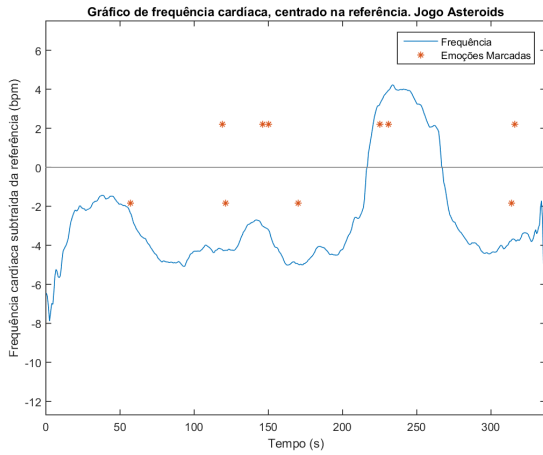


Figura 18: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Asteroids - Participante 3

Figura 19: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Asteroids - Participante 4

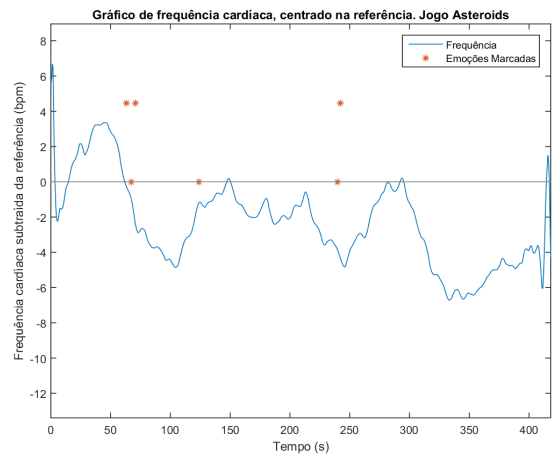
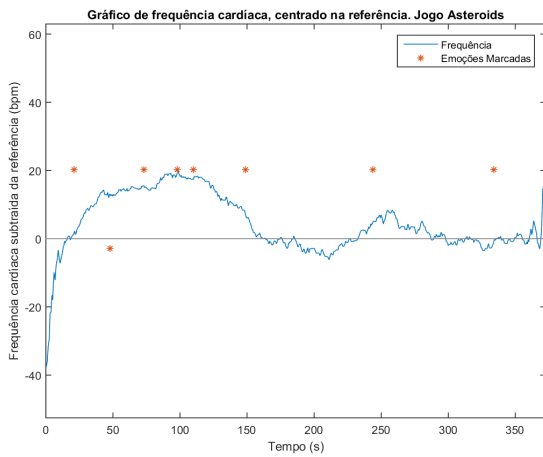


Figura 20: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Asteroids - Participante 5

Figura 21: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Asteroids - Participante 6

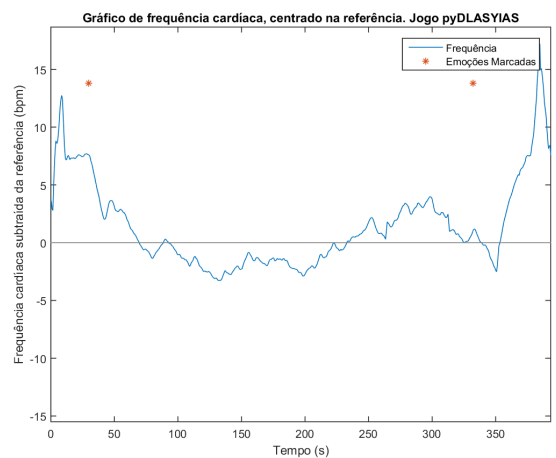
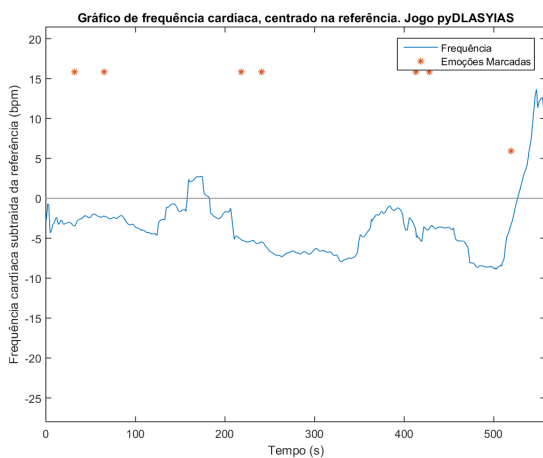


Figura 22: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo pyDLASYIAS - Participante 1

Figura 23: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo pyDLASYIAS - Participante 2



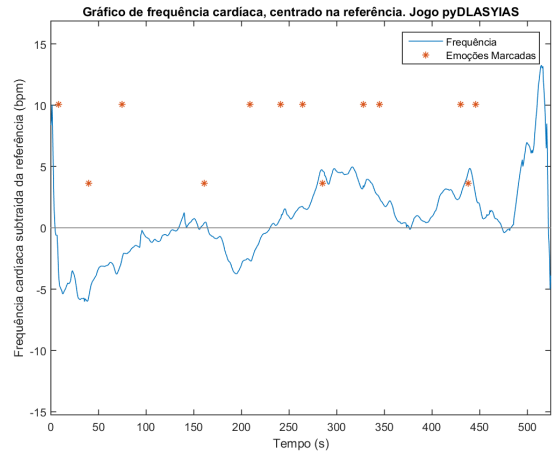
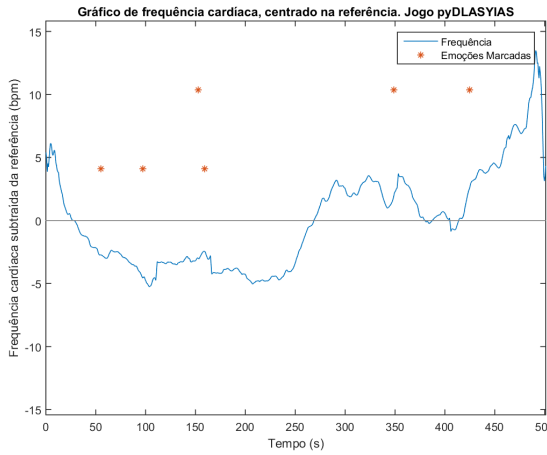


Figura 24: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo pyDLASYIAS - Participante 3

Figura 25: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo pyDLASYIAS - Participante 4

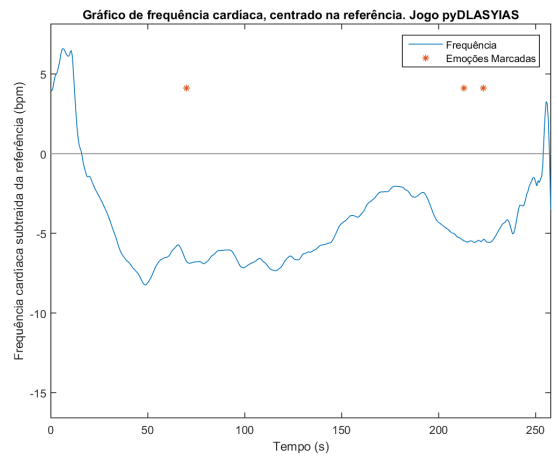
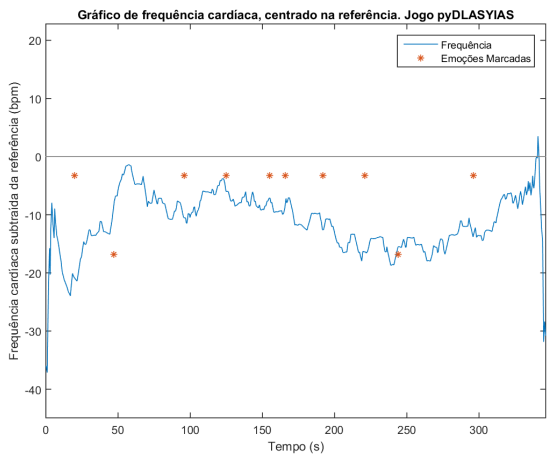


Figura 26: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo pyDLASYIAS - Participante 5

Figura 27: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo pyDLASYIAS - Participante 6

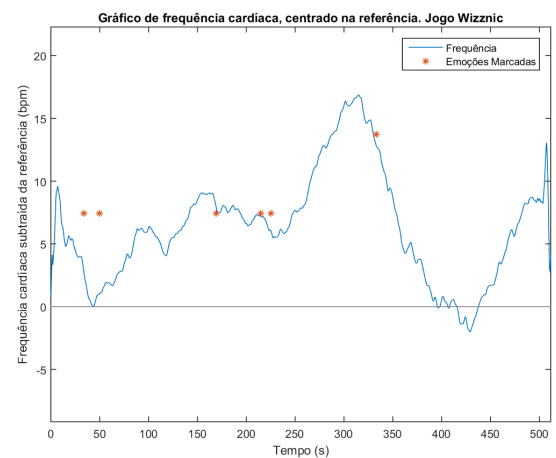
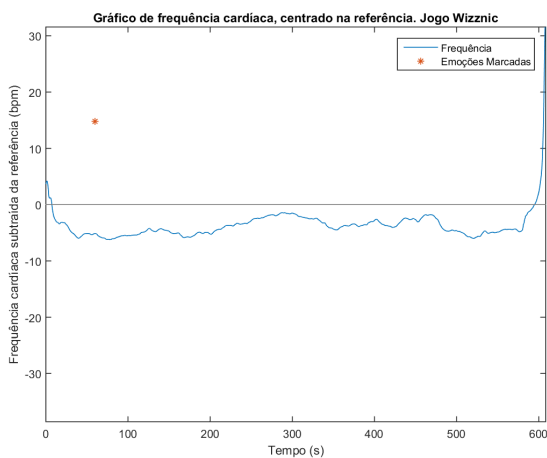


Figura 28: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Wizznic - Participante 1

Figura 29: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo Wizznic - Participante 2

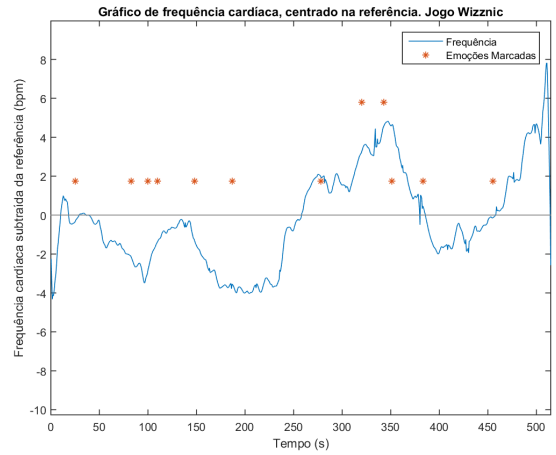
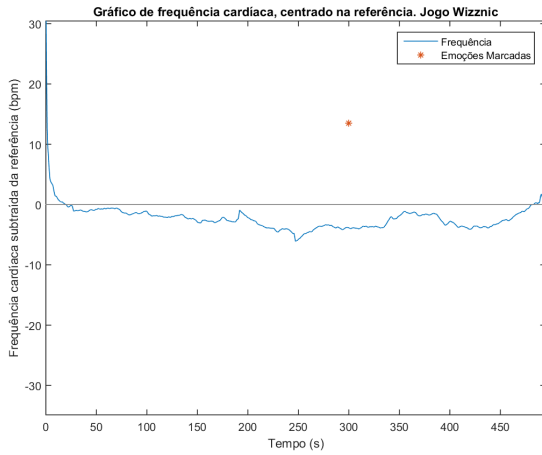


Figura 30: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Wizznic - Participante 3

Figura 31: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Wizznic - Participante 4

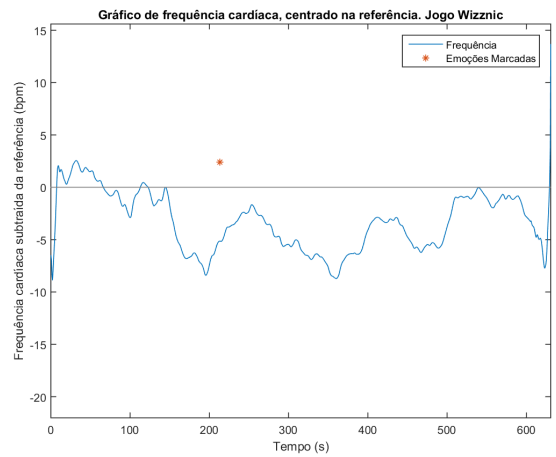
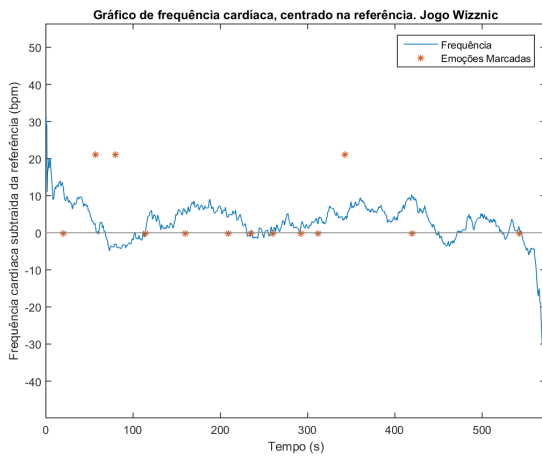


Figura 32: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Wizznic - Participante 5

Figura 33: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Wizznic - Participante 6

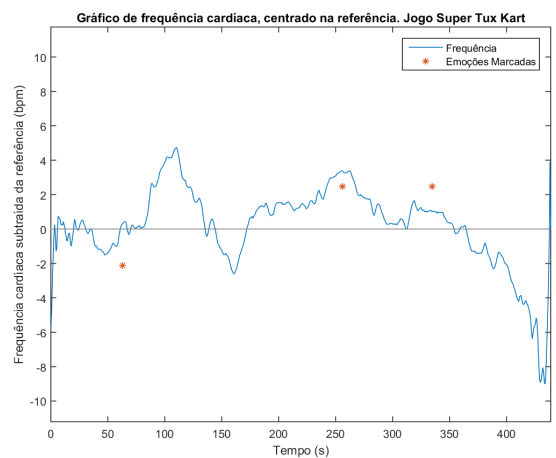
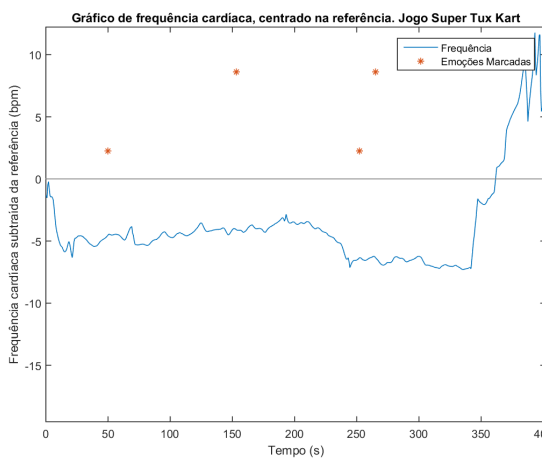


Figura 34: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Super Tux Kart - Participante 1

Figura 35: Gráfico gerado para o sensor ECG -Jogo Super Tux Kart - Participante 2

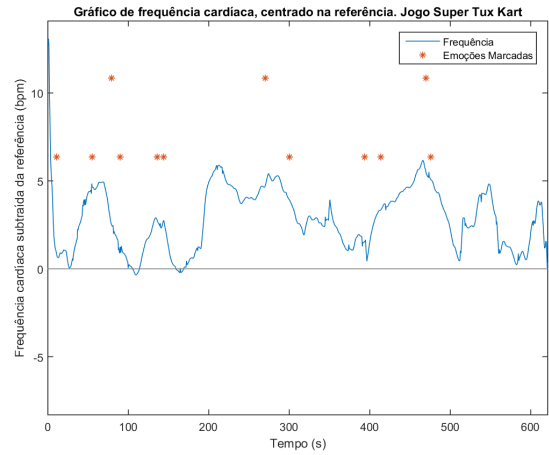
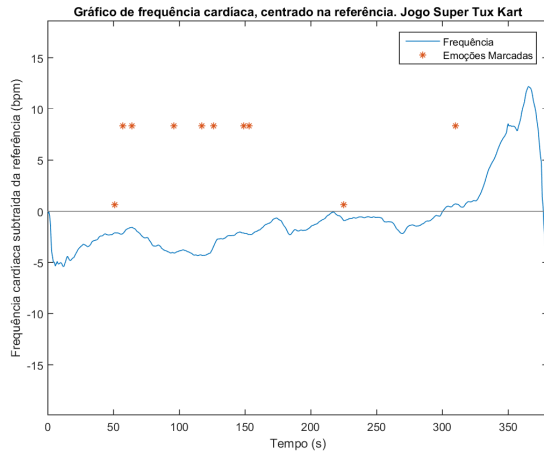


Figura 36: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo Super Tux Kart - Participante 3

Figura 37: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo Super Tux Kart - Participante 4

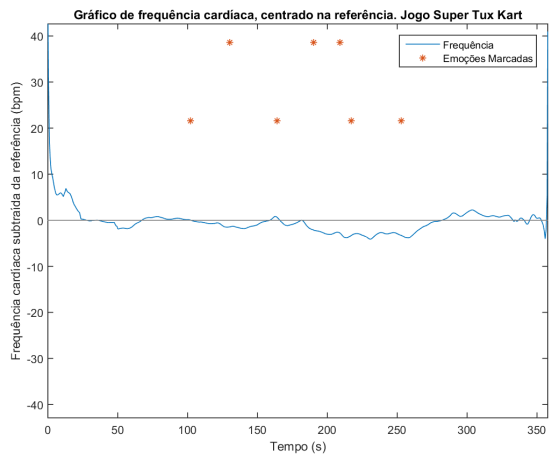
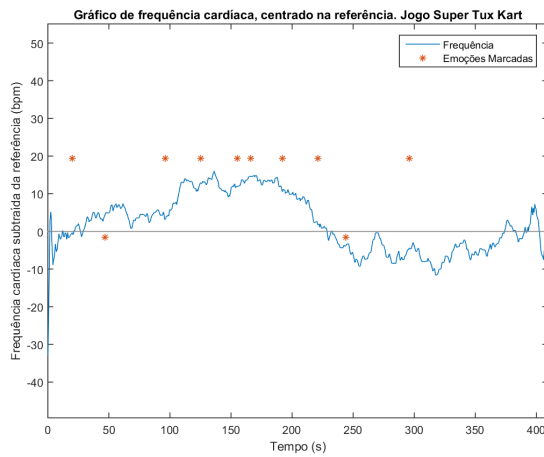


Figura 38: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo Super Tux Kart - Participante 5

Figura 39: Gráfico gerado para o sensor ECG - Jogo Super Tux Kart - Participante 6

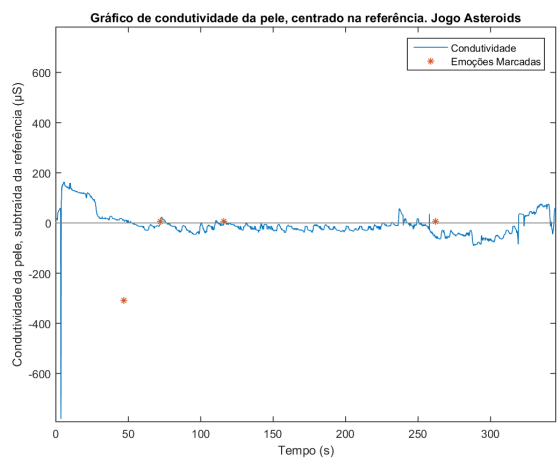
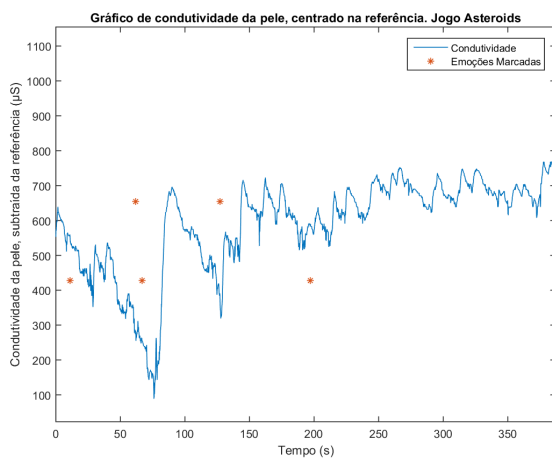


Figura 40: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo Asteroids - Participante 1

Figura 41: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo Asteroids - Participante 2

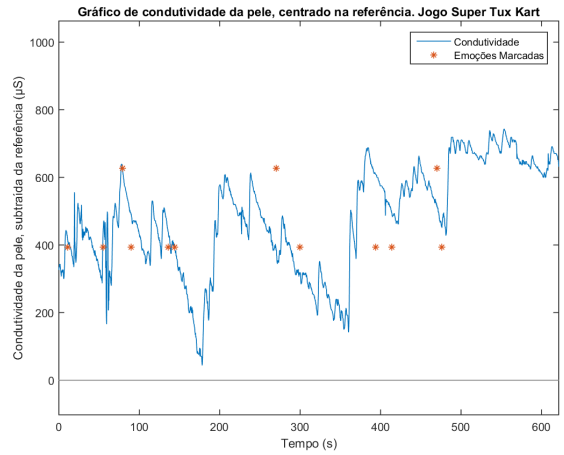
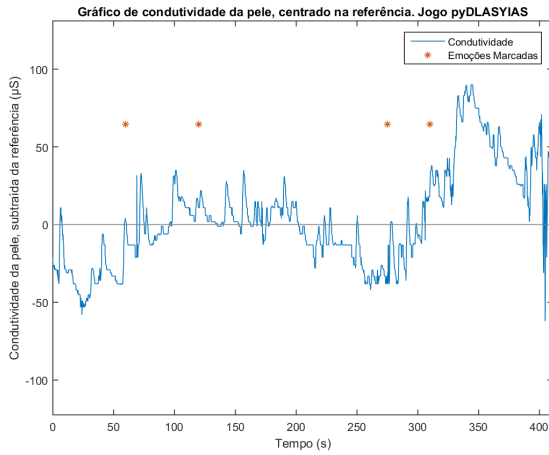


Figura 42: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo pyDLASYIAS - Participante 1

Figura 43: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo Super Tux Kart - Participante 1

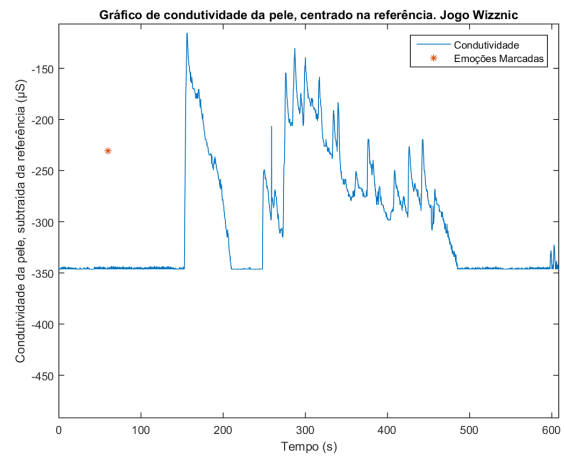
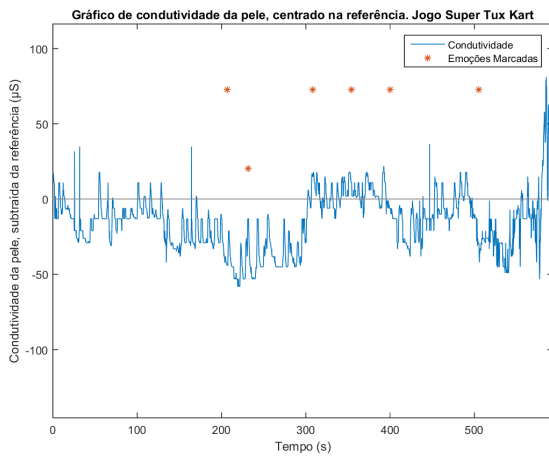


Figura 44: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo Super Tux Kart - Participante 2

Figura 45: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo Wizznic - Participante 1

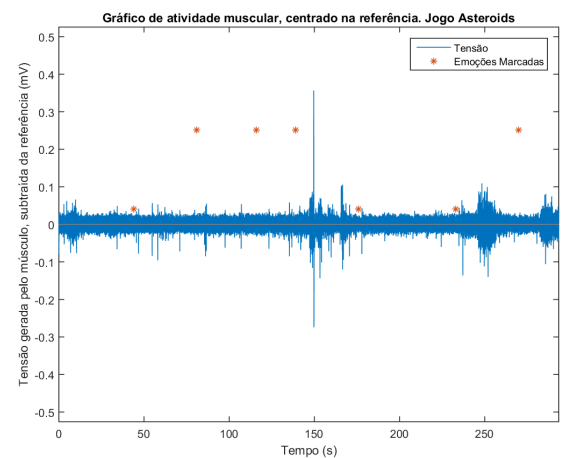
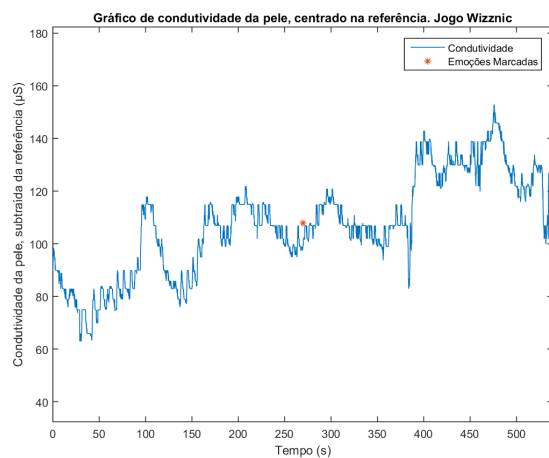


Figura 46: Gráfico gerado para o sensor EDA - Jogo Wizznic - Participante 2

Figura 47: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Asteroids - Participante 1

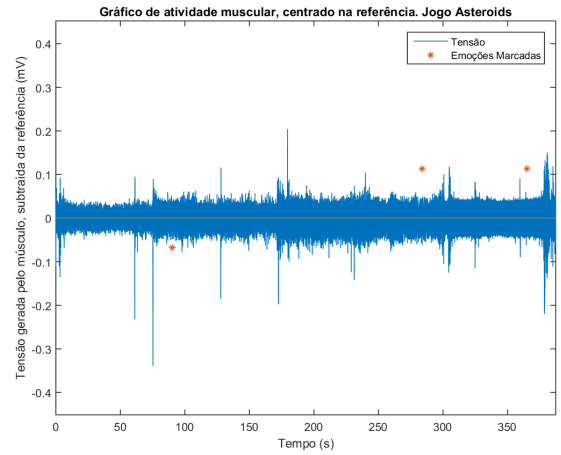
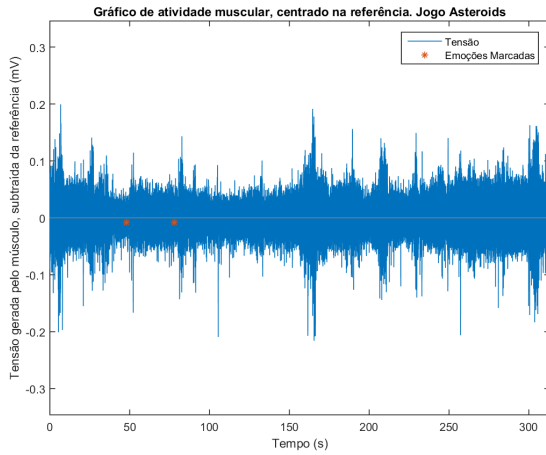


Figura 48: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Asteroids - Participante 2

Figura 49: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Asteroids - Participante 3

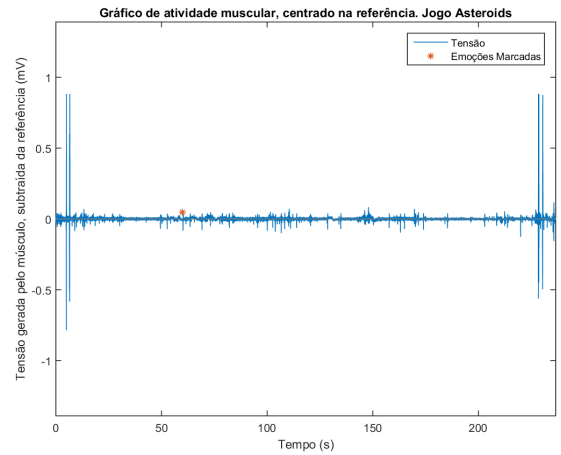
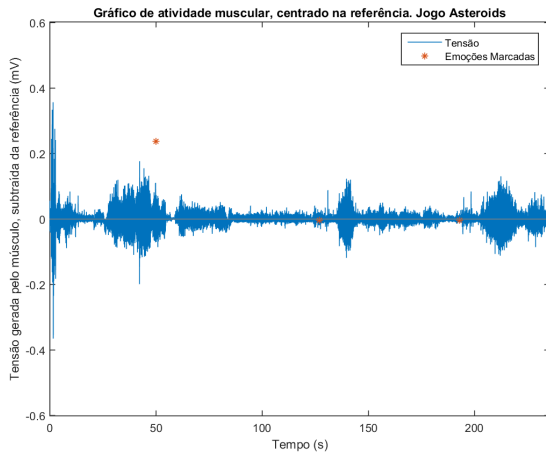


Figura 50: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Asteroids - Participante 4

Figura 51: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Asteroids - Participante 5

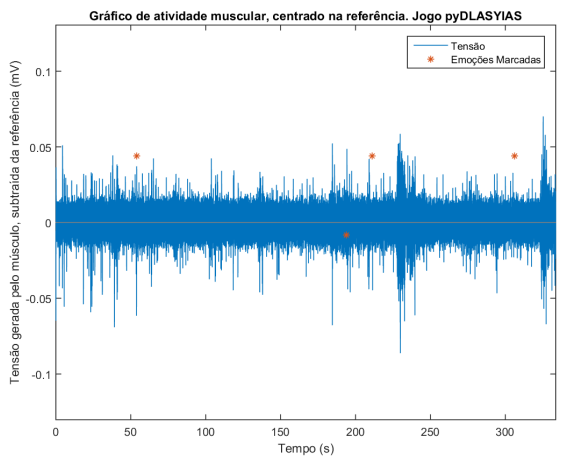
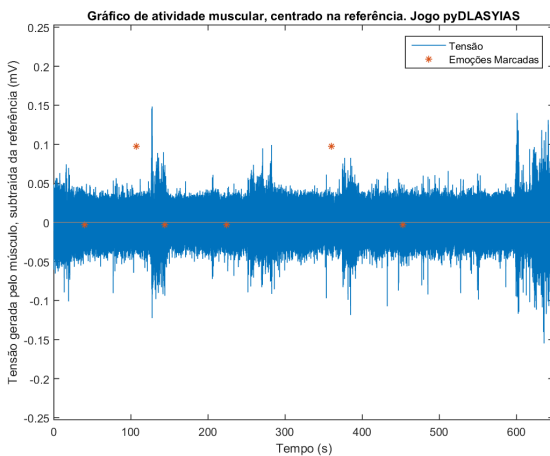


Figura 52: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo pyDLASYIAS - Participante 1

Figura 53: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo pyDLASYIAS - Participante 2

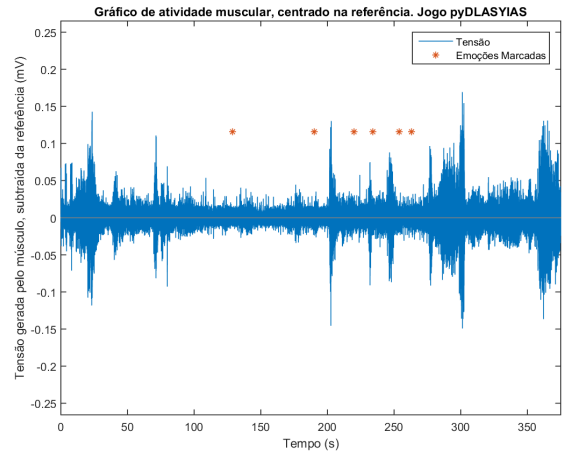
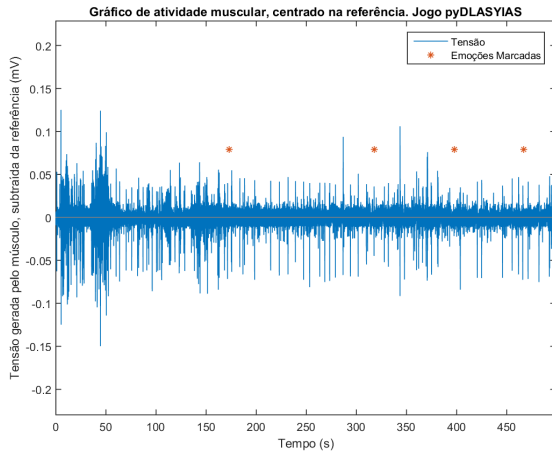


Figura 54: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo pyDLASYIAS - Participante 3

Figura 55: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo pyDLASYIAS - Participante 4

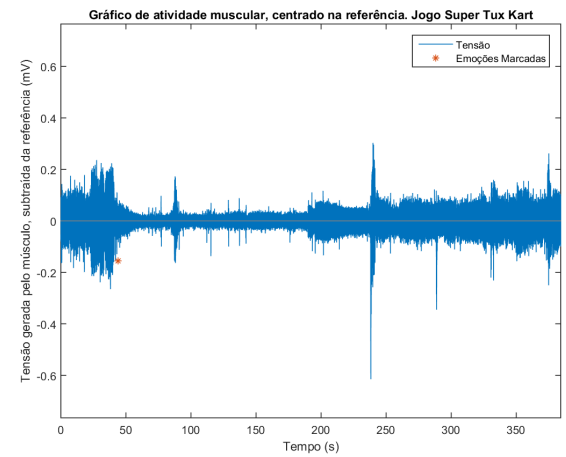
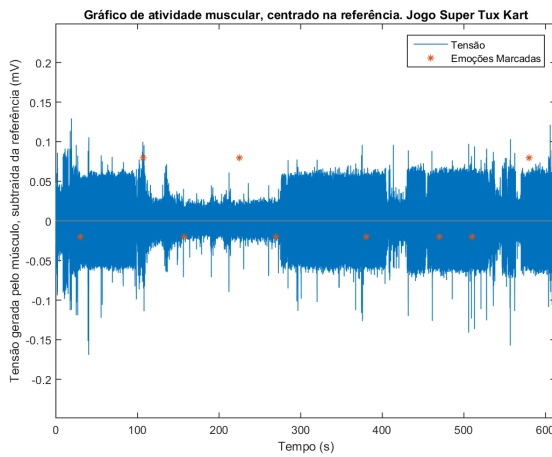


Figura 56: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Super Tux Kart - Participante 1

Figura 57: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Super Tux Kart - Participante 2

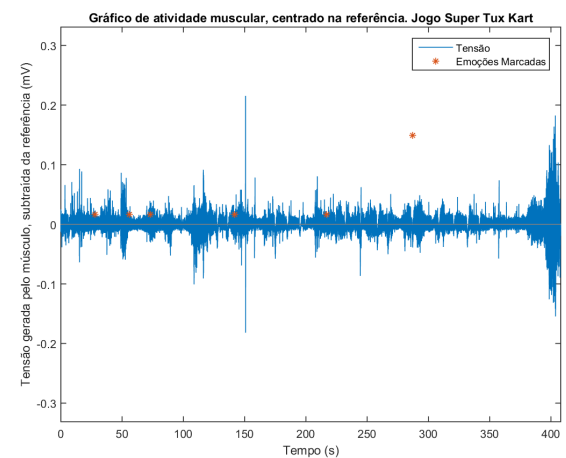
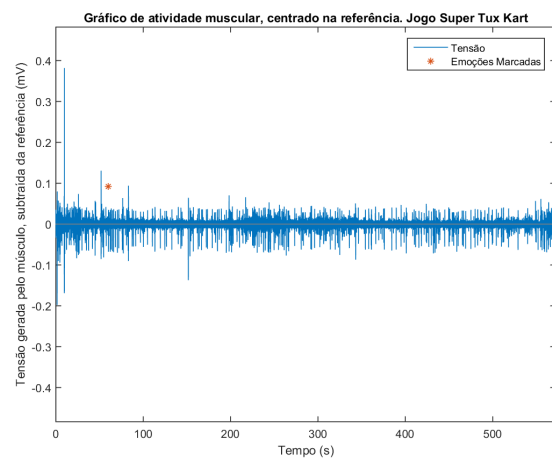


Figura 58: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Super Tux Kart - Participante 3

Figura 59: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Super Tux Kart - Participante 4

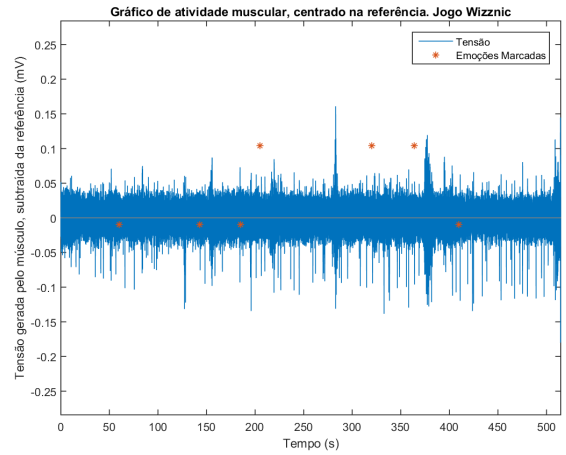
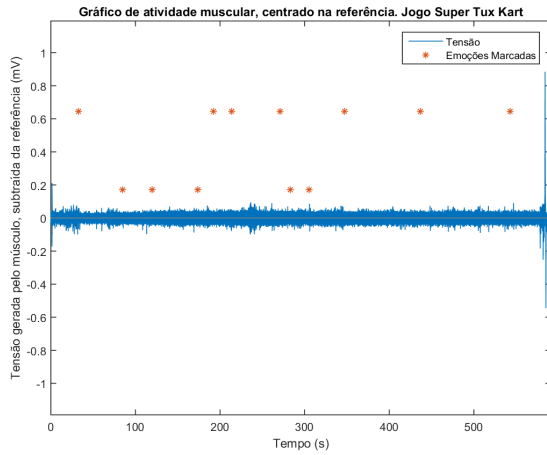


Figura 60: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Super Tux Kart - Participante 5

Figura 61: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Wizznic - Participante 1

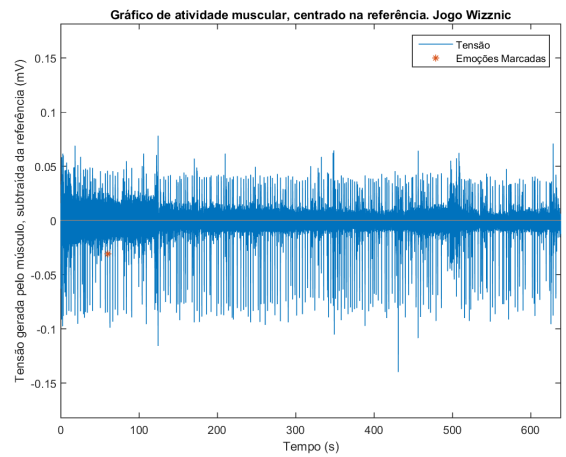
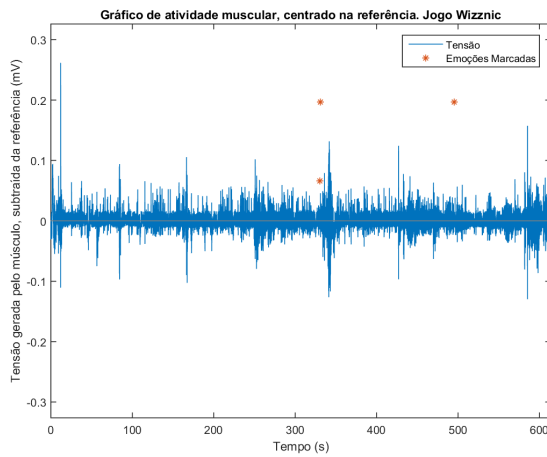


Figura 62: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Wizznic - Participante 2

Figura 63: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Wizznic - Participante 3

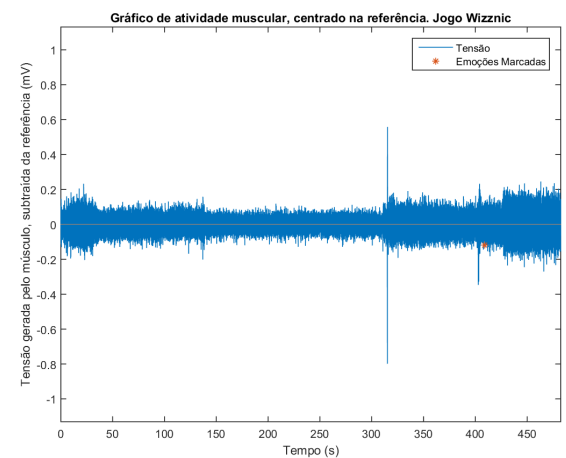
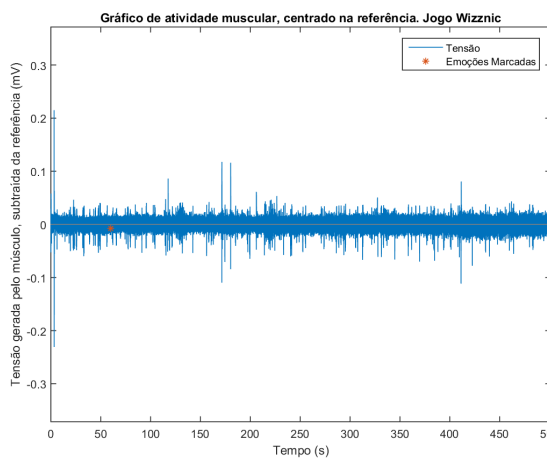


Figura 64: Gráfico gerado para o sensor EMG -Jogo Wizznic - Participante 4

Figura 65: Gráfico gerado para o sensor EMG - Jogo Wizznic - Participante 5